



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

MONITOREO Y PROYECCIÓN DEL CAMBIO DE COBERTURA FORESTAL POR
IMPACTO ANTRÓPICO, APLICANDO TELEDETECCIÓN EN INAMBARI -
MADRE DE DIOS AÑOS 2000 AL 2030

Línea de investigación:

Procesamiento digital de imágenes y señales

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Geógrafo

Autora:

Valladares Herrera, Jeanett Paola

Asesora:

Rojas León, Gladys

(ORCID: 0000-0003-2961-9643)

Jurado:

Gonzales Alarcon, Angelino

Sánchez Carrera, Dante

Valdivia Orihuela, Braulio

Lima - Perú

2023

REPORTE DE ANÁLISIS DE SIMILITUD

Archivo:	1A - Valladares Herrera Jeanett Paola - Titulo Profesional - 2023
Fecha del análisis:	07/03/2023
Operador del programa informático:	Gamarra Jiménez, David Milton
Correo del operador del Programa informático:	dgamarra@unfv.edu.pe
Porcentaje:	6 %
Título	MONITOREO Y PROYECCIÓN DEL CAMBIO DE COBERTURA FORESTAL POR IMPACTO ANTRÓPICO, APLICANDO TELEDETECCIÓN EN INAMBARI - MADRE DE DIOS AÑOS 2000 AL 2030
Asesor:	Rojas León, Gladys
Enlace:	https://secure.arkund.com/old/view/153054460-302651-882672#DcY7CgJBFAXRvXRcSN/36Y9bEQMZVCZwkgnFvdtQHOpbPme53ipCi6Uhr4ESNdTRQBPDKiZsjWOBJdawjg0cXwWeeMM7QVRChJE0OoN5p5z7+9hf+/Y4tme51kvNnBmq8jkbkZjN/fw==



Mg. Braulio Armando Valdivia Orihuela

Jefe de la Oficina de Grados y Gestión del Egresado



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

MONITOREO Y PROYECCIÓN DEL CAMBIO DE COBERTURA FORESTAL POR
IMPACTO ANTRÓPICO, APLICANDO TELEDETECCIÓN EN INAMBARI - MADRE
DE DIOS AÑOS 2000 AL 2030

Línea de investigación:

Procesamiento Digital de Imágenes y Señales

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Geógrafo

Autora:

Valladares Herrera, Jeanett Paola

Asesora:

Rojas León, Gladys

(ORCID: 0000-0003-2961-9643)

Jurado:

Gonzales Alarcon, Angelino

Sánchez Carrera, Dante

Valdivia Orihuela, Braulio

Lima – Perú

2023

Dedicatoria

A mi querida madre Nelly Herrera, por motivarme cada día, ser mi soporte, gran ejemplo a seguir y enseñarme que la vida no se detiene en ningún momento.

A mis primas Liz, Cathy y mi tía Martha por sus enseñanzas y gran cariño.

A mis angelitos Shenita, Papamiño y Julio, que sé que desde el cielo están orgullosos de mí y a toda mi familia en general.

Por último, a mi pequeña Dona, que me acompañó en las frías noches y calurosos días durante el desarrollo de esta investigación.

Agradecimientos

Agradezco a Dios, por darme la fuerza suficiente para lograr todas mis metas.

A mi querida asesora Gladys Rojas, por todo su apoyo en el proceso de elaboración de mi tesis y brindarme todas las indicaciones necesarias.

A mi querida UNFV y mis profesores de la FIGAE por brindarme todos los conocimientos adquiridos.

	4
Índice general	
Dedicatoria	2
Agradecimientos	3
Resumen	14
Abstract	15
I.INTRODUCCIÓN	16
1.1. Descripción y formulación del problema	18
1.1.1. Descripción del problema	18
1.1.2. Formulación del problema	20
1.2. Antecedentes	20
1.2.1. Antecedentes internacionales	20
1.2.2. Antecedentes nacionales	24
1.3. Objetivos	27
1.3.1. Objetivo General	27
1.3.2. Objetivos específicos	27
1.4. Justificación	28
1.5. Hipótesis	28
1.5.1. Hipótesis general	28
1.5.2. Hipótesis específica	29
II.MARCO TEÓRICO	30
2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación	30

	5
2.1.1. Cobertura de la tierra	30
2.1.2. Uso de la Tierra	33
2.1.3. Deforestación	35
2.1.4. Minería	38
2.1.5. Agricultura	43
2.1.6. Sistemas de Información Geográfica	44
2.1.7. Teledetección	45
2.1.8. Principios físicos de la Teledetección	47
2.1.9. Firma espectral	49
2.1.10. Imagen satelital	49
2.1.11. Misión Landsat	53
2.1.12. <i>Google Earth Engine</i>	56
2.1.13. QGIS	56
2.1.14. MOLUSCE	57
2.1.15. Clasificación supervisada	58
2.1.16. Support Vector Machine (SVM)	59
2.1.17. Redes neuronales artificial	60
2.1.18. Matriz de confusión	60
2.1.19. Índice Kappa	61
2.2. Marco legal	62
III.MÉTODO	64

	6
3.1. Tipo de investigación	64
3.1.1. Según su tipo	64
3.1.2. Nivel de investigación	64
3.1.3. Enfoque de la investigación	64
3.1.4. Método de la investigación	64
3.2. Ámbito temporal y espacial	65
3.2.1. Ámbito temporal	65
3.2.2. Ámbito espacial	65
3.3. Variables	67
3.4. Población y muestra	68
3.4.1. Población	68
3.4.2. Muestra	68
3.5. Instrumentos	68
3.5.1. Equipo y software	68
3.5.2. Materiales	68
3.6. Procedimientos	69
3.7. Análisis de datos	70
IV.RESULTADOS	71
4.1. Obtención de datos	71
4.2. Monitoreo del cambio de cobertura forestal afectada por los factores antrópicos en el distrito de Inambari, provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios para el periodo de 2000, 2010 y 2020.	94

4.3. Identificación de la cobertura forestal afectada por los factores antrópicos de minería y agricultura en el distrito de Inambari, provincia de Tambopata en el departamento de Madre de Dios.	99
<i>4.3.1. Cálculo de las áreas de las diferentes clases de cobertura del distrito de Inambari para los años 2000, 2010 y 2020</i>	101
<i>4.3.2. Identificación de las áreas de minería que influyen en el cambio de la cobertura forestal de Inambari en los años 2000, 2010 y 2020</i>	103
<i>4.3.3. Identificación de las áreas de agricultura que influyen en el cambio de la cobertura forestal de Inambari en los años 2000, 2010 y 2020</i>	105
4.4 Análisis del cambio de cobertura forestal por factores antrópicos de minería y agricultura para el año 2030 en el distrito de Inambari, provincia de Tambopata departamento de Madre de Dios	108
4.4.1. Cálculo del cambio de cobertura forestal para el 2030	108
V.DISCUSIÓN DE RESULTADOS	111
5.1. Sobre el monitoreo del cambio de cobertura forestal afectada en Inambari, provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios para los años 2000, 2010 y 2020	111
5.2. Sobre la identificación de la cobertura forestal afectada por los factores antrópicos de minería y agricultura en el distrito de Inambari, provincia de Tambopata en el departamento de Madre de Dios.	112
5.3. Sobre el análisis del cambio de cobertura forestal por factores antrópicos de minería y agricultura para el año 2030 en el distrito de Inambari, provincia de Tambopata departamento de Madre de Dios	113
VI.CONCLUSIONES	115

6.1. Se monitoreo el cambio de cobertura forestal afectada en el distrito de Inambari, para los años 2000, 2010 y 2020	115
6.2. Se identificó la cobertura forestal afectada por los factores antrópicos de minería y agricultura en el distrito de Inambari.	115
6.3. Sé analizó el cambio de cobertura forestal por factores antrópicos de minería y agricultura para el año 2030 en el distrito de Inambari.	116
VII.RECOMENDACIONES	117
VIII.REFERENCIAS	118
IX.ANEXOS	125
A.Descarga de imagen satelital	125
B.Descarga de DEM	139
C.Distance de carreteras	141
D.Generación de pendientes	143
E.Distance de los ríos	144
F.Distance de centros poblados	145
G.Distance a la zona de amortiguamiento	146
H.Flujo de dirección	147
I.Matriz de consistencia	148
J.Mapas realizados	149

Índice de tablas

Tabla 1: Nomenclatura estandarizada Corine Land Cover, para construir Mapas de Cobertura de la Tierra a nivel Nacional	30
Tabla 2: Escala de aplicación de herramientas de monitoreo del territorio	34
Tabla 3: Tipos de incendios	37
Tabla 4: Variedad de minerales	39
Tabla 5: Tipos de concesiones mineras según criterios de clasificación	40
Tabla 6: Clasificación de las actividades mineras según tamaño	41
Tabla 7: Bandas Landsat 7. Fuente: USGS - Landsat 7 Data Users Handbook.	54
Tabla 8: Bandas Landsat 8. Fuente: USGS - Landsat 8 Ciencia Landsat	55
Tabla 9: Grado de concordancia del índice Kappa.....	61
Tabla 10: Cuadro de operacionalización de variables.....	67
Tabla 11: Número de puntos creados por cada clase para el año 2000.....	77
Tabla 12: Número de puntos creados por cada clase para el año 2010.....	77
Tabla 13: Número de puntos creados por cada clase para el año 2020.....	78
Tabla 14: Matriz de confusión de la clasificación y puntos de entrenamiento	81
Tabla 15: Porcentaje del índice Kappa por cada clase	81
Tabla 16: Valor general del índice Kappa.....	82
Tabla 17: Número de observaciones.	82
Tabla 18: Matriz de confusión de la clasificación y puntos de entrenamiento	84
Tabla 19: Porcentaje del índice Kappa por cada clase	85
Tabla 20: Valor general del índice Kappa.....	85
Tabla 21: Número de observaciones	86
Tabla 22: Matriz de confusión de la clasificación y puntos de entrenamiento	87

Tabla 23: Porcentaje del índice Kappa por cada clase.88	
Tabla 24: Valor general del índice Kappa.....	89
Tabla 25: Número de observaciones	89
Tabla 26: Valores asignados para la red neuronal	90
Tabla 27: Valores del current validation kappa para los tres intentos.....	90
Tabla 28: Valores de la fuerza de concordancia del índice Kappa.....	99
Tabla 29: Área y porcentaje de las clases para el año 2000.....	101
Tabla 30: Área y porcentaje de las clases para el año 2010.....	101
Tabla 31: Área y porcentaje de las clases para el año 2020.....	101
Tabla 32: Variación de la minera de los años 2000 al 2020	103
Tabla 33: Variación de la agricultura de los años 2000 al 2020.....	105
Tabla 34: Variación de la cobertura forestal desde el año 2000 al 2030	108

Índice de figuras

Figura 1 Variación neta de la superficie forestal por región, 1990-2020.....	35
Figura 2 Causa del cambio de la cubierta forestal para los años (2001-2020).....	36
Figura 3 Minería aurífera en Madre de Dios.....	42
Figura 4 Agricultura migratoria.....	44
Figura 5 Elementos básicos de un SIG.....	45
Figura 6 Ejemplo de un sistema de detección remota basado en satélites pasivos.....	46
Figura 7 Las propiedades de las ondas son: la longitud, la amplitud y la frecuencia.....	47
Figura 8 Espectro electromagnético.....	48
Figura 9 Firma espectral de la vegetación, suelo y agua.....	49
Figura 10 Resolución espacial de una imagen satelital.....	50
Figura 11 Resolución radiométrica de una imagen satelital.....	51
Figura 12 Resolución espectral de una imagen satelital.....	52
Figura 13 Resolución temporal de una imagen satelital.....	52
Figura 14 Cronología Landsat.....	53
Figura 15 Interfaz del plugin Molusce.....	57
Figura 16 Tipos de clasificación supervisada.....	58
Figura 17 Support Vector Machine.....	59
Figura 18 Red neuronal artificial.....	60
Figura 19 Matriz de confusión.....	61
Figura 20 Ubicación del distrito de Inambari.....	66
Figura 21 Límite sur izquierdo del distrito de Inambari en el año 2000.....	71
Figura 22 Límite suroeste izquierdo del distrito de Inambari en el año 2000.....	71
Figura 23 Zona central del distrito de Inambari en el año 2000.....	72

	12
Figura 24 Límite sur izquierdo del distrito de Inambari en el año 2010	73
Figura 25 Zona central del distrito de Inambari en el año 2010	73
Figura 26 Límite sur izquierdo del distrito de Inambari en el año 2020	74
Figura 27 Zona central del distrito de Inambari en el año 2020	74
Figura 28 Imagen Landsat 7 en falso color (5-4-1) para el año 2000	75
Figura 29 Imagen Landsat 7 en falso color (5-4-1) para el año 2010	75
Figura 30 Imagen Landsat 8 en falso color (6-5-2) para el año 2020	76
Figura 31 Imagen de los puntos de entrenamiento en el software QGIS	78
Figura 32 Interfaz de dzetsaka con datos del año 2000.....	79
Figura 33 Clasificación de la cobertura del año 2000	80
Figura 34 Interfaz de dzetsaka con datos del año 2010.....	82
Figura 35 Clasificación de la cobertura del año 2010	83
Figura 36 Interfaz de dzetsaka con datos del año 2020.....	86
Figura 37 Clasificación de la cobertura del año 2020	87
Figura 38 Puntos de entrenamiento para el algoritmo de redes neuronales.....	91
Figura 39 Validación del modelo proyectado.....	92
Figura 40 Mapa proyectado de la cobertura forestal al 2030.....	93
Figura 41 Imagen satelital del distrito de Inambari 2000.....	94
Figura 42 Imagen satelital del distrito de Inambari 2010.....	95
Figura 43 Imagen satelital del distrito de Inambari 2020.....	96
Figura 44 Comparación de las imágenes satelitales en falso color	97
Figura 45 Zonas agrícolas y pequeñas áreas urbanas en Inambari, año 2020	98
Figura 46 Clasificación de las imágenes satelitales para los años 2000, 2010 y 2020	99
Figura 47 Gráfico de clases de cobertura por año	102
Figura 48 Gráfico de incremento de la minería en los años 2000 al 2020.....	103

Figura 49 Cambio de la cobertura forestal a causa de la minería, años 2000 al 2020.	104
Figura 50 Gráfico de incremento de la agricultura en los años 2000 al 2020.....	105
Figura 51 Cambio de la cobertura forestal de causa de la agricultura, años 2000 al 2020	106
Figura 52 Gráfico del cambio de la cobertura forestal de Inambari a causa de la minería y agricultura para los años 2000 al 2030.....	109
Figura 53 Cambio de la cobertura forestal de Inambari para los años 2000 al 2030	110
Figura 54 Imagen Landsat 7 del año 2000 parte 1, color natural (3-2-1) en QGIS.....	126
Figura 55 Imagen Landsat 7 del año 2000 parte 2, color natural (3-2-1) en QGIS.....	127
Figura 56 Imágenes Landsat 7 en la herramienta Rellenar	129
Figura 57 Imagen Landsat 7 del año 2010 parte 1, color natural (3-2-1) en QGIS.....	131
Figura 58 Imagen Landsat 7 del año 2010 parte 2, color natural (3-2-1) en QGIS.....	131
Figura 59 Imagen Landsat 8 del año 2020 parte 1, color natural (4-3-2) en QGIS.....	134
Figura 60 Imagen Landsat 8 del año 2020 parte 2, color natural (4-3-2) en QGIS.....	134
Figura 61 Imagen satelital del distrito de Inambari del año 2000, en falso color (5-4-3).....	136
Figura 62 Imagen satelital del distrito de Inambari del año 2010, en falso color (5-4-3).....	136
Figura 63 Imagen satelital del distrito de Inambari del año 2020, en falso color (6-5-4).....	137
Figura 64 Imagen del DEM en software QGIS	140
Figura 65 Imagen de las carreteras descargadas en QGIS mediante OMS Download.	141
Figura 66 Imagen de la distancia de las carreteras	141
Figura 67 Imagen de las pendientes generadas.....	143
Figura 68 Imagen de la distancia de los ríos.....	144
Figura 69 Imagen de la distancia de los centros poblados.	145
Figura 70 Imagen de la distancia de las zonas de amortiguamiento	146
Figura 71 Imagen del flujo de dirección	147

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo principal monitorear el cambio de cobertura forestal afectada por los factores antrópicos en el distrito de Inambari para el periodo de 2000, 2010 y 2020, y como objetivos específicos identificar la cobertura forestal afectada por los factores antrópicos de minería y agricultura además de analizar el cambio de cobertura forestal por factores antrópicos de minería y agricultura para el año 2030. Se utilizaron imágenes Landsat 7 y 8 de los años 2000, 2010 y 2020, luego se realizó una clasificación supervisada utilizando el método de support vector machine, para validar y analizar los datos se utilizó el método estadístico *Kappa*, teniendo como resultado valores de concordancia muy buenos. Posterior a ello, se realizó la proyección de la cobertura forestal al año 2030, utilizando el *plugin* de *Molusce* en donde se empleó el uso de las redes neuronales artificiales. Todos los procesos fueron realizados en software de QGIS y las imágenes fueron descargadas desde *Google Earth Engine*. Como resultado se obtuvo que las áreas con minería fueron de 7109.56 ha, 10921.82 ha., 26876.34 ha. y 30962.64 ha. para los años 2000, 2010, 2020 y 2030 respectivamente; mientras que las zonas con cobertura agrícola fueron de 5597.4 ha., 9613.02 ha., 28595.73 ha. y 31195.61 ha. para los mismos años respectivamente. Finalmente, se elaboró un mapa del cambio de cobertura forestal de los años 2000 al 2030 utilizando el software QGIS.

Palabras clave: teledetección, redes neuronales, cambio de cobertura forestal, minería, agricultura.

