

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**



TESIS

**ANÁLISIS ESPACIO TEMPORAL DEL USO DE SUELO EN
CONCESIONES DE CASTAÑA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE
IMÁGENES DEL SATÉLITE LANDSAT EN LA MICROCUENCA
MANURIBE-MADRE DE DIOS, PERÍODOS 2004-2020**

**PARA OPTAR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE: INGENIERO
FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**

Tesis presentada por:

Bachilleres:

NALVARTE SILVA, Guadalupe
MAMANI MAMANI, Maritza

Asesor: Dr. Gabriel Alarcón Aguirre

Puerto Maldonado, agosto de 2021

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**



TESIS

**ANÁLISIS ESPACIO TEMPORAL DEL USO DE SUELO EN
CONCESIONES DE CASTAÑA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE
IMÁGENES DEL SATÉLITE LANDSAT EN LA MICROCUENCA
MANURIFE-MADRE DE DIOS, PERÍODOS 2004-2020**

**PARA OPTAR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE: INGENIERO
FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE**

Tesis presentada por:

Bachilleres:

NALVARTE SILVA, Guadalupe
MAMANI MAMANI, Maritza

Asesor: Dr. Gabriel Alarcón Aguirre

Puerto Maldonado, agosto de 2021

Dedicatoria

*A Nuestras madres y hermanos
por su apoyo incondicional en
cada etapa de nuestras vidas,
por ser la razón de mis logros
con sus consejos y amor en
cada momento.*

Agradecimientos

A Dios por darnos fortalezas para continuar con cada uno de nuestros propósitos en la vida.

A nuestra Alma Mater Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.

A la Escuela Académico Profesional de Ingeniería por haberme permitido ser parte de sus aulas y conocimientos.

Resumen

Madre de Dios es conocida como “la capital de la biodiversidad del Perú” y es reconocida mundialmente por elevada biodiversidad en el mundo. Sin embargo, los bosques están sometidos a presiones permanentemente. La falta de políticas claras en la gestión territorial ocasiona invasión de tierras, expansión de la frontera agrícola, y la minería aurífera. El presente estudio evalúa el cambio espacial y temporal de uso del suelo en las concesiones de castaña, ubicadas en la microcuenca del río Manuripe - Madre de Dios, durante los períodos 2004-2020. Para la clasificación y cuantificación de la cobertura y uso de suso, y la pérdida de bosque se utilizaron técnicas de teledetección, imágenes Landsat-5 Thematic Mapper (TM), -7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper) y 8 Operational Land Imagery (OLI). Las imágenes fueron procesadas mediante el algoritmo de clasificación supervisada Random Forest. El método incluye técnicas de precisión de la clasificación utilizando puntos de verificación de campo e imágenes de teledetección de media y alta resolución (PlanetScope y WorldView). Los resultados de la pérdida de bosque (cubierta forestal) durante el 2004-2020 mostraron 9 435,12 ha, con una tasa anual de 0,046% y una pérdida promedio de 160,11 ha/año. En cuanto a la conversión de bosque a otros usos de suelo durante los años 2004-2020, reporta 4 681,36 ha, siendo la agricultura la responsable del cambio.

Palabras clave: Bosque, pérdida de cubierta forestal, Landsat, resolución espacial, Random Forest.

Abstract

Madre de Dios is known as the capital of biodiversity of Peru and is recognized worldwide for high biodiversity in the world. However, forests are constantly under pressure. The lack of clear policies in territorial management causes land invasions, expansion of the agricultural frontier, and gold mining. This study evaluates the spatial and temporal change in land use in the Brazil nut concessions, located in the Manuripe river micro-basin - Madre de Dios, during the 2004-2020 periods. Remote sensing techniques, Landsat-5 Thematic Mapper (TM), -7 ETM + (Enhanced Thematic Mapper) and 8 Operational Land Imagery (OLI) images were used to classify and quantify the land cover and use, and forest loss. The images were processed using the Random Forest supervised classification algorithm. The method includes precision classification techniques using field verification points and medium and high-resolution remote sensing images (PlanetScope and WorldView). The results of forest loss (forest cover) during 2004-2020 showed 9 435,12 ha, with an annual rate of 0,046% and an average loss of 160,11 ha / year. Regarding the conversion of forest to other land uses during the years 2004-2020, it reports 4 681,36 ha, with agriculture being responsible for the change.

Key words: Forest, forest cover loss, Landsat, spatial resolution, Random Forest.

Índice de contenidos

	Pág.
Dedicatoria.....	i
Agradecimientos	ii
Resumen	iii
Abstract.....	iv
Introducción	1
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1 Planteamiento del problema de investigación.....	2
1.2 Formulación del problema	3
1.2.1 Problema general.....	3
1.2.2 Problemas específicos	3
1.3 Justificación e importancia.....	3
1.4 Objetivos de la investigación.....	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos	5
1.5 Hipótesis	5
1.6 Variables de la investigación.....	6
1.6.1 Identificación de variables.....	6
1.6.2 Operacionalización de variables	6
1.7 Consideraciones éticas.....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 Antecedentes de la investigación	8
2.1.1 A nivel internacional.....	8
2.1.2 Alcance local	9

2.2 Base teórica.....	13
2.2.1 Deforestación.....	13
2.2.2 Bosque.....	13
2.2.3 Cambio de uso de la tierra y silvicultura.....	14
2.2.4 Teledetección.....	14
2.2.5 Observación remota	14
2.2.6 Componentes de un sistema de teledetección	14
2.2.7 Espectro electromagnético	15
2.2.8 Factores que determinan la respuesta espectral típica de la vegetación	16
2.2.9 Satélites Landsat	16
2.2.10 Landsat 8	17
2.2.11 Software de procesamiento de imágenes.....	17
Google Earth Engine.....	17
ArcMap	17
2.3 Definición de términos	18
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	20
3.1 Tipo de investigación	20
3.2 Diseño de la investigación	20
3.3 Delimitación espacial y temporal	20
3.3.1 Clima e hidrografía.....	21
3.4 Población y muestra	22
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	24
3.5.1 Método y técnicas	24
3.5.2 Procesamiento de datos y análisis estadístico.....	25
Clasificación supervisada de la imagen Landsat	28

Tratamiento de datos	32
Análisis estadístico	33
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
4.1 Clasificación, pérdida y tasa de cubierta forestal en concesiones forestales de castaña en la microcuenca del río Manuripe.....	35
4.1.1 Clasificación de imágenes	35
.....	43
4.1.2 Pérdida de cubierta forestal (bosque)	43
4.1.1 Evaluación de precisión de clasificación	47
4.2 Cambios de cobertura y uso del suelo	48
CONCLUSIONES	56
RECOMENDACIONES.....	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
ANEXOS.....	70

Índice de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Operacionalización de variables	6
Tabla 2. Información de adquisición de imágenes Landsat	26
Tabla 3. Características de imágenes del Sensor Landsat-5 TM.....	26
Tabla 4. Características de imágenes del Sensor Landsat-7 ETM+	27
Tabla 5. Características de imágenes del Sensor Landsat-8.....	27
Tabla 6. Leyenda de cobertura de suelo adaptada al área de estudio	31
Tabla 7. Valoración del coeficiente kappa	33
Tabla 8. Uso de suelo en el área de estudio.....	39
Tabla 9. Tasa y pérdida de bosque (deforestación) anual promedio en el área de estudio	45
Tabla 10. Precisión de resultados, imagen período 2020	48
Tabla 11. Cambio de uso de suelo en concesiones forestales de castaña en la microcuenca del río Manuripe.....	52

Índice de Figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Componentes de un sistema de teledetección.	15
<i>Figura 2.</i> Espectro electromagnético.	16
<i>Figura 3.</i> Factores que determinan la respuesta espectral típica de la vegetación.	16
<i>Figura 4.</i> Ubicación del área de estudio, eje vial interoceánico sur (Puerto Maldonado-Inambari), Madre de Dios – Perú.	21
<i>Figura 5.</i> Distribución de muestras para validar el cambio de cobertura y uso de suelo en concesiones forestales de castaña en la Microcuenca del río Manuripe – Madre de Dios.	24
<i>Figura 6.</i> Composición de bandas RGB de imagen Landsat 8 OLI de la Microcuenca del río Manuripe.	28
<i>Figura 7.</i> Esquema metodológico del clasificador Random Forest.	30
<i>Figura 8.</i> Validación de bosque y áreas mayormente naturales, áreas agrícolas, y superficies de agua con imágenes con imágenes WorldView de 0,38 m x 0,38 m de resolución espacial (a, b y c) e imágenes PlanetScope de 3 m x 3 m de resolución espacial (d y e).	33
<i>Figura 9.</i> Imagen de Satélite Landsat, firmas espectrales en las bandas R (6) G (5) B (4); (a) Bosque y áreas mayormente naturales, (b) Áreas agrícolas, (c) Áreas artificializadas, y (d) Superficie de agua.	36
<i>Figura 10.</i> Uso de suelo en la microcuenca del río Manuripe – Madre de Dios, de los años 2004 (a), 2005 (b), 2006 (c), 2007 (d), 2008 (e), 2009 (f), 2010 (g), 2011 (h), 2012 (i), y 2013 (j).	37
<i>Figura 11.</i> Uso de suelo en la microcuenca del río Manuripe – Madre de Dios, de los años 2014 (k), 2015 (l), 2016 (m), 2017 (n), 2018 (o), 2019 (p), y 2020 (q).	38

<i>Figura 12.</i> Uso de suelo en concesiones forestales de castaña en la microcuenca del río Manuripe – Madre de Dios, de los años 2004 (a), 2005 (b), 2006 (c), 2007 (d), 2008 (e), 2009 (f), 2010 (g), y 2011 (h)...	41
<i>Figura 13.</i> Uso de suelo en concesiones forestales de castaña en la microcuenca del río Manuripe – Madre de Dios, de los años 2012 (i), 2013 (j), 2014 (l), 2015 (l), 2016 (m), 2017 (n), 2018 (o), y 2019 (p). ...	42
<i>Figura 14.</i> Uso de suelo en concesiones forestales de castaña en la microcuenca del río Manuripe – Madre de Dios, año 2020.	43
<i>Figura 15.</i> Pérdida de la cubierta forestal por tipo de actividad productiva en las concesiones forestales de castaña en la Microcuenca del río Manuripe.....	44
<i>Figura 16.</i> Cambio de cobertura y uso de suelo en concesiones forestales de castaña en la microcuenca del río Manuripe – Madre de Dios, de los años de los años 2004-2005 (a), 2005-2006 (b), 2006-2007 (c), 2007-2008 (d), 2008-2009 (e), 2009-2010 (f), 2010-2011 (g), y 2011-2012 (h).	50
<i>Figura 17.</i> Cambio de cobertura y uso de suelo en concesiones forestales de castaña en la microcuenca del río Manuripe – Madre de Dios, de los años de los años 2012-2013 (i), 2013-2014 (j), 2014-2015 (k), 2015-2016 (l), 2016-2017 (m), 2017-2018 (n), 2018-2019 (o), y 2019-2020 (p).	51
<i>Figura 18.</i> Cambio de cobertura y uso de suelo en concesiones forestales de castaña en la microcuenca del río Manuripe – Madre de Dios, de los años 2004-2020.....	54
<i>Figura 19.</i> Cambio de cobertura y uso de suelo histórico en concesiones forestales de castaña en la microcuenca del río Manuripe – Madre de Dios, de años anuales de 2004 al 2020.....	55

Índice de anexos

	Pág.
Anexo 1. Puntos de muestreo tomados en concesiones forestales de castaña en la microcuenca del río Manuripe.	71
Anexo 2. Panel fotográfico.	82

Introducción

El departamento de Madre de Dios ocupa las tierras bajas de la Amazonia peruana, que es reconocida mundialmente como una de las áreas biológicamente más ricas y únicas en la Tierra y amparada por la Legislación como la "Capital de la Biodiversidad del Perú" (Ley N°. 26311). Esta región es parte de una de las mayores extensiones ininterrumpidas de bosques que quedan en la Amazonia. La Amazonía occidental, además de tener una alta diversidad de las culturas indígenas humanas, alberga el mayor número de especies de mamíferos, aviar, y los anfibios especies en el continente y es una de las más áreas de biodiversidad en el mundo. Las áreas naturales y protegidas de la región también proporcionan importantes beneficios económicos a la región a través del turismo basado en la naturaleza (Swenson et al. 2011).

Las concesiones de castaña fueron otorgadas por el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) desde el año 2004, en toda la región de Madre de Dios, después de la presentación de sus planes General de Manejo Forestal, los concesionarios presentaron, sus planes de manejo forestal para el aprovechamiento con fines maderables (planes complementarios). La importancia de realizar este estudio en las concesiones de castaña es demostrar el cambio de uso que existe en ellas.

La microcuenca de Manuripe, se caracteriza por tener un clima húmedo y en esta área se presenta una vegetación de Comunidades pantanosas arbóreas, Bosques semicaducifolios densos en planicies, Complejos de chacras y purmas, Bosque de terrazas altas con rodales de castaña, Pantano arbóreo y composición florística son muy diversas en el distrito ubicado en la microcuenca de Manuripe (GOREMAD y IIAP 2009).

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema de investigación

La zona amazónica de Madre de Dios se ha visto muy afectada por la afluencia de inmigrantes andinos en las últimas décadas. Cuando se trata de crecimiento en los últimos 67 años, Madre de Dios es la que más ha tenido, incrementándose de 0,1% (1940-1961), a 5,7% (1981-1993) y a 3,5% durante el período 1993-2007. Recientemente, la construcción de la Carretera Interoceánica Sur ha dado a Puerto Maldonado un nuevo impulso en términos de población y crecimiento económico, convirtiéndola en una nueva ciudad en desarrollo. (GOREMAD y IIAP 2009).

Las concesiones de castaña (*Bertholletia excelsa*) abarcan la mayor extensión del recurso forestal en la región Madre de Dios, están ubicadas geográficamente entre las provincias de Tahuamanu y Tambopata, existen 1 221 concesiones de Castaña que representan un total de 1 071 210 ha de la superficie total de Madre de Dios. Las concesiones de castaña tienen la finalidad de aprovechar sosteniblemente los recursos con la finalidad de contribuir a su conservación.

Sin embargo, las concesiones de castaña sufren un constante impacto de la pequeña agricultura migratoria, conllevando a la tala ilegal, al cambio de uso, rose y quema de estas áreas, modificando el origen con la cual fueron otorgadas.

También el conflicto se genera por el otorgamiento de concesiones forestales sobre predios titulados sin rectificación de área (no catastradas). Existe un cambio de uso en las concesiones de castañas, este cambio es causada por invasores y muchas veces por el mismo titular de la concesión.

En la actualidad no existen investigaciones específicas en concesiones de castaña, sobre deforestación y/o cambio de uso del suelo, por lo que, existe

un vacío de información, por esta razón se realizará este estudio, para demostrar el cambio de uso de suelo en concesiones de castaña.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuánto es el cambio espacial y temporal del uso del suelo en las concesiones de castaña, ubicadas en la microcuenca del río Manuripe, provincia de Tambopata y Tahuamanu, Madre de Dios, mediante la aplicación de imágenes de satélite Landsat, períodos 2004-2020?

1.2.2 Problemas específicos

P.E.1 ¿Cómo y cuánto es uso del suelo en las concesiones de castaña en la Microcuenca del río Manuripe, mediante la aplicación de imágenes de satélite Landsat-5 TM, -7 ETM+ y 8 OLI, períodos anuales 2004-2020?

P.E.2 ¿Cuánto es la pérdida de la cubierta forestal por tipo de actividad productiva, en las concesiones de castaña en la Microcuenca del río Manuripe, períodos 2004-2020?

P.E.3 ¿Cuánto es la tasa de pérdida de cobertura forestal en la Microcuenca del río Manuripe, períodos 2004-2020?

P.E.4 ¿Cómo es el cambio espacio temporal de uso del suelo en las concesiones de Castaña en la Microcuenca del río Manuripe, mediante la aplicación de imágenes de satélite Landsat-5 TM, -7 ETM+ y 8 OLI, períodos anuales 2004-2020?

1.3 Justificación e importancia

Las fotografías aéreas y las imágenes por satélite se han utilizado tradicionalmente para medir los cambios en la cubierta y el uso del suelo, así como para elaborar mapas de la cobertura del suelo (Bocco et al. 2001). Por

ejemplo, puede medir los cambios en la cubierta vegetal y no vegetal para determinar cómo ha cambiado el uso del suelo.

La deforestación no sólo provoca una reducción del número de árboles, sino también de los hábitats que proporcionan. Como consecuencia, las especies que habitan esos hábitats perecen; también se modifican el ciclo del agua, los procesos de regeneración del suelo y la dinámica climática local. (Martino 2007).

La degradación de los bosques tropicales ha atraído la atención internacional debido al papel ecológico único que desempeñan estos ecosistemas y a la variedad de servicios medioambientales que proporcionan (Armenteras y Eraso 2014).

Las industrias extractivas, como la minería y los hidrocarburos, y el sector agroindustrial exportador de Perú han contribuido a los buenos resultados macroeconómicos del país durante la última década. El transporte de estos productos y la llegada a nuevos mercados se han visto facilitados por las inversiones gubernamentales en infraestructuras que han permitido la expansión de las redes de transporte rural, de esta manera generaron las explotaciones mineras y la migración de los pueblos andinos a la Amazonia en busca de tierras adicionales para la agricultura y las actividades agrícolas están impulsando el actual ritmo de deforestación en la Amazonia (Piu y Menton 2013).

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo general

Evaluar el cambio espacial y temporal de uso del suelo en las concesiones de castaña, ubicadas en la microcuenca del río Manuripe, Provincia de Tambopata y Tahuamanu, Madre de Dios, mediante la aplicación de imágenes de satélite Landsat, períodos 2004-2020.

1.4.2 Objetivos específicos

- O.E.1 Determinar el uso del suelo en las concesiones de Castaña en la Microcuenca del río Manuripe, mediante la aplicación de imágenes de satélite Landsat-5 TM, -7 ETM y 8 OLI, períodos anuales 2004-2020.
- O.E.2 Cuantificar la pérdida de la cubierta forestal por tipo de actividad productiva, en las concesiones de castaña en la Microcuenca del río Manuripe, períodos 2004-2020.
- O.E.3 Determinar la tasa de pérdida de cobertura forestal en la Microcuenca del río Manuripe, períodos 2004-2020.
- O.E.4 Analizar el cambio del espacio temporal de uso del suelo en las concesiones de Castaña en la Microcuenca del río Manuripe, mediante la aplicación de imágenes de satélite Landsat-5 TM, -7ETM+ y 8 OLI, períodos anuales 2004-2020.

1.5 Hipótesis

Hipótesis nula (H_0): El análisis espacio temporal de la pérdida de cobertura forestal a otros usos del suelo en concesiones de castaña mediante la aplicación de tecnologías de satélite Landsat-5 TM, -7 ETM+ y 8 OLI en la microcuenca del río Manuripe, entre los períodos 2004-2020, no tiene una tendencia creciente.

Hipótesis alterna (H_1): El análisis espacio temporal de la pérdida de cobertura forestal a otros usos del suelo en concesiones de castaña mediante la aplicación de tecnologías de satélite Landsat-5 TM, -7 ETM y 8 OLI en la microcuenca del río Manuripe, entre los períodos 2004-2020, sigue una tendencia creciente.

1.6 Variables de la investigación

1.6.1 Identificación de variables

Variable Dependiente

- ✓ Cambio de uso del suelo entre los períodos de 2004 al 2020.

Variable Independiente

- ✓ Comportamiento de la resolución espacial según los diferentes tipos de uso del suelo.

1.6.2 Operacionalización de variables

Las variables y su operacionalización de detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. *Operacionalización de variables*

Objetivo	Variable	Dimensión	Indicadores
Determinar el uso del suelo en las concesiones de Castaña en la Microcuenca del río Manuripe, mediante la aplicación de imágenes de satélite Landsat-5 TM, -7 ETM+ y 8 OLI, períodos anuales 2004-2020.	Uso del suelo entre los períodos 2004-2020.	Mapas de uso del suelo en la microcuenca del río Manuripe, períodos 2004-2020.	1. Superficie total (ha) 2. Validación a través de índices
Cuantificar la pérdida de la cubierta forestal por tipo de actividad productiva, en las concesiones de castaña en la Microcuenca del río Manuripe, períodos 2004-2020	Perdida de la cubierta forestal entre los períodos 2004-2020.	Mapas de pérdida de cubierta forestal, períodos 2004-2020.	Superficie total (ha)
Determinar la tasa de pérdida de cobertura forestal en la Microcuenca del río Manuripe, períodos 2004-2020.	Tasa anual de pérdida de la cobertura forestal, períodos 2004-2020.	Tasa anual de pérdida de cobertura forestal en la Microcuenca Manuripe, períodos 2004-2020.	Tasa anual de pérdida de cobertura forestal.
Analizar el cambio del espacio temporal de uso del suelo en las concesiones de Castaña en la Microcuenca del río Manuripe, períodos anuales 2004-2020.	Cambio del espacio temporal de uso de suelo en la microcuenca Manuripe, períodos 2004-2020.	Mapas de conversión de bosque a otros usos de suelo en la Microcuenca Manuripe, períodos 2004-2020.	Cambios de cobertura del suelo (ha).

1.7 Consideraciones éticas

La investigación desarrollará métodos aplicados al análisis y procesamiento de imágenes Landsat, para ello, se dispondrá el uso de los Google Earth Engine de plataforma abierta, así como el ArcGIS 10,8® del CETEGERN.

El método aplicado no tendrá ningún riesgo, por parte de las tesisistas, así como para otras personas que intervienen en la investigación, la verificación de campo será coordinada con los titulares de los predios agrícolas, directivos de asociaciones agroforestales, coordinación con instituciones privadas (ONGs) en la región de Madre de Dios, como son WWF, AIDER y ACCA. Asimismo, los trabajos de campo considerados para la validación de los resultados, mantendrán el cumplimiento estricto de los protocolos de seguridad COVID19; transporte, alimentación, y entrevista en caso de ser necesario.

Los datos obtenidos en esta investigación del cambio de uso del suelo no son menos inciertos y los resultados dependen de la tecnología y la metodología utilizada para medirla.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 A nivel internacional

Jiménez-Moreno et al. (2011) describen algunos métodos de seguimiento de los cambios de uso del suelo provocados por el crecimiento urbano y analizan sus ventajas e inconvenientes. Sugieren que, dependiendo del conocimiento, la formación y la capacidad del analista en las metodologías actuales de detección de cambios, así como de las características de la región investigada, el enfoque utilizado para evaluar la dinámica del cambio de uso del suelo causado por la expansión urbana variará. Adicionalmente, también dependerá del elemento que haya que evaluar, de la cantidad de información que se necesite y del coste de su realización. No es necesario utilizarlos todos, pero es importante utilizar uno o varios para que la autoridad y los responsables de la toma de decisiones puedan conocer el alcance de los cambios registrados, los peligros asociados y, si es posible, los agentes que producen el cambio para controlar las razones de la planificación territorial.