Abstract

The main objective of this research is to monitor the change in forest cover affected by anthropogenic factors in the district of Inambari for the period 2000, 2010 and 2020, and the specific objectives are to identify the forest cover affected by the anthropogenic factors of mining and agriculture and to analyze the change in forest cover due to anthropogenic factors of mining and agriculture for the year 2030. Landsat 7 and 8 images from the years 2000, 2010 and 2020 were used, then a supervised classification was carried out using the support vector machine method. To validate and analyze the data, the Kappa statistical method was used, resulting in very good concordances values. Subsequently, the projection of forest cover to the year 2030 was carried out using the Molusce plugin where the use of artificial neural networks was employed. All the processes were carried out in QGIS software, and the images were downloaded from Google Earth Engine. As a result, the areas with mining were 7109.56 ha, 10921.82 ha, 26876.34 ha and 30962.64 ha for the years 2000, 2010, 2020 and 2030 respectively; while the areas with agricultural cover were 5597.4 ha, 9613.02 ha, 28595.73 ha and 31195.61 ha for the same years respectively.

Finally, a map of forest cover change from 2000 to 2030 was produced using QGIS software.

Keywords: remote sensing, neural networks, forest cover change, mining, agriculture.

I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como objetivo monitorear e identificar el cambio de la cobertura forestal afectada por los factores antrópicos de minería y agricultura para los períodos de 2000, 2010, 2020 para luego realizar su proyección al 2030 y ver como la cobertura ha ido cambiando en el distrito de Inambari, provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios.

En el distrito de Inambari, se ha podido observar que la minería y agricultura está en aumento y está avanzando hacia áreas naturales protegidas lo que generaría un impacto negativo, por otro lado, se conoce que existen zonas muy peligrosas dentro del distrito, una de ellas se le conoce como La Pampa, en donde existe actividad delictiva como sicariato, trata de personas, entre otros.

Es por ello que en la presente investigación se identificarán las zonas afectadas por la minería y agricultura mediante el uso de las imágenes satelitales y herramientas de la teledetección, además de comprobar su efectividad y confiabilidad en el monitoreo del cambio de cobertura forestal y su proyección a escenarios futuros.

La presente investigación está dividida en siete capítulos:

Capítulo I, se describe y plantea el problema que afecta al área de estudio, se revisan antecedentes nacionales e internacionales, se proponen objetivos, hipótesis y la justificación de la investigación.

Capítulo II, trata sobre el marco teórico, el cual está dividido en bases teóricas que sustentan la investigación y el marco legal.

Capítulo III, se estableció el tipo de investigación descriptiva y explicativa nivel de investigación relacional, enfoque cuantitativo y método deductivo, se estableció el ámbito temporal de la investigación en los años 2000 al 2020 además de describir de manera detallada el área de estudio del distrito de Inambari, se determinaron la variable dependiente de cambio

de cobertura forestal e independientes como los factores antrópicos de minería y agricultura, se seleccionaron la población y muestra, los equipos, materiales y el detalle de los procedimientos realizados para el monitoreo de la cobertura forestal en los años 2000, 2010, 2020 y su proyección al 2030.

Capítulo IV, se realiza el análisis de los resultados obtenidos en el procesamiento de los datos y se da respuesta a los objetivos planteados sobre el monitoreo e identificación de la cobertura vegetal y su proyección al año 2030.

Capítulo V, se realiza la discusión de los resultados en base a los resultados en el capítulo IV.

Capítulo VI, se presentan las conclusiones del estudio sobre el cambio de cobertura forestal y los factores antrópicos de minería y agricultura que alteran esta cobertura, así como también la proyección de la cobertura al 2030.

Capítulo VII, se brindan las recomendaciones de la investigación sobre el uso de la teledetección en el monitoreo de la cobertura forestal.

En la parte final de la presente investigación se encuentran las referencias bibliográficas utilizadas, así como también los anexos con el procedimiento de cada variable y los mapas generados.

1.1. Descripción y formulación del problema

1.1.1. Descripción del problema

A nivel mundial la minería es una de las principales actividades para el desarrollo económico, si nos enfocamos en Latinoamérica, Perú es uno de los primeros países que produce diferentes minerales como el oro, plata, cobre, plomo, zinc, estaño, entre otros, además es el primer productor de oro en Latinoamérica. (Ministerio de Energía y Minas, 2021). Por otro lado, respecto a la biodiversidad, Perú se mantiene en el décimo lugar a nivel mundial con presencia de áreas de mayor densidad forestal, y es considerado como uno de los diez primeros países más diversos del mundo. (World Wildlife Fund, 2015)

El departamento de Madre de Dios fue considerado la capital de la biodiversidad, cuenta con la presencia de coberturas boscosas tropicales, además de ser la segunda área con la extensión boscosa más grande en la cuenca amazónica. (Reaño, 2021). Debido a la creación de la carretera Interoceánica que justamente pasa por zonas que algunas veces fueron aisladas, se ha dado acceso a pobladores para que transiten por esas zonas y creen carreteras alternas, que los llevan directamente a las zonas en donde están los recursos naturales, lo que provoca su explotación. (Vera, 2022).

Madre de Dios es el departamento que produce el 70% del oro artesanal del país, solo con decir que en noviembre del 2019 tuvo una producción de 10.3 toneladas, lo que se podría decir que es la actividad económica más importante de ese departamento. Asimismo, existen zonas restringidas para la minería, las cuales están destinadas a la conservación y preservación de la flora y fauna del lugar. (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, 2021)

A pesar de que existen zonas de conservación y preservación de la vida, se ha registrado que desde el 2019 ha aumentado la actividad minera ilegal en la zona de Pariamanu teniendo como consecuencia la deforestación en un 70% (Sociedad Peruana de Derecho Ambiental, 2020), lo mismo ocurre en La Pampa; la cual está ubicada en el distrito de Inambari y en la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata; que en el 2018 alcanzó su pico más alto con la pérdida de 900 ha. de bosque como consecuencia de la minería ilegal. (Rumbo Minero, 2019).

Debido a la minería y cultivos agrícolas ilegales presentes en las zonas se han generado otras actividades delictivas como trata de personas, sicariato, explotación sexual, entre otros (García F., 2019), lo que hace que ir a la zona de estudio es muy peligroso, es por ello que existen otras alternativas para monitorear la deforestación a causa de la minería y agricultura, una de ellas es el uso de imágenes satelitales y/o fotografías, esto se viene usando desde la década de los 70 hasta la actualidad. (Ministerio del Ambiente y Bosques, 2021).

De esta manera, en la presente investigación se identificarán las zonas deforestadas a causa de la minería y agricultura, se analizarán las imágenes satelitales utilizando las herramientas de la teledetección, con el fin de ver su efectividad y confiabilidad en el monitoreo del cambio de cobertura forestal y su proyección a escenarios futuros.

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

- ¿De qué manera el cambio de la cobertura forestal se ve afectada por los factores antrópicos en el distrito de Inambari, provincia de Tambopata en el departamento de Madre de Dios para el periodo de 2000, 2010 y 2020?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo los factores antrópicos de minería y agricultura influyen en el cambio de la cobertura forestal en el distrito de Inambari, provincia de Tambopata en el departamento de Madre de Dios?
- ¿Hasta qué punto la cobertura forestal cambiará para el año 2030 debido a los factores antrópicos de minería y agricultura en el distrito de Inambari, provincia de Tambopata departamento de Madre de Dios?

1.2. Antecedentes

1.2.1. Antecedentes internacionales

Palacios & Arellano (2021), en el artículo “*Modelo predictivo del cambio de cobertura forestal en el área de conservación municipal Quilamo – Cantón Morona*”, realizaron una investigación sobre generar un modelo predictivo del cambio de cobertura vegetal en el área de conservación municipal Quilamo (Cantón Morona - Ecuador) para el año 2025. Para generar este modelo utilizaron imágenes satelitales del año 2011 (Landsat 5), 2016 (Landsat 8) y 2020 (*Sentinel 2A*), ya que su metodología fue generar dos clases (bosque y no bosque) en cada imagen, luego se creó el modelo proyectado al 2020 tomando como imágenes de entrenamiento los años 2011 y 2016, el modelo fue validado con la imagen real del 2020; para la validación

del modelo se utilizó el software gratuito *Dinamica EGO* y para la generación de los modelos predictivos el software IDRISI Selva. Ya para la obtención del índice Kappa se utilizó el *software* QGIS y el *plugin* *Molusce*. Como resultado se obtuvo que la validación del modelo obtuvo un Kappa de 0.765 lo que resultó muy bueno y se creó la proyección al 2025, en donde resultó que la cobertura de superficie forestal de la zona de estudio tendría solo el 37.54%, por lo que se sugiere que se tomen medidas urgentes por parte de las autoridades.

Nieves-Solarte & Ruiz-Fajardo (2021), en el artículo “*Procesos de deforestación asociados a la minería legal en la Amazonía colombiana*”, plantearon una investigación sobre evaluar los procesos de la deforestación en la Amazonía (Colombia) a causa de la minería legal para un periodo de 2002 al 2014 además de conocer los títulos mineros entregados. Para poder evaluar estos cambios utilizaron capas cartográficas de los años 2002, 2007, 2010 y 2014; posterior a ello, realizaron todo el procesamiento en el software ArcGIS en donde utilizaron la herramienta de *Intersect* y crearon dos clases de cobertura, bosque y no bosque. Como resultado, pudieron identificar 173 títulos mineros, siendo Caquetá el departamento con mayores números de títulos además que la minería en Colombia está enfocada más en la extracción de materiales de construcción. Por otro lado, el departamento que presentó mayor deforestación fue Putumayo con 9,333.26 ha lo que equivale a un 62% del área permitida para la minería, aunque presentó zonas forestadas lo que podría deberse a programas de recuperación del ecosistema.

Voight et al. (2019), en el artículo “*Predictive Modeling of Future Forest Cover Change Patterns in Southern Belize*”, realizaron una investigación sobre un modelo predictivo del cambio de cubierta forestal en el sur de Belice, debido a que los bosques están disminuyendo debido al incremento de la agricultura utilizando los medios de tala y quema.

Para realizar esta investigación utilizaron imágenes Landsat 8 de los años 2014, 2016 y 2017, además de la plataforma de *Google Earth Engine*, *ENVI* y *TerrSet*. Para el modelo predictivo utilizaron redes neuronales MLP y árboles de clasificación y regresión. Como resultado se pudo obtener una precisión en la clasificación de la cobertura de 88% 94% y 96% para los años 2014, 2016 y 2017 respectivamente. En cuanto a la proyección, se pudo determinar que para el año 2026 la frontera agrícola va a seguir expandiéndose hacia los bosques maduros en un aproximado de 7392 ha. Por otro lado, los mapas obtenidos en la investigación se están utilizando para enfocar estrategias en los esfuerzos de conservación para conservar el paisaje boscoso intacto.

Kamaraj & Rangarajan (2022), en el artículo “*Predicting the future land use and land cover changes for Bhavani basin, Tamil Nadu, India, using QGIS MOLUSCE plugin*”, llevaron a cabo una investigación sobre la identificación del cambio de uso de la tierra en la cuenca Bhavani en la India, para ello analizaron las imágenes satelitales de los años 2005 y 2015, además utilizaron el *plugin* de QGIS que está constituido por autómatas celulares, redes neuronales artificiales y regresión logística. Para utilizar este *plugin* consideraron como variables al modelo digital de elevación, distancia de carreteras, distancia a construcciones, pendiente, orientación o aspecto y el mapa de clasificación de la cobertura del suelo para los años 2005, 2010 y 2015. Como resultado obtuvieron que utilizar solo las variables *DEM*, distancia a carreteras y construcciones generan un mayor valor al índice *kappa* (0.69), por otro lado, se pudo predecir que el cambio de usos de suelo entre el 2005 y 2020 disminuyeron para las tierras forestales (0.31%), de barbecho (3.28%), terrenos baldíos (1.67%) y cuerpos de agua (0.02%), mientras que para los años 2025 y 2030 se pronosticó que las tierras de cultivo van a aumentar en un 24 km² y 28 km², respectivamente, y las áreas edificadas en un 14 y 15 km².

Finalmente, el estudio demuestra que las tierras forestales van a cambiar debido a factores antropogénicos.

Buğday & Erkan Buğday (2019). en el artículo “*Modeling and simulating land use/cover change using artificial neural networks from remotely sensing data*”, realizaron una investigación sobre la detección de cambios de la cobertura del suelo utilizando técnicas avanzadas de sensoramiento remoto como son las redes neuronales artificiales. En este estudio se utilizaron imágenes satelitales *Landsat* de los años 1997, 2007, 2017 y se realizó la proyección para el año 2027. Primero se realizó una clasificación supervisada para los años 1997, 2007 y 2017, luego se calcularon las variables de distancia de carreteras, distancia a los arroyos, posterior a ello se utilizó el *software* de QGIS y *plugin MOLUSCE* para realizar la simulación al año 2027. Para la simulación de los datos de población se utilizó el *software* ArcGIS y la correlación de *Pearson* para identificar el cambio del uso del suelo con la variable de población para los años 1997, 2007 y 2017. Como resultado, se obtuvo que para los años 1997-2007 y 2007-2017, las áreas de cobertura forestal aumentaron mientras que las áreas agrícolas disminuyeron, además se estima que la superficie agrícola y de agua van a disminuir en 3.47% y 0.02% respectivamente, mientras que, para el área rural, área urbana, bosques y áreas edificadas van a aumentar en 4.14%, 5.58%, 2.72% y 0.77% respectivamente.

Principi Noelia (2021), en el artículo titulado “*Modelado de expansión urbana mediante autómatas celulares y redes neuronales artificiales*”, investigó sobre la posible expansión urbana en la ciudad de Luján - Buenos Aires, Argentina para el año 2030. Para poder realizar este modelo utilizó el *software de QGIS* y el *plugin de Molusce*, para ello se utilizó imágenes *Landsat 5* y *Sentinel 2* de los años 2010 y 2020 respectivamente, además de otras variables como cobertura urbana, distancia al área urbana, distancia a las vías principales,

pendiente del terreno, distribución de áreas protegidas y distribución del uso urbano disperso. En este estudio, primero se evaluó la correlación de las variables utilizando el coeficiente *Pearson*, en donde se indicó que las variables se comportan de forma similar porque si habrá influencia al momento de la proyección al 2030. Por otro lado, se realizó la matriz de transición en donde se indicó que el área urbana desde el 2010 al 2020 había incrementado en un 5.24 km². Para calcular la proyección se seleccionaron de manera aleatoria 5000 puntos de muestra, se definió una vecindad de 1, un aprendizaje de 0.005 y un ritmo de 0.005, las interacciones en 10000 y las capas ocultas en 8. Como resultado se obtuvo que la proyección del área urbana para el año 2030 fue de 6.72 km², lo que significa que incrementó en un 20% más de la superficie total del área de estudio.

1.2.2. Antecedentes nacionales

Zumaeta (2019) en el artículo “*Análisis multitemporal y predictivo del cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal*”, planteó una investigación sobre el análisis multitemporal y cambio del uso del suelo en la microcuenca Yuyac (Chachapoyas - Perú), para los años 1998, 2008, 2018 y realizar una proyección al 2030. Dentro de las herramientas utilizadas se consideró la leyenda de *Corine Land cover* adaptada al Perú elaborada por el MINAM, posterior a ello se seleccionaron imágenes satelitales que tengan una superficie nubosa menor al 10% las cuales se procesaron en el *software QGIS* y la clasificación de las clases de cobertura en el *software ArcGIS*. Luego, se realizó la proyección al 2030 utilizando el complemento de *Molusce* en QGIS en donde se determinaron las áreas de cambio de cobertura y suelo del suelo, así como también la pérdida de cobertura vegetal. Como resultado se obtuvo que el cambio que experimentaron las coberturas está relacionado con el cambio de uso de suelo a cobertura agrícola y que si la tendencia continúa así a futuro se perderá 129.40

ha de cobertura boscosa, además de ello, las variables que están más relacionada a estos cambios son la ganadería, agricultura y la expansión urbana.

Carranza & Tasilla (2020), en el artículo “*Pérdida de cobertura vegetal en el distrito de Morales, San Martín, Perú (periodo 1987 – 2017)*”, realizaron una investigación sobre el análisis de la pérdida de la cobertura vegetal en el distrito de Morales (San Martín - Perú) para el periodo de 1987 al 2017. Para poder realizar este análisis utilizaron imágenes satelitales *Landsat* de los años 1987, 1997, 2007 y 2017, en la metodología utilizaron los procedimientos propuestos por la guía "Estudio Especializado de Análisis de los Cambios de la Cobertura y Uso de la Tierra" propuesto por el MINAM, y para el procesamiento de todos los datos utilizaron el *software ArcGIS*. Como resultado obtuvieron que para el año 1987 el distrito de Morales tenía una cobertura vegetal del 51.24% (2690.37 ha), para el 2007 presentaba solo el 31.62% (1660.12 ha) mientras que para el año 2017 solo tenía un 30.49% (1600.86 ha), lo que significa una reducción considerable entre los años 1987 y 2007. Por otro lado, se identificó que el cambio de la cobertura vegetal se debe a las actividades antrópicas realizadas en la zona ya que influyen de manera negativa, a su vez, se sugiere que se mejoré la planificación del consumo responsable y se generen actividades de reforestación y concientización ambiental.

Conservación Amazónica - ACCA (2020). en el programa “*Servir - Amazonas*”, el cual trabaja junto con la *NASA*, *Biodiversity International*, Centro Internacional de Agricultura Tropical y comunidades de la zona, plantea una nueva herramienta llamada RAMI (*Radar Mining Monitoring*), que permite obtener registros de la cobertura terrestre, especialmente de las zonas en donde exista una selva tropical densa y lluvias intensas. Esta herramienta detecta en tiempo real áreas de minería ilegal en las zonas amazónicas del Perú. Se enfoca principalmente en la detección del oro ilegal en la zona de Madre de Dios, ya que en los últimos

30 años se han perdido 96,000 ha. El programa tiene como objetivo identificar nuevos frentes de minería ilegal ya sea en zonas de amortiguamiento o en áreas degradadas, así como también realizar un seguimiento, adicional a ello, deberá realizar la clasificación de las superficies ya sea en base a la actividad de la extracción del oro (legal, informal o formal) y facilitar la descarga y visualización de esta información.