El cambio de uso del suelo, según Alonso et al. (2010), es un proceso muy dinámico que influye en una amplia gama de procesos ecológicos. Utilizando imágenes Landsat para el periodo 1977-2007, hemos optado por emplear el SIG para el estudio de estos cambios en la Cuenca del Segura, que ha experimentado importantes cambios socioeconómicos y territoriales (18 000 km²). Utilizando bandas espectrales MSS o ETM y dos factores texturales calculados mediante la función de semivariograma de los índices de albedo y NDVI, este estudio presenta una técnica unificada que combina la categorización supervisada y no supervisada. Según los resultados preliminares, las tierras tradicionales de secano han disminuido, las de regadío han aumentado y el suelo desnudo ha aumentado debido al abandono de los cultivos tradicionales. También ha aumentado la cantidad de suelo

urbano. Sus efectos en el deterioro han sido ampliamente investigados. Estos resultados coinciden con investigaciones anteriores. En lo referente a la calidad en la clasificación, los valores iniciales del estadístico kappa oscilan entre 0,295 y 0,485, siendo menores en el período 1977-1984 (sensor Landsat MSS) y mayores en el resto del período. Se trata de valores relativamente bajos, en todo caso hay que tener en cuenta que, examinando las matrices de confusión, se observa como el mayor número de errores aparecen entre clases muy similares (bosque denso-bosque abierto, matorral denso-matorral abierto, regadío herbáceo-huerta).

Por ejemplo, en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, el estudio de López y Plata (2009) examina los cambios en la cobertura del suelo a lo largo de la década de 1990 como resultado de la expansión urbana (ZMCM). Para poder observar e identificar los cambios espaciales y temporales, se utilizó una metodología que combinaba la categorización digital y visual a partir de imágenes satelitales y SIG y el análisis estadístico para supervisar los cambios espaciotemporales ocurridos en esta zona. Generaron dos mapas de cobertura del suelo para 1990 y 2000 utilizando fotos de satélite y SIG. Estos mapas servirían de base para el estudio de los cambios relacionados con la expansión urbana. Esto nos permitió calcular que la superficie edificada de la ciudad en 2000 era de 1.466 km², con una tasa de crecimiento del 16% entre 1990 y 2000..

2.1.2 Alcance local

Alarcón et al. (2021) analizaron la pérdida de bosques en la zona de Madre de Dios, en el sureste de la Amazonía peruana. El estudio examinó la dinámica de la pérdida de bosques y el cambio de uso de la tierra desde 1999 hasta 2018. Se procesaron imágenes de Landsat 5 Thematic Mapper (TM) y 8 Operational Land Imagery (OLI) mediante una categorización supervisada denominada Neural Net. La técnica incluyó sitios de validación de trabajo de campo y fotos de calidad media y alta (SPOT-5, PlanetScope, WorldView y Drone). El análisis encontró una pérdida de bosques de 169 863,40 ha durante 1999-2018, una tasa anual del -0,21%, y una pérdida media anual de 5 928,36

ha. En la región de la investigación, 84 141,08 hectáreas de bosque se convirtieron a diversos usos entre 2014 y 2018, siendo la agricultura la principal responsable (72,90%), mientras que la minería del oro es más frecuente en los sectores objetivo..

MINAM (2020) mediante “El programa Bosques, portal web GEOBOSQUES muestra una información de Bosque y Pérdida de Bosque proveniente del monitoreo anual para el período 2001 al 2019, mostrando una cuantificación de la deforestación para Madre de Dios en el 2001 de 5 603 ha, 2002 con 5 223 ha, 2003 con 5 626 ha, 2004 con 7 766 ha, 2005 con 8 288 ha, 2006 con 5 756 ha, 2007 con 7 338 ha, 2008 con 10 503 ha, 2009 con 5 691 ha, 2010 con 14 286 ha, 2011 con 11 768 ha, 2012 con 11 701 ha, 2013 con 12 401 ha, 2014 con 15 767 ha, 2015 con 17 802 ha, 2016 con 17 055 ha, 2017 con 23 669 ha, 2018 con 23 492 ha, y 2019 con 21 378 ha. Con un total histórico de 231 111 ha.

MINAM (2020) mediante “El programa Bosques, portal web GEOBOSQUES muestra una información de Bosque y Pérdida de Bosque proveniente del monitoreo anual para el período 2001 al 2019, mostrando una cuantificación de la deforestación para la provincia de Tambopata en el 2001 de 3 350 ha, 2002 con 3 067, 2003 con 3 034 ha, 2004 con 4 027 ha, 2005 con 5 371 ha, 2006 con 2 765 ha, 2007 con 3 389 ha, 2008 con 5 623 ha, 2009 con 3 358 ha, 2010 con 8 292 ha, 2011 con 6 281 ha, 2012 con 7 391 ha, 2013 con 6 659 ha, 2014 con 8 025 ha, 2015 con 9 636 ha, 2016 con 9 4720 ha, 2017 con 10 976 ha, 2018 con 12 904 ha, y 2019 con 9 267 ha. Con un acumulado histórico de 122 890 ha.

MINAM (2020) mediante “El programa Bosques, portal web GEOBOSQUES muestra una información de Bosque y Pérdida de Bosque proveniente del monitoreo anual para el período 2001 al 2019, mostrando una cuantificación de la deforestación para la provincia de Tahuamanu en el 2001 de 977 ha, 2002 con 951 ha, 2003 con 953 ha, 2004 con 1 788 ha, 2005 con 1 818 ha, 2006 con 1 434 ha, 2007 con 1 243 ha, 2008 con 2 969 ha, 2009 con 1 164 ha, 2010 con 1 964 ha, 2011 con 2 411 ha, 2012 con 1 644 ha, 2013 con 2 844 ha, 2014 con 4 162 ha, 2015 con 4 385 ha, 2016 con 4 680 ha, 2017

con 7 292 ha, 2018 con 5 839 ha, y 2019 con 8 010 ha. Con un acumulado histórico de 56 528 ha.

Anderson et al. (2019) reportaron si los compromisos de sostenibilidad corresponden con tasas de deforestación más bajas en concesiones de castaña en la Amazonia peruana. De las 884 concesiones de castaña, 158 recibieron multas en 2014. En un análisis sin tener en cuenta ninguna covariable, las concesiones que recibieron multas tuvieron una tasa de deforestación más alta (-0,129%/año) en comparación con las concesiones que no recibieron multas (-0,109%/año), siguiendo las tendencias esperadas. Los resultados coincidentes no fueron significativos ($p = 0,83$), con una estimación de ATT de 0,0083, o 0,0083% menor tasa de deforestación en concesiones multadas en comparación con concesiones no multadas que se igualan para tener en cuenta los atributos de deforestación relevantes, incluido el tamaño de la concesión, la distancia a la ciudad, la distancia al río, distancia a la carretera y elevación. Sin embargo, el estudio de Anderson et al. (2019) concluyen que no encontraron resultados estadísticamente significativos que relacionen los compromisos de sostenibilidad o las multas con los cambios en las tasas de deforestación para la Amazonia peruana. En el caso de los compromisos de sostenibilidad, esto puede que la certificación FSC no sea lo suficientemente estricta o que no se controle adecuadamente. En el caso de las multas, puede deberse a que éstas En el caso de las multas, esto puede deberse a que las multas son demasiado pequeñas y no se aplican adecuadamente para obligar al cumplimiento legal. También puede haber una interacción complementaria limitada entre los compromisos de sostenibilidad y las multas. La mejora de los datos, incluyendo más información más explícita desde el punto de vista espacial y temporal, puede mejorar los resultados en futuros análisis.

Tuesta (2018) analizó el cambio de uso del suelo en Iberia, Tahuamanu - Madre de Dios para el período 2004-2030. Determinó las áreas deforestadas para los años 2004, 2011, 2016 y 2030 analizando y modelando el cambio de cobertura (de bosque a deforestación). Las imágenes que se usaron pertenecen al sensor Landsat 5 TM (2004 y 2011) y Landsat 8 OLI (2016).

Para los años 2004, 2011 y 2016, las tierras deforestadas sumaron 4 824,09 ha, 12 260,08 ha y 17 063,72 ha, respectivamente. Para los periodos de 2004-2011 (7 años) con 7 767,78 ha, y de 2011-2016 (5 años) con 5 123,71 ha, la identificación de las regiones de cambio mediante imágenes de diferenciación pone de manifiesto las áreas de sustracción con cambio progresivo creciente.

Las áreas deforestadas en uno de los lugares con mayor impacto humano fueron cuantificadas por Alarcón et al. (2016), al suroeste de Puerto Maldonado. Las imágenes de los satélites Landsat TM 5 y OLI 8 fueron procesadas utilizando la clasificación "Random Forest". El estudio reveló que, entre 1999 y 2013, se habían talado 55 426 hectáreas de bosque, esto significa una tasa anual de cambio de cobertura del -0,22% y una deforestación media anual de 3 246 hectáreas. Durante el periodo 2008-2011, se produjo una deforestación sistemática de 29 478 hectáreas, lo que supuso un aumento de la extracción de oro de aluvión, impulsada sobre todo por la construcción y apertura de carreteras internacionales, así como por el aumento del precio del oro en los mercados internacionales..

Chávez et al. (2013) estudiaron las tendencias regionales de deforestación dentro de las realidades locales: cambio en la cobertura del suelo en el sureste de Perú (provincia de Tahuamanu) 1996–2011. La cubierta forestal en las regiones agrícolas cercanas a las infraestructuras de transporte dentro de las zonas de amortiguación de 1 a 5 km ha crecido de forma constante, mientras que las concesiones madereras alejadas de la zona de amortiguación de 1 km de las carreteras secundarias han mantenido la cubierta forestal. A nivel provincial, la deforestación no está muy avanzada. Hubo una disminución muy leve de aproximadamente 2% en el área de bosque entre 1996 y 2010. La detección de áreas de cambio a través de la diferenciación de imágenes resalta las áreas de sustracción por píxeles de las imágenes de 1996–2001, 2001–2006 y 2006–2011. Un aumento gradual del cambio de 7 770 ha en 1996-2001 a 19 516 ha en los periodos de cambio de trayectoria de 2006-2011 proporciona más evidencia de cómo la pre y post pavimentación de carreteras han influido en la dinámica temporal en CCUS. Los cambios de 2010 a 2011 son mucho más altos en comparación con

cambios más graduales de años anteriores. Las áreas no forestales casi duplicaron su tamaño de 13 714 ha a 21 710 ha en 2011. Estas tendencias revelan un aumento en las tierras agrícolas privadas tituladas a lo largo del corredor vial interoceánico sur. Chavez et al. (2013) concluyen que, en cuanto a la dinámica espaciotemporal, la deforestación se produjo principalmente en las zonas de amortiguación a lo largo de las carreteras, pero especialmente en la época de pavimentación de las mismas. Por tanto, la deforestación se produjo sobre todo a lo largo de las carreteras y especialmente con la pavimentación de la carretera interoceánica. Aunque las dinámicas espaciotemporales más fuertes son evidentes más cerca de las carreteras, la aceleración de la deforestación con la pavimentación aún puede detectarse hasta los 5 km. Dada la aceleración después de 2010, parece que la expansión de las zonas no forestales continuará incluso más allá de los 5 km de distancia. Este estudio sugiere una tendencia muy interesante para los asentamientos fluviales en el Amazonas. En la deforestación a lo largo de los ríos se produce una disminución de la distancia similar a la de las carreteras, aunque la evolución es menos lenta que en el caso de las carreteras. La dinámica de deforestación a lo largo de los ríos y más cerca de los centros urbanos y las redes de carreteras puede desarrollarse de la misma manera que en el caso de las carreteras.

2.2 Base teórica

2.2.1 Deforestación

Esta frase se refiere a los cambios en el uso de la tierra que han dado lugar a una reducción de la cubierta de copas a menos del 10%. La degradación forestal se refiere a los cambios dentro de una clase de bosque que tienen un impacto perjudicial en el rodal o el sitio y, en particular, reducen la capacidad de producción (FAO 2000).

2.2.2 Bosque

Tierra más del 10% de la superficie del terreno está cubierta de árboles (o vegetación densa equivalente) con más de 0,5 hectáreas. Un árbol ideal debe alcanzar una altura de 5 metros cuando está maduro en el campo. Si la cubierta de copas es superior al 10%, puede tratarse de formaciones forestales cerradas o de formaciones forestales abiertas, con árboles de distintos tamaños y sotobosque que cubren zonas importantes del terreno. (FAO 2000).

2.2.3 Cambio de uso de la tierra y silvicultura

Es el tipo de actividad que se realiza en un terreno, como la agricultura o el pastoreo (FAO 2000).

2.2.4 Teledetección

La teledetección espacial es “una tecnología que permite recoger información de los objetos de la superficie terrestre a distancia, como el radar. Los objetos y los sensores deben poder comunicarse entre sí para que este tipo de observación a distancia sea viable” (Chuvienco 2008).

2.2.5 Observación remota

La observación de la superficie terrestre a distancia es la base de la investigación en teledetección. Formado a principios de la década de 1960 como traducción latina de la expresión inglesa “remote sensing”, este término se utiliza para describir una amplia gama de métodos para ver el mundo a distancia, pero se utilizó por primera vez para la fotografía aérea, que era un sensor importante en ese momento (Chuvienco 1996a).

2.2.6 Componentes de un sistema de teledetección

La interacción de la radiación electromagnética con la cubierta del suelo hace posible la teledetección. Tanto las variables externas (ambientales)

como sus propias propiedades físicas y químicas en el momento de la toma de imágenes influyen en la forma de reflejar la luz.

Todos estos datos se entregan a la Tierra en forma de matriz numérica. En los sistemas receptores se realiza un primer paso de procesamiento de imágenes para eliminar los defectos geométricos o radiométricos antes de enviarlos a los consumidores (Gutiérrez y Nieto 2006).

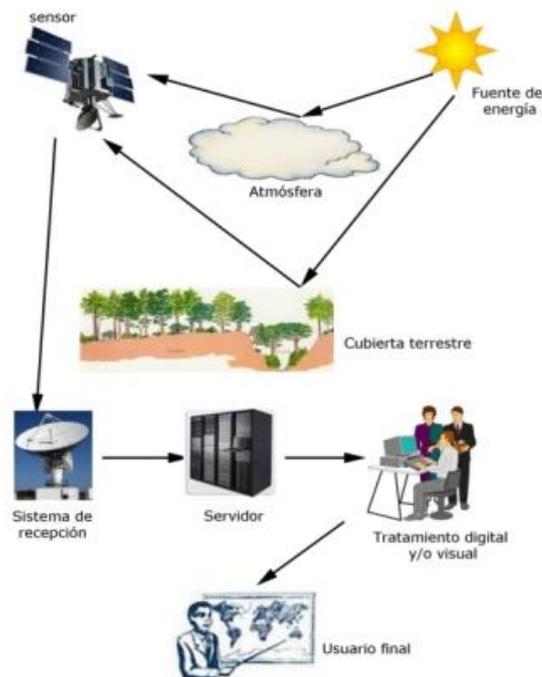


Figura 1. Componentes de un sistema de teledetección.

Fuente: Gutiérrez y Nieto (2006).

2.2.7 Espectro electromagnético

Según su longitud de onda o su frecuencia, puede caracterizarse como cualquier forma de energía radiante. El espectro electromagnético se refiere a la disposición de varias longitudes de onda o rangos de frecuencia. Los rayos X, por ejemplo, tienen como longitud de onda más corta los rayos gamma (telecomunicaciones). La longitud de onda es la unidad de medida más frecuente. “Para las más cortas se utilizan micrómetros, mientras las más largas se miden en centímetros o metros” (Chuvieco 2008).

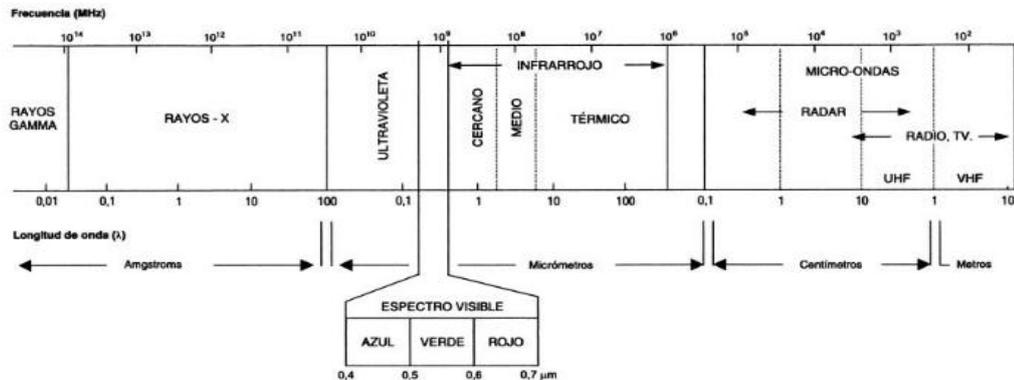


Figura 2. Espectro electromagnético.

Fuente: Chuvieco (2008).

2.2.8 Factores que determinan la respuesta espectral típica de la vegetación

En la figura 3 hay una curva característica de la vegetación sana, que indica qué longitudes de onda tienen las áreas espectrales más significativas, junto con los factores que dominan en la determinación de su forma. Tienen un máximo a 0,5 μm , un mínimo a 0,6 μm , una subida rápida a 0,7 μm , una meseta a 1,3 μm y un nuevo mínimo a 1,4 μm .

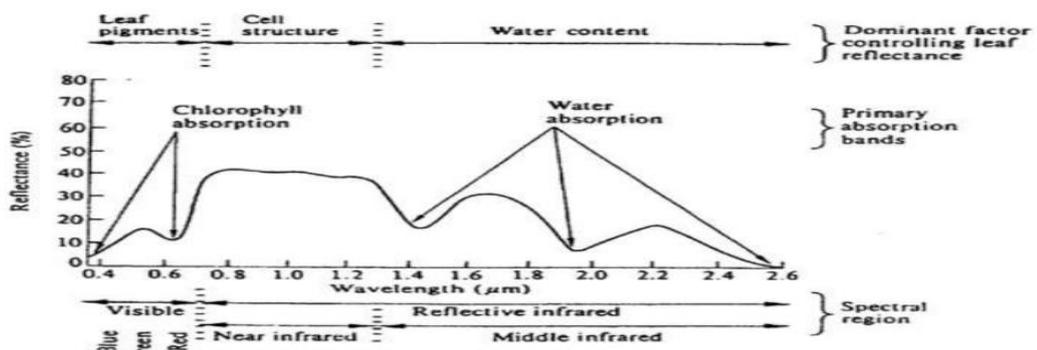


Figura 3. Factores que determinan la respuesta espectral típica de la vegetación.

Fuente: Chuvieco (2008).

2.2.9 Satélites Landsat

El programa Landsat ofrece el registro global continuo más largo de la superficie de la Tierra; continúa entregando imágenes visualmente impresionantes y científicamente valiosas de nuestro planeta. En 1975, el administrador de la NASA, el Dr. James Fletcher, predijo que, si un desarrollo de la era espacial salvaría al mundo, sería Landsat y sus satélites sucesores. Desde principios de la década de 1970, Landsat ha archivado de manera continua y consistente imágenes de la Tierra; Este archivo de datos incomparable le da al científico la capacidad de evaluar los cambios en el paisaje de la Tierra (García et al. 2012).

2.2.10 Landsat 8

El Landsat 8 adquiere alrededor de 740 escenas (185 km x 180 km) por día, con un solapamiento de las franjas (o solapamiento lateral) varía del 7% cerca del ecuador a casi el 85% en latitudes altas (Markham et al. 2018).

2.2.11 Software de procesamiento de imágenes

Google Earth Engine

Es un visor de datos de imágenes geoespaciales liviano con acceso a un gran conjunto de conjuntos de datos globales y regionales disponibles en el Catálogo de datos de Earth Engine. Permite una visualización rápida de datos con la capacidad de hacer zoom y desplazarse en cualquier lugar de la Tierra, ajustar la configuración de visualización y superponer datos para inspeccionar los cambios a lo largo del tiempo (Gorelick et al. 2017, pp. 18-27).

ArcMap

“En el paquete de software de procesamiento geoespacial ArcGIS de Esri, ArcMap se utiliza para ver, modificar y generar datos geográficos, así como para analizar la información geoespacial.” (Shaner y Wrightsell 2000). “En ArcMap, el usuario puede examinar los datos dentro de un conjunto de datos, simbolizar características de acuerdo con los datos y construir mapas

a partir de ellos. Lo utiliza para obtener beneficios” (Shaner y Wrightsell 2000, pp. 3-5).

2.3 Definición de términos

Deforestación: Este término se refiere “a que se ha producido una reducción de la cubierta de copas a menos del 10% debido a cambios en el uso de la tierra que han provocado la pérdida de la cubierta de copas. La destrucción de los bosques se refiere a los cambios que tienen un efecto perjudicial en un rodal o lugar y, en particular, reducen el potencial productivo del bosque” (FAO 2000).

Bosque: “Más del 10% de la superficie del terreno está cubierta de árboles (o vegetación densa equivalente) con más de 0,5 hectáreas. Un árbol ideal debe alcanzar una altura de 5 metros cuando está maduro en el campo.” (FAO 2000).

Teledetección: es “una tecnología que permite obtener información de los objetos de la superficie terrestre a distancia. Para que esta observación a distancia sea factible, debe haber algún tipo de contacto entre los objetos y el sensor” (Chuvieco Salinero 2008).

Clasificación supervisada: “Los datos de imágenes obtenidas por teledetección se analizan habitualmente mediante una clasificación supervisada, que es el método más utilizado para el análisis cuantitativo” (Lizarazo 2008, pp. 4-18).

Clasificación supervisada Random Forest: “técnica que utiliza un gran número de árboles de decisión que trabajan juntos como un conjunto” (Breiman 2001, p. 18).

Firma espectral: “Cambio del índice de refracción o de la emitancia de un material en función de la longitud de onda” (Hernández y Montaner 2009, pp. 978-996).

Ráster: “La realidad se representa mediante teselas en una unidad de superficie que promedia el valor de la variable representada en un modelo de datos (altitud, reflectancia)” (Hijmans y van Etten 2014, p. 23).

Pixel: “unidad mínima de una imagen digital” (Li et al. 2017, pp. 100-112).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo de investigación

La investigación fue de tipo descriptiva y correlacional, debido a que analiza los cambios en el tiempo del uso de suelo en concesiones de castaña mediante la aplicación de imágenes del satélite Landsat en la microcuenca del río Manuripe-Madre de Dios, períodos 2004-2020 (Escobar et al. 2018, pp. 89-98; Hernández et al. 2010, pp. 95-121).

3.2 Diseño de la investigación

El estudio fue transeccional (transversal) y longitudinal de tendencia, debido a que se analizó el cambio en el uso del suelo en el tiempo en concesiones de castaña mediante la aplicación de imágenes del satélite Landsat en la microcuenca del río Manuripe-Madre de Dios, períodos 2004-2020 (Escobar et al. 2018, pp. 89-98; Hernández et al. 2010, pp. 95-121).

3.3 Delimitación espacial y temporal

El área de estudio comprende una delimitación espacial correspondiente a la microcuenca del río Manuripe ubicada en la provincia de Tambopata y Tahuamanu del departamento de Madre de Dios, cuya superficie total es de 5 482,61 km² (548 261 ha) (Figura 4), y comprende áreas agrícolas y títulos habilitantes (concesiones forestales no maderables) (Dourojeanni 2019). Está situada entre los paralelos 11° 24' 13" y 12° 21' 23" de latitud Sur y los meridianos 68° 43' 45" y 70° 24' 6" de longitud Oeste; altitud entre 250 y 380 msnm (Alarcón et al. 2016, p. 322; Chávez et al. 2013, p. 131; GOREMAD y IIAP 2009, p. 19; Perz et al. 2016, p. 250; Perz et al. 2013, p. 30).

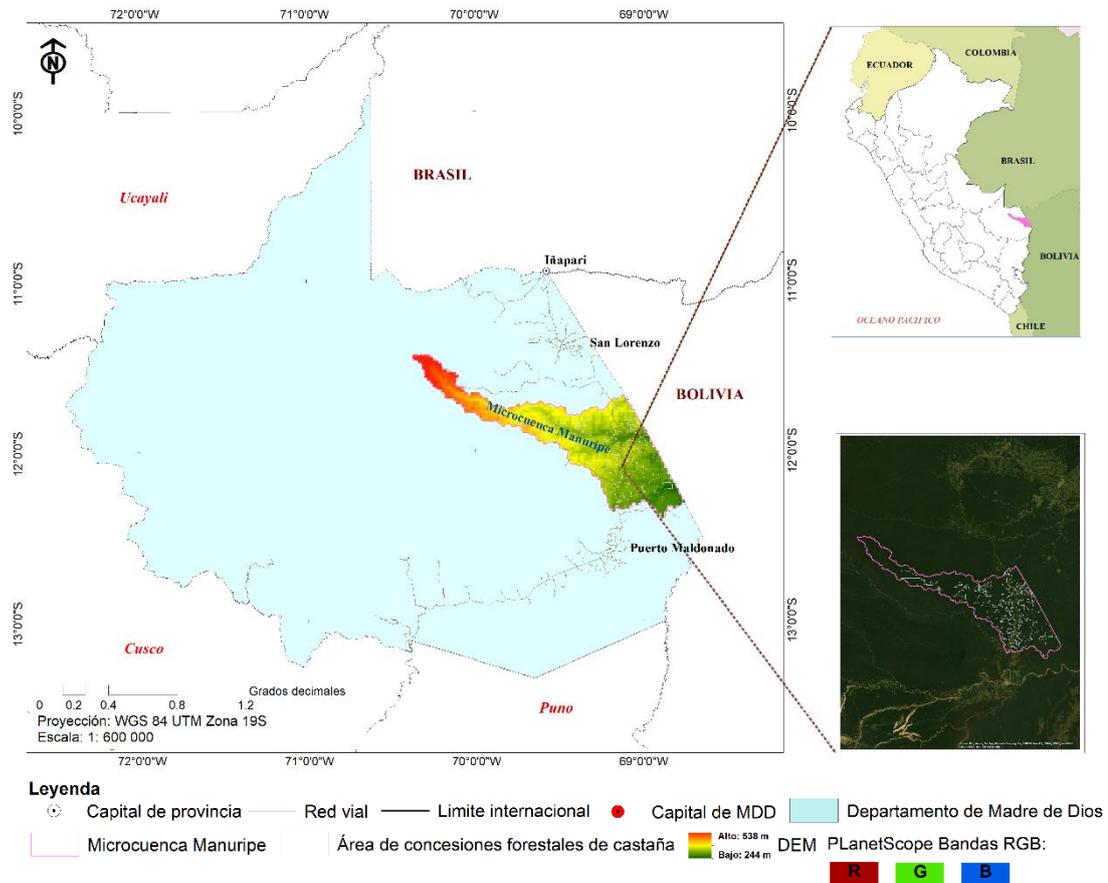


Figura 4. Ubicación del área de estudio, eje vial interoceánico sur (Puerto Maldonado-Inambari), Madre de Dios – Perú.

Fuente: Alarcón et al. (2016).

La delimitación temporal de la evaluación del espacio temporal del uso de suelo en concesiones de castaña mediante la aplicación de imágenes del satélite Landsat en la microcuenca del río Manuripe-Madre de Dios, corresponde a los períodos anuales 2004-2020.

3.3.1 Clima e hidrografía

La temperatura promedio anual fluctúa entre 22°C a 26°C, con baja fluctuación en el año, los valores más altos se reportan en los meses de septiembre y abril; mientras que los más bajos entre los meses de mayo y agosto (Estación de Puerto Maldonado) (GOREMAD y IIAP 2009, p. 19; Perz et al. 2016, p. 250). Se presentan descensos conocido comúnmente como

"Friaje" o "Surazo", este fenómeno climático se presenta generalmente entre meses de mayo a septiembre (GOREMAD y IIAP 2009, p. 19; Perz et al. 2016, p. 250).

La precipitación media anual total es de 1 800 mm. siendo la menor ocurrencia entre los meses de mayo a septiembre, bajando a un 20 o 25% del total anual. En general, el clima es de tipo muy lluvioso, cálido, muy, la humedad relativa oscila entre 63% y 90%, mientras que la evapotranspiración entre 598,4 mm y 652,6 mm (GOREMAD y IIAP 2009, p. 19; Perz et al. 2016, p. 250).

La hidrografía de la microcuenca comprende el río Manuripe y otros afluentes de menor orden (GOREMAD y IIAP 2009, p. 19; Perz et al. 2016, p. 250).

3.4 Población y muestra

El ámbito de estudio comprende el área geográfica de la microcuenca del río Manuripe, ubicada en la provincia de Tambopata y Tahuamanu, departamento de Madre de Dios, con una superficie de 3 542,19 km² (354 218,66 ha).

Para el cálculo de las muestras en campo se aplicó la distribución binomial de probabilidad, expresada en la siguiente formula (Ecuación 1) (Anaya y Chuvieco 2010, p. 25; Chuvieco y Hantson 2010, p. 14; Ochoa y Páez 2019, p. 33):

$$n = \frac{Z^2 p(qN)}{(N-1)E^2 + Z^2 + pq} \quad (1)$$

Dónde:

N: Tamaño de la población.

p: indica el porcentaje de aciertos estimado, 0,50 (50%).

Z: Es el valor de la curva normal estandarizada para un nivel determinado de probabilidad, 1,96 (95%).

q: Indica el porcentaje de errores ($q = 1 - p$), 0,50 (50%).

E: El error permitido, 0,05 (5%).

Para conocer los grados de confiabilidad de los datos generados a partir de los mapas de cambio de uso, se sometió al proceso de evaluación de confiabilidad temática. Para garantizar que todos los componentes del mapa tengan las mismas posibilidades de ser muestreados, se optó por un muestreo aleatorio estratificado. Para muestrear los estratos, hay que identificar y muestrear distintos tipos de ecosistemas (Ochoa y Páez 2019, p. 55).

$$n = \frac{(1,96)^2 * 0,5(0,5 * 354\ 218,66)}{(354\ 218,66 - 1) * 0,05^2 + 1,96^2 + (0,5 * 0,5)}$$
$$n = 382,39 = 382$$

La muestra fue distribuida de manera representativa en el área de estudio. Para ello, se utilizó un muestreo probabilista, por medio de la técnica de inclusión y exclusión (Ochoa y Páez 2019). Por lo que, áreas con características similares, se optó por el más cercano. Se empleo 382 puntos distribuidos y establecidos sobre el mapa a través de un muestreo aleatorio simple estratificado, según las siguientes categorías: (1) 150 muestras en bosque y áreas mayormente naturales, (2) 120 en áreas agrícolas, (3) 50 en superficies de agua, y (4) 62 en áreas artificializados.

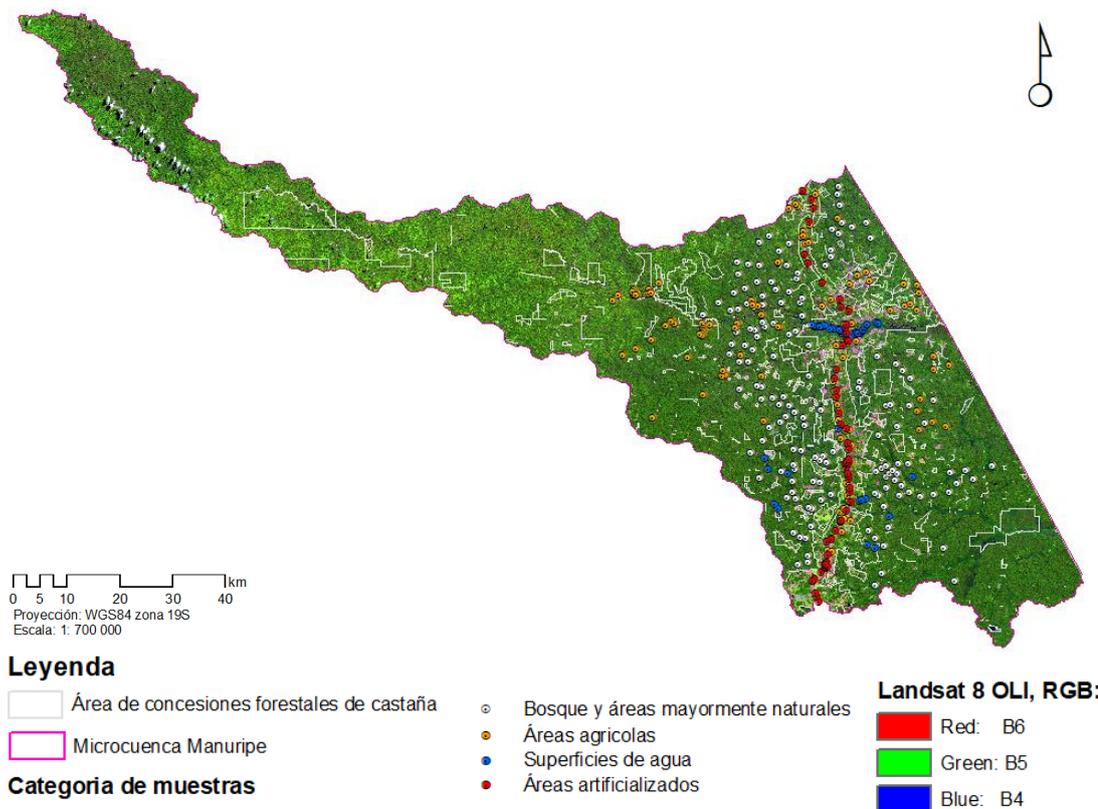


Figura 5. Distribución de muestras para validar el cambio de cobertura y uso de suelo en concesiones forestales de castaña en la Microcuenca del río Manuripe – Madre de Dios.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1 Método y técnicas

Evaluar espacio temporal del uso de suelo en concesiones de castaña mediante la aplicación de imágenes del satélite en la microcuenca del río Manuripe-Madre de Dios es primordial y oportuno para el programa Landsat (sensor Landsat-5 TM, -7 ETM+ y 8 OLI) (Potin 2013; Williams et al. 2006).

Las imágenes de satélite (Tabla 2, 3, 4 y 5) se descargaron a través de la plataforma Google Earth Engine (GEE) (Mutanga y Kumar 2019). Los datos de los satélites Landsat-5 TM, -7 ETM+ y 8 OLI serán cubiertas entre los meses de mayo a agosto (2004-2020), con la nula o menor nubosidad posible. Este período coincide con preparativos para la temporada de faenas agrícolas y aprovechamiento forestal. Se necesitó dos escenas Landsat-5 TM, 7 ETM+ y 8 OLI para cubrir toda la extensión de la microcuenca del río Manuripe.

El procesamiento se llevó a cabo por períodos anuales. Las imágenes Landsat fueron pre procesadas previamente para minimizar la influencia de las diferentes fechas de detección y permitir la creación de un mosaico, así como la corrección atmosférica (Dong et al. 2019; Gharbia et al. 2014; Rajah et al. 2018; Reiche et al. 2013; Reiche et al. 2015; Roy et al. 2014).

Las imágenes Landsat (mayo a agosto) (3, 4 y 5) se convirtieron de números digitales (DN) a reflectancia de superficie por el método Top Of Atmosphere (TOA) a través de la caja de herramientas de GEE (Alarcón et al. 2021; Alarcón et al. 2016; Dong et al. 2019; Gharbia et al. 2014; Rajah et al. 2018; Reiche et al. 2013; Reiche et al. 2015; Roy et al. 2014). La clasificación se realizó por el método supervisado Random Forest (RF).

Los softwares que se utilizaron para el procesamiento fueron de acceso libre y con licencia; Google Earth Engine, y ArcGis 10,8® proporcionadas por la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios a través del Centro de Teledetección para el Estudio y Gestión de los Recursos Naturales (CETEGERN) (Alarcón et al. 2016).

La validación del proceso se realizó mediante la distribución de puntos en el mapa, para ello se recolectará información histórica (2004-2019) realizada por otras instituciones sobre la cobertura y uso del suelo, en el caso del año 2020 la constatación se hizo en campo. Los equipos utilizados fueron el GPS Garmin Map 60 CSx, y Garmin Map 62 CSx (Alarcón et al. 2016). La confiabilidad de la clasificación se realizó mediante la matriz de confusión e Índice de Kappa (k) (Alarcón et al. 2021; Alarcón et al. 2016).

3.5.2 Procesamiento de datos y análisis estadístico

Material bibliográfico: “búsqueda especializada de información en la Biblioteca Virtual de CONCYTEC, en bade de datos de Scopus, Web of Science, ScienceDirect Freedom Collection, EBSCO, IEEE, IOP, Sage, SAGE Research Methods, Taylor & Francis, Willey, y Google Académico”.

Selección de coberturas y obtención de imágenes de satélite:

1. Como parte inicial de la investigación, la información cartográfica de la microcuenca Manuripe se obtuvo del CETEGERN de la UNAMAD (Alarcón et al. 2016, p. 321).
2. Seguidamente, la descarga de imágenes Landsat-5 TM, -7 ETM+ y 8 OLI (2004-2020) fue por medio del portal Google Earth Engine (GEE) (Tabla 2, 3, 4 y Figura 6).

Tabla 2. Información de adquisición de imágenes Landsat

Sensor	Cobertura	Fecha de Imagen	Pat row
Landsat-5 TM	Microcuenca Manuripe	Mayo a agosto 2004-2011	002-68,
Landsat-7 ETM+		Mayo a agosto 2012	003-68,
Landsat-8 OLI		Mayo a agosto 2013-2020	002-69

Tabla 3. Características de imágenes del Sensor Landsat-5 TM

Sensor	Bandas	Resolución (m)	Longitud de onda (μm)	Nombre de banda
TM	1	30	0,45-0,52	Azul
	2	30	0,53-0,61	Verde
	3	30	0,63-0,69	Roja
	4	30	0,78-0,90	Infrarrojo Cercano (NIR)
	5	30	1,55-1,75	Infrarrojo de Onda Corta 1 (SWIR 1)
	6	60	10,4-12,5	Infrarrojo térmico
	7	30	2,09-2,35	Infrarrojo de Onda Corta 2 (SWIR 2)

Fuente: Markham et al. (2018).

Tabla 4. Características de imágenes del Sensor Landsat-7 ETM+

Sensor	Bandas	Resolución (m)	Longitud de onda (μm)	Nombre de banda
ETM+	1	30	0,45-0,52	Azul
	2	30	0,52-0,60	Verde
	3	30	0,63-0,69	Red
	4	30	0,77-0,90	NIR
	5	30	1,55-1,75	SWIR 1
	6	60*(30)	10,40-12,50	Térmico
	7	30	2,09-2,35	SWIR 2
	8	15	0,52-0,90	Pancromático

Fuente: Markham et al. (2018).

Tabla 5. Características de imágenes del Sensor Landsat-8

Sensor	Bandas	Resolución (m)	Longitud de onda (μm)	Nombre de banda
OLI	1	30	0,43 – 0,45	Costera
	2	30	0,45 – 0,51	Azul
	3	30	0,53 - 0,59	Verde
	4	30	0,63 - 0,67	Roja
	5	30	0,85 - 0,88	Infrarrojo Cercano (NIR)
	6	30	1,57 - 1,65	Infrarrojo de Onda Corta 1 (SWIR 1)
	7	30	2,11 - 2,29	Infrarrojo de Onda Corta 2 (SWIR 2)
	8	15	0,50 - 0,68	Pancromática (Pan)
	9	30	1,36 - 1,38	Cirros (Cirrus)
TIRS	10	30 (100)	10,60 - 11,19	Sensor Térmico Infrarrojo 1 (TIRS 1)
	11	30 (100)	11,50 - 12,51	Sensor Térmico Infrarrojo 2 (TIRS 2)

Fuente: Markham et al. (2018).

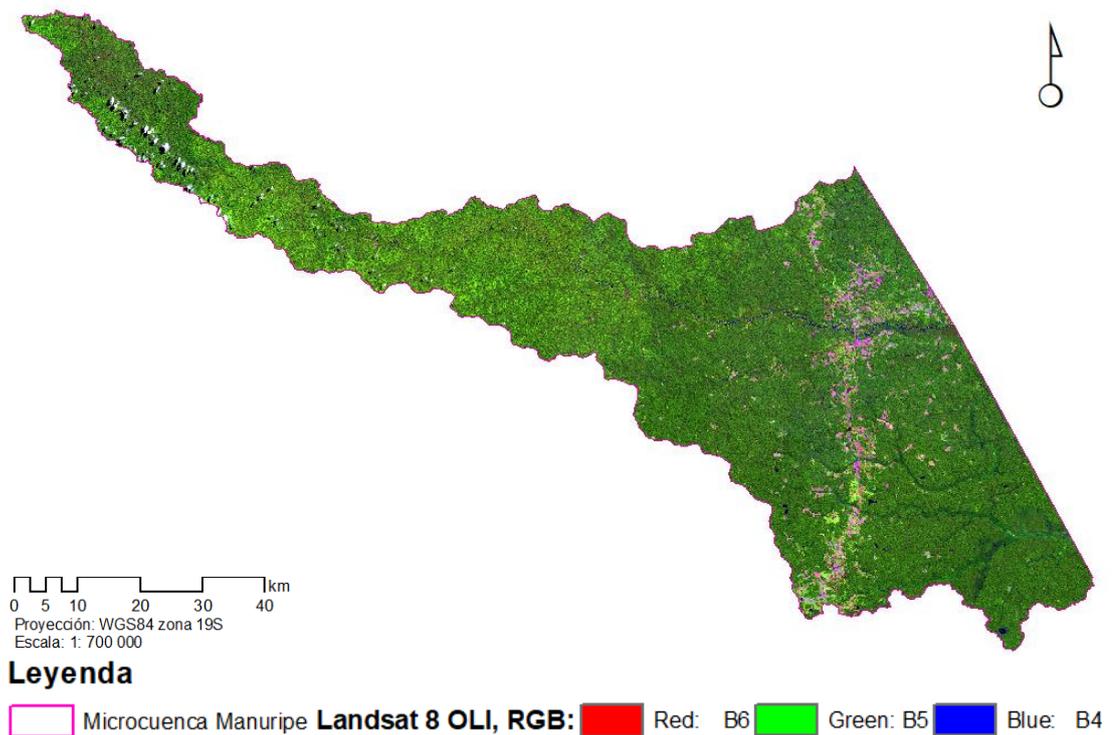


Figura 6. Composición de bandas RGB de imagen Landsat 8 OLI de la Microcuenca del río Manuripe.

✓ Clasificación supervisada de la imagen Landsat

Como su nombre indica, la clasificación de imágenes es el proceso de clasificar la información de una imagen rasterizada que contiene varias bandas de información. Es posible construir mapas temáticos utilizando los rasters creados por la clasificación de imágenes (ESRI 2020).

El método supervisado se basa en la experiencia previa o el trabajo de campo para obtener una cantidad específica de información sobre la región de la investigación. El término “indica que tales áreas sirven para entrenar al ordenador en el reconociendo de las distintas categorías” (Chuvienco 1996b). La clasificación para el presente estudio comprenderá tres (3) fases:

1. **Pre-Procesamiento**, tratamiento digital de imágenes Landsat previo a la clasificación supervisada Random Forest, el cual consiste en la conversión de números digitales (DN) a reflectancia de superficie por el método Top Of Atmosphere (TOA), mosaico y corte en función al

área de estudio mediante la caja de herramientas de GEE (Alarcón et al. 2021; Alarcón et al. 2016; Dong et al. 2019; Gharbia et al. 2014; Rajah et al. 2018; Reiche et al. 2013; Reiche et al. 2015; Roy et al. 2014).

- 2. Procesamiento**, las imágenes Landsat proporcionan información del comportamiento espectral de los objetos, ello permitir caracterizar el espacio temporal de la cobertura y uso de suelo en la microcuenca Manuripe (Alarcón et al. 2021; Alarcón et al. 2016; Dong et al. 2019; Gharbia et al. 2014; Rajah et al. 2018; Reiche et al. 2013; Reiche et al. 2015; Roy et al. 2014).

Para cuantificar la cobertura y uso de suelo en los períodos 2004-2020 se realizó a través de procesos de clasificación supervisada del algoritmo Random Forest (RF) (Ecuación 2 y Figura 7) (Breiman 2001, p. 28), en base a la metodología propuesta por CORINE Land Cover (IDEAM 2010), y adaptada por el Ministerio del Ambiente (MINAM 2012), cuya leyenda jerárquica emplea un criterio espacial y detalles temático. Para el estudio se consideró el Nivel I (Tabla 6).

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (f_i - y_i)^2 \quad (2)$$

Donde:

N: número de puntos de datos

f_i : valor retornado del modelo

y_i : valor actual de puntos de datos

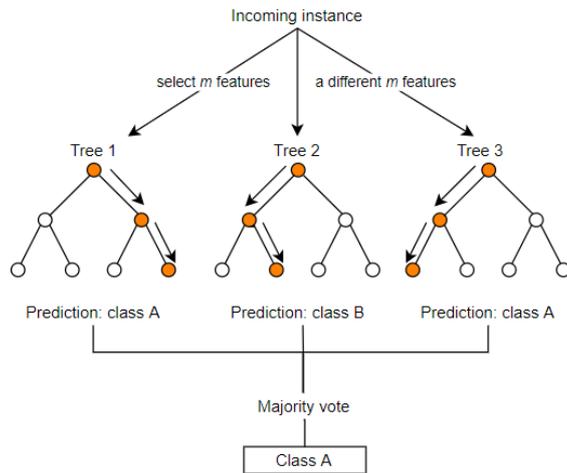


Figura 7. Esquema metodológico del clasificador Random Forest.

Fuente: Kulkarni y Lowe (2016).

Los CCUS se calculó con la matriz de cambio de cobertura, diferencias de áreas iniciales y finales, para un período establecido (R) (Ecuación 3) (Alarcón et al. 2016, p. 321; Asner y Tupayachi 2017, p. 98; CA 2007, p. 45; INRENA et al. 2006; Puyravaud 2003, p. 58).

$$R = (A1 - A2) / (t2 - t1) \quad (3)$$

Donde A2 y A1 son las áreas de bosque en la fecha final (t2) e inicial (t1).