Conservación Amazónica - ACCA (2022). en el boletín “N° 21, *Nuevas Alertas de Minería en la Plataforma RAMI para noviembre de 2022*”, se logró identificar nuevos focos de minería aurífera, dentro y fuera del corredor minero, lo que ocasiona la pérdida de cobertura vegetal. Los lugares en donde se identificaron fueron en Comunidad Nativa San José de Karene, el cual perdió un aproximado de 3.72 ha. de bosque dentro de límite de la Zona de Amortiguamiento de la Reserva Comunal Amarakaeri; la otra zona fue en la Comunidad Nativa Barranco Chico, donde se registró nuevas zonas de minería fuera de las concesiones, la pérdida de cobertura forestal fue de 1.93 ha.; otra zona observada fue la Comunidad Nativa Shiringayoc, donde se localizaron nuevas zonas mineras cerca al margen derecho del río Madre de Dios, la pérdida aproximada de cobertura forestal es de 0.81 ha. y, por último, en la Comunidad Nativa de Boca Inambari, se localizaron nuevos puntos de minería fuera de las concesiones mineras, está al margen derecho del río Inambari y presenta una pérdida aproximada de 1.49 ha.

Ibañez (2019), en la tesis titulada “*Predicción de los cambios de cobertura y uso de la tierra al año 2026 en la cuenca del río Tocache - San Martín*”, realizó una investigación sobre el crecimiento de la población y la deforestación, para lo cual utilizó imágenes de *Landsat 5, 8* y *Sentinel 2A* para los años 2006, 2011 y 2016 respectivamente. Dentro de las variables utilizadas para realizar la predicción tuvo a la distancia de las vías, ríos, centros poblados, áreas

deforestadas. La proyección se realizó en el *software* Dinámica EGO, el cual pudo calcular la matriz de confusión, además de asignarle pesos de evidencia a cada variable, en este *software* se pudo crear dos escenarios, un escenario tendencial donde disminuyó el bosque y aumentó las zonas agrícolas, mientras que el otro es un escenario de conservación, donde se observó la recuperación del bosque y se encuentra un equilibrio entre la conservación las actividades agrícolas. Como resultado se obtuvo, que para la proyección al 2026 se obtuvieron dos escenarios, el escenario tendencial, donde el bosque se reduce en 3975.50 ha mientras que en el escenario de conservación se recuperan 1042.50 ha de bosque.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Monitorear el cambio de cobertura forestal afectada por los factores antrópicos en el distrito de Inambari, provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios para el periodo de 2000, 2010 y 2020.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar la cobertura forestal afectada por los factores antrópicos de minería y agricultura en el distrito de Inambari, provincia de Tambopata en el departamento de Madre de Dios.
- Analizar el cambio de cobertura forestal por factores antrópicos de minería y agricultura para el año 2030 en el distrito de Inambari, provincia de Tambopata departamento de Madre de Dios.

1.4. Justificación

Actualmente podemos visualizar que la deforestación es un problema constante, donde poco a poco nuestros bosques se van perdiendo por diferentes razones, ya sea por la agricultura, expansión urbana o minería. En muchos de los casos, al ser lugares de difícil acceso o muy peligrosos, como es el caso de La Pampa; el cual está ubicado en el distrito de Inambari, en la provincia de Tambopata; es casi imposible poder realizar un monitoreo de manera presencial, ver cómo realmente está la zona y cómo es que podría verse afectada en un futuro si es que las autoridades competentes no toman alguna decisión para frenar la deforestación por minería ilegal.

A raíz de esa necesidad esta investigación se justifica ya que lo que se va analizar es el cambio de la cobertura forestal desde el año 2000 al 2020, luego se realizará una proyección para conocer cómo es que se vería la zona en un futuro, y al mismo tiempo, mostrar las potencialidades que tiene el uso de las nuevas tecnologías como es la teledetección y el procesamiento digital de imágenes satelitales para realizar el monitoreo de cobertura forestal en zonas de difícil acceso y/o peligrosos.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

- El cambio de la cobertura forestal se ve afectada de manera significativa por los factores antrópicos en el distrito de Inambari, provincia de Tambopata departamento de Madre de Dios en los períodos de 2000, 2010 y 2020.

1.5.2. Hipótesis específica

- La minería y agricultura son los factores que más influyen en el cambio de la cobertura forestal debido a la extracción del oro y aumento de las zonas de cultivo respectivamente.
- La cobertura forestal cambiará de manera significativa para el año 2030 debido a los factores de minería y agricultura, se estima que se perderá el 20% de cobertura forestal.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación

2.1.1. Cobertura de la tierra

La cobertura de la tierra está conformada por los elementos biofísicos que se observan en la superficie de la Tierra, esto significa que está conformada por la cobertura vegetal o cobertura asociada a infraestructura antrópica. (Ministerio del Ambiente, s.f.).

Dentro de los tipos de coberturas que se tienen, tenemos la estandarizada por *Corine Land Cover*, que sirve para construir mapas de cobertura de la tierra a escala nacional.

Tabla 1

Nomenclatura estandarizada Corine Land Cover, para construir Mapas de Cobertura de la Tierra a nivel Nacional.

Nivel I	Nivel II	Nivel III
1. Áreas Artificializadas	1.1 Áreas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo
		1.1.2 Tejido urbano discontinuo
	1.2 Áreas industriales e infraestructura	1.2.1 Áreas industriales o comerciales
		1.2.2 Red vial, ferroviaria y terrenos asociados
		1.2.3 Áreas portuarias
		1.2.4 Aeropuertos
		1.2.5 Obras hidráulicas

	1.3 Áreas de extracción de minería e hidrocarburos y escombreras	1.3.1 Áreas de extracción de minería e hidrocarburos
		1.3.2 Áreas de disposición de residuos
	1.4 Áreas verdes artificializadas, no agrícolas	1.4.1 Áreas verdes urbanas
		1.4.2 Instalaciones recreativas
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 Bosques	3.1.1 Bosque denso bajo
		3.1.2 Bosque abierto bajo
		3.1.3 Bosque denso alto
		3.1.4. Bosque abierto alto
		3.1.5. Bosque fragmentado
	3.2 Bosques plantados	
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1 Herbazal
		3.3.2 Arbustal
		3.3.3 Vegetación secundaria o en transición
		3.3.4 Vegetación arbustiva/herbácea
		3.3.5 Arbustal/área

		intervenida
		3.3.6. Herbazal / área intervenida
		3.3.7 Arbustal-Herbazal/ara intervenida
	3.4 Áreas sin o poca vegetación	3.4.1. Áreas arenosas naturales
		3.4.2 Afloramientos rocosos
		3.4.3 Tierras desnudas (incluye áreas erosionadas naturales y también degradadas)
		3.4.4 Áreas quemadas
		3.4.5 Glaciares
		3.4.6 Salares
4. Áreas Húmedas	4.1 Áreas húmedas continentales	4.1.1 Áreas Pantanosas
		4.1.2 Tuberías y bofedales
		4.1.3 Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
	4.2 áreas húmedas costeras	4.2.1 Pantanos costeros
		4.2.2 Salitral
		4.2.3 Sustratos y sedimentos expuestos en bajamar
5.Superficies de Agua	5.1 Aguas continentales	5.1.1 Ríos (50m)
		5.1.2 Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes

		5.1.3 Lagunas, lagos y ciénagas naturales estacionales
		5.1.4 Canales
		5.1.5 Cuerpos de agua artificiales
	5.2 Aguas costeras	5.2.1 Lagunas costeras
		5.2.2 Mares y océanos
		5.2.3 Estanques para acuicultura marina

Nota. Tomado de Cobertura y uso de la Tierra, por el MINAM, s.f., <https://geoservidor.minam.gob.pe/monitoreo-y-evaluacion/cambio-de-cobertura-y-uso-actual-de-las-tierras/>

2.1.2. Uso de la Tierra

El uso de la Tierra se refiere a todas las actividades realizadas por el hombre que generan bienes y servicios, mediante cambio, alteración de la cobertura de la Tierra. Por otro lado, un concepto muy usado es el cambio de uso de la tierra, que se refiere al cambio de uso de la tierra por el hombre, lo que conlleva al cambio de la cobertura terrestre. (Ministerio del Ambiente, s.f.).

En este caso el MINAM ha establecido metodologías y herramientas para poder monitorear el territorio a nivel local, regional y nacional. Tiene como base legal el D.S. N° 002-2017-MINAM, Art 63, en donde menciona que dentro de sus funciones está evaluar y monitorear los ecosistemas y la biodiversidad del territorio en coordinaciones con otras entidades competentes.

Como parte de las metodologías utilizadas por el MINAM tenemos las siguientes herramientas dependiendo el nivel de escala al que se trabaje:

Tabla 2

Escala de aplicación de herramientas de monitoreo del territorio

	Herramienta de análisis para:	Descripción
Nivel Nacional	1. Análisis de Cambio de la cobertura de la tierra – Terra-i-Perú. (Baja resolución espacial)	Herramienta que genera alertas de Cambios de la Cobertura utilizando imágenes <i>MODIS (NDVI)</i> y <i>TRMM</i> , brindando información cada 16 días de pérdida y aumento de cobertura de la tierra.
Nivel Regional	2. Análisis de Cambio de Cobertura y Uso Actual de la Tierra. (Resolución espacial media)	Cambio de Cobertura y Uso de la Tierra, haciendo uso del Sistema de clasificación <i>Corin Land Cover</i> e imágenes Landsat. Uso de la herramienta <i>Claslite</i> que registra los cambios de la cobertura Boscosa.
Nivel local	3. Análisis de cambios por minería ilegal e informal a nivel local. (Resolución espacial media y Alta)	Herramienta que brinda información de áreas degradadas por minería ilegal e informal en ámbitos priorizados a nivel nacional. Se generan reportes trimestrales.

Nota. Tomado de Cobertura y uso de la Tierra, por el MINAM, s.f., <https://geoservidor.minam.gob.pe/monitoreo-y-evaluacion/cobertura-y-uso-de-la-tierra/>

2.1.3. Deforestación

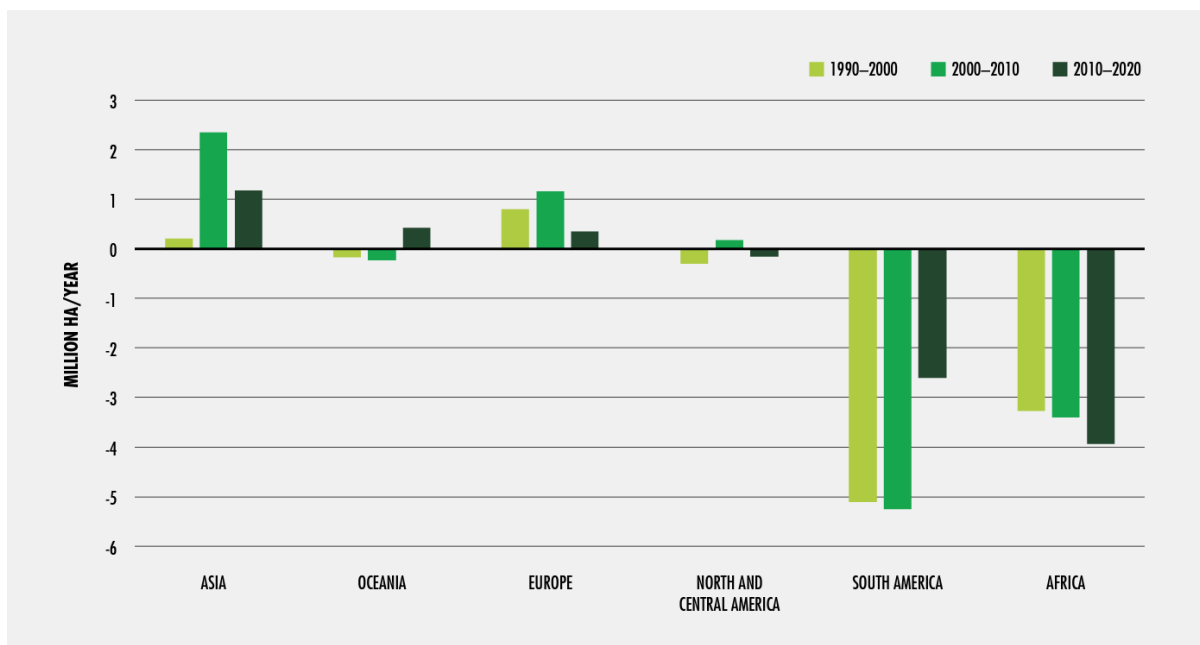
La deforestación es la pérdida de bosque o cubierta boscosa, que implica el cambio de la cobertura de la tierra a otros tipos de uso. Puede ser de manera natural ya sea por incendios forestales de origen natural, deslizamientos, entre otros; o por causas antrópicas como la tala, minería, cambios a uso agrícola, urbano, entre otros. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2015).

Como sabemos, los bosques cubren un total del 31% de la superficie del planeta y además son el hogar de la mayor parte de la fauna existente, y su conservación depende de cómo interactuemos con él. Albergan un total del 80% de anfibios, 75% de aves y 68% de mamíferos. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2020)

Desde los años 90 hasta la actualidad se han perdido millones de hectáreas de bosque en los diferentes continentes del mundo, pero en los últimos 10 años la tasa de pérdida de bosque se ha reducido en un 50% en América del Sur, aunque no podemos decir lo mismo en el continente africano. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2020).

Figura 1

Variación neta de la superficie forestal por región, 1990-2020 (Millones de hectáreas al año).

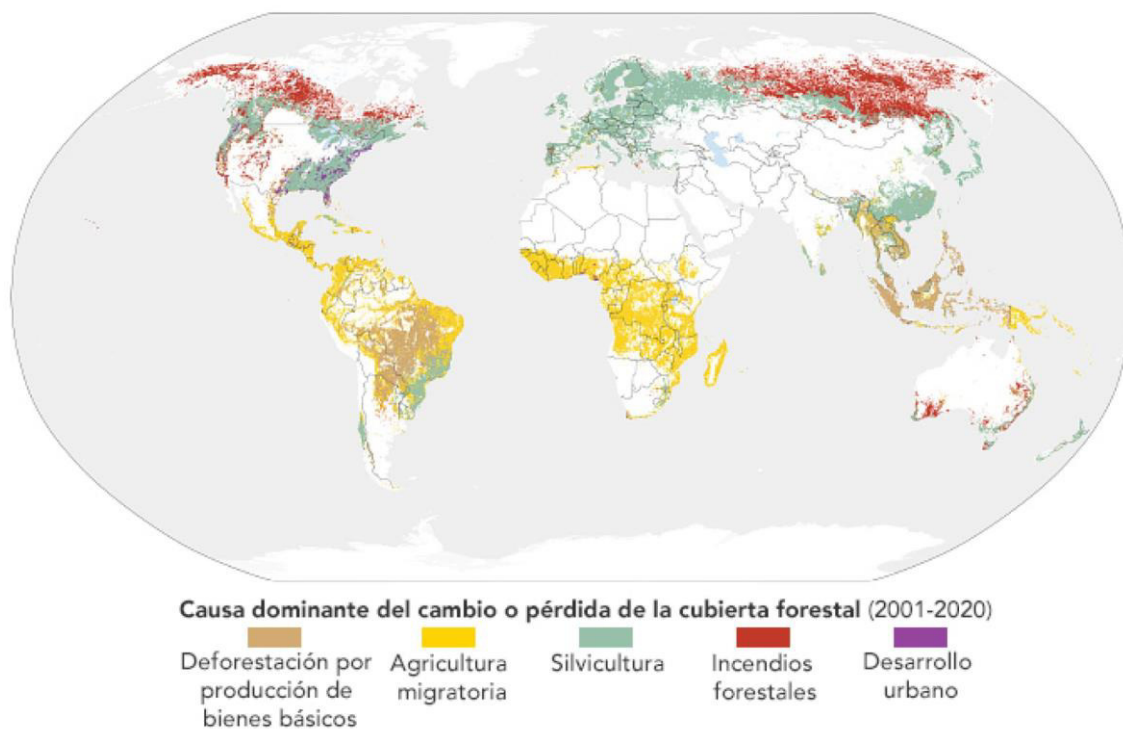


Nota. Variación neta de la superficie forestal en los continentes de Asia, Oceanía, Europa, América y África. Tomado de The State of The World's Foresta, por la FAO, 2020, <https://www.fao.org/3/ca8642en/ca8642en.pdf>

La causa de la deforestación se debe a varios factores, como incendios forestales, agricultura, minería, entre otros. En el año 2020, se perdieron alrededor de 4.2 millones de hectáreas de bosque y el 50% fue a causa de la producción agrícola. (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio [NASA], 2021).

Figura 2

Causa del cambio de la cubierta forestal para los años (2001-2020)



Nota. Tomado de Evaluando la relación entre la agricultura y la deforestación, por la NASA, 2021, <https://ciencia.nasa.gov/relacion-agricultura-deforestacion>

Uno de los métodos más recurrentes para poder realizar el cambio de cobertura forestal a agrícola son los incendios, estos pueden ser grandes como los incendios forestales ocurridos en Australia (2019), California (2020) y Grecia (2021) o pueden ser pequeños los que son más difíciles de detectar por medio de los satélites. (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio ARSET 2021).