La tasa de cambio anual (q) (Ecuación 4) se calculara en base a la tasa porcentual anual, usualmente aplicada en la cuantificación de perdida de bosques (Alarcón et al. 2016, p. 321; Puyravaud 2003, p. 58).

$$q = (A1 - A2) / (t2 - t1) \quad (4)$$

Donde A1, A2, t1, t2 se definen en la Ecuación 3.

Se realizarán operaciones de diferencia en cada periodo de tiempo para calcular el cambio de cobertura entre 2004 y 2020 (Ecuación 5) (Alarcón et al. 2016, p. 321; Asner y Tupayachi 2017, p. 98; CA 2007, p. 45; INRENA et al. 2006; Puyravaud 2003, p. 58).

$$\text{Época } 2010 * 10 + \text{Época } 2015 \dots 2020 \quad (5)$$

Tabla 6. *Leyenda de cobertura de suelo adaptada al área de estudio*

Nivel I	Nivel II
1. Áreas artificializados	1.1 Áreas urbanizadas
	1.2 Áreas industriales e infraestructura
	1.3 Áreas de extracción de minería e infraestructura y escombreras
2. Áreas agrícolas	2.1 Cultivos transitorios
	2.2 Cultivos permanentes
	2.3 Pastos
	2.4 Áreas agrícolas heterogéneas
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1 Bosque
	3.2 Bosques Plantados
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo
	3.4 Áreas sin o con poca vegetación
4. Áreas húmedas continentales	4.1 Áreas húmedas continentales
5. Superficie de agua	5.1 Aguas continentales

Fuente: MINAM (2012); tomado y adaptado de CORINE Land Cover (IDEAM 2010).

3. Post-Clasificación, en la Post-clasificación cada imagen debe ser rectificación y clasificación antes de ser comparada píxel a píxel, en base a la unidad mínima cartografiable, para el estudio fue de 0,5 ha (Alarcón et al. 2016; Jensen et al. 1991; Xiuwan 2002), finalizado la clasificación supervisada con el algoritmo Random Forest y post clasificación a partir de los datos Landsat-5 TM, -7 ETM+, y 8 OLI, se medirá la precisión de los resultados mediante la aplicación de la matriz de confusión y el Índice de Kappa. Finalmente, los datos serán

transformados a formato vectorial, para su análisis en un SIG (Alarcón et al. 2016, p. 322).

✓ **Tratamiento de datos**

Los resultados del análisis espacio temporal de la clasificación supervisada del algoritmo RF fueron analizados por procedimientos estadísticos; se aplicó la matriz de confusión y el coeficiente kappa (κ), como un test de concordancia de los datos predictivos con la información de campo y/o información cartográfica (Alarcón et al. 2016, p. 322; Chuvieco 2002, p. 67; Chuvieco y Hantson 2010; Elijah y Jensen 1996, p. 34). El índice kappa, “toma valores entre -1 y +1; mientras más cercano a +1, mayor grado de concordancia, mientras un valor de $\kappa = 0$, refleja una concordancia observada a causa del azar” (Alarcón et al. 2016; Cerda y Villarroel 2008; Hudson 1987). La interpretación de los resultados fueron en función a los niveles de concordancia cualitativa (Tabla 7) (Alarcón et al. 2016, p. 323; Cerda y Villarroel 2008, p. 45; Hudson 1987).

La precisión de la clasificación para los períodos 2004-2019, se realizó por medio de colectada de datos de otros realizó proyectos, (ACCA, Consorcio Madre de Dios-Pando, y Consorcio Madre de Dios) (Alarcón et al. 2021; Alarcón et al. 2016; Alarcón et al. 2011; Chávez et al. 2012; Chávez et al. 2013; Chavez y Perz 2013; Perz et al. 2005; Perz et al. 2016; Perz et al. 2013). La validación del año 2020 se realizó a través de 210 puntos de verificación en campo (unidad mínima cartografiable 0,5 ha) y 172 puntos por medio de imágenes de mediana y alta resolución: PlanetScope (3 m) y WorldView (0,38 m) (Figura 8) (Alarcón et al. 2016, p. 323; Cerda y Villarroel 2008, p. 45).

“El protocolo de levantamiento de información de campo se basó al método aplicado por el Centro para el Estudio de Instituciones, Población y Cambios en el Medio Ambiente de la Universidad de la Indiana (CIPEC)” (Alarcón et al. 2016, p. 324; Chávez et al. 2013).

Tabla 7. Valoración del coeficiente kappa

Coeficiente Kappa	Fuerza de la Concordancia
0,81 – 1,00	Casi perfecta
0,61 – 0,80	Considerable
0,41 – 0,60	Moderada
0,21 – 0,40	Aceptable
0,01 – 0,20	Leve
0,00	Pobre

Fuente: Cerda y Villarroel (2008, p. 45); Landis y Koch (1977, p. 34).

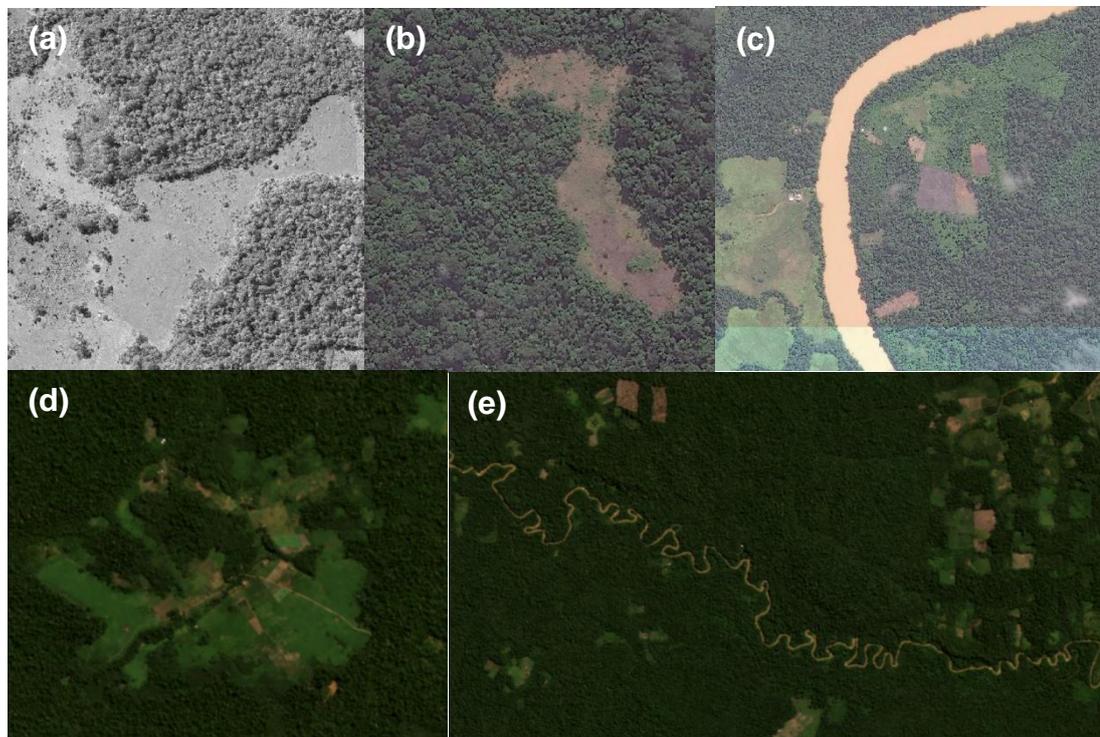


Figura 8. Validación de bosque y áreas mayormente naturales, áreas agrícolas, y superficies de agua con imágenes WorldView de 0,38 m x 0,38 m de resolución espacial (a, b y c) e imágenes PlanetScope de 3 m x 3 m de resolución espacial (d y e).

Fuente: Planet-Team (2021).

✓ Análisis estadístico

La investigación aplicó la estadística descriptiva e inferencial, para ello se utilizaron programas de acceso abierto y con licencia; Microsoft Excel, ArcGIS 10,8®, y el Google Earth Engine.

Para el primer, segundo y tercer objetivo, sobre determinar el uso del suelo, pérdida y tasa de la cubierta forestal en las concesiones de Castaña en la Microcuenca del río Manuripe, mediante la aplicación de imágenes de satélite Landsat-5 TM, -7 ETM+ y 8 OLI, períodos anuales 2004-2020, se utilizó la clasificación supervisada por medio del algoritmo predictivo Random Forest (Breiman 2001, p. 28). La precisión de la predicción fue validada a través de una matriz de confusión y el índice de Kappa (Alarcón et al. 2016).

El cuarto objetivo se analizó mediante la aplicación de imágenes de satélite Landsat-5 TM, -7 ETM+ y 8 OLI, períodos anuales 2004-2020, se empleó la estadística descriptiva espacial mediante el software ArcGIS 10,8® y Microsoft Excel (Alarcón et al. 2016, p. 321; CA 2007, p. 45; INRENA et al. 2006; Puyravaud 2003, p. 58).

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Clasificación, pérdida y tasa de cubierta forestal en concesiones forestales de castaña en la microcuenca del río Manuripe

4.1.1 Clasificación de imágenes

Las imágenes de satélite Landsat-5 TM, -7 ETM+ y 8 OLI, de períodos anuales 2004 al 2020 y Path/Row 002/068, 003/069 y 002/069, se descargó del portal de Google Earth Engine (GEE). La selección con sitio en que las imágenes tengan una baja presencia de nubosidad, por debajo del 10% (Figura 6 y 9).

Las áreas de entrenamiento para la colección de muestras en el área de estudio se utilizó la herramienta geométrica de GEE, funcionalidad que permite la ubicación, colecta y registro de perfiles las coberturas y uso de suelo para la clasificación de las imágenes satelitales.

La clasificación, considero las categorías en la leyenda nivel uno (1); adaptada por MINAM (2012) (Tabla 6) de CORINE Land Cover (IDEAM 2010). Bajo este criterio, se determinaron las siguientes categorías; (1) 150 muestras en bosque y áreas mayormente naturales, (2) 120 en áreas agrícolas, (3) 50 en superficies de agua, y (4) 62 en áreas artificializados (Figura 5 y 9).

La clasificación multiespectral supervisada basada en el algoritmo Random Forest (RF) (años 2004 al 2011), -7 ETM (año 2012) y las bandas 6, 5, 4 en Landsat 8 OLI (años 2013 al 2020) se realizó en el área de la microcuenca del río Manuripe (Figura 9 y 10), una vez validado, se procedió a recortar con el área de las concesiones forestales de castaña ubicadas en la microcuenca (Figura 12, 13, y 14).

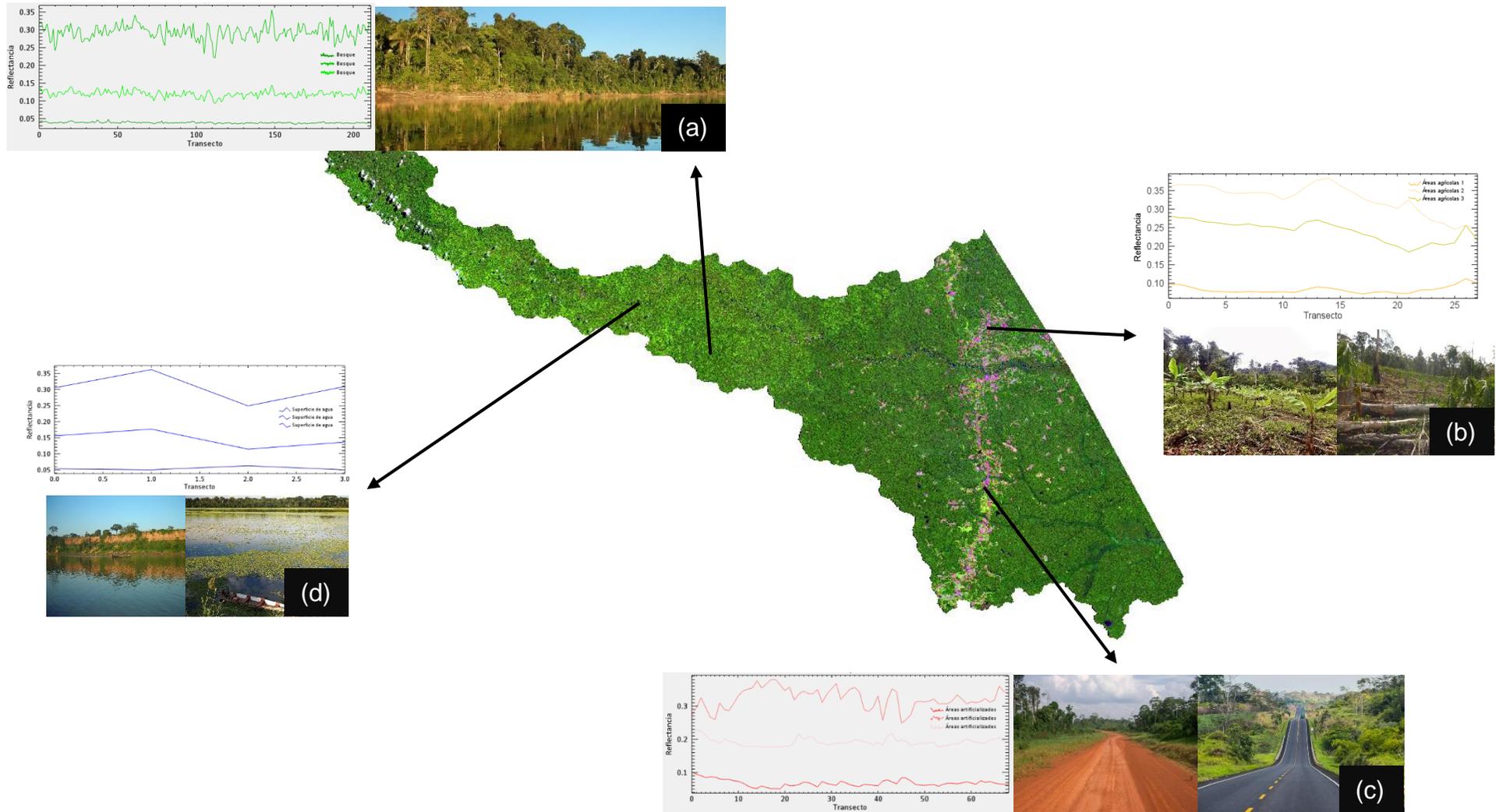


Figura 9. Imagen de Satélite Landsat, firmas espectrales en las bandas R (6) G (5) B (4); (a) Bosque y áreas mayormente naturales, (b) Áreas agrícolas, (c) Áreas artificializadas, y (d) Superficie de agua.

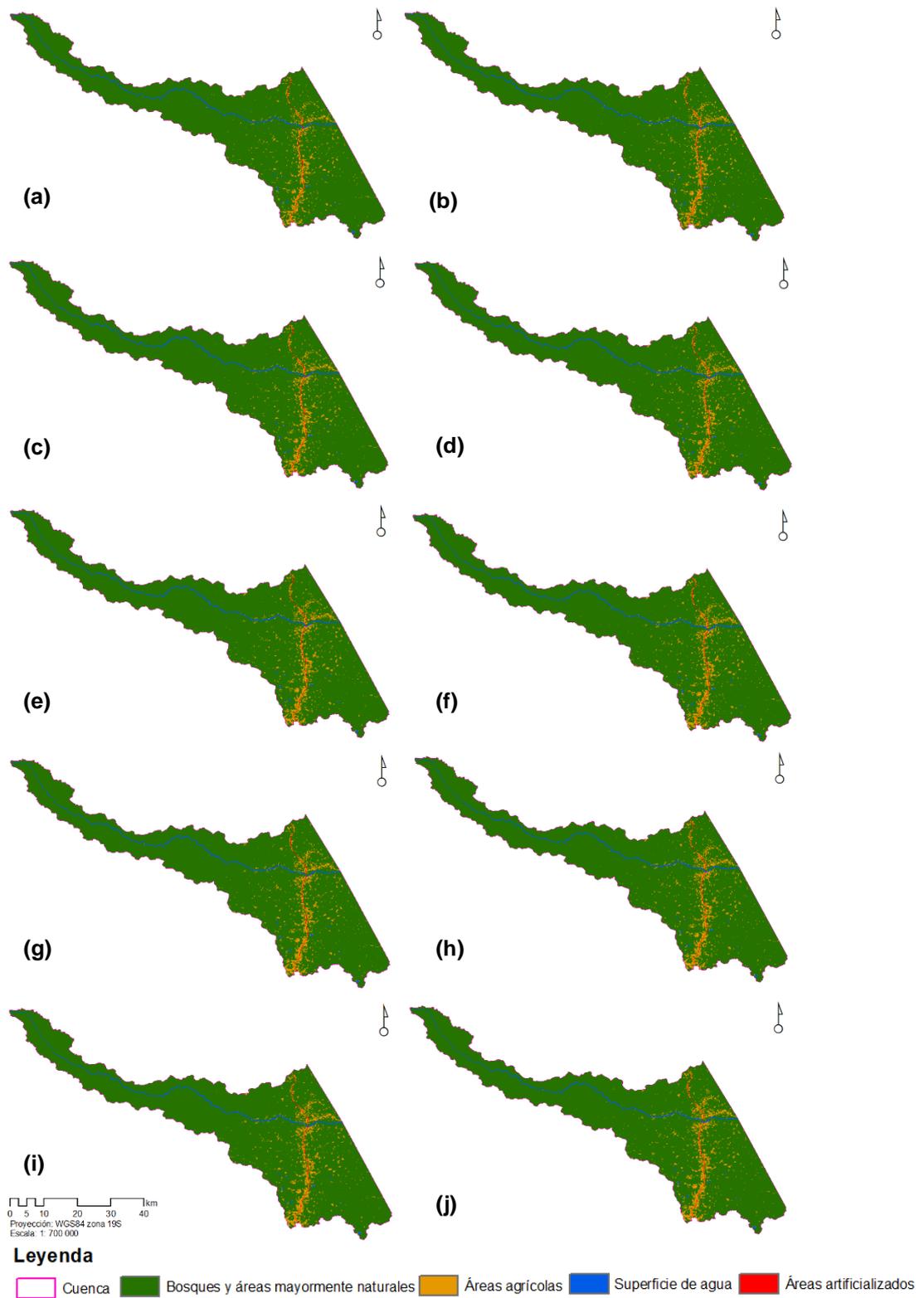


Figura 10. Uso de suelo en la microcuenca del río Manuripe – Madre de Dios, de los años 2004 (a), 2005 (b), 2006 (c), 2007 (d), 2008 (e), 2009 (f), 2010 (g), 2011 (h), 2012 (i), y 2013 (j).

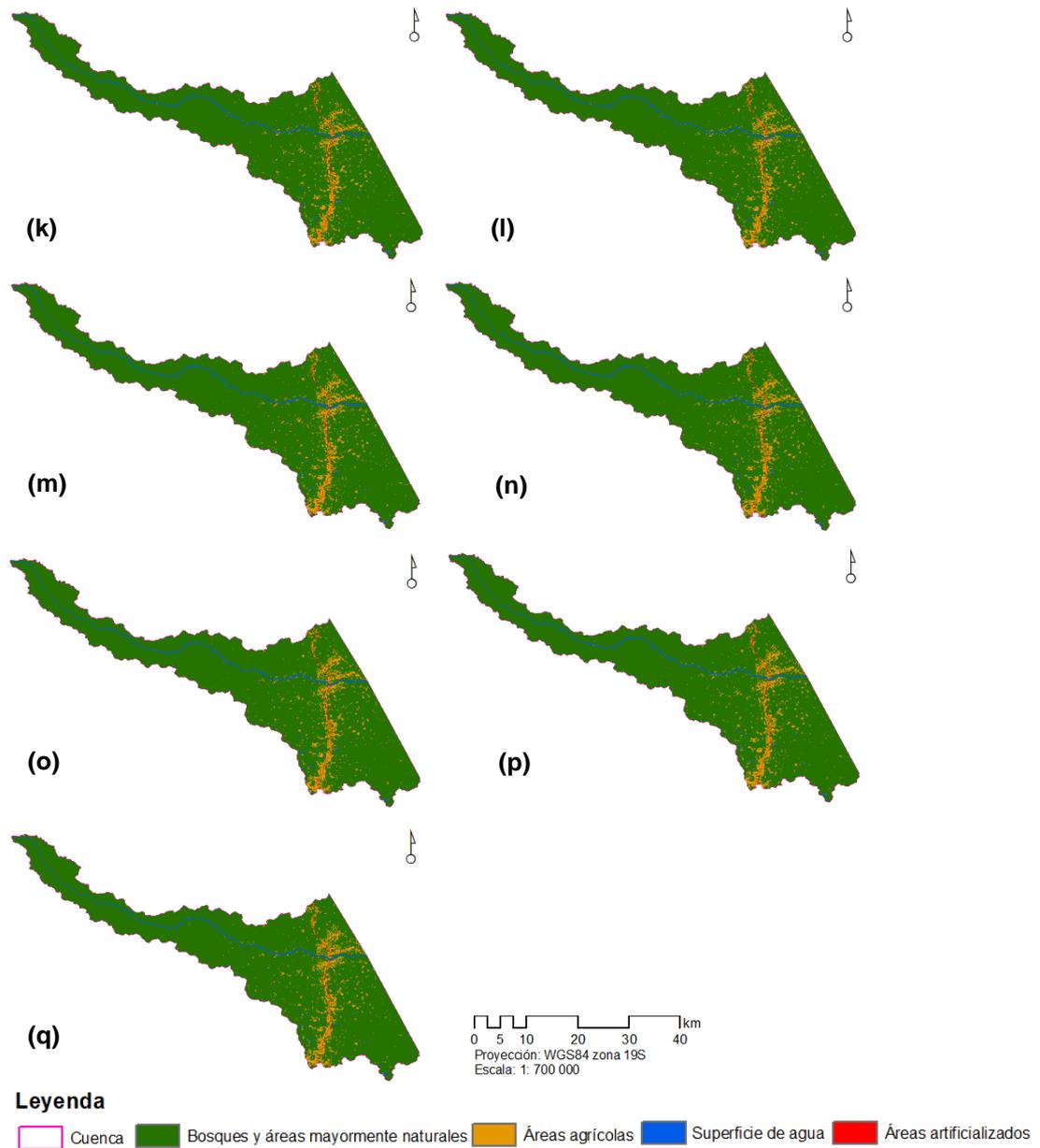


Figura 11. Uso de suelo en la microcuenca del río Manuripe – Madre de Dios, de los años 2014 (k), 2015 (l), 2016 (m), 2017 (n), 2018 (o), 2019 (p), y 2020 (q).

El Análisis espacio temporal de la cobertura y uso de suelo en concesiones de castaña en la microcuenca del río Manuripe de los años 2004 a 2020 (Tabla 8 y Figura 12, 13, 14), muestran que las áreas con fines para la agricultura es el principal y mayor motor en la pérdida de bosque (cobertura forestal). La dinámica de cambio de cobertura y uso de suelo ha avanzado progresivamente, pero no aceleradamente, siendo los mayores porcentajes de incremento respecto al año anterior 4,65% (2003), 3,36% (2004), 7,63%

(2005), 3,37% (2008), 4,93% (2013), 4,08% (2014), 4,72% (2015), 4,22% (2019), y 3,24% (2020).