Existen diferentes tipos de incendios relacionados con la agricultura, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3

Tipos de incendios

TIPOS DE INCENDIO				
	Incendio forestal o en áreas silvestres	Deforestación	Agrícola	De turba
¿Qué quema?	Bosque, matorral. hierba	Bosque	Cultivos, hierba, matorral	Turba (material similar a la tierra)
¿Cuándo se quema?	Tiempo seco, varía de año en año	Estacionalmente	Estacionalmente	Estacionalmente, varía de año en año
¿Por qué se quemó?	Humanos (quemadas prescritas, accidentales, o provocadas ilegalmente), o naturales (relámpago)	Humanos (desmonte para ganadería y cultivos)	Humanos (quema anterior o después de una temporada de crecimiento para despejar campos para cultivos)	Humanos (desmonte para cultivos y ganadería, natural (deshielo de permafrost)
¿Cómo se quemó?	Varía de poco a extremo, pueden quemar millones de hectáreas si no se controlan	Intensidad moderada a severa	Menor intensidad	Intensidad muy baja, quema debajo de la superficie, difícil de extinguir

Nota. Tipos de incendios forestales dependiendo del nivel de cobertura. Tomado del Taller Observaciones de Satélites y Herramientas para el Riesgo, Detección y Análisis de Incendios de la NASA – ARSET (2021). https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/2021-05/Fire_Part1_Spanish.pdf

2.1.4. Minería

La minería es una actividad extractiva que se realiza a nivel mundial ya que influye en la economía y medio ambiente. Consiste en la extracción selectiva de minerales y combustible a partir de la corteza terrestre, una gran cantidad de estos forman los yacimientos. (Dammert A. & Molinelli F. 2007)

Existe una gran variedad de minerales como los que tenemos en la siguiente tabla:

Tabla 4*Variedad de minerales*

Grupo	Minerales
Metales	Incluyen los metales: <ul style="list-style-type: none"> ● Preciosos (el oro, la plata y los metales del grupo del platino) ● Siderúrgicos (hierro, níquel, cobalto, titanio, vanadio, cromo) ● Básicos (cobre, plomo, estaño y zinc) Ligeros (magnesio y aluminio) Nucleares (uranio, radio y torio) Especiales, como el litio, el germanio, el galio o el arsénico.
Minerales industriales	Incluyen los de potasio y azufre, el cuarzo, la trona, la sal común, el amianto, el talco, el feldespato y los fosfatos.
Materiales de construcción	Incluyen la arena, la grava, los áridos, las arcillas para ladrillos, la caliza y los esquistos, para la fabricación de cemento. En este grupo también se incluyen la pizarra para tejados y las piedras pulidas, como el granito, el travertino o el mármol.
Gemas	Incluyen los diamantes, los rubíes, los zafiros y las esmeraldas
Combustibles	Incluyen el carbón, el lignito, la turba, el petróleo y el gas (aunque generalmente estos últimos no se consideran productos mineros). El uranio se incluye con frecuencia entre los combustibles.

Nota. Variedad de minerales dependiendo su composición y clasificados por grupos. Tomado del Panorama de la Minería en el Perú, por Dammert A. & Molinelli F, 2007, https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Libro_Panorama_de_la_Mineria_en_el_Peru.pdf

La minería en el Perú se remonta desde tiempos antiguos como en la época pre inca hasta la actualidad, por lo que la minería ha ido evolucionando en el transcurso de los años. Por lo que, ahora podemos clasificar la minería por el tipo de actividad, sustancias, yacimientos,

tipos de explotación, entre otros. (Guillermo Garcia 1965, como citó Dammert & Molinelli, 2007)

Tabla 5

Tipos de concesiones mineras según criterios de clasificación

Criterios	Tipos de concesión
1. Tipo de actividad	1) De exploración y explotación 2) De beneficio 3) De labor general 4) Transporte minero
2. Naturaleza de las sustancias	1) Metálicas 2) No metálicas 3) Carboníferas 4) Geotérmicas 5) Petróleo 6) Piedras preciosas y semipreciosas
3. Forma de los yacimientos	Algunos las clasifican en: 1) Capas o mantos 2) Vetas o filones 3) Formaciones irregulares
	Otros las clasifican en: 1) De aluvión 2) De veta en rocas 3) De sedimento en capas
4. Método de explotación	1) De superficie (a cielo o tajo abierto) 2) Subterráneos o de socavón.
5. Valor económico de las sustancias	Variable según oferta y demanda
6. Ubicación de los minerales	1) De suelo 2) De subsuelo
7. Denunciabilidad	1) Pueden ser entregados en concesión 2) No pueden ser entregados en concesión
8. Tamaño	1) Grande

	2) Mediana 3) Pequeña 4) Artesanal
9. Tipo de producción	Plata, Hierro, Cobre, Zinc, Plomo, Oro, Estaño, Otros.
10. Legalidad	1) Formal 2) Informal: Evasiva Elusiva

Nota. Criterios de clasificación dependiendo del tipo de concesiones mineras según criterios de clasificación. Tomado del Panorama de la Minería en el Perú, por Dammert A. & Molinelli F, 2007, https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Libro_Panorama_de_la_Mineria_en_el_Peru.pdf

Enfocándonos más en la minería por su tamaño, se refiere a su volumen de producción, la gran minería tiene aproximadamente 5000 toneladas métricas por día de producción, por otro lado, la pequeña minería y la artesanal se enfocan más en la cantidad de hectáreas, concesiones mineras y producción. (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, 2017)

Tabla 6

Clasificación de las actividades mineras según tamaño

Tamaño	Extensión	Producción
Gran minería	No aplica	Más de 5000 TMD
Mediana minería	No aplica	Hasta 5000 TMD
Pequeña minería	Hasta 2000 ha	Hasta 350 TMD
Minería artesanal	Hasta 1000 ha	Hasta 25 TMD

Nota. Tomado de La Industria de la Minería en el Perú, 20 años de contribución al crecimiento y desarrollo económico del país, por OSINERGMIN, 2017, pp. 150. <https://issuu.com/osinergmin/docs/osinergmin-industria-mineria-peru-2/76>

La pequeña minería o la minería artesanal comparten muchas características similares, como sector de trabajo informal, herramientas mecánicas, mano de obra excesiva, ubicación en zonas rurales pobres o remotas, población itinerante con poca formación o pocas alternativas de trabajo. (Banco Mundial 2013, como se citó en Organización Mundial de Salud, 2017). Dentro de la minería artesanal o pequeña minería tenemos a la minería aurífera artesanal, que viene a ser la extracción del oro por mineros o pequeñas empresas que tienen una producción e inversión limitada. (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente 2014, como se citó en Organismo Mundial de Salud, 2017).

En el Perú, en el departamento de Madre de Dios, la minería artesanal o pequeña minería son importantes ya que el 99% de las operaciones mineras son informales además que están ocupando parte de zonas de amortiguamiento junto con áreas naturales protegidas y tierras de pueblos indígenas. En este tipo de minería, el principal mineral de extracción es el oro, por lo que para realizar la amalgamación de este mineral se usa el mercurio, el cual es sumamente tóxico; además que se ha ido esparciendo en los sedimentos de los ríos, peces, animales y en humanos. (Ministerio del Ambiente, 2011).

Figura 3

Minería aurífera en Madre de Dios



Nota. Tomado de Minería ilegal en Madre de Dios: estragos y remanentes del “salvaje oeste” peruano, por Tiempo Minero, 2021, <https://camiper.com/tiempominero-noticias-en-mineria-para-el-peru-y-el-mundo/mineria-ilegal-en-madre-de-dios-estragos-y-remanentes-del-salvaje-oeste-peruano/>

2.1.5. Agricultura

La agricultura se viene dando desde tiempos antiguos y viene a representar el arte de cultivar la tierra, y el fin de cultivar vegetales mayormente para consumo alimenticio. (Equipartes, 2017).

Existen diferentes tipos de agricultura, uno de ellos es la agricultura migratoria, en donde prácticamente los agricultores solo usan instrumentos básicos para la labranza, y tiene como finalidad producir alimentos para ellos mismos. (Dourojeanni, 1987 citado en Ministerio del Ambiente, 2009).

Por otro lado, en esta agricultura, el agricultor elimina bosques primarios, y una de las técnicas puede ser por combustión que en ciertas ocasiones puede originar incendios forestales. (Ministerio del Ambiente, 2009). En este tipo de agricultura, no se prepara al suelo, por lo que la producción disminuye en cada cultivo, y el agricultor tiende a migrar y buscar nuevas tierras.

Figura 4

Agricultura migratoria.



Nota. Tomado de Amazonía peruana perdió 23 mil hectáreas de bosques en solo medio año, por Asociación Interétnica de desarrollo de la selva peruana, 2018, <https://aidesep.org.pe/noticias/amazonia-peruana-perdio-23-mil-hectareas-de-bosques-en-solo-medio-ano/>

2.1.6. Sistemas de Información Geográfica

Los sistemas de información geográfica (SIG), son un sistema de base de datos realizado mediante computadoras, que permite capturar, almacenar, recuperar, analizar y visualizar datos espaciales. A su vez, permite la integración de diferentes bases de datos

geográficos que ayudan a cumplir varias necesidades, como realizar post procesamientos de los datos y la generación de mapas. (Anji, 2008)

Según Olaya (2020), Los SIG tienen cinco elementos básicos que lo conforman:

- Datos, que vendrían a ser la materia prima
- Métodos, que son las metodologías o procedimientos que se aplican sobre los datos
- *Software*, que vendría a ser la aplicación donde se procesan los datos.
- *Hardware*, vendría a ser la computadora o laptop donde se instala el software
- Personas, que vienen a ser los profesionales encargados de diseñar, utilizar y analizar los resultados obtenidos en el *software*.

Figura 5

Elementos básicos de un SIG



Nota. Tomado de Sistemas de información geográfica, por Todo Tecnologías, s.f., <https://todotecnologias.com/sistema-de-informacion-geografica/>

2.1.7. Teledetección

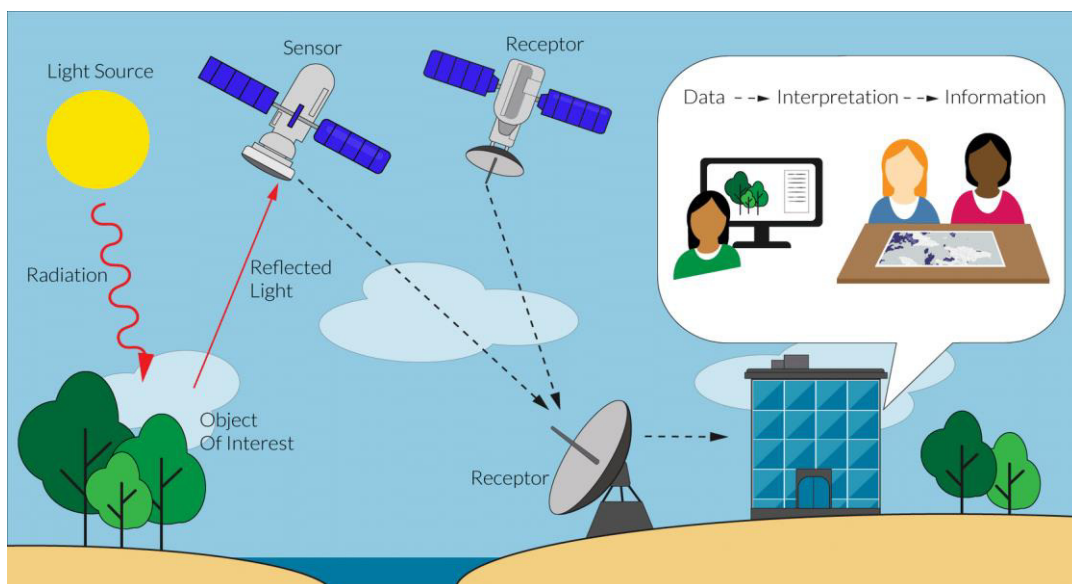
Según Pérez C. & Muñoz A. (2006), se entiende por teledetección al procedimiento de adquirir información de un objeto sin tener contacto directo con él. Considerando un enfoque más directo a las ciencias de la Tierra, se entiende por ser la técnica de capturar, tratar y analizar imágenes digitales obtenidas de los satélites artificiales.

Dentro de la teledetección tenemos tres elementos importantes, el sensor, objeto observado y el flujo energético. El flujo energético puede proceder de la luz solar o por la energía emitida de un propio objeto. (Chuvieco, 2010)

El sol, es la fuente generadora de radiación electromagnética, la cual se refleja en todas las superficies de la Tierra, a su vez es capaz de atravesar la atmósfera y luego ser recogida por los sensores que están ubicados en alguna plataforma o vehículo espacial. Después esta información es transmitida a la Tierra, en forma de una matriz numérica, para posteriormente ser corregida y luego distribuida a los usuarios. (Pérez & Muñoz, 2006)

Figura 6

Ejemplo de un sistema de detección remota basado en satélites pasivos



Nota. Tomado de ¿Qué es la detección remota?, por The Nature Conservancy, s.f., <https://reefresilience.org/es/management-strategies/remote-sensing-and-mapping/introduction-to-remote-sensing/what-is-remote-sensing/>

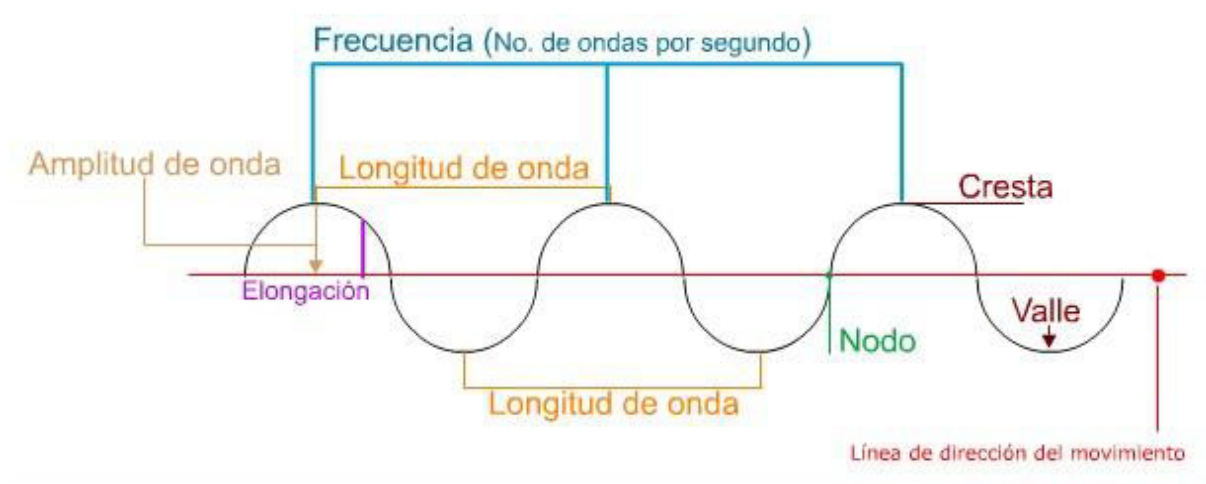
2.1.8. Principios físicos de la Teledetección

Enfocándonos en la teledetección, podemos ver que mucho de ella tiene sustento teórico en la física. Como sabemos la radiación electromagnética es muy importante en la Teledetección ya que es el flujo energético que interactúa con la superficie terrestre, ya que existen dos teorías que lo explican. (Pérez & Muñoz,2006)

La primera teoría es la ondulatoria en donde la radiación electromagnética es un fenómeno ondulatorio de propagación y actúa en dos campos perpendiculares, el magnético y el eléctrico. La otra teoría tiene como base la longitud de onda; en donde se hace referencia a la distancia entre dos picos de una onda; y frecuencia; donde se designa el número de ciclos pasando por un punto fijo en un tiempo. (Chuvienco, 2010)

Figura 7

Las propiedades de las ondas son: la longitud, la amplitud y la frecuencia

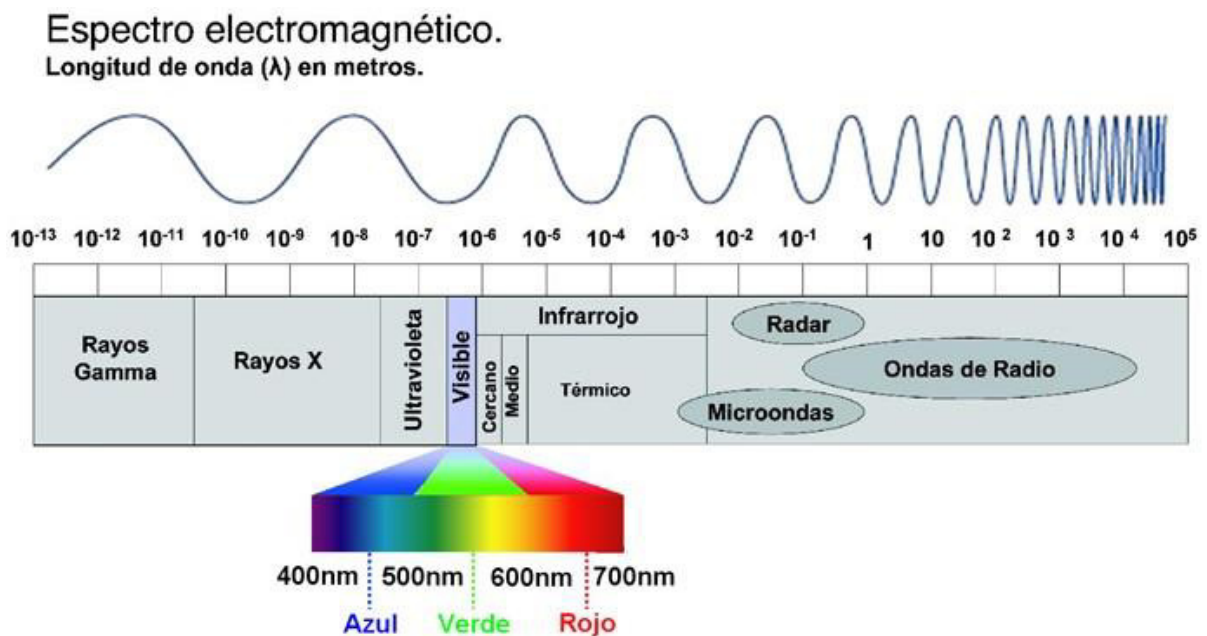


Nota. Tomado del Espectro electromagnético y efecto Doppler, por UNAM, s.f., http://uapas1.bunam.unam.mx/ciencias/efecto_doppler/

Teniendo ya el concepto más claro, se puede deducir que la energía está en función de su longitud de onda o frecuencia. Es por ello que se establecen una serie de bandas espectrales en donde la radiación electromagnética tiene un comportamiento similar y se le llama espectro electromagnético, que varía en espectro visible (0.4 a 0.7 micras), Infrarrojo cercano (*IRC*: 0.7 a 1.2 micras), Infrarrojo medio (*SWIR*: 1.2 a 2.5 micras y *IRM*: 2.5 a 8 micras), infrarrojo lejano o térmico (*ITR*: 8 a 14 micras) y las microondas (M por encima de 1 mm). (Chuvieco, 2010)

Figura 8

Espectro electromagnético.