Tabla 8. *Uso de suelo en el área de estudio*

Años	Categorías (ha)	
	Bosque y áreas mayormente naturales	Áreas agrícolas
2004	348 021,26	6 197,41
2005	347 548,22	6 670,43
2006	347 522,61	6 696,05
2007	347 400,90	6 817,75
2008	347 170,88	7 047,78
2009	347 004,00	7 214,66
2010	346 834,35	7 384,31
2011	346 645,34	7 573,33
2012	346 573,96	7 644,70
2013	346 197,09	8 021,57
2014	345 869,54	8 349,12
2015	345 475,64	8 743,02
2016	345 237,79	8 980,87
2017	345 249,64	8 969,01
2018	345 450,26	8 768,41
2019	345 079,94	9 138,71
2020	344 783,54	9 435,12

Según los datos de la investigación (Tabla 8 y Figura 12, 13, 14), nuestra evaluación reporta valores importantes. Inicialmente (año 2004), 6 197,41 ha de bosque (cobertura forestal) cambiaron para uso agrícola (pérdida de bosque) mientras que la pérdida de bosque al año 2020 alcanzó 9 435,12 ha, con variaciones espaciales (Figura 12, 13, 14, y 15). Seguidamente, a pesar de que las pérdidas relacionadas con la agricultura siguen una tendencia creciente y varían según los años evaluados, en el año 2017 y 2018

decrece en 11,86 ha y 200,61 ha respectivamente, lo que hace suponer que las áreas fueron abandonadas y empezó un proceso de recuperación a través de los procesos de sucesión.

Los resultados muestran la radiografía de los problemas que afronta la cuenca Amazónica y puntualmente la Amazonia peruana, las riquezas forestales sufren una presión frecuente para usos agrícolas, infraestructuras de acceso, y minería aurífera (Alarcón et al. 2021; Perz et al. 2016). Asimismo, la tecnología de teledetección es un instrumento fundamental en Amazónica monitoreo de los bosques de la cuenca Amazonia, como lo demuestran una serie de estudios (Alonso et al. 2010; Jiménez-Moreno et al. 2011; Ruiz et al. 2013) (López y Plata 2009). La situación es similar en el área de estudio. Nuestros resultados se asemejan a resultados reportados por el gobierno peruano e investigadores nacionales y extranjeros. Por el ejemplo, MINAM (2020) estima para la provincia de Tahuamanu 56 528 ha en total de área deforestada para el 2019, mientras que los resultados del presente estudio hacen referencia al área de las concesiones forestales de castaña ubicadas en la microcuenca del río Manuripe (20019 con 9 138,71 ha, y 2020 con 9 435,12 ha). Por otro lado, Alarcón et al. (2021); Alarcón et al. (2016) y Chávez et al. (2013) evaluaron dinámica de la pérdida de bosques en el sureste de la Amazonia peruana (Madre de Dios) y tendencias regionales de deforestación en la provincia de Tahuamanu, si bien, los resultados no coinciden, ello se debe, que espacialmente se tratan de superficies diferentes, sin embargo, a nivel de pérdidas anuales es concordante.

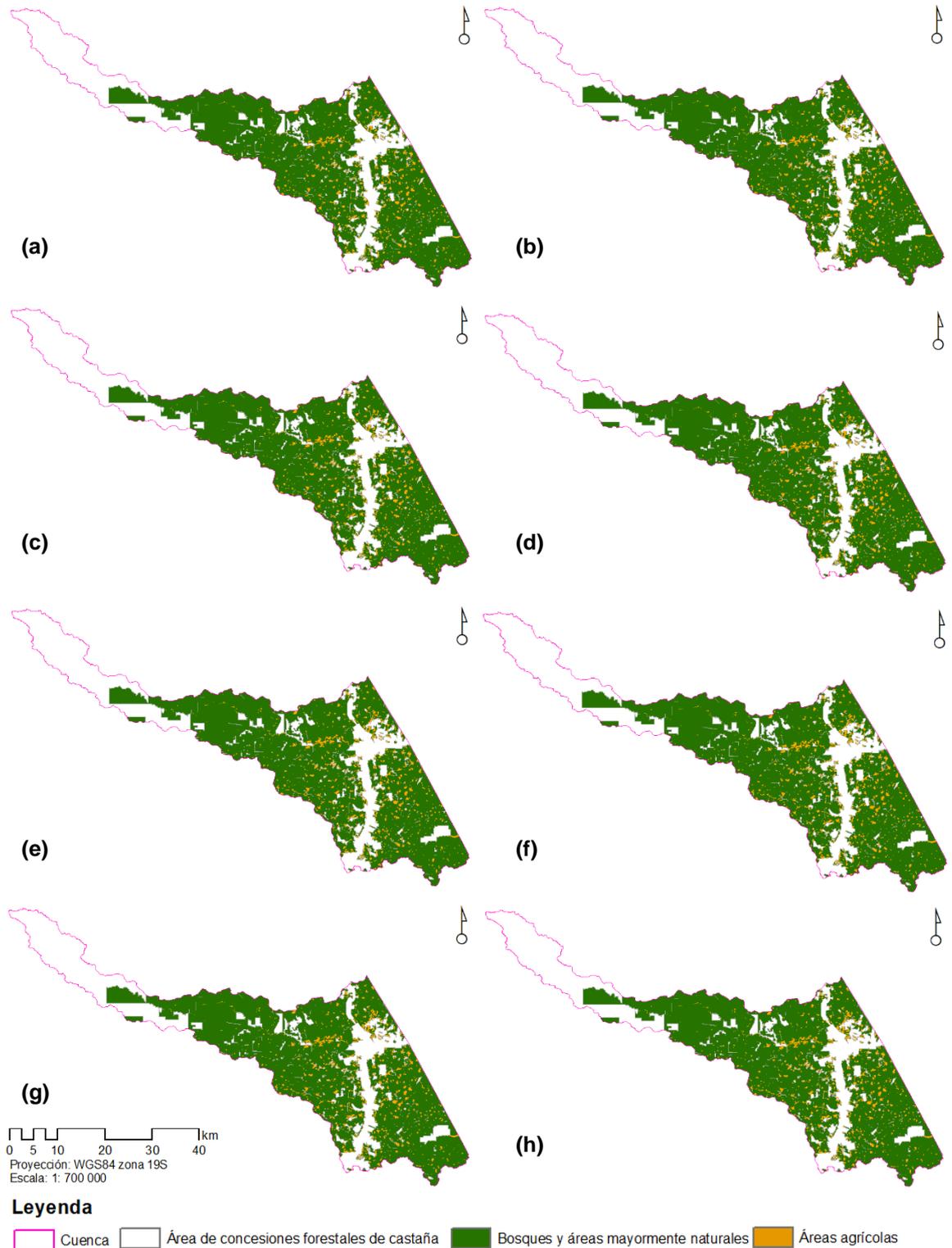


Figura 12. Uso de suelo en concesiones forestales de castaña en la microcuenca del río Manuripe – Madre de Dios, de los años 2004 (a), 2005 (b), 2006 (c), 2007 (d), 2008 (e), 2009 (f), 2010 (g), y 2011 (h).

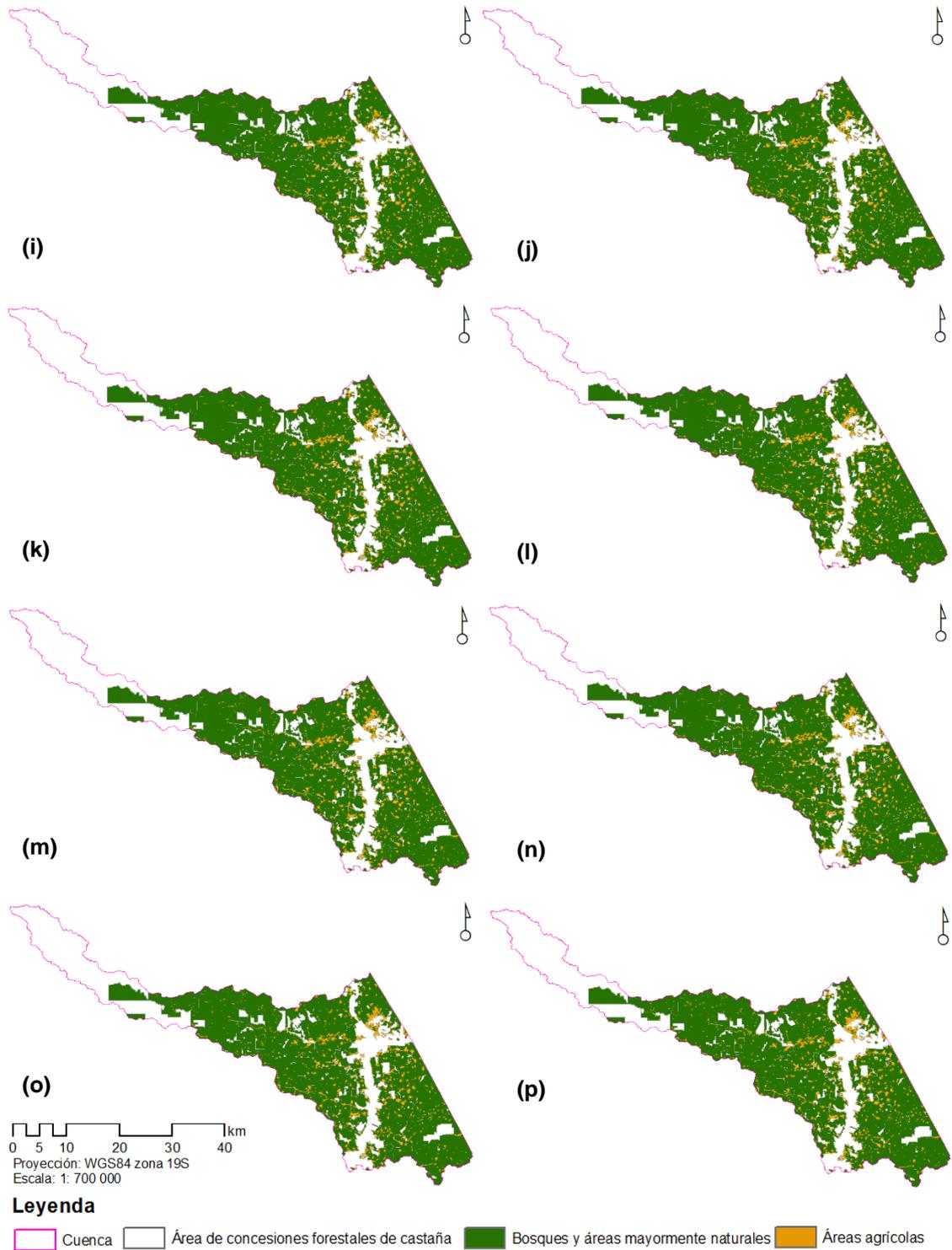


Figura 13. Uso de suelo en concesiones forestales de castaña en la microcuenca del río Manuripe – Madre de Dios, de los años 2012 (i), 2013 (j), 2014 (l), 2015 (l), 2016 (m), 2017 (n), 2018 (o), y 2019 (p).

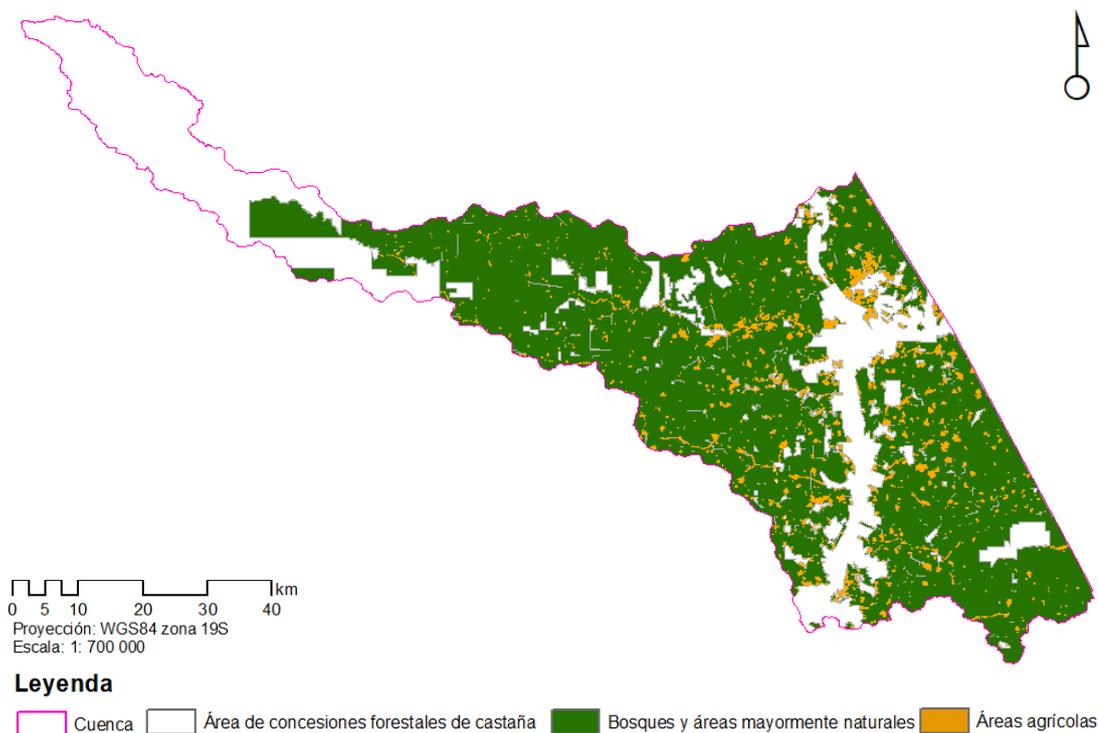


Figura 14. Uso de suelo en concesiones forestales de castaña en la microcuenca del río Manuripe – Madre de Dios, año 2020.

4.1.2 Pérdida de cubierta forestal (bosque)

La pérdida de bosque está relacionada con la agricultura, la conversión de cubierta forestal a áreas agrícolas ha cambiado en intensidad en los años evaluados, desde un mínimo de 29,06 ha (0,008%) en 2005-2006 a un máximo de 479,53 ha (0,138%) en 2004-2005 (Tabla 9 y Figura 15). Asimismo, presentan datos superiores al promedio de 374,23 ha (0,108%), 394,68 (0,114), y 373,35 ha (0,108%) para los años 2012-2013, 2014-2015, y 2018-2019 respectivamente.

Los resultados indican una tasa anual de pérdida (q) de 0,046% (160,11 ha/año) para los años 2004-2020 (Tabla 9 y Figura 15).

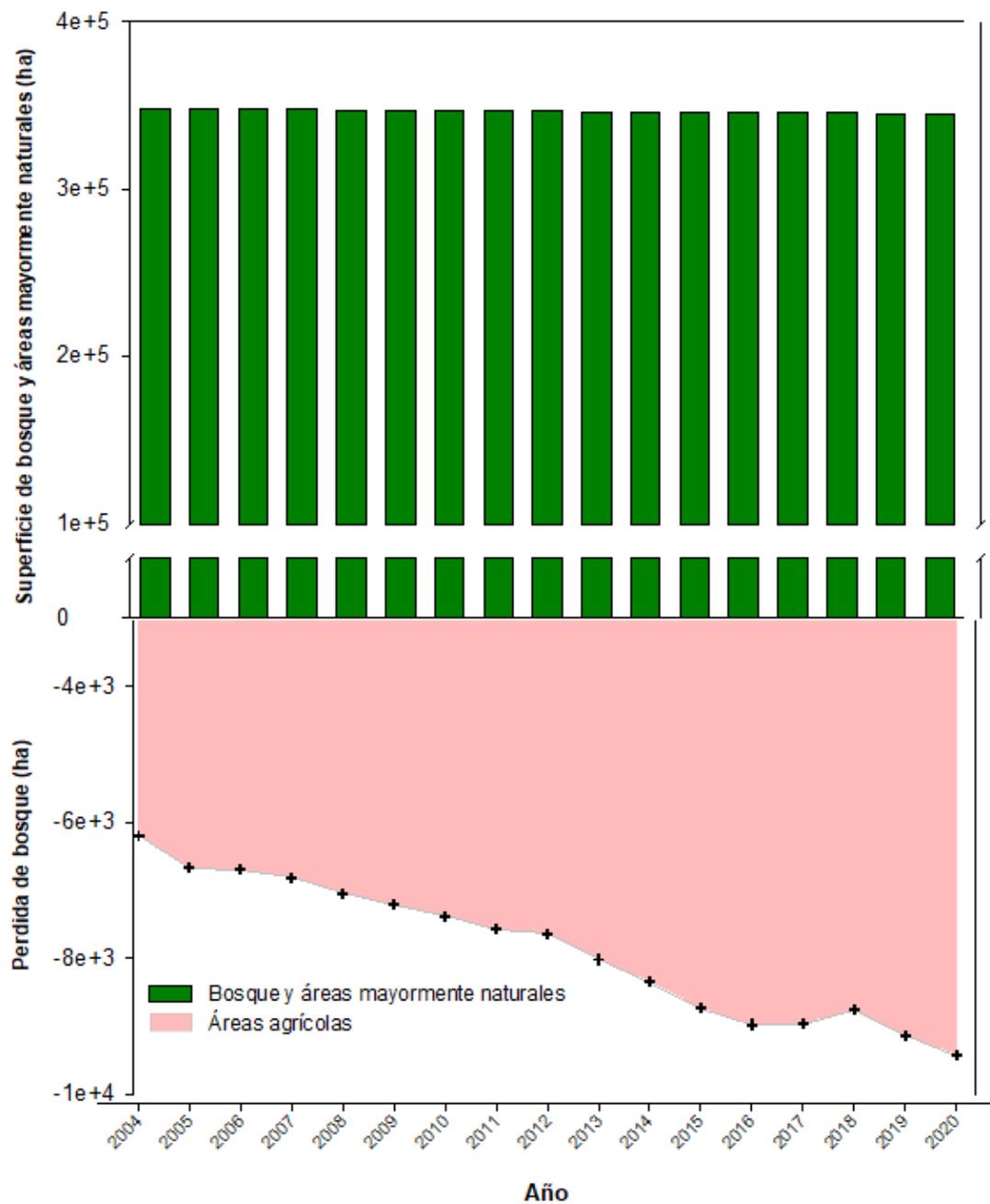


Figura 15. Pérdida de la cubierta forestal por tipo de actividad productiva en las concesiones forestales de castaña en la Microcuenca del río Manuripe.

No obstante, el análisis espacio temporal de los años 2016-2017 y 2017-2018 reporta valores inusuales, una tasa anual de pérdida (q) de -0,003% (10,35 ha/año) y de -0,058% (200,16 ha/año) respectivamente. Dando a entender, que podría tratarse de áreas abandonas donde la regeneración

natural a través de procesos de sucesión que viene recuperándose (Tabla 9 y Figura 15).

Tabla 9. *Tasa y pérdida de bosque (deforestación) anual promedio en el área de estudio*

Años	Tasa anual de pérdida de bosque (%)	Perdida de bosque total anual promedio (ha) (r)
2004-2005	0,138	479,53
2005-2006	0,008	29,06
2006-2007	0,036	125,19
2007-2008	0,069	239,87
2008-2009	0,047	162,02
2009-2010	0,048	165,01
2010-2011	0,055	191,47
2011-2012	0,021	73,13
2012-2013	0,108	374,23
2013-2014	0,095	327,56
2014-2015	0,114	394,68
2015-2016	0,069	239,50
2016-2017	-0,003	(-) 10,35
2017-2018	-0,058	(-) 200,16
2018-2019	0,108	373,35
2019-2020	0,082	283,90
2004-2020	0,046	160,11

Asimismo, la conversión de bosque a áreas agrícolas se distribuye en mayor magnitud cerca de las infraestructuras (vías) y superficies de agua

(Southworth et al. 2011), y como era de esperar, la cobertura boscosa presenta una tendencia decreciente, de 348 021,26 ha en 2004 a 344 783,54 ha en el 2020, representando el 1,07% (3 705,47 ha) (Tabla 8, Figura 14 y 15).

La información analizada muestra el área afectada por la pérdida de bosque en concesiones forestales de castaña ubicadas en la microcuenca del río Manuripe al año 2020. La pérdida de cobertura forestal para usos agrícolas entre 2004-2020 se estima en 9 435,12 ha y una tasa anual de pérdida (q) de 0,046% (160,11 ha/año) (Tabla 9 y Figura 15). Por otro lado, a pesar que la información sobre monitoreo satelital de los bosques son de carácter público, el gobierno (diferentes niveles) no desarrolla políticas de control y promoción de la agricultura migratoria en bosques de producción permanente y usos especiales (Alarcón et al. 2021; Bax y Francesconi 2018; Cortés-McPherson 2019; Goodman et al. 2019; Moody et al. 2020; Recanati et al. 2015; Scullion et al. 2014)

La pérdida de cubierta forestal en el área de estudio (9 435,12 ha) en 17 años (Figura 14), son mínimas en comparación a sectores de la región de Madre de Dios, otras regiones amazónicas del Perú y de la cuenca amazónica (Bennett et al., 2018; Murad y Pearse, 2018; Glinskis y Gutiérrez-Vélez, 2019; López et al., 2020; RAISG, 2020), sin embargo, no se puede desmerecer la amenaza de la agricultura sobre los bosques (Alarcón et al. 2021; Duff y Downs 2019; Ofosu et al. 2020; Oliveira et al. 2008). Las actividades vinculadas a la agricultura que incrementan la pérdida de bosques son; el aumento de cultivos agrícolas y de la ganadería extensiva, hallazgos que fueron evidenciados por investigadores (Bennett et al. 2018; Ofosu et al. 2020; Recanati et al. 2015; Tarazona y Miyasiro-López 2020).

Por otro lado, autores como Alarcón et al. (2021); Alarcón et al. (2016) y Chávez et al. (2013) evaluaron dinámica de la pérdida de bosques en el sureste de la Amazonia peruana (Madre de Dios) y tendencias regionales de deforestación en la provincia de Tahuamanu, si bien, los resultados no coinciden, ello se debe, que espacialmente se tratan de superficies diferentes, sin embargo, a nivel de pérdidas anuales son similares.

4.1.1 Evaluación de precisión de clasificación

El reporte de la precisión de la validación del algoritmo de clasificación supervisada Random Forest para los años 2004 al 2019, se procesaron con datos de campo históricos de proyectos como el Consorcio Madre de Dios-Pando, Consorcio Madre de Dios y base de datos regionales compartidos por investigadores locales y extranjeros (Alarcón et al. 2021; Alarcón et al. 2016; Alarcón et al. 2011; Chávez et al. 2012; Chávez et al. 2013; Chavez y Perz 2013; Perz et al. 2005; Perz et al. 2016; Perz et al. 2013).