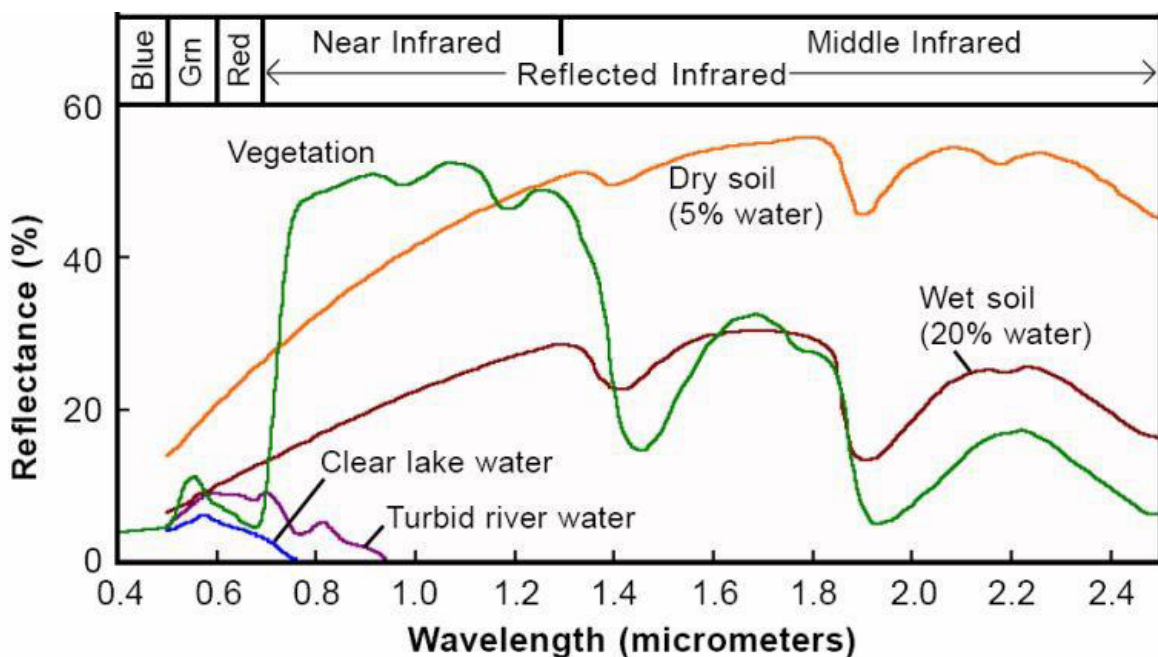
Nota. Tomado del Espectro electromagnético y efecto Doppler, por UNAM, s.f., http://uapas1.bunam.unam.mx/ciencias/efecto_doppler/

2.1.9. Firma espectral

La firma o signatura espectrales, es una curva que representa el comportamiento espectral de cada una de las coberturas de la Tierra, lo que permite diferenciarlas y conocer sus diferentes estados, ya que cada una tiene un trazado diferente como por ejemplo la del agua, suelo, vegetación, entre otros. (Pérez & Muñoz, 2006)

Figura 9

Firma espectral de la vegetación, suelo y agua.



Nota. Tomado de Tutorial de Determinación de Huellas Espectrales de Cobertura de Suelos con QGIS 3 y SCP 6, por Gidahatari, 2018, <https://gidahatari.com/ih-es/tutorial-de-determinacion-de-huellas-espectrales-de-cobertura-de-suelos-con-qgis-3-y-scp-6>

2.1.10. Imagen satelital

Para obtener una imagen satelital, primero se captura la radiación emitida por la superficie terrestre a través de un sensor que está encima de un satélite artificial para luego

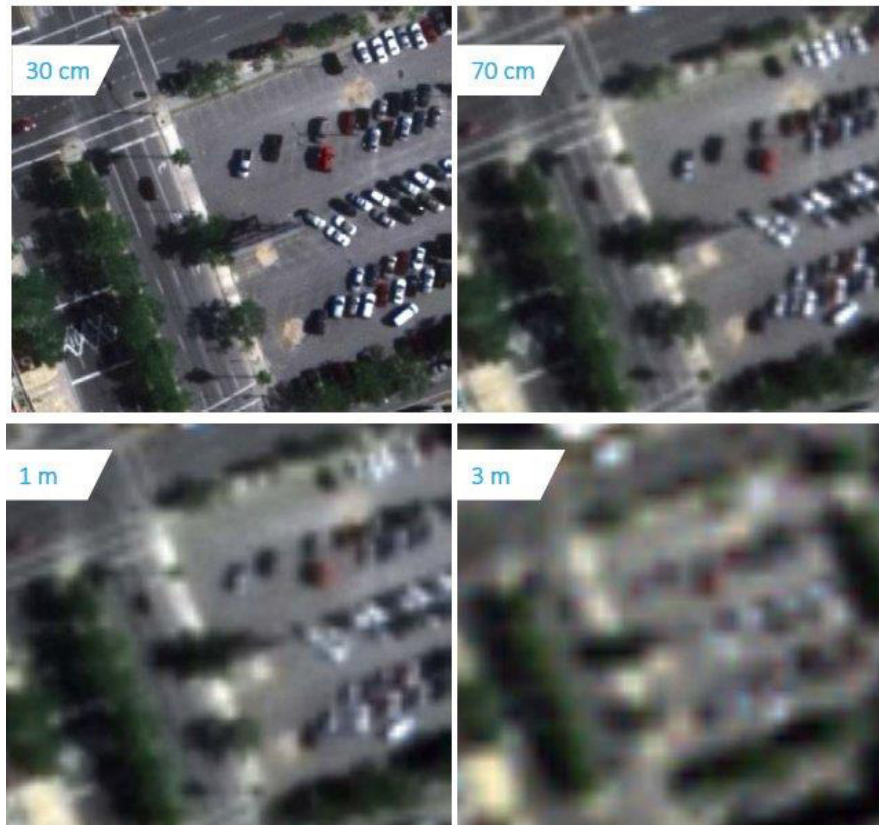
realizar una serie de procesamientos. Por lo tanto, se podría decir que una imagen satelital es la representación visual de la superficie de la Tierra. (UCH, 2018)

Dentro de las imágenes satelitales, éstas se diferencian dependiendo el tipo de sensor, ya que cada sensor puede ser pasivo o activo y también el tipo de resolución ya sea espacial, espectral, radiométrica y temporal.

Según Chuvieco (2010), la resolución espacial se define como el tamaño del píxel de la imagen satelital que vendría a ser el objeto más pequeño que puede ser distinguido. La resolución espectral, vendría a ser el número y ancho de cada banda espectral que tiene el sensor. Respecto a la resolución radiométrica, se enfoca más en la capacidad de detectar la variación de la radiación espectral, ya que la imagen se codifica en código binario y es medido en el número de bits que posee. Finalmente, tenemos a la resolución temporal, que se refiere a la periodicidad del sensor al pasar por la misma zona.

Figura 10

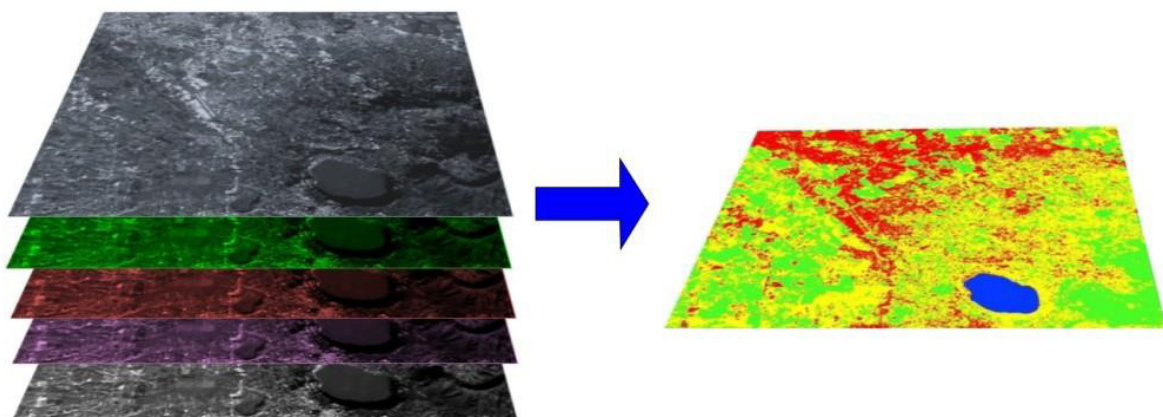
Resolución espacial de una imagen satelital



Nota. Tomado de DigitalGlobe, consolidación con los imbatibles 31 centímetros, por DigitalGlobe, 2016, <http://latamsatelital.com/digitalglobe-consolidacion-los-imbatibles-31-centimetros/>

Figura 11

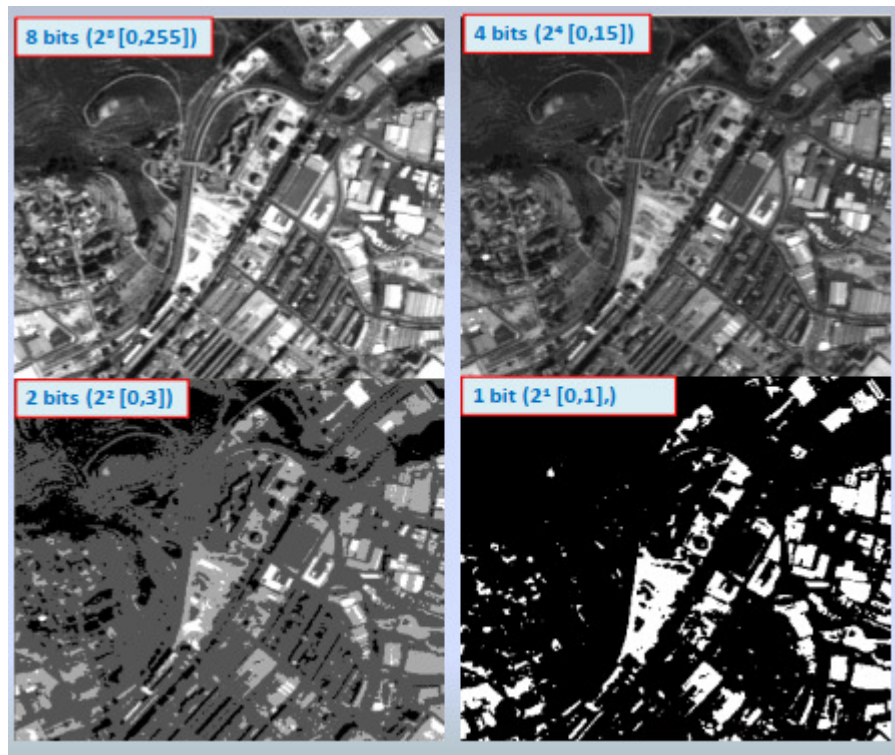
Resolución radiométrica de una imagen satelital.



Nota. Tomado de tipos de resoluciones en imágenes geoespaciales, por Alfa Geomatics, 2019, <https://alfageomatics.com/2019/09/tipos-de-resolucion-en-imagenes-geoespaciales/>

Figura 12

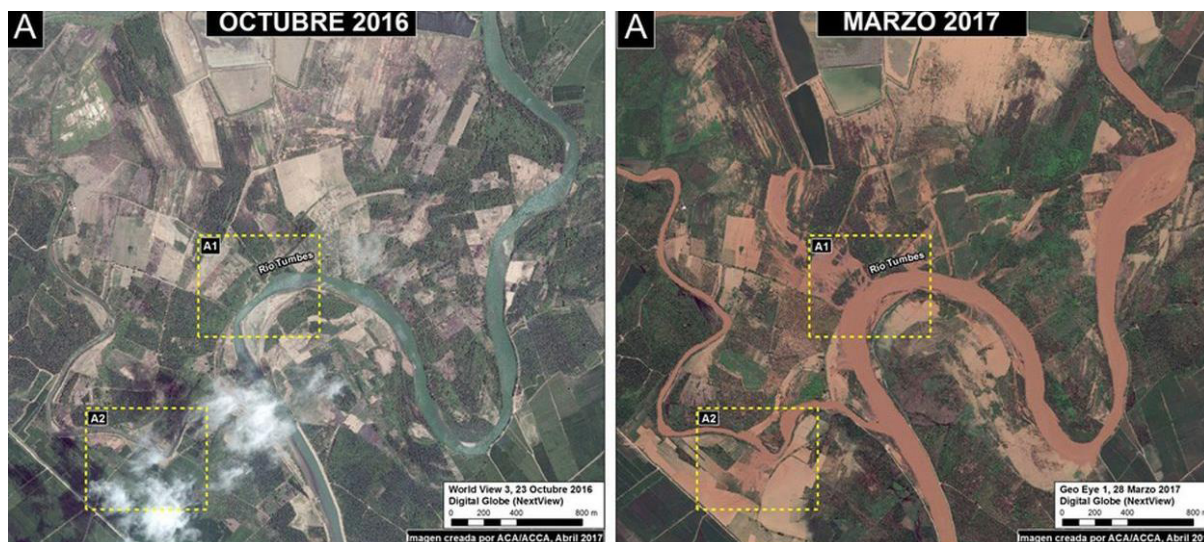
Resolución espectral de una imagen satelital



Nota. Tomado de Breve Introducción a la teledetección, por Luca Congedo - Semi-automatic Classification Manual, 2017, https://semiautomaticclassificationmanual-v5.readthedocs.io/es/latest/remote_sensing.html

Figura 13

Resolución temporal de una imagen satelital



Nota. Tomado por Imágenes antes y después de los desbordes de ríos, por La República, 2017, <https://larepublica.pe/sociedad/866264-imagenes-satelitales-muestran-el-antes-y-despues-de-los-rios-tras-los-desbordes-fotos/>

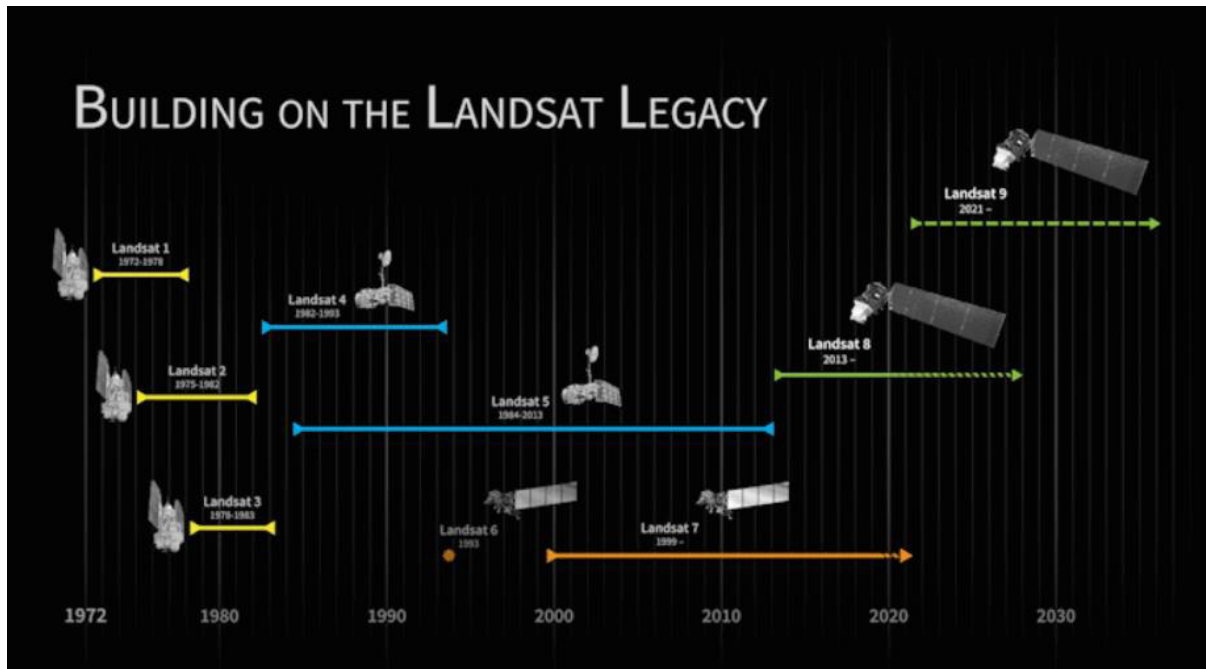
2.1.11. Misión Landsat

Landsat tiene como misión recopilar datos de los recursos naturales del planeta, así como el monitoreo de la Tierra. Abarca diferentes campos como la detección y medición de los cambios de la cobertura y uso de la tierra, recursos ecosistémicos e hídricos. (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio, s.f.)

El primer satélite Landsat 1, fue lanzado en año 1972 en la base de la Fuerza Aérea Vandenberg en California, y el último satélite Landsat 9; el cual fue lanzado el 27 de septiembre del 2021; se tiene una data histórica de más de 50 años de recopilación de imágenes satelitales de la cobertura terrestre a nivel global. (Kate Ramsayer, 2015).

Figura 14

Cronología Landsat.



Nota. Tomado de Landsat Timeline, por la NASA, s.f., <https://landsat.gsfc.nasa.gov/about/landsat-timeline/>

Dentro de los satélites Landsat más utilizados tenemos al

Landsat 7

Fue lanzado el 15 de abril de 1999, tiene un sensor ETM+ que permite ser más eficiente para los estudios relacionados al calentamiento global, monitoreo y evaluación de la cobertura terrestre además de mapear áreas extensas. Tiene una órbita polar helio sincrónica, altitud de 705 km, inclinación de 98.2° y una resolución temporal de 16 días. El 31 de mayo del 2003, presentó una falla en el corrector de línea de escaneo (SLC). (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio, s.f.).

Tabla 7

Bandas Landsat 7

Banda	Nombre	Longitud de onda	Resolución (m)
--------------	---------------	-------------------------	-----------------------

		(μm)	
1	Azul	0.450 - 0.515	30
2	Verde	0.525 - 0.605	30
3	Rojo	0.630 - 0.690	30
4	Infrarrojo corto -NIR	0.775 - 0.900	30
5	Infrarrojo medio - SWIR 1	1.550 - 1.750	30
6	Infrarrojo termal (TIR)	10.40 - 12.50	60
7	Infrarrojo medio -SWIR 2	2.080 - 2.350	30
8	Pancromática	0.520 - 0.900	15

Nota. Tomado Users Handbook, por USGS – NASA, 2019, https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/atoms/files/LSDS-1927_L7_Data_Users_Handbook-v2.pdf

Landsat 8

Fue lanzado el 11 de febrero del 2013, tiene dos sensores OLI y Sensor Infrarrojo termal (TIRS), los cuales brindan cobertura estacional de la Tierra y también diferentes tipos de cobertura como las zonas costeras. Tiene una órbita polar helio sincrónica, altitud de 705 km, inclinación de 98.2° y una resolución temporal de 16 días. (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio, s.f.).

Tabla 8

Bandas Landsat 8

Banda	Nombre	Longitud de onda (μm)	Resolución (m)
1	Costera	0.435 - 0.451	30
2	Azul	0.452 - 0.512	30

3	Verde	0.533 - 0.590	30
4	Rojo	0.636 - 0.673	30
5	Infrarrojo corto -NIR	0.851 - 0.879	30
6	Infrarrojo medio - SWIR 1	1.566 - 1.651	30
7	Infrarrojo medio - SWIR 2	2.107 - 2.294	30
8	Pancromática	0.503 - 0.676	15
9	Cirrus	1.363 - 1.384	30
10	Termal Infrarrojo -TIR -1	10.60 - 11.19	100
11	Termal Infrarrojo - TIR -2	11.50 - 12.51	100

Nota. Tomado de Landsat 8, por USGS - Landsat 8 Ciencia Landsat, s.f., <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/>

2.1.12. Google Earth Engine

Google Earth Engine es una plataforma que tiene diferentes catálogos de imágenes satelitales y conjuntos de datos geospaciales, además permite poder trabajar a escala regional o continental. Generalmente es usado para detectar cambios en la superficie de la Tierra. (Google, 2022)

2.1.13. QGIS

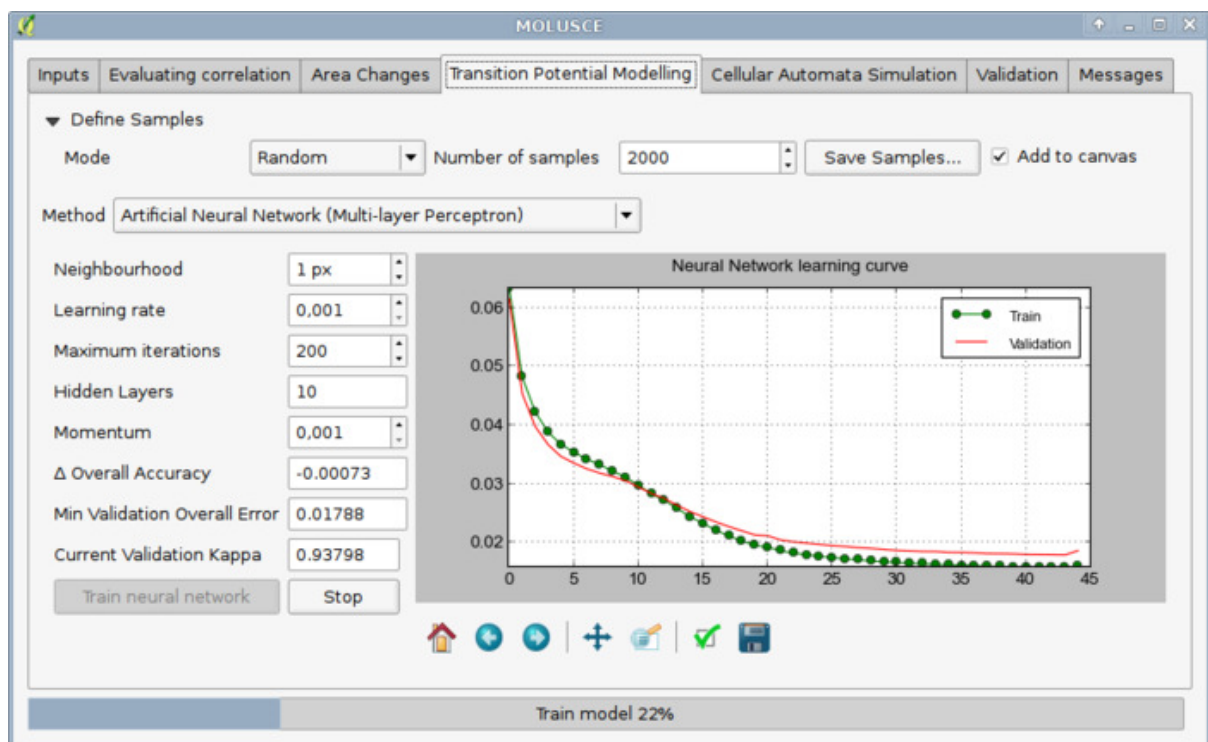
QGIS es un *software* de sistemas de información geográfica de código libre que permite visualizar, gestionar, editar y analizar datos geospaciales además de elaborar mapas, cuenta con diferentes *plugins* y versiones. Es un proyecto de *Open Source Geospatial Foundation* impulsado por voluntarios. (QGIS, s.f.).

2.1.14. MOLUSCE

El plugin Módulos para la evaluación del cambio de uso del suelo (MOLUSCE), fue creado para analizar, modelar y simular los cambios de uso del suelo. Este *plugin*; creado para QGIS hasta la versión 2.18; cuenta con algoritmos conocidos como son las redes neuronales artificiales (RNA), regresión logística (RL) y evaluación de criterios múltiples (ECM). Además de ello, tiene un submódulo de validación que incorpora estadísticas *Kappa*, lo cual es usado para evaluar la precisión de los modelos proyectados y simulados. (Asian Air Survey, 2014)

Figura 15

Interfaz del plugin Molusce



Nota. Tomado de MOLUSCE – Quick And Convenient Analysis Of Land Cover Changes, por NextGIS, 2013, <https://nextgis.com/blog/molusce/>

2.1.15. Clasificación supervisada

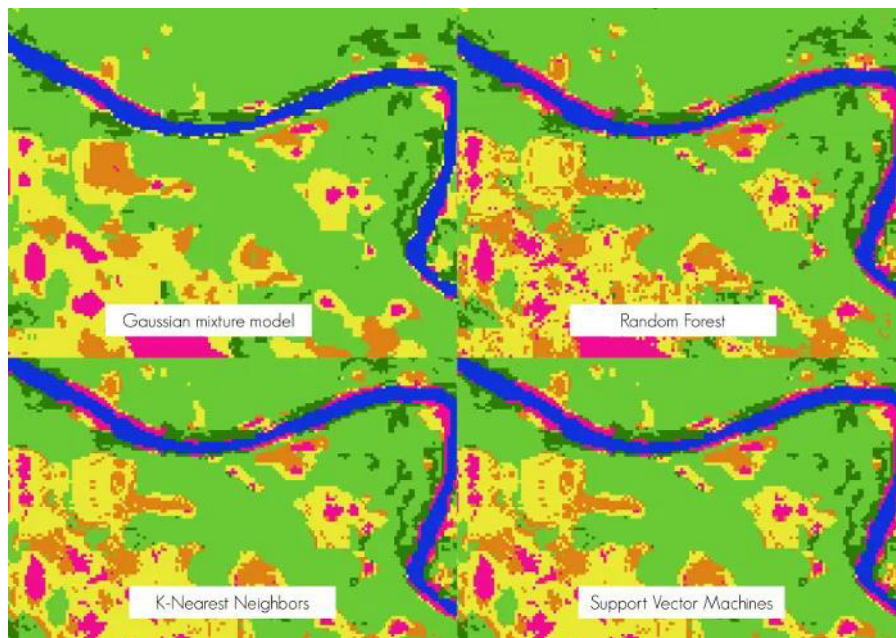
La clasificación supervisada es una de las técnicas de clasificación de imágenes, la cual consiste en tener la intervención de un operador que va a supervisar el proceso de la clasificación, por lo cual suelen dar resultados más precisos.

De igual modo, se deben tener área de entrenamiento para cada clase que se considere clasificar, y luego se procede a la extracción de parámetros característicos de cada clase a clasificar. (Gandia & Meliá, 1991)

Existen muchos métodos de clasificación como máxima probabilidad, mínima distancia, *random forest*, *support vector machine*, entre otros.

Figura 16

Tipos de clasificación supervisada.



Nota. Tomado de clasificación supervisada con QGIS DZETSAKA. Métodos avanzados, por RemOT Technologies, 2021, <https://remot-technologies.com/como-hacer-clasificacion-supervisada-con-qgis-dzetsaka-metodos-avanzados/>

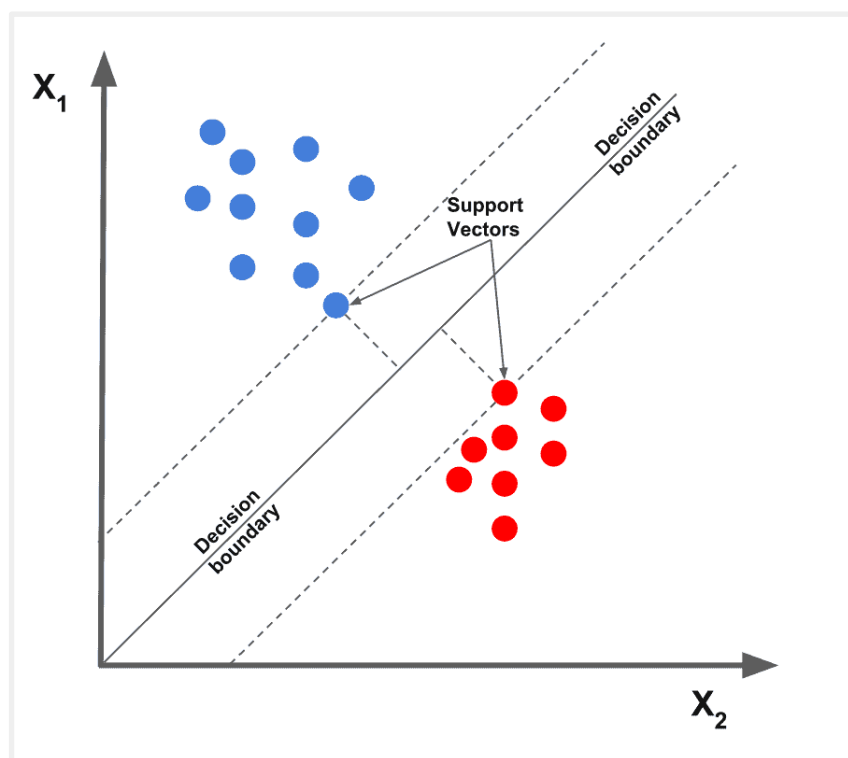
2.1.16. Support Vector Machine (SVM)

Este método aprendizaje supervisado se utiliza en clasificación, regresión y detección de valores atípicos, fue desarrollado en los años 90, y es uno de los referentes en *machine learning*. (Amat, 2017).

Dentro de sus ventajas se tiene que son eficaces en espacios de alta dimensión, utiliza puntos de entrenamiento o los llamados vectores de soporte y es usado en la comunidad de la investigación. Por otro lado, como desventaja se tiene que es necesario realizar un ajuste excesivo si es que se tuviera más funciones que muestras, y tampoco calcula

Figura 17

Support Vector Machine.



Nota. Tomado de Support Vector Machines (SVM), Staya Mallick, 2018, <https://learnopencv.com/support-vector-machines-svm/>

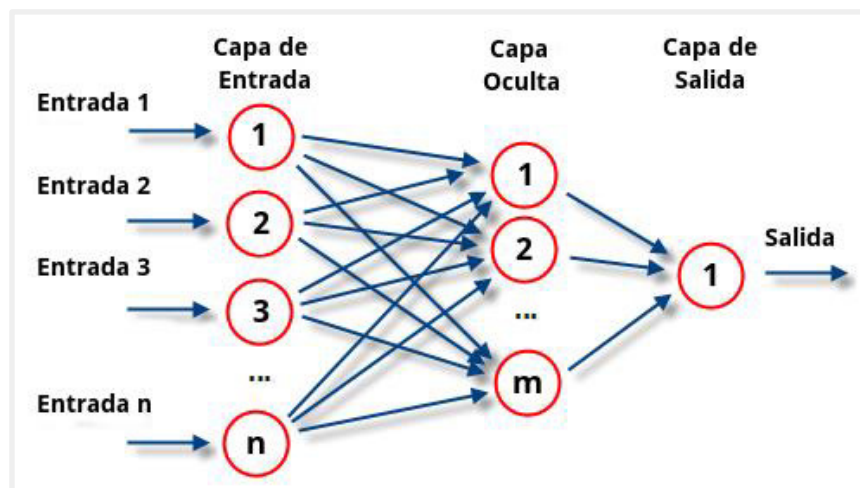
2.1.17. Redes neuronales artificial

Las redes neuronales artificiales son consideradas como un modelo artificial y simplificado del cerebro humano ya que puede adquirir conocimiento y para ello es necesaria la experiencia, son capaces de aprender y mejorar su operatividad, además pueden reconocer imágenes, patrones, tendencias, entre otros. (Damián, 2001).

Una red neuronal necesita datos de entrada (capa de entrada), un umbral (capa oculta) para la activación de la neurona y una capa de salida.

Figura 18

Red neuronal artificial



Nota. Tomado de Perceptrón multicapa, por Wikipedia, s.f., https://es.wikipedia.org/wiki/Perceptr%C3%B3n_multicapa

2.1.18. Matriz de confusión

La matriz de confusión es una tabla en donde se tienen puntos de verificación de la cobertura real y la clasificada. Esta tabla, se encarga de recoger los conflictos que puede haber entre cada clase de cobertura clasificada, esto es importante ya que nos permite conocer la fiabilidad global de la clasificación y también su exactitud. (Chuvieco, 2010).

Figura 19*Matriz de confusión*

		Datos de referencia (terreno)					Total	Exactitud Usuario	Error Comisión
		Clases*	1	2	3	4			
Datos de Clasificación	1	43	0	1	7	51	84.3	16	
	2	0	4	0	0	4	100	0	
	3	0	0	8	8	16	50	50	
	4	2	0	5	31	38	81.6	18	
	Total	45	4	14	46	109			
Exactitud productor		95.6	100	57.1	67.4				
Error Omisión		4	0.00	43	33				

Nota. Tomado de Áreas prioritarias para restauración ecológica y sitios de referencia en la región Chignahuapan-Zacatlán, por González M. et al., 2016, <https://www.redalyc.org/journal/617/61749306003/html/>

2.1.19. Índice Kappa

Es un índice estadístico que puede ser usado en diferentes ramas, enfocándonos más en teledetección, intenta delimitar el grado de exactitud de una clasificación midiendo la diferencia entre la imagen real y la clasificada. (Chuvieco, 2010).

Dependiendo de los valores del *kappa* se tiene los siguientes valores de concordancia:

Tabla 9*Grado de concordancia del índice Kappa*

Kappa (k)	Grado de acuerdo
< 0.20	Pobre
0.21 - 0.40	Débil
0.41 - 0.60	Moderado

0.61 - 0.80	Buena
0.81 - 1.00	Muy buena

Nota. Tomado de Medidas de concordancia: el índice Kappa, por López. G & Pita S, 2010, <https://www.fisterra.com/formacion/metodologia-investigacion/medidas-concordancia-indice-kappa/>

2.2. Marco legal

- D.S. N°014-92-EM - Ley General de Minería y sus modificatorias (04 de junio de 1992). Ministerio de Energía y Minas. https://www.peru.gob.pe/docs/PLANES/94/PLAN_94_DS%20N%C2%BA%20014-92-EM_2008.pdf
- D.S. N°018-92-EM - Reglamento de procedimientos mineros y sus modificatorias (07 de septiembre de 1992). Ministerio de Energía y Minas. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/901013/DS-018-92-EM.pdf?v=1593565444>
- Ley N°26821 - Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales. (25 de junio de 1997). Ministerio del Ambiente. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-26821.pdf>
- Ley N°26834.- Ley de Áreas Naturales Protegidas. (17 de junio de 1997). Ministerio del Ambiente. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-areas-naturales-protegidas>
- Ley N°27651 - Ley de Formalización y Promoción de la Pequeña Minería y la Minería Artesanal (21 de enero de 2002). Ministerio del Ambiente. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-27651.pdf>

- Ley N°27308, Ley Forestal y de Fauna Silvestre (15 de julio de 2002). Congreso de la Republica. <https://www4.congreso.gob.pe/comisiones/1999/ambiente/Ley27308.htm>
- Ley N°28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental (28 de enero de 2005). Ministerio del Ambiente. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/reglamento-ley-ndeg-28245-ley-marco-sistema-nacional-gestion-ambiental#:~:text=reglamenta%20la%20Ley%20N%C2%B0,ministerios%2C%20organismos%20p%C3%ABablicos%20descentralizados%20e>
- Ministerio de Agricultura (2009). DS N°017-2009-AG - Reglamento de clasificación de Tierras por su capacidad de uso mayor, Anexo IV: Guía de Clasificación de los Parámetros Edáficos. (02 de septiembre del 2009). Ministerio de Agricultura. <http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/difusion/tallares/CUM-DS-017-2009-AG-2.pdf>
- Ley N°29901, Ley que precisa competencias del Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN). (12 de julio de 2012). Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. <https://www.gob.pe/institucion/osinergmin/normas-legales/744536-29901>
- Resolución de Dirección Ejecutiva N° 007-2018-MINAM/VMDERN/PNCB - Guía para la Zonificación de Bosques para Conservación. (15 de marzo de 2018). Ministerio del Ambiente. http://www.bosques.gob.pe/archivo/7d283a_GuiadeZonificaciondeBosquesparaConservacion.pdf

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

Descriptiva, explicativa, de nivel relacional con enfoque cuantitativo y método deductivo.

3.1.1. *Según su tipo*

Descriptiva porque busca conocer de qué manera el cambio de cobertura forestal se ha visto afectada por la minería y agricultura.

Explicativa porque busca demostrar que existen factores antrópicos como la minería y agricultura que influyen en el cambio de la cobertura forestal y lo seguirán haciendo hasta el 2030.