Las categorías consideradas para los datos históricos fueron bosque y áreas mayormente naturales, y áreas agrícolas. Los resultados para 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, y 2019, reportaron una precisión global de 84,30%, 84,89%, 83,10%, 85,60%, 86,20%, 83,60%, 82,80%, 86,30%, 81,80%, 84,50%, 87,20%, 85,40%, 86,10%, 86,30%, 84,10%, y 85,15% respectivamente. Mientras que, el coeficiente Kappa (κ) mostro valores de 0,80, 0,81, 0,79, 0,81, 0,82, 0,79, 0,79, 0,82, 0,77, 0,80, 0,83, 0,81, 0,82, 0,80, 0,81, y 0,81. Según Hudson (1987); Cerda y Villarroel (2008); los valores muestran la fuerza de concordancia considerable (0,61-0,80) y casi perfecta ($> 0,81$), resultados que validan la confiabilidad de la cartografía de la pérdida de bosque y cambios de cobertura a otros usos en las concesiones forestales de castaña (Lesschen et al., 2005).

Respecto a la medición de la precisión de la clasificación de la imagen Landsat 8 OLI del año 2020, reporta un 84,31% de precisión global con un coeficiente Kappa de 0,80. Según Cerda y Villarroel (2008) los rangos de (κ) (0,893), representa una fuerza de concordancia con la observación considerable (0,61 – 0,80), encontrándonos ante una clasificación adecuada (Tabla 10 y Figura 8).

Tabla 10. *Precisión de resultados, imagen período 2020*

Nivel de clasificación	Referencia Totales	Clasificados Totales	Número Correcto	Productores (omisión) Precisión	Usuarios (comisión) Precisión
Bosque y áreas mayormente naturales (1)	150	165	125	83,33%	75,78%
Áreas agrícolas (2)	120	109	98	81,67%	89,91%
Áreas artificializadas (4)	62	66	57	91,94%	86,36%
Superficies de agua (3)	50	50	50	100%	100,00%
Totales	382	382	330		

En cuanto a los errores de la precisión de la omisión (productores) y comisión (usuarios) de la clasificación del año 2020, determinó una fiabilidad para cada una de las categorías de; de 150 puntos designadas para bosque y áreas mayormente naturales, 125 fueron clasificadas correctamente y 15 puntos de áreas agrícolas fueron consideradas como bosque. La categoría de áreas agrícolas utilizó 120 puntos de muestreo, de ellas 98 fueron asignadas correctamente y 4 confundidas con áreas artificializados. Para áreas artificializados se empleó 62 puntos, 57 fueron clasificadas correctamente. Mientras que, en la categoría de superficies de agua, todas las muestras fueron clasificadas adecuadamente. En este sentido, podemos asegurar que las etapas de la investigación; muestreo, la fase del entrenamiento, de preprocesamiento de las muestras de aprendizaje/control y método de clasificación han sido correctos (Hart 1968; Pontius 2000; Preparata y Shamos 1985).

4.2 Cambios de cobertura y uso del suelo

El análisis de imágenes de satélite en las concesiones forestales de castaña ubicadas en la microcuenca del río Manuripe permite cuantificar los cambios de uso de suelo (Figura 16, 17, y 18), los datos reportan una tendencia creciente pero irregular en la pérdida de bosque debido a la

agricultura. Los años analizados de cambio de bosque mostraron una menor cuantificación en los años 2005-2006 con 196,39 ha y una máxima de 1 023,67 ha para el 2019-2020. La actividad que más aporta al cambio de cobertura (bosque) y uso del suelo es la agricultura con un 100% (Tabla 11).

En el área de las concesiones forestales de castaña, el cambio de bosque a otros usos es de 4 681,36 ha (2004-2020), donde la agricultura representa el 100%. La persistencia de áreas agrícolas en los años de evaluación de cambio, en promedio representa 4 711,07 ha. Los mapas de la pérdida de bosque generados y los cambios causados corroboran una tendencia creciente pero irregular (Tabla 11 y Figura 18). Esta dinámica, origina que las áreas agrícolas se incrementaran en nueve (9) veces desde 2004 hasta el 2020 (Figura 18).

Aproximadamente el inicio del incremento de los cambios se da entre los años 2001 y 2006, con la pavimentación de la Carretera Interoceánica (Alarcón et al. 2016; Chávez et al. 2013; Perz et al. 2013). El desarrollo inminente de la pavimentación del corredor vial aumentó el valor de las tierras trajo consigo el aumento espacial de cultivos y pastos, con mayor impacto en la cercanía a las infraestructuras de acceso (Alarcón et al. 2021; Alarcón et al. 2016; Perz et al. 2016; Perz et al. 2013; Southworth et al. 2011).

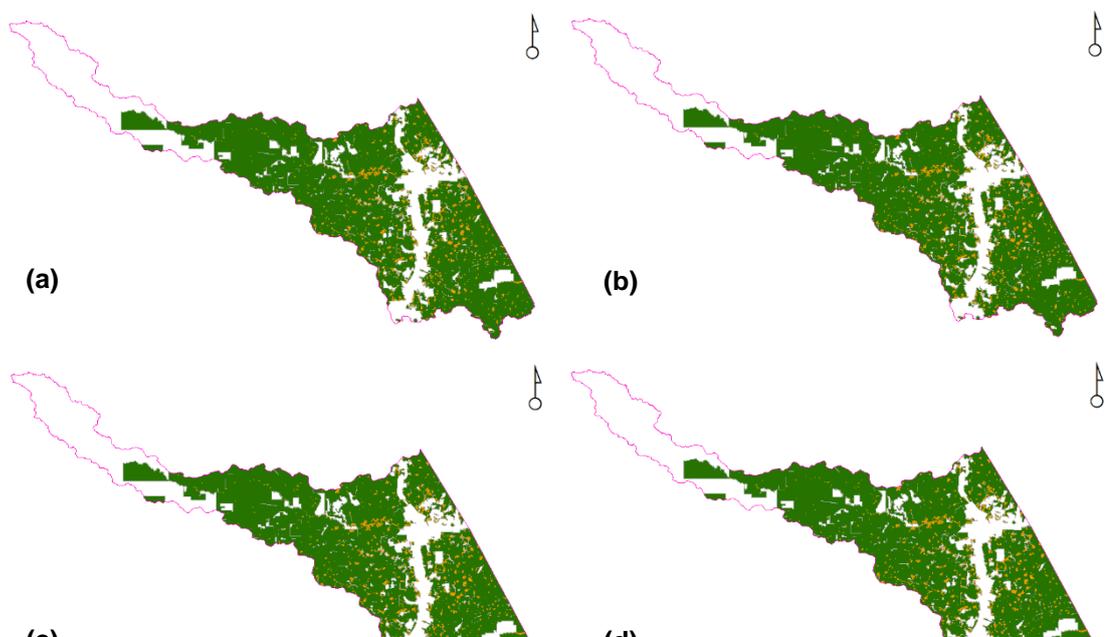
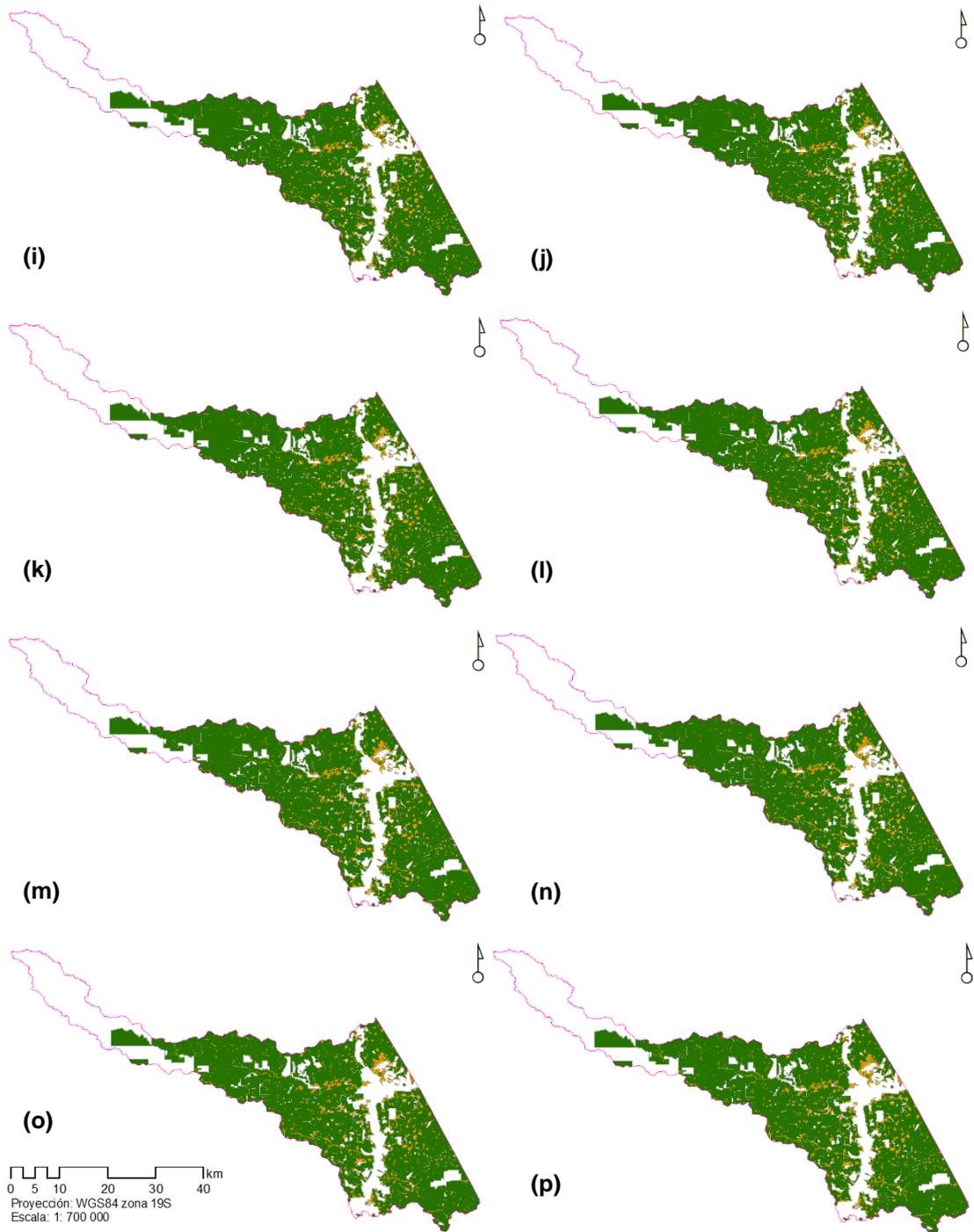


Figura 16. Cambio de cobertura y uso de suelo en concesiones forestales de castaña en la microcuenca del río Manuripe – Madre de Dios, de los años de los años 2004-2005 (a), 2005-2006 (b), 2006-2007 (c), 2007-2008 (d), 2008-2009 (e), 2009-2010 (f), 2010-2011 (g), y 2011-2012 (h).



Legenda

Manuripe Área de concesiones forestales de castaña

Cambios de cobertura y uso de suelo: 1= Bosques y áreas mayormente naturales, 2 = Áreas agrícolas

1 12 21 22

Figura 17. Cambio de cobertura y uso de suelo en concesiones forestales de castaña en la microcuenca del río Manuripe – Madre de Dios, de los años de los años 2012-2013 (i), 2013-2014 (j), 2014-2015 (k), 2015-2016 (l), 2016-2017 (m), 2017-2018 (n), 2018-2019 (o), y 2019-2020 (p).

Tabla 11. Cambio de uso de suelo en concesiones forestales de castaña en la microcuenca del río Manuripe

Cambio de uso de suelo (ha)				
Años	Persistencia de bosque	Persistencia áreas agrícolas	Bosque a áreas agrícolas	Áreas agrícolas a vegetación
2004-2005	347 486,70	6 118,15	542,21	71,60
2005-2006	347 356,46	6 495,10	196,39	170,71
2006-2007	347 307,68	6 597,01	217,64	96,32
2007-2008	347 089,92	6 682,37	333,08	113,28
2008-2009	346 896,63	6 887,37	303,43	131,22
2009-2010	346 727,59	7 098,96	279,86	112,24
2010-2011	346 570,44	7 300,79	268,12	79,31
2011-2012	346 439,17	7 430,69	210,47	138,33
2012-2013	346 146,40	7 581,10	432,98	58,18
2013-2014	345 665,31	7 806,30	536,50	210,56
2014-2015	345 335,79	8 194,28	541,21	147,37
2015-2016	345 028,23	8 517,14	454,37	218,92
2016-2017	344 971,61	8 683,29	275,88	287,87
2017-2018	345 022,70	8 523,94	236,20	435,81
2018-2019	345 069,57	8 752,63	383,28	13,17
2019-2020	344 093,97	8 370,37	1 023,67	730,64
2004-2020	343 370,47	4 711,07	4 681,36	1 455,76

En el año 2010 el Consorcio responsable culmina la pavimentación del Tramo III del Corredor Vial Interoceánico-Sur, infraestructura que conecta al área de estudio y a gran parte de la región de Madre de Dios, con ello, se da inicio a la pérdida más drástica de bosques e impactante causada anteriormente en la región (Alarcón et al. 2021; Alarcón et al. 2016; Asner et

al. 2013; Asner y Tupayachi 2017; Caballero et al. 2018; MINAM 2020). Esta importante vía de comunicación, trajo consigo una alta inmigración a Madre de Dios (Asner y Tupayachi 2017; Swenson et al. 2011), y en el área de estudio permitió la invasión de áreas con fines urbanos, de acceso y la expansión de la frontera agrícola (Alarcón et al. 2021; Alarcón et al. 2016; Chávez et al. 2013; Perz et al. 2016; Perz et al. 2013), pero, en menor proporción, ello debido en gran medida a la seguridad jurídica de los títulos habilitantes forestales (Alarcón et al. 2021; Anderson et al. 2019; Chávez et al. 2013; MINAM 2020; Perz et al. 2013).

Los resultados se asemejan a hallazgos encontrados por otros estudios, donde la mayor responsable de la conversión sistemática de bosque a otros usos, es la agricultura; por ejemplo Alarcón et al. (2021) cuantificaron para el año 2014-2018, 84 141,08 ha, siendo la agricultura el principal factor del incremento de la deforestación (72,90%). De igual manera Anderson et al. (2019) reportaron que las tasas de deforestación se dan en menor proporción en aquellas concesiones forestales de castaña que asumen sus compromisos de sostenibilidad. Las concesiones que recibieron multas tuvieron una tasa de deforestación más alta (0,129%/año) en comparación con las concesiones que no recibieron multas (0,109%/año). Confirmando la seguridad jurídica de los títulos habilitantes forestales, así como las exigencias de manejo y la certificación voluntaria de las concesiones forestales (Anderson et al. 2019; Arce 2021; Ehrenberg-Azcárate y Peña-Claros 2020; Hajek et al. 2011; Villacorta 2020). De igual manera, los predios agrícolas con título, y territorio de comunidades indígenas reconocidas y tituladas, que en muchos casos desarrollan la actividad forestal, por consiguiente, se rigen a la normativa del Servicio Nacional Forestal (SERFOR) del Perú (Fitts 2017; Montalvo 2015; Villacorta 2020).

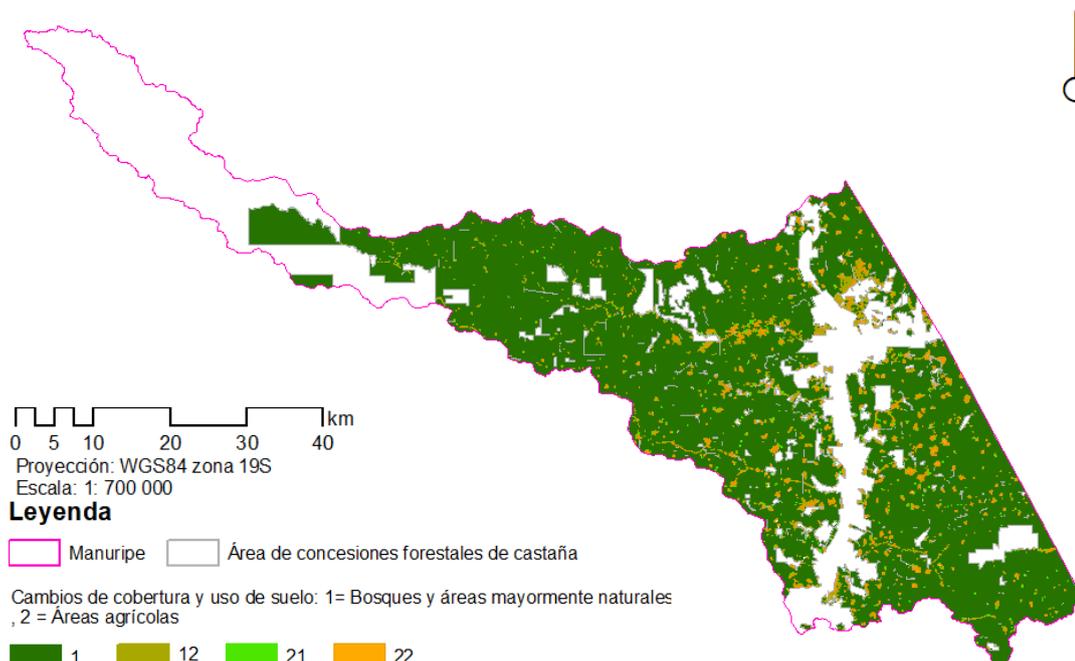


Figura 18. Cambio de cobertura y uso de suelo en concesiones forestales de castaña en la microcuenca del río Manuripe – Madre de Dios, de los años 2004-2020.

A nivel histórico (2004-2020), la variación espacial temporal de la pérdida de bosque está relacionada con la infraestructura de acceso (vías asfaltadas, carreteras, trochas, y áreas urbanas) y otros medios, como ríos y quebradas (Figura 19). Después del año 2010, donde se culmina la pavimentación del Tramo III del Corredor Vial Interoceánico-Sur, la pérdida de bosque (cobertura forestal) por efecto de agricultura en el área de estudio se incrementa considerablemente (Perz et al. 2016). La distancia a las carreteras influye en los cambios de bosque a otros usos, según Southworth et al. (2011) en Madre de Dios la distancia promedio corresponde a 18 km. Ello debido, a que la infraestructura de acceso aumenta la conectividad, transporte de personas y comercio, que agudizan el cambio de paisaje (Perz et al. 2016). Por otro lado, Baraloto et al. (2015) evaluó los efectos de la carretera sobre los bosques en la frontera Amazónica Trinacional; Madre de Dios-Perú, Acre-Brasil, y Pando-Bolivia (MAP), contrastando la “débil relación entre la proximidad de la carretera y el valor del bosque”. Las áreas más próximas a las infraestructuras de acceso presentan áreas más fragmentadas o deforestadas que las alejadas, en el rango de 5 km de vías o caminos sin

pavimentar, ocurren las mayores tasas de pérdida de bosque (Baraloto et al. 2015).

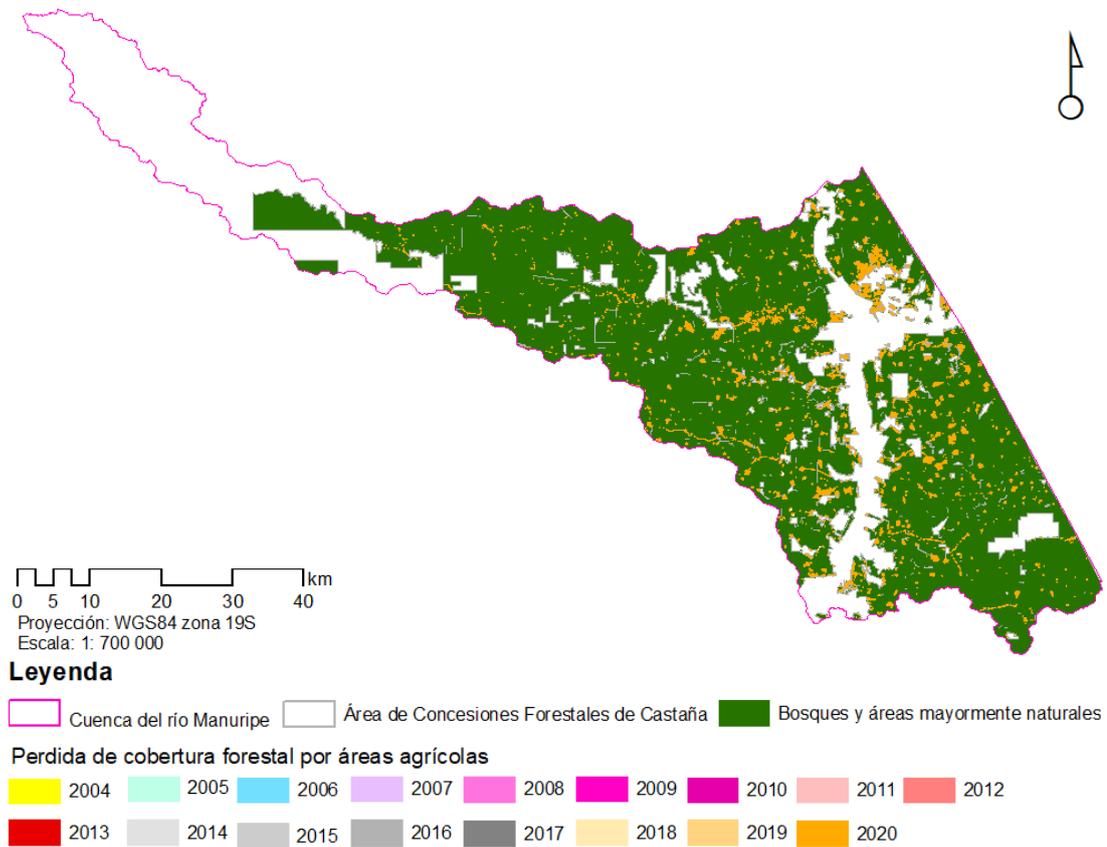


Figura 19. Cambio de cobertura y uso de suelo histórico en concesiones forestales de castaña en la microcuenca del río Manuripe – Madre de Dios, de años anuales de 2004 al 2020.

CONCLUSIONES

La cuantificación del análisis del espacio temporal de uso de suelo mediante la aplicación de imágenes del satélite Landsat-5 TM, -7 ETM+, y 8 OLI a través del algoritmo de clasificación supervisada Random Forest (años 2004 a 2020), reporta 344 783,54 ha de bosque y áreas mayormente naturales y, 9 435,12 ha de áreas agrícolas. La precisión de la clasificación con datos de campo histórico muestra un índice de kappa con una fuerza de concordancia considerable (0,60-0,80; años 2004, 2005, 2006, 2007, 2009, 2010, 2012, 2013, 2014, 2015, 2017, 2018, y 2019) y casi perfecta ($> 0,81$; años 2008, 2011, y 2016). La clasificación del año 2020 reportó una precisión global de 84,31%, y un índice de kappa considerable (0,80).

En 17 años (2004 a 2020) se perdieron 9 435,12 ha de bosque, con una tasa anual de 160,11 ha/año ($q= 0,046\%$). La pérdida de bosque más intensa fue en el período 2004-2005 y 2014-2015, con una tasa anual de 479,53 ha /año y 394,68 ha/año respectivamente.

Respecto al cambio de cobertura y uso de suelo, en 17 años, 4 681,36 ha de bosque pasaron para usos agrícolas. La agricultura y la infraestructura de acceso son las principales causas de la pérdida de bosque (cobertura forestal) en la microcuenca del río Manuripe (Madre de Dios), sin embargo, en el área de estudio la mayor causa de la conversión de bosque es la agricultura.

Finalmente, se rechaza la hipótesis nula, donde la pérdida de cobertura forestal a otros usos del suelo en concesiones de castaña mediante la aplicación de tecnologías de satélite Landsat-5 TM, -7 ETM+ y 8 OLI en la microcuenca del río Manuripe, entre los períodos 2004-2020, no tiene una tendencia creciente.

RECOMENDACIONES

El avance tecnológico en teledetección espacial permite el monitoreo de la cuenca Amazónica casi en tiempo real, porque lo es necesario, que las entidades gubernamentales vinculadas con la gestión del territorio incorporen centros o unidades especializadas en el área.

Las entidades académicas y científicas deben estar a la par con los avances científicos y tecnológicos en teledetección espacial, con la finalidad de incorporar profesionales acordes al mercado laboral.

La UNAMAD, por medio la carrera profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente debe invertir en la adquisición de tecnología (hardware y software) y capacitación especializada a los formadores.

Se debe continuar con más estudios aplicados en el monitoreo de bosque en la Amazonia peruana con imágenes de alta resolución.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALARCÓN, G., DIAZ-REVOREDO, J. L. y BARRIGA-PAREDES, V. Á. M. Dinámica de la pérdida de bosques en el sureste de la Amazonia peruana 2021.

ALARCÓN, G., DÍAZ, J., VELA, M., GARCÍA, M. y GUTIÉRREZ, J. Deforestación en el sureste de la amazonia del Perú entre los años 1999-2013; caso Regional de Madre de Dios (Puerto Maldonado–Inambari). *Journal of High Andean Research*, 2016, 18(3), 319-330.

ALARCÓN, G., FRISANCHO, R., CORREA, G., ULLOA, J., VELA, M., DÍAZ, J., PUMA, M., PORTAL, L., BOURONCLE, C., MENDOZA, J. R. y VÁSQUEZ, J. Detección de cambios de cobertura boscosa a través del análisis multitemporal de imágenes satelitales en el distrito de Inambari. *Biodiversidad Amazonica*. ISSN: 2075-8081, 2011, 3, 9.

ALONSO, F., GOMARIZ, F. y CÁNOVAS, F. J. C. Y. G. Análisis temporal de los cambios de usos del suelo en la cuenca del Segura mediante teledetección. *Implicaciones sobre la degradación* 2010, 24(3), 73-88.

ANAYA, J. A. y CHUVIECO, E. Validación para Colombia de la estimación de área quemada del producto L3JRC en el periodo 2001-2007/Validation of the L3JRC burned area product estimation in Colombia from 2001 to 2007. *Actualidades Biológicas*, 2010, 32(92), 29.

ANDERSON, C. M., ASNER, G. P. y LAMBIN, E. F. Lack of association between deforestation and either sustainability commitments or fines in private concessions in the Peruvian Amazon. *Forest Policy and Economics*, 2019/07/01/ 2019, 104, 1-8.

ARCE, R. Bosques y seguridad nacional. *Revista de Ciencia e Investigación en Defensa*, 2021, 2(2), 73-86.

ARMENTERAS, D. y ERASO, N. R. Dinámicas y causas de deforestación en bosques de latino américa: una revisión desde 1990 2014, 17(2), 233.

ASNER, G. P., LLACTAYO, W., TUPAYACHI, R. y LUNA, E. R. Elevated rates of gold mining in the Amazon revealed through high-resolution monitoring. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2013, 110(46), 18454-18459.

ASNER, G. P. y TUPAYACHI, R. Accelerated losses of protected forests from gold mining in the Peruvian Amazon. *Environmental Research Letters*, 2017, 12(9), 94-104.

BARALOTO, C., ALVERGA, P., QUISPE, S. B., BARNES, G., CHURA, N. B., DA SILVA, I. B., CASTRO, W., DA SOUZA, H., DE SOUZA MOLL, I. E. y CHILO, J. D. A. Effects of road infrastructure on forest value across a tri-national Amazonian frontier. *Biological conservation*, 2015, 191, 674-681.

BAX, V. y FRANCESCONI, W. Environmental predictors of forest change: An analysis of natural predisposition to deforestation in the tropical Andes region, Peru. *Applied Geography*, 2018/02/01/ 2018, 91, 99-110.

BENNETT, A., RAVIKUMAR, A. y PALTÁN, H. The Political Ecology of Oil Palm Company-Community partnerships in the Peruvian Amazon: Deforestation consequences of the privatization of rural development. *World Development*, 2018/09/01/ 2018, 109, 29-41.

BOCCO, G., MENDOZA, M. y MASERA, O. R. J. I. G. La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán: Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación 2001, (44), 18-36.

BREIMAN, L. Random forests. *Machine learning*, 2001, 45(1), 5-32.

Comunidad Andina (CA). ¿ Y POR DÓNDE COMENZAMOS? Prioridades de la Comunidad Andina ante el Cambio Climático. Lima, Peru: Secretaría General de la Comunidad Andina, 2007.

CABALLERO, J., MESSINGER, M., ROMÁN-DAÑOBEYTIA, F., ASCORRA, C., FERNANDEZ, L. E. y SILMAN, M. Deforestation and forest degradation due to gold mining in the Peruvian Amazon: A 34-year perspective. *Remote Sensing*, 2018, 10(12), 1903.

CERDA, J. y VILLARROEL, L. Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. *Revista chilena de pediatría*, 2008, 79(1), 54-58.

CHÁVEZ, A., GUARIGUATA, M. R., CRONKLETON, P., MENTON, M., CAPELLA, J. L., ARAUJO, J. P. y QUAEDVLIEG, J. Superposición espacial en la zonificación de bosques en Madre de Dios: implicaciones para la sostenibilidad del recurso castaño. 2012.

CHÁVEZ, A., HUAMANI, L., FERNANDEZ, R., BEJAR, N., VALERA, F., PERZ, S., BROWN, I., DOMÍNGUEZ, S., PINEDO, R. y ALARCÓN, G. Regional Deforestation Trends within Local Realities: Land-Cover Change in Southeastern Peru 1996–2011. *Land*, 2013, 2(2), 131.

CHAVEZ, A. B. y PERZ, S. G. Path dependency and contingent causation in policy adoption and land use plans: The case of Southeastern Peru. *Geoforum*, 2013, 50, 138-148.

CHUVIECO, E. Empleo de imágenes de satélite para medir la estructura del paisaje: análisis cuantitativo y representación cartográfica. *Serie Geográfica*, 1996a, 6, 131-147.

----- *Fundamentos de teledetección espacial*. Edtion ed.: Ediciones Rialp, 1996b. ISBN 843213127X.

----- Teledetección espacial: la observación de la Tierra desde el espacio 2002.

----- Teledetección ambiental: La observación de la tierra desde el espacio. 2008.

CHUVIECO, E. y HANTSON, S. Procesamiento estándar de imágenes Landsat. Documento técnico de algoritmos a aplicar. Version1. Plan Nacional de Teledetección. Instituto Geográfico Nacional. En línea; http://www.ign.es/PNT/pdf/especificacionestecnicas-pnt-medar-landsat_v2-2010.pdf, 2010.

CHUVIECO SALINERO, E. Teledetección ambiental: La observación de la tierra desde el espacio. 2008.

CORTÉS-MCPHERSON, D. Expansion of small-scale gold mining in Madre de Dios: 'capital interests' and the emergence of a new elite of entrepreneurs in the Peruvian Amazon. *The Extractive Industries and Society*, 2019/04/01/ 2019, 6(2), 382-389.

DONG, J., METTERNICHT, G., HOSTERT, P., FENSHOLT, R. y CHOWDHURY, R. R. Remote sensing and geospatial technologies in support of a normative land system science: Status and prospects. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2019, 38, 44-52.

DOUROJEANNI, M. Esbozo de una nueva política forestal peruana. *Revista Forestal del Perú*, 2019, 34(1), 4-20.

DUFF, P. M. y DOWNS, T. J. Frontline narratives on sustainable development challenges/opportunities in the 'illegal' gold mining region of Madre de Dios, Peru: Informing an integrative collaborative response. *The Extractive Industries and Society*, 2019/04/01/ 2019, 6(2), 552-561.

EHRENBERG-AZCÁRATE, F. y PEÑA-CLAROS, M. Twenty years of forest management certification in the tropics: Major trends through time and among continents. *Forest Policy and Economics*, 2020/02/01/ 2020, 111, 102050.

ELIJAH, R. y JENSEN, J. R. Remote sensing of mangrove wetlands: relating canopy spectra to site-specific data 1996.

ESCOBAR, A. A. H., RODRÍGUEZ, M. P. R., LÓPEZ, B. M. P., GANCHOZO, B. I., GÓMEZ, A. J. Q. y PONCE, L. A. M. *Metodología de la investigación científica*. Edtion ed.: 3Ciencias, 2018. ISBN 8494825704.

FAO. Clasificaciones de la tierra. 2000.

FITTS, L. A. Estudio de caso: Impactos socioeconómicos del manejo forestal comunitario aplicado en la comunidad nativa Sinchi Roca I-Ucayali 2017.

GARCÍA, M. L., BRONDO, J. É. y PÉREZ, M. A. Satélites de Teledetección para la Gestión del Territorio 2012, 11.

GHARBIA, R., AZAR, A. T., BAZ, A. E. y HASSANIEN, A. E. Image fusion techniques in remote sensing. arXiv preprint arXiv:1403.5473, 2014.

GOODMAN, R. C., HARMAN ARAMBURU, M., GOPALAKRISHNA, T., PUTZ, F. E., GUTIÉRREZ, N., MENA ALVAREZ, J. L., AGUILAR-AMUCHASTEGUI, N. y ELLIS, P. W. Carbon emissions and potential emissions reductions from low-intensity selective logging in southwestern Amazonia. *Forest ecology and management*, 2019/05/01/ 2019, 439, 18-27.

GORELICK, N., HANCHER, M., DIXON, M., ILYUSHCHENKO, S., THAU, D. y MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 2017, 202, 18-27.

GOREMAD y IIAP. Macro Zonificación Ecológica Económica de Madre de Dios. *Madre de Dios - Perú*, 2009, p. 208.

GUTIÉRREZ, C. y NIETO, Á. L. *Teledetección: nociones y aplicaciones*. Edtion ed.: carlos perez, 2006. ISBN 8461116135.

HAJEK, F., VENTRESCA, M. J., SCRIVEN, J. y CASTRO, A. Regime-building for REDD+: Evidence from a cluster of local initiatives in south-eastern Peru. *Environmental Science & Policy*, 2011/03/01/ 2011, 14(2), 201-215.

HART, P. The condensed nearest neighbor rule (Corresp.). *IEEE transactions on information theory*, 1968, 14(3), 515-516.

HERNÁNDEZ, H. y MONTANER, D. Patrones de respuesta espectral. *Tecnologías Geoespaciales: Experiencias Aplicadas al Estudio y Gestión del Territorio*. Carlos Mena (Ed.) ISBN, 2009, 978-996.

HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, P. *Metodología de la Investigación (Quinta edición ed.)*.(J. Mares Chacón, Ed.) Mexico, México DF. Edtion ed.: McGraw-Hill/Interamericana Editores, SA de CV, 2010.

HIJMANS, R. J. y VAN ETEN, J. raster: Geographic data analysis and modeling. R package version, 2014, 2(8).

HUDSON, W. D. Correct formulation of the kappa coefficient of agreement. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1987, 53(4), 421-422.

IDEAM. Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia escala 1: 100.000. In.: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), and Corporación Aotónoma Regional del Magdalena (CORMAGDALENA), Bogotá, Colombia, 2010.

INEI. Magnitud y Crecimiento Poblacional. 2017.

INRENA, SZF, y CDC-UNALM. Hacia un Sistema de Monitoreo Ambiental Remoto Estandarizado para el SINANPE. Piloto V: Parque Nacional Manu,

Parque Nacional Alto Purús, Reserva Comunal Purús y Santuario Nacional Megantoni (2000-2005). Lima-Perú 2006, 66.

JENSEN, J. R., LIN, H., YANG, X., RAMSEY III, E., DAVIS, B. A. y THOEMKE, C. W. The measurement of mangrove characteristics in southwest Florida using SPOT multispectral data. *Geocarto International*, 1991, 6(2), 13-21.

JIMÉNEZ-MORENO, M. J., GONZÁLEZ-GUILLEN, M. D. J., ESCALONA-MAURICE, M., VALDEZ-LAZALDE, J. R. y AGUIRRE-SALADO, C. A. Comparación de métodos espaciales para detectar cambios en el uso del suelo urbano. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 2011, 17(3), 389-406.

KULKARNI, A. D. y LOWE, B. Random forest algorithm for land cover classification 2016.

LANDIS, J. R. y KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. *biometrics*, 1977, 159-174.

LI, S., KANG, X., FANG, L., HU, J. y YIN, H. Pixel-level image fusion: A survey of the state of the art. *Information Fusion*, 2017, 33, 100-112.

LIZARAZO, I. Clasificación de la cobertura y del uso del suelo urbano usando imágenes de satélite y algoritmos supervisados de inteligencia artificial. *Teledetección, medio ambiente y cambio global*, 2008, (2), 4-18.

LÓPEZ, V. H. y PLATA, W. Análisis de los cambios de cobertura de suelo derivados de la expansión urbana de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 1990-2000 2009, (68), 85-101.

MARKHAM, B. L., ARVIDSON, T., BARSÍ, J. A., CHOATE, M., KAITA, E., LEVY, R., LUBKE, M. y MASEK, J. G. Landsat program. *Comprehensive remote sensing*, 2018, 27-90.

MARTINO, D. Deforestación en la Amazonía: principales factores de presión y perspectivas. *Revista del sur*, 2007, 169(1), 3-20.

MINAM. Informe Final del Proyecto: Análisis de las Dinámicas de Cambio de Cobertura de la Tierra en la Comunidad Andina. In *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. 2012.*

----- . Bosque y pérdida de bosque del Perú. Perú 2020.

MONTALVO, V. B. Impacto del Manejo Forestal en la Conservación de la Biodiversidad en la Región Amazonas. *Revista Científica Pakamuros*, 2015, 3(1), 6-6.

MOODY, K. H., HASAN, K. M., ALJIC, S., BLAKEMAN, V. M., HICKS, L. P., LOVING, D. C., MOORE, M. E., HAMMETT, B. S., SILVA-GONZÁLEZ, M., SENEY, C. S. y KIEFER, A. M. Mercury emissions from Peruvian gold shops: Potential ramifications for Minamata compliance in artisanal and small-scale gold mining communities. *Environmental Research*, 2020/03/01/ 2020, 182, 109042.

MUTANGA, O. y KUMAR, L. Google earth engine applications. In.: *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, 2019.

OCHOA, C. y PÁEZ, O. Inferencia estadística: probabilidad, variables aleatorias y distribuciones de probabilidad. *Evid Pediatr*, 2019, 15, 27.

OFOU, G., DITTMANN, A., SARPONG, D. y BOTCHIE, D. Socio-economic and environmental implications of Artisanal and Small-scale Mining (ASM) on agriculture and livelihoods. *Environmental Science & Policy*, 2020/04/01/ 2020, 106, 210-220.

OLIVEIRA, A. D., AMARAL, I. D., RAMOS, M. B. P., NOBRE, A. D., COUTO, L. B. y SAHDO, R. M. Composição e diversidade florístico-estrutural de um hectare de floresta densa de terra firme na Amazônia Central, Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica*, 2008, 38(4), 627-642.

PERZ, S., ARAMBURÚ, C. y BREMNER, J. Population, land use and deforestation in the Pan Amazon Basin: a comparison of Brazil, Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú and Venezuela. *Environment, development and sustainability*, 2005, 7(1), 23-49.

PERZ, S., CASTRO, W., ROJAS, R., CASTILLO, J., CHÁVEZ, A., GARCÍA, M., GUADALUPE, Ó., GUTIÉRREZ, T., HURTADO, A., MAMANI, Z., MAYNA, J., MELLO, R., PASSOS, V., REYES, J., SAAVEDRA, M., DE WIT, F., ACUÑA, N., ALARCÓN, G. y ROJAS, D. La Amazonia como un sistema socio-ecológico: Las dinámicas de cambios complejos humanos y ambientales en una frontera trinacional. In J. POSTIGO y K. YOUNG eds. *Naturaleza y sociedad: Perspectivas socio-ecológicas sobre cambios globales en América Latina*. Lima-Perú: desco, IEP e INTE-PUCP, 2016, p. 444.

PERZ, S., QIU, Y., XIA, Y., SOUTHWORTH, J., SUN, J., MARSIK, M., ROCHA, K., PASSOS, V., ROJAS, D., ALARCÓN, G., BARNES, G. y BARALOTO, C. Trans-boundary infrastructure and land cover change: Highway paving and community-level deforestation in a tri-national frontier in the Amazon. *Land Use Policy*, 2013, 34, 27-41.

PIU, H. C. y MENTON, M. *Contexto de REDD+ en Perú: Motores, actores e instituciones*. Edtion ed.: CIFOR, 2013. ISBN 6021504089.

PLANET-TEAM. Planet Application Program Interface: In Space for Life on Earth. 2021. Available from Internet: <<https://api.planet.com>>.

PONTIUS, R. G. Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 2000, 66(8), 1011-1016.

POTIN, P. Sentinel-1 user handbook. In.: European Space Agency (ESA): Paris, France, 2013.

PREPARATA, F. P. y SHAMOS, M. I. Introduction. In *Computational Geometry*. Springer, 1985, p. 1-35.

PUYRAVAUD, J.-P. Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management*, 2003, 177(1), 593-596.

RAJAH, P., ODINDI, J. y MUTANGA, O. Feature level image fusion of optical imagery and Synthetic Aperture Radar (SAR) for invasive alien plant species detection and mapping. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 2018/04/01/ 2018, 10, 198-208.

RECANATI, F., ALLIEVI, F., SCACCABAROZZI, G., ESPINOSA, T., DOTELLI, G. y SAINI, M. Global Meat Consumption Trends and Local Deforestation in Madre de Dios: Assessing Land Use Changes and other Environmental Impacts. *Procedia Engineering*, 2015/01/01/ 2015, 118, 630-638.

REICHE, J., SOUZA, C. M., HOEKMAN, D. H., VERBESSELT, J., PERSAUD, H. y HEROLD, M. Feature level fusion of multi-temporal ALOS PALSAR and Landsat data for mapping and monitoring of tropical deforestation and forest degradation. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2013, 6(5), 2159-2173.

REICHE, J., VERBESSELT, J., HOEKMAN, D. y HEROLD, M. Fusing Landsat and SAR time series to detect deforestation in the tropics. *Remote Sensing of Environment*, 2015, 156, 276-293.

ROY, D. P., WULDER, M. A., LOVELAND, T. R., C.E. W., ALLEN, R. G., ANDERSON, M. C., HELDER, D., IRONS, J. R., JOHNSON, D. M., KENNEDY, R., SCAMBOS, T. A., SCHAAF, C. B., SCHOTT, J. R., SHENG, Y., VERMOTE, E. F., BELWARD, A. S., BINDSCHADLER, R., COHEN, W. B.,

GAO, F., HIPPLE, J. D., HOSTERT, P., HUNTINGTON, J., JUSTICE, C. O., KILIC, A., KOVALSKYY, V., LEE, Z. P., LYMBURNER, L., MASEK, J. G., MCCORKEL, J., SHUAI, Y., TREZZA, R., VOGELMANN, J., WYNNE, R. H. y ZHU, Z. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*, 2014/04/05/ 2014, 145, 154-172.

RUIZ, V., SAVÉ, R. y HERRERA, A. *Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflores Moropotente Nicaragua, 1993-2011* 2013.

SCULLION, J. J., VOGT, K. A., SIENKIEWICZ, A., GMUR, S. J. y TRUJILLO, C. Assessing the influence of land-cover change and conflicting land-use authorizations on ecosystem conversion on the forest frontier of Madre de Dios, Peru. *Biological conservation*, 2014, 171, 247-258.

SHANER, J. y WRIGHTSELL, J. *Editing in arcMap*. Edtion ed.: Esri, 2000. ISBN 1879102978.

SOBRINO, J. A. *Teledetección*. Edtion ed.: Universitat de València, 2001. ISBN 8437042208.

SOUTHWORTH, J., MARSIK, M., QIU, Y., PERZ, S., CUMMING, G., STEVENS, F., ROCHA, K., DUCHELLE, A. y BARNES, G. Roads as Drivers of Change: Trajectories across the Tri-National Frontier in MAP, the Southwestern Amazon. *Remote Sensing*, 2011, 3(5), 1047-1066.

SWENSON, J. J., CARTER, C. E., DOMEK, J.-C. y DELGADO, C. I. Gold mining in the Peruvian Amazon: global prices, deforestation, and mercury imports. *PloS one*, 2011, 6(4), e18875.

TARAZONA, Y. y MIYASIRO-LÓPEZ, M. Monitoring tropical forest degradation using remote sensing. Challenges and opportunities in the Madre de Dios region, Peru. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 2020/08/01/ 2020, 19, 100337.

TUESTA, E. Prospectiva del cambio de uso de suelo en el distrito de Iberia, Tahuamanu – Madre de Dios, periodo 2004-2030 2018.

VILLACORTA, Y. R. Manejo forestal de bosques comunales: estrategia para la mitigación y adaptación al cambio climático en comunidades nativas amazónicas del Perú. *Brazilian Journal of Development*, 2020, 6(11), 90462-90474.

WILLIAMS, D. L., GOWARD, S. y ARVIDSON, T. Landsat. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2006, 72(10), 1171-1178.

XIUWAN, C. Using remote sensing and GIS to analyse land cover change and its impacts on regional sustainable development. *International journal of remote sensing*, 2002, 23(1), 107-124.

ANEXOS

Anexo 1. Puntos de muestreo tomados en concesiones forestales de castaña en la microcuenca del río Manuripe.