3.1.2. *Nivel de investigación*

Relacional porque se van a usar índices estadísticos como el kappa para determinar la precisión de las clasificaciones realizadas y la proyección al 2030.

3.1.3. *Enfoque de la investigación*

Cuantitativo porque busca detectar cuáles son las áreas de la cobertura forestal que han ido cambiando entre los años 2000 al 2030, además de determinar la cantidad de minería y agricultura existente en los años 2000, 2010, 2020 y 2030.

3.1.4. *Método de la investigación*

Deductivo porque voy a partir de un hecho existente como es la minería y agricultura en Madre de Dios, para luego estudiarla en el distrito de Inambari, además se usarán imágenes de satélite de los años 2000, 2010, 2020 y se realizará la proyección al 2030.

3.2. Ámbito temporal y espacial

3.2.1. Ámbito temporal

El ámbito temporal de la presente investigación será desde el año 2000 al 2030 ya que se pudo obtener imágenes satelitales del año 2000, 2010, 2020; las cuales se tendrán como base para realizar la proyección al 2030, y así analizar el cambio de cobertura forestal.

Se utilizó una imagen del 2000 en donde aún no se observaba un avance significativo los factores antrópicos de minería y agricultura, luego una del 2010 en donde se ve un avance del cambio de cobertura forestal y se consideraría el punto clave o gran cambio, posterior a ello, se consideró una imagen del 2020 para verificar la situación más actual de la minería, agricultura y cambio de cobertura forestal. Finalmente, ya con estas tres imágenes y clasificándolas se puede hacer la proyección al 2030.

3.2.2. Ámbito espacial

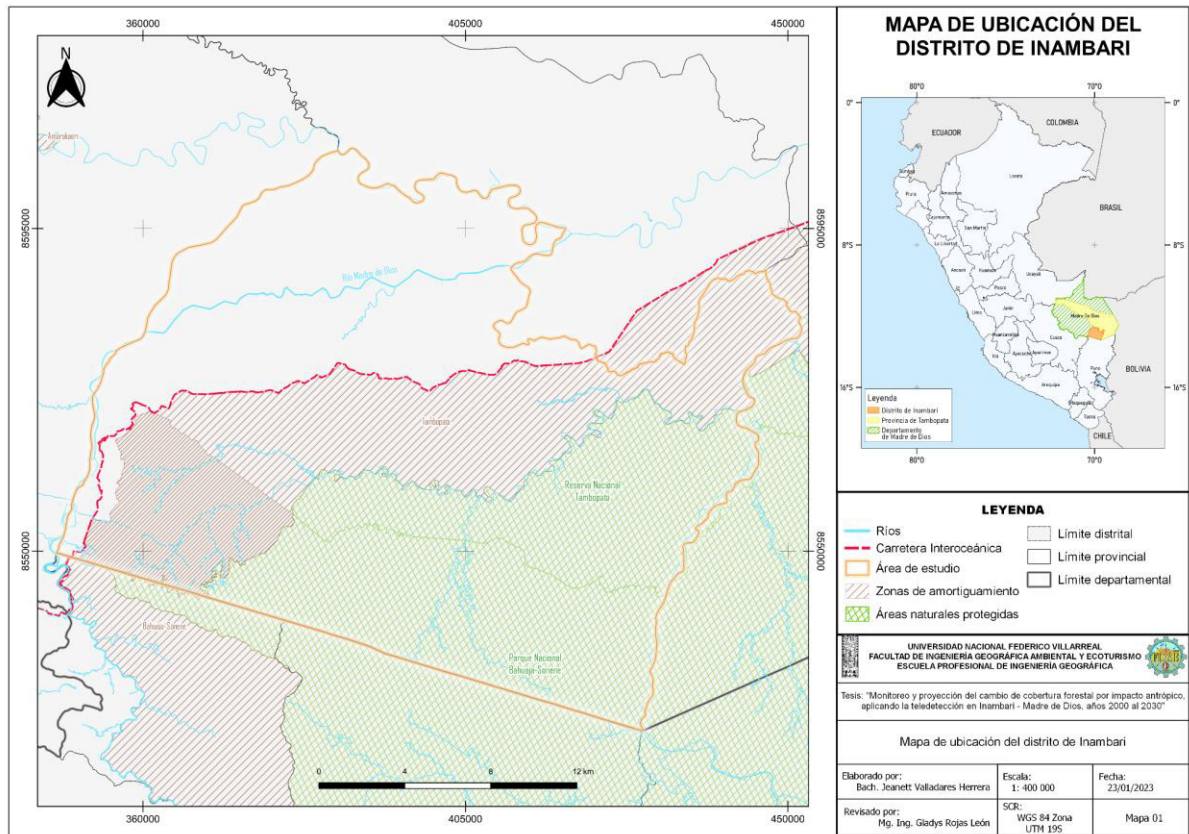
La presente investigación tiene como ámbito espacial el distrito de Inambari, provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios. Inambari es uno de los distritos que pertenecen a Tambopata, tiene una altitud media de 355 msnm y sus coordenadas proyectadas UTM son Zona 19 S, 349907mE, 8554313mN. Cuenta con una superficie de 484653.87 ha.

Por el distrito pasa la carretera Interoceánica, además que se encuentran las zonas de amortiguamiento, la Reserva Nacional de Tambopata y el Parque Nacional Bahuaja Sonene. Tenemos muchos cursos de agua presente en la zona, pero el más resaltante es el Río Madre de Dios.

Por el norte limita con el distrito Laberinto, por el este con el distrito de Tambopata, por el sur con el distrito de Coasa y Ayapata y por el oeste con Huepetuhe y Madre de Dios.

Figura 20

Ubicación del distrito de Inambari



3.3. Variables

Tabla 10

Cuadro de operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	Instrumentos	Herramienta
Dependiente Cambio de cobertura forestal	Áreas de cambio de cobertura forestal	Zonas sin vegetación	Hectáreas (ha)	Imagen satelital	<i>Google Earth Pro Google Earth Engine QGIS Plugin Molusce Plugin dzetsaka</i>
	Clasificación de la cobertura forestal	Tipos de cobertura	Número de clases	Imagen satelital y fotointerpretación	
	Comportamiento temporal del cambio de cobertura forestal	Evolución de la cobertura	Cada 10 años	Imagen satelital y fotointerpretación	
Independiente Factores antrópicos: minería y agricultura	Áreas de minería y agricultura	Zonas donde existe minería y agricultura	Hectáreas (ha)	Imagen satelital	
	Comportamiento temporal de la minería y agricultura	Evolución de la minería y agricultura	Cada 10 años	Imagen satelital y fotointerpretación	

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

La población de la presente investigación es el distrito de Inambari, el cual está ubicado en la provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios.

3.4.2. Muestra

La muestra en la presente investigación está conformada por las zonas mineras y agrícolas de la Pampa, dentro del distrito de Inambari las cuales serán seleccionadas utilizando imágenes satelitales de la plataforma de *Google Earth Pro*.

3.5. Instrumentos

3.5.1. Equipo y software

Los equipos empleados para la presente investigación son los siguientes:

- Computadora de escritorio Intel Core i5

Los softwares empleados para la presente investigación son los siguientes:

- *Software* libre QGIS 2.18
- *Software* libre QGIS 3.18
- Plataforma *Google Earth Engine*
- *Software Google Earth Pro*
- Microsoft Excel 2021
- Microsoft Word 2021

3.5.2. Materiales

Los materiales utilizados para la presente investigación son los siguientes:

- Lapiceros

- Papel bond A4
- Memoria USB
- Impresora EPSON L665

Los materiales cartográficos utilizados para la presente investigación son los siguientes:

- Imagen *Landsat 7* de 2000
- Imagen *Landsat 7* de 2010
- Imagen *Landsat 8* de 2020
- Modelo de elevación digital de la zona de Inambari
- Base cartográfica de ríos, áreas naturales protegidas, zonas de amortiguamiento, carreteras.

3.6. Procedimientos

La presente investigación tiene las siguientes etapas

Etapas Gabinete

En esta etapa de la investigación se empezará con la revisión bibliográfica, se procederá con la búsqueda de antecedentes, marco teórico y metodologías similares a las que se quieren realizar en la presente investigación, luego se realiza el mapa base del área de estudio, finalmente se terminará esta etapa con la descarga del *DEM* a través de la plataforma de *Google Earth Engine*, las carreteras desde *OpenLayer* y las imágenes satelitales desde *Earth Explorer* de la NASA.

Etapa Procesamiento

En esta etapa se van a procesar y corregir las imágenes satelitales descargadas en el *software* QGIS, luego se crean los puntos de entrenamiento para clasificar las imágenes en el *plugin dzetsak* usando el algoritmo de *support vector machine*

Posterior a ello, se realizará la proyección de los años 2000 al 2010 en el *plugin Molusce* para obtener la cobertura del 2020, luego se validará esta cobertura proyectada con la cobertura real, para luego proyectarla al año 2030.

Etapa Resultados

En esta etapa de resultados, se analizarán los datos obtenidos en la etapa de procesamiento, además se comprobarán o descartarán las hipótesis propuestas para luego realizar las conclusiones, recomendaciones y se terminará de redactar la tesis.

3.7. Análisis de datos

El análisis de datos se realizó en la etapa de procesamiento y resultados, donde se pudo observar el cambio de la cobertura forestal afectada por la minería desde el 2000 al 2020, además de conocer qué otros factores contribuyen al cambio de la cobertura forestal en los últimos años.

Luego se procede a comparar el grado de precisión entre la proyección realizada para el 2020 con la imagen original, y posteriormente se realiza la proyección al 2030. Para el cálculo de las áreas y porcentajes de cobertura forestal para los años 2000, 2010, 2020 y 2030 se utilizó el *software* QGIS y Excel.

IV. RESULTADOS

4.1. Obtención de datos

Para determinar las zonas afectadas por los factores antrópicos se utilizó el software de Google Earth Pro, en donde nos acercamos a la de zona de estudio para realizar una fotointerpretación y determinar cuáles son los factores antrópicos presentes.

Utilizamos imágenes históricas desde el año 2000 al 2020, se pudo visualizar con mejor precisión que los factores antrópicos son la minería y agricultura.

Figura 21

Límite sur izquierdo del distrito de Inambari en el año 2000, presencia de zonas agrícolas.



Figura 22

Límite suroeste izquierdo del distrito de Inambari en el año 2000, presencia de zonas mineras y agrícolas



Figura 23

Zona central del distrito de Inambari en el año 2000, presencia de cuerpos de agua y zonas agrícolas



Figura 24

Límite sur izquierdo del distrito de Inambari en el año 2010, presencia de zonas agrícolas y minería.

**Figura 25**

Zona central del distrito de Inambari en el año 2010, presencia de cuerpos de agua, minería y zonas agrícolas.

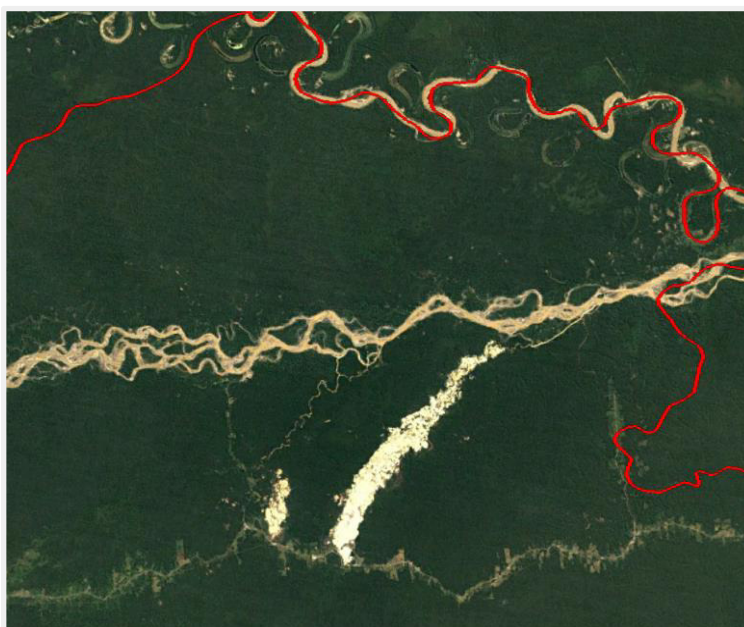
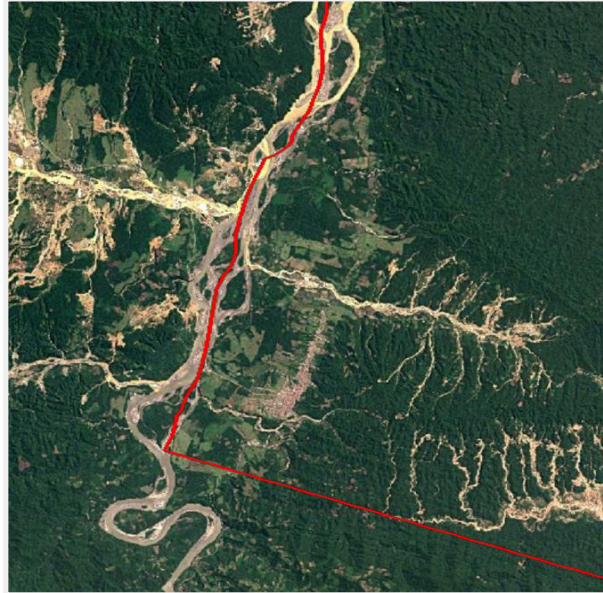
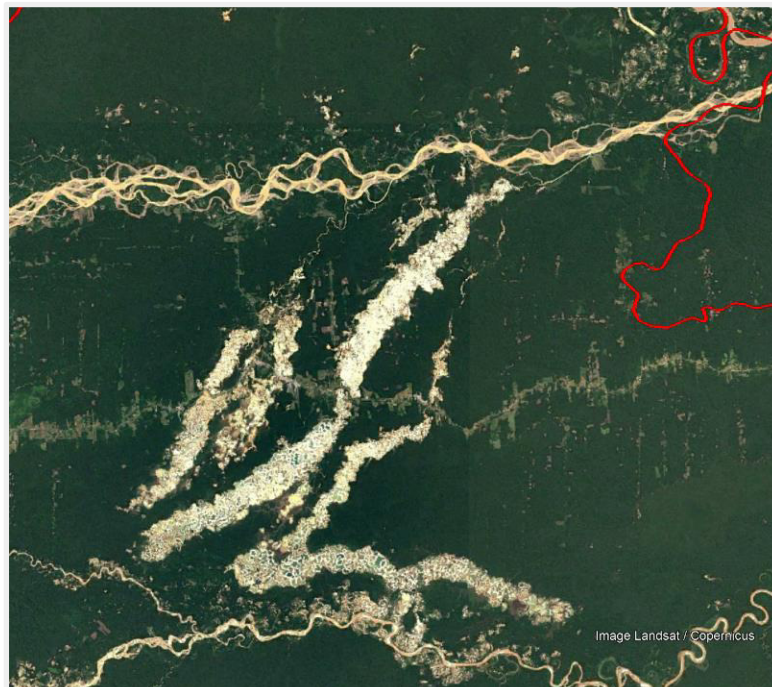


Figura 26

Límite sur izquierdo del distrito de Inambari en el año 2020, presencia de zonas agrícolas, minería y zonas urbanas

**Figura 27**

Zona central del distrito de Inambari en el año 2020, presencia de cuerpos de agua, minería y zonas agrícolas



Luego de analizar las imágenes de *Google Earth Pro*, se procede a utilizar las imágenes satelitales para ello se realiza una combinación de bandas en falso color (5-4-1) para las imágenes *Landsat 7* y (6-5-2) para la imagen *Landsat 8*. Esta combinación de banda es muy usada en estudios agrícolas ya que la vegetación es representada en colores verdes intensos, mientras que el suelo desnudo en colores rojos, los cuerpos de agua en tonalidades azules, y para este caso los sedimentos con metales en color violeta intenso, oscuro y hasta colores negro.