N°	Categoría	Coordinada UTM (WGS84)	
		Este	Norte
1	Bosque y áreas mayormente naturales	480444	8644445
2	Bosque y áreas mayormente naturales	480183	8647405
3	Bosque y áreas mayormente naturales	481088	8649445
4	Bosque y áreas mayormente naturales	481280	8652340
5	Bosque y áreas mayormente naturales	482638	8653853
6	Bosque y áreas mayormente naturales	484255	8654709
7	Bosque y áreas mayormente naturales	482572	8656682
8	Bosque y áreas mayormente naturales	483022	8661221
9	Bosque y áreas mayormente naturales	479397	8662008
10	Bosque y áreas mayormente naturales	480041	8666416
11	Bosque y áreas mayormente naturales	482694	8668851
12	Bosque y áreas mayormente naturales	490535	8648726
13	Bosque y áreas mayormente naturales	493705	8649187
14	Bosque y áreas mayormente naturales	495581	8654450
15	Bosque y áreas mayormente naturales	493315	8657607
16	Bosque y áreas mayormente naturales	495450	8659976
17	Bosque y áreas mayormente naturales	495126	8666225
18	Bosque y áreas mayormente naturales	497197	8669711
19	Bosque y áreas mayormente naturales	493123	8646096
20	Bosque y áreas mayormente naturales	492607	8641491
21	Bosque y áreas mayormente naturales	504638	8640176
22	Bosque y áreas mayormente naturales	502763	8645767
23	Bosque y áreas mayormente naturales	480748	8674639
24	Bosque y áreas mayormente naturales	492015	8677933

25	Bosque y áreas mayormente naturales	494994	8676683
26	Bosque y áreas mayormente naturales	477440	8681543
27	Bosque y áreas mayormente naturales	479185	8687004
28	Bosque y áreas mayormente naturales	478729	8691082
29	Bosque y áreas mayormente naturales	483328	8693321
30	Bosque y áreas mayormente naturales	475744	8695684
31	Bosque y áreas mayormente naturales	470757	8693378
32	Bosque y áreas mayormente naturales	484234	8694769
33	Bosque y áreas mayormente naturales	475296	8689238
34	Bosque y áreas mayormente naturales	472120	8690485
35	Bosque y áreas mayormente naturales	472442	8693313
36	Bosque y áreas mayormente naturales	472438	8697129
37	Bosque y áreas mayormente naturales	474057	8698182
38	Bosque y áreas mayormente naturales	484426	8699242
39	Bosque y áreas mayormente naturales	486111	8700361
40	Bosque y áreas mayormente naturales	485850	8703387
41	Bosque y áreas mayormente naturales	485331	8705294
42	Bosque y áreas mayormente naturales	485590	8706610
43	Bosque y áreas mayormente naturales	490194	8700362
44	Bosque y áreas mayormente naturales	487796	8699770
45	Bosque y áreas mayormente naturales	490908	8697863
46	Bosque y áreas mayormente naturales	485593	8698585
47	Bosque y áreas mayormente naturales	484234	8695821
48	Bosque y áreas mayormente naturales	478858	8691937
49	Bosque y áreas mayormente naturales	477107	8693186
50	Bosque y áreas mayormente naturales	468364	8688705
51	Bosque y áreas mayormente naturales	469144	8685811
52	Bosque y áreas mayormente naturales	473487	8682987
53	Bosque y áreas mayormente naturales	474847	8683514

54	Bosque y áreas mayormente naturales	471868	8682393
55	Bosque y áreas mayormente naturales	478476	8682202
56	Bosque y áreas mayormente naturales	474852	8677923
57	Bosque y áreas mayormente naturales	480680	8679769
58	Bosque y áreas mayormente naturales	472193	8681276
59	Bosque y áreas mayormente naturales	496096	8675565
60	Bosque y áreas mayormente naturales	463185	8684884
61	Bosque y áreas mayormente naturales	472849	8672856
62	Bosque y áreas mayormente naturales	470708	8676998
63	Bosque y áreas mayormente naturales	469348	8676997
64	Bosque y áreas mayormente naturales	467662	8678245
65	Bosque y áreas mayormente naturales	467984	8680022
66	Bosque y áreas mayormente naturales	470122	8679761
67	Bosque y áreas mayormente naturales	471418	8678973
68	Bosque y áreas mayormente naturales	472136	8673053
69	Bosque y áreas mayormente naturales	469288	8672327
70	Bosque y áreas mayormente naturales	472851	8670686
71	Bosque y áreas mayormente naturales	475830	8669767
72	Bosque y áreas mayormente naturales	475962	8666807
73	Bosque y áreas mayormente naturales	478102	8662270
74	Bosque y áreas mayormente naturales	482569	8660431
75	Bosque y áreas mayormente naturales	484705	8661945
76	Bosque y áreas mayormente naturales	481342	8657010
77	Bosque y áreas mayormente naturales	477976	8657008
78	Bosque y áreas mayormente naturales	478363	8658916
79	Bosque y áreas mayormente naturales	495192	8658199
80	Bosque y áreas mayormente naturales	497004	8659976
81	Bosque y áreas mayormente naturales	499722	8666751
82	Bosque y áreas mayormente naturales	501211	8670566

83	Bosque y áreas mayormente naturales	497326	8674184
84	Bosque y áreas mayormente naturales	479638	8687662
85	Bosque y áreas mayormente naturales	471176	8661804
86	Bosque y áreas mayormente naturales	472539	8657464
87	Bosque y áreas mayormente naturales	476098	8658519
88	Bosque y áreas mayormente naturales	478168	8659639
89	Bosque y áreas mayormente naturales	483670	8660037
90	Bosque y áreas mayormente naturales	481857	8661023
91	Bosque y áreas mayormente naturales	491761	8658659
92	Bosque y áreas mayormente naturales	492667	8659186
93	Bosque y áreas mayormente naturales	493444	8659515
94	Bosque y áreas mayormente naturales	493962	8658265
95	Bosque y áreas mayormente naturales	494544	8658857
96	Bosque y áreas mayormente naturales	494933	8657081
97	Bosque y áreas mayormente naturales	495904	8656226
98	Bosque y áreas mayormente naturales	497198	8655042
99	Bosque y áreas mayormente naturales	499075	8654319
100	Bosque y áreas mayormente naturales	501211	8654779
101	Bosque y áreas mayormente naturales	503800	8655174
102	Bosque y áreas mayormente naturales	504965	8656489
103	Bosque y áreas mayormente naturales	507683	8657344
104	Bosque y áreas mayormente naturales	510791	8659448
105	Bosque y áreas mayormente naturales	506389	8658857
106	Bosque y áreas mayormente naturales	503994	8658463
107	Bosque y áreas mayormente naturales	473147	8686618
108	Bosque y áreas mayormente naturales	474543	8690408
109	Bosque y áreas mayormente naturales	476101	8686936
110	Bosque y áreas mayormente naturales	470504	8686773
111	Bosque y áreas mayormente naturales	470190	8689299

112	Bosque y áreas mayormente naturales	469099	8691824
113	Bosque y áreas mayormente naturales	468942	8693718
114	Bosque y áreas mayormente naturales	465839	8686926
115	Bosque y áreas mayormente naturales	467862	8685665
116	Bosque y áreas mayormente naturales	471593	8686301
117	Bosque y áreas mayormente naturales	473146	8688039
118	Bosque y áreas mayormente naturales	468643	8682035
119	Bosque y áreas mayormente naturales	471130	8682511
120	Bosque y áreas mayormente naturales	473150	8683618
121	Bosque y áreas mayormente naturales	476580	8671149
122	Bosque y áreas mayormente naturales	478291	8668625
123	Bosque y áreas mayormente naturales	488856	8672577
124	Bosque y áreas mayormente naturales	493364	8669579
125	Bosque y áreas mayormente naturales	492125	8654581
126	Bosque y áreas mayormente naturales	479238	8647470
127	Bosque y áreas mayormente naturales	480484	8643209
128	Bosque y áreas mayormente naturales	491661	8647319
129	Bosque y áreas mayormente naturales	493057	8652687
130	Bosque y áreas mayormente naturales	478613	8653943
131	Bosque y áreas mayormente naturales	476893	8667834
132	Bosque y áreas mayormente naturales	473168	8663726
133	Bosque y áreas mayormente naturales	494141	8669895
134	Bosque y áreas mayormente naturales	489011	8673682
135	Bosque y áreas mayormente naturales	479679	8684728
136	Bosque y áreas mayormente naturales	477344	8688831
137	Bosque y áreas mayormente naturales	477493	8696883
138	Bosque y áreas mayormente naturales	474715	8670990
139	Bosque y áreas mayormente naturales	477514	8669571
140	Bosque y áreas mayormente naturales	474253	8665938

141	Bosque y áreas mayormente naturales	479846	8667678
142	Bosque y áreas mayormente naturales	477059	8654099
143	Bosque y áreas mayormente naturales	492122	8664685
144	Bosque y áreas mayormente naturales	491659	8654897
145	Bosque y áreas mayormente naturales	493367	8655844
146	Bosque y áreas mayormente naturales	478151	8648259
147	Bosque y áreas mayormente naturales	480633	8652523
148	Bosque y áreas mayormente naturales	477991	8655047
149	Bosque y áreas mayormente naturales	478931	8642892
150	Bosque y áreas mayormente naturales	491508	8639425
151	Áreas agrícolas	483692	8643145
152	Áreas agrícolas	483846	8645355
153	Áreas agrícolas	484467	8645092
154	Áreas agrícolas	484518	8647303
155	Áreas agrícolas	486070	8648461
156	Áreas agrícolas	486018	8650040
157	Áreas agrícolas	486432	8650619
158	Áreas agrícolas	487519	8650304
159	Áreas agrícolas	485706	8651829
160	Áreas agrícolas	486586	8652408
161	Áreas agrícolas	487310	8653671
162	Áreas agrícolas	487103	8654619
163	Áreas agrícolas	487413	8655671
164	Áreas agrícolas	486895	8656513
165	Áreas agrícolas	486687	8658986
166	Áreas agrícolas	486997	8659934
167	Áreas agrícolas	487463	8660302
168	Áreas agrícolas	487203	8662933
169	Áreas agrícolas	487772	8662986
170	Áreas agrícolas	486011	8664038
171	Áreas agrícolas	486736	8665406
172	Áreas agrícolas	487461	8665565
173	Áreas agrícolas	485647	8667248
174	Áreas agrícolas	485595	8668668
175	Áreas agrícolas	485490	8669826
176	Áreas agrícolas	485075	8671036
177	Áreas agrícolas	484868	8672036
178	Áreas agrícolas	484763	8673667

179	Áreas agrícolas	486367	8677773
180	Áreas agrícolas	485952	8679772
181	Áreas agrícolas	485278	8679824
182	Áreas agrícolas	487040	8680194
183	Áreas agrícolas	488439	8680563
184	Áreas agrícolas	486572	8683351
185	Áreas agrícolas	487712	8683457
186	Áreas agrícolas	487348	8685930
187	Áreas agrícolas	487399	8690087
188	Áreas agrícolas	484290	8687560
189	Áreas agrícolas	482891	8686348
190	Áreas agrícolas	475681	8693606
191	Áreas agrícolas	480085	8696977
192	Áreas agrícolas	480656	8697187
193	Áreas agrícolas	479411	8697976
194	Áreas agrícolas	479721	8698871
195	Áreas agrícolas	478785	8703133
196	Áreas agrícolas	481481	8703503
197	Áreas agrícolas	481688	8705239
198	Áreas agrícolas	479820	8705764
199	Áreas agrícolas	479722	8698239
200	Áreas agrícolas	480861	8700134
201	Áreas agrícolas	485424	8701189
202	Áreas agrícolas	477489	8702869
203	Áreas agrícolas	478526	8703501
204	Áreas agrícolas	496418	8686511
205	Áreas agrícolas	497351	8686722
206	Áreas agrícolas	496366	8690142
207	Áreas agrícolas	490612	8690614
208	Áreas agrícolas	488694	8691561
209	Áreas agrícolas	490041	8692193
210	Áreas agrícolas	498543	8689984
211	Áreas agrícolas	498802	8688563
212	Áreas agrícolas	498543	8685617
213	Áreas agrícolas	494086	8685721
214	Áreas agrícolas	501238	8677986
215	Áreas agrícolas	499010	8670672
216	Áreas agrícolas	498492	8668725
217	Áreas agrícolas	503154	8666198
218	Áreas agrícolas	498907	8665515
219	Áreas agrícolas	500978	8666883
220	Áreas agrícolas	501186	8675776
221	Áreas agrícolas	503828	8676407

222	Áreas agrícolas	466889	8674863
223	Áreas agrícolas	466319	8674599
224	Áreas agrícolas	466577	8675494
225	Áreas agrícolas	460772	8677698
226	Áreas agrícolas	463357	8682384
227	Áreas agrícolas	458225	8683746
228	Áreas agrícolas	454809	8680636
229	Áreas agrícolas	452117	8679211
230	Áreas agrícolas	449252	8688153
231	Áreas agrícolas	448372	8687362
232	Áreas agrícolas	449942	8678050
233	Áreas agrícolas	454880	8667585
234	Áreas agrícolas	463266	8671544
235	Áreas agrícolas	469372	8678129
236	Áreas agrícolas	472370	8686393
237	Áreas agrícolas	475526	8693816
238	Áreas agrícolas	473217	8667029
239	Áreas agrícolas	472899	8674554
240	Áreas agrícolas	451740	8688157
241	Áreas agrícolas	451894	8688999
242	Áreas agrícolas	452413	8688210
243	Áreas agrícolas	454175	8688792
244	Áreas agrícolas	454329	8689069
245	Áreas agrícolas	451834	8688415
246	Áreas agrícolas	451883	8689149
247	Áreas agrícolas	451604	8688815
248	Áreas agrícolas	452114	8688249
249	Áreas agrícolas	453969	8688485
250	Áreas agrícolas	454396	8688403
251	Áreas agrícolas	454773	8688603
252	Áreas agrícolas	455937	8690222
253	Áreas agrícolas	463105	8683480
254	Áreas agrícolas	464386	8683348
255	Áreas agrícolas	463287	8682480
256	Áreas agrícolas	463287	8682096
257	Áreas agrícolas	463123	8681729
258	Áreas agrícolas	462992	8681446
259	Áreas agrícolas	462713	8681629
260	Áreas agrícolas	458574	8683391
261	Áreas agrícolas	458064	8683773
262	Áreas agrícolas	457129	8683022
263	Áreas agrícolas	468933	8683386
264	Áreas agrícolas	472708	8684807

265	Áreas agrícolas	471179	8687273
266	Áreas agrícolas	468605	8682803
267	Áreas agrícolas	471508	8686590
268	Áreas agrícolas	472839	8684890
269	Áreas agrícolas	475927	8682859
270	Áreas agrícolas	475599	8682942
271	Superficies de agua	497726	8657679
272	Superficies de agua	489080	8653677
273	Superficies de agua	490219	8653993
274	Superficies de agua	475569	8652301
275	Superficies de agua	475155	8652985
276	Superficies de agua	473907	8658878
277	Superficies de agua	473439	8660824
278	Superficies de agua	477273	8658144
279	Superficies de agua	485554	8665727
280	Superficies de agua	491671	8645732
281	Superficies de agua	490273	8646310
282	Superficies de agua	493999	8651100
283	Superficies de agua	489339	8653835
284	Superficies de agua	487240	8681293
285	Superficies de agua	487060	8681306
286	Superficies de agua	486873	8681363
287	Superficies de agua	486786	8681432
288	Superficies de agua	486214	8681748
289	Superficies de agua	486133	8681905
290	Superficies de agua	485915	8682107
291	Superficies de agua	485672	8682543
292	Superficies de agua	484777	8682637
293	Superficies de agua	484429	8682707
294	Superficies de agua	484211	8682549
295	Superficies de agua	487520	8681136
296	Superficies de agua	488054	8681742
297	Superficies de agua	488284	8681723
298	Superficies de agua	488539	8682033
299	Superficies de agua	489273	8681837
300	Superficies de agua	488608	8681774
301	Superficies de agua	488813	8681736
302	Superficies de agua	489534	8682178
303	Superficies de agua	486917	8681098
304	Superficies de agua	487327	8681053
305	Superficies de agua	485803	8682291
306	Superficies de agua	489658	8682456
307	Superficies de agua	489895	8682905

308	Superficies de agua	490311	8683347
309	Superficies de agua	491729	8683600
310	Superficies de agua	492090	8683543
311	Superficies de agua	481798	8682920
312	Superficies de agua	483371	8683180
313	Superficies de agua	481786	8682958
314	Superficies de agua	481599	8683179
315	Superficies de agua	481319	8683286
316	Superficies de agua	482955	8683009
317	Superficies de agua	482724	8683122
318	Superficies de agua	482687	8682977
319	Superficies de agua	482519	8683021
320	Superficies de agua	482476	8682927
321	Áreas artificializadas	482258	8636677
322	Áreas artificializadas	481979	8637519
323	Áreas artificializadas	481753	8638104
324	Áreas artificializadas	481389	8640163
325	Áreas artificializadas	481674	8640518
326	Áreas artificializadas	481214	8640215
327	Áreas artificializadas	482701	8641690
328	Áreas artificializadas	483212	8642381
329	Áreas artificializadas	483348	8642486
330	Áreas artificializadas	483387	8642335
331	Áreas artificializadas	483658	8642414
332	Áreas artificializadas	483710	8642532
333	Áreas artificializadas	483360	8643032
334	Áreas artificializadas	483503	8643118
335	Áreas artificializadas	483580	8643236
336	Áreas artificializadas	483444	8642953
337	Áreas artificializadas	483883	8644572
338	Áreas artificializadas	483643	8646736
339	Áreas artificializadas	484296	8647236
340	Áreas artificializadas	485039	8648657
341	Áreas artificializadas	485880	8650289
342	Áreas artificializadas	485957	8650164
343	Áreas artificializadas	486042	8650355
344	Áreas artificializadas	486940	8651901
345	Áreas artificializadas	487664	8653480
346	Áreas artificializadas	487431	8655171
347	Áreas artificializadas	487372	8655894
348	Áreas artificializadas	487164	8657354
349	Áreas artificializadas	487177	8657815
350	Áreas artificializadas	487035	8658262

351	Áreas artificializadas	486872	8659255
352	Áreas artificializadas	486671	8659841
353	Áreas artificializadas	487286	8659834
354	Áreas artificializadas	487085	8660209
355	Áreas artificializadas	486924	8660235
356	Áreas artificializadas	486872	8660077
357	Áreas artificializadas	487254	8660637
358	Áreas artificializadas	487149	8662327
359	Áreas artificializadas	487110	8663413
360	Áreas artificializadas	486928	8665846
361	Áreas artificializadas	485924	8666530
362	Áreas artificializadas	485670	8668418
363	Áreas artificializadas	485281	8671147
364	Áreas artificializadas	485183	8672279
365	Áreas artificializadas	484923	8674298
366	Áreas artificializadas	485194	8675772
367	Áreas artificializadas	486280	8679804
368	Áreas artificializadas	486967	8680482
369	Áreas artificializadas	487044	8680719
370	Áreas artificializadas	487303	8680555
371	Áreas artificializadas	486947	8681910
372	Áreas artificializadas	486674	8682699
373	Áreas artificializadas	486823	8683363
374	Áreas artificializadas	487217	8685508
375	Áreas artificializadas	485934	8686191
376	Áreas artificializadas	485687	8687467
377	Áreas artificializadas	482867	8690373
378	Áreas artificializadas	480533	8693681
379	Áreas artificializadas	479949	8695127
380	Áreas artificializadas	480755	8700693
381	Áreas artificializadas	481324	8702798
382	Áreas artificializadas	481006	8704225

Anexo 2. Panel fotográfico.



Foto 1. Reconocimiento de campo.



Foto 2. Puntos UTM en campo, suelo desnudo.



Foto 3. Captura de puntos UTM, suelo desnudo y vegetación.

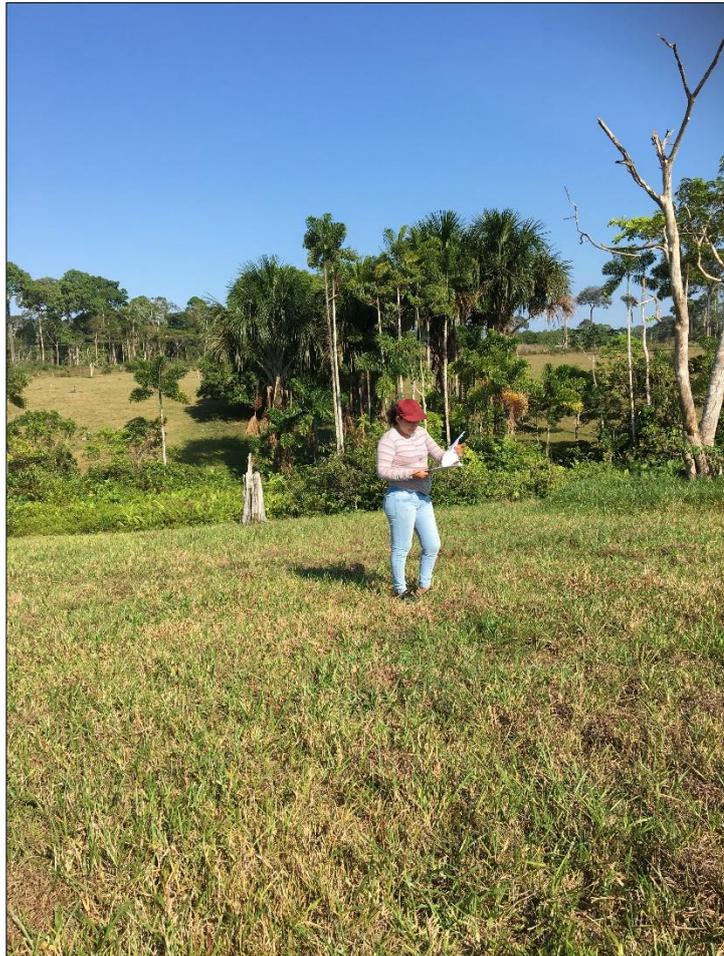


Foto 4. Puntos de campo, vegetación y suelo desnudo.



Foto 5. Levantamiento de punto de campo, vegetación (castañal).

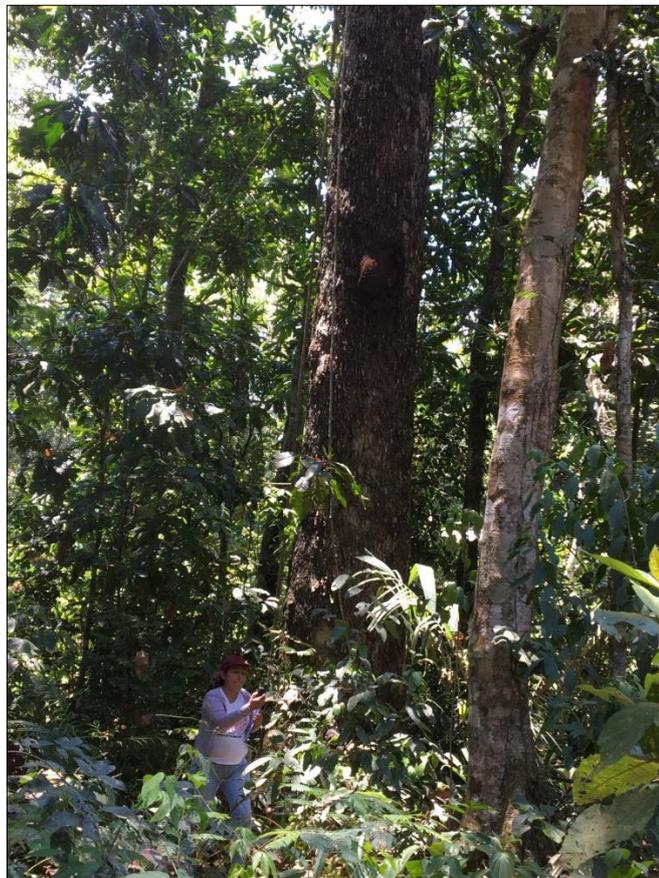


Foto 6. Levantamiento de punto de campo, vegetación.



Foto 7. Puntos de muestreo, vegetación y suelo desnudo.



Foto 8. Puntos de muestreo, vegetación y suelo desnudo.