Figura 28

Imagen Landsat 7 en falso color (5-4-1) para el año 2000

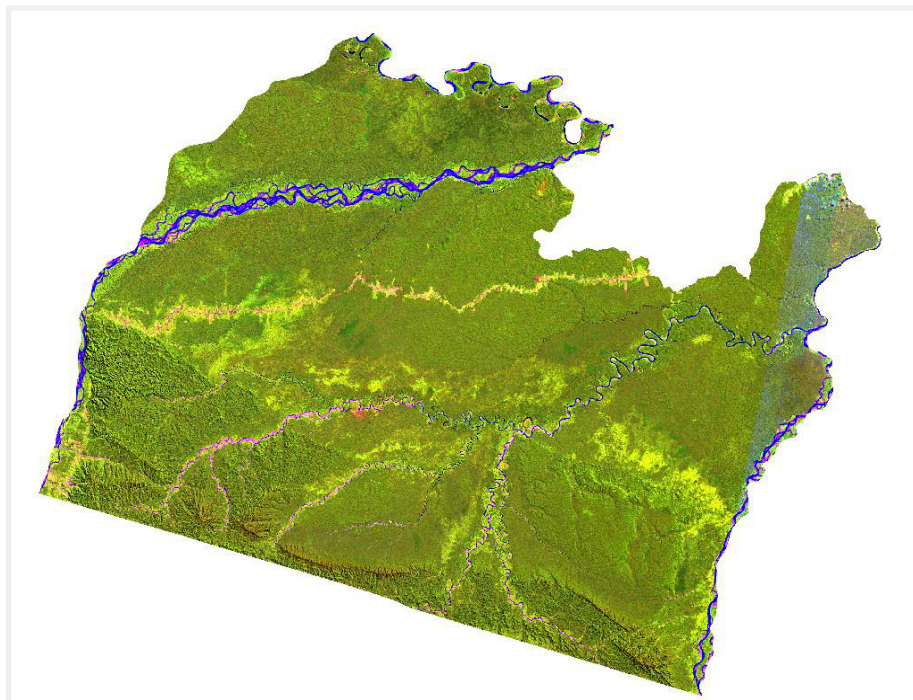


Figura 29

Imagen Landsat 7 en falso color (5-4-1) para el año 2010

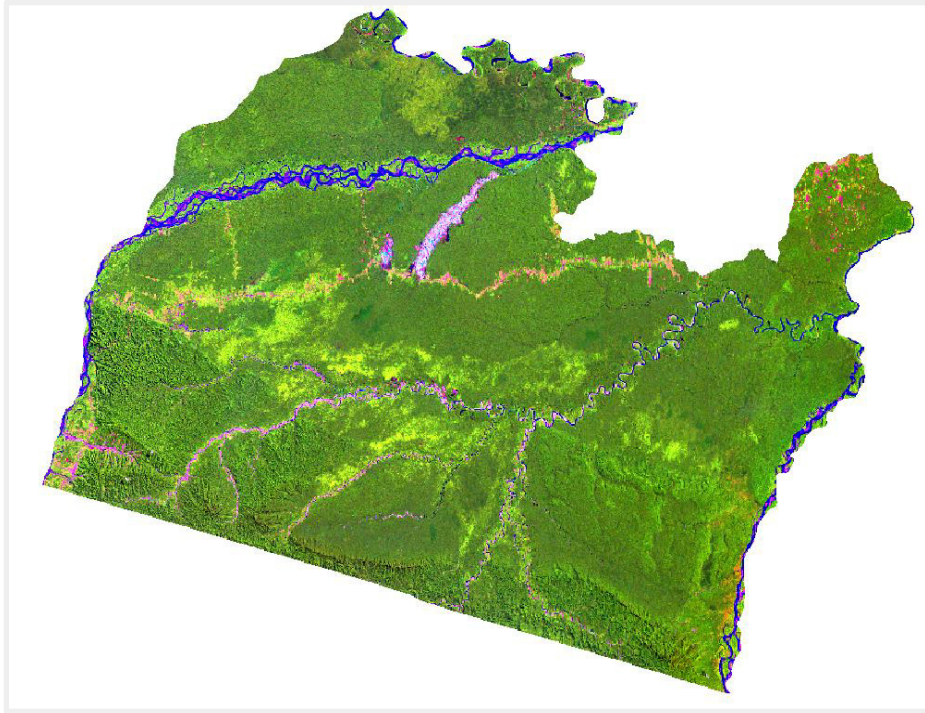
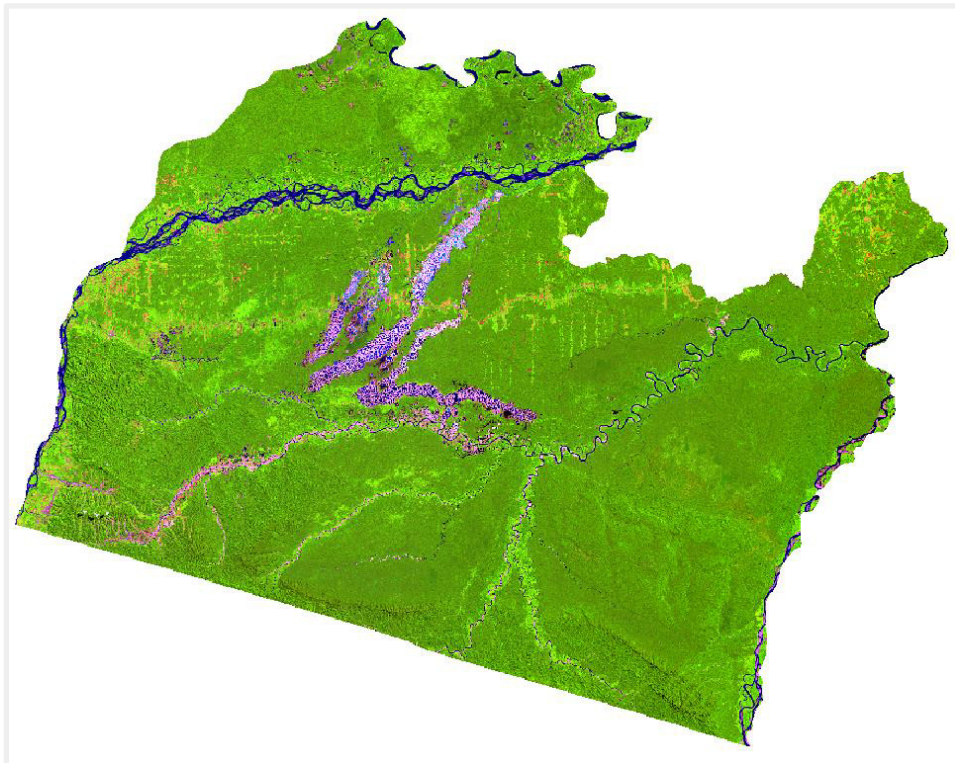


Figura 30

Imagen Landsat 8 en falso color (6-5-2) para el año 2020.



Posterior a ello, para realizar la clasificación supervisada utilizando el *plugin* de *dzetsaka*, primero se crean los puntos de entrenamiento considerando 5 clases: Bosque, Minería, Otros (Agricultura y áreas urbanas), Cuerpos de Agua y Nubes, para las tres imágenes satelitales de los años 2000, 2010 y 2020.

Los puntos de entrenamiento creados por cada clase y cantidad son los siguientes:

Tabla 11

Número de puntos creados por cada clase para el año 2000

Clase	Nombre	Número de puntos
1	Bosque	2474
2	Minería	401
3	Otros	193
4	Cuerpos de agua	742
5	Nubes	90
Total		3900

Tabla 12

Número de puntos creados por cada clase para el año 2010

Clase	Nombre	Número de puntos
1	Bosque	2147
2	Minería	564
3	Otros	515
4	Cuerpos de agua	693
5	Nubes	24
Total		3943

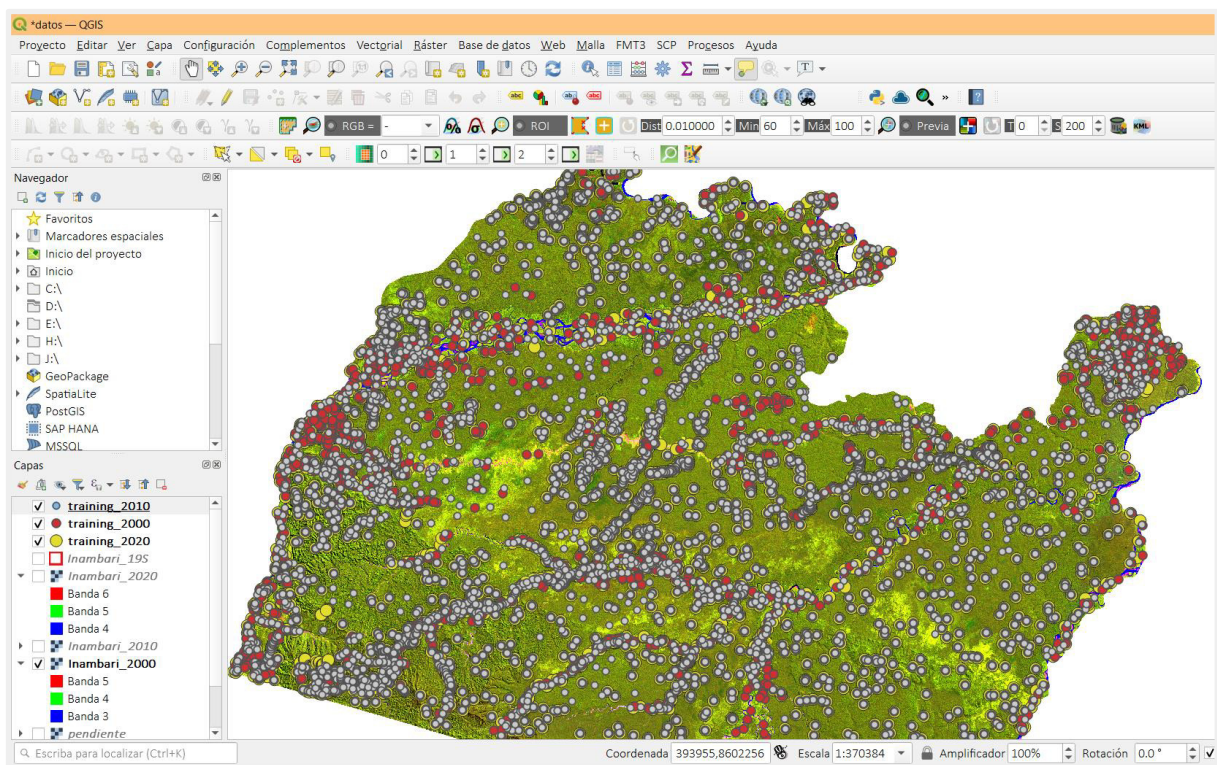
Tabla 13

Número de puntos creados por cada clase para el año 2020

Clase	Nombre	Número de puntos
1	Bosque	1528
2	Minería	1203
3	Otros	766
4	Cuerpos de agua	754
5	Nubes	55
	Total	4306

Figura 31

Imagen de los puntos de entrenamiento en el software QGIS.



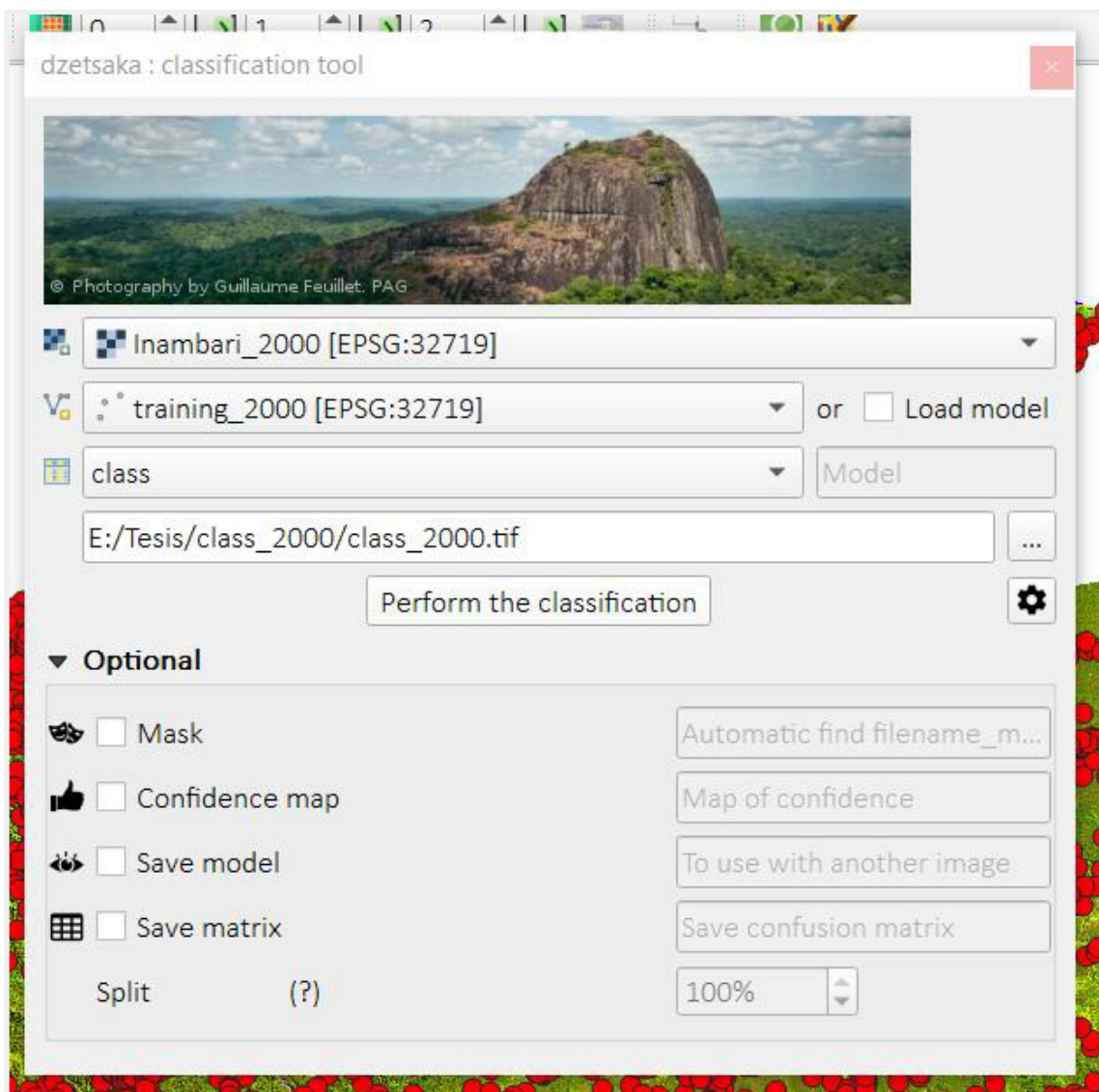
Ya creado los puntos, se procedió a utilizar el *plugin dzetsaka* para calcular la clasificación supervisada usando el algoritmo de *Support Vector Machine* (SVM).

Año 2000

Se realiza primero la clasificación supervisada utilizando el algoritmo de SVM para el año 2000

Figura 32

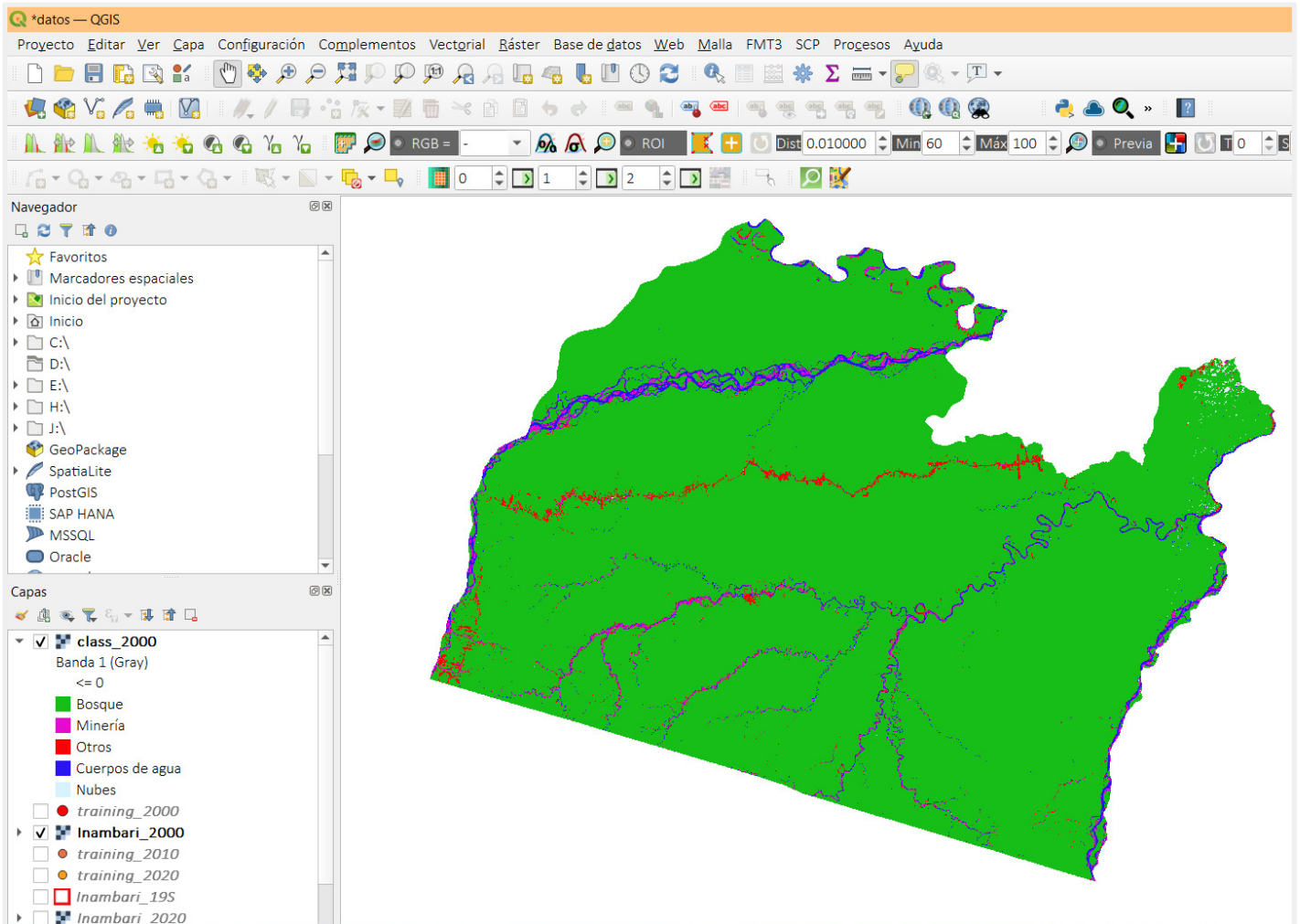
Interfaz de dzetsaka con datos del año 2000



Como resultado tendremos la clasificación creada

Figura 33

Clasificación de la cobertura del año 2000



Para comprobar que la clasificación es la adecuada se utilizó la herramienta *r.kappa*, para calcular la matriz de confusión y el índice *Kappa*, teniendo como resultado lo siguiente:

Tabla 14*Matriz de confusión de la clasificación y puntos de entrenamiento*

		TRAINING				
		Categorías	Bosque	Minería	Otros	Cuerpos de agua
C L A S S	Bosque	2462	5	26	154	10
	Minería	0	368	7	13	1
	Otros	6	5	155	0	1
	Cuerpos de agua	6	23	2	571	2
	Nubes	0	0	2	0	74
Col Sum		2474	401	192	738	88

Tabla 15*Porcentaje del índice Kappa por cada clase*

<i>Categoría</i>	<i>% Comission</i>	<i>% Omission</i>	<i>Estimated Kappa</i>
<i>Bosque</i>	<i>7.339104</i>	<i>0.485044</i>	<i>0.798653</i>
<i>Minería</i>	<i>5.398458</i>	<i>8.229426</i>	<i>0.939816</i>
<i>Otros</i>	<i>7.185629</i>	<i>19.270833</i>	<i>0.924416</i>

<i>Cuerpos de agua</i>	<i>5.463576</i>	<i>22.628726</i>	<i>0.932584</i>
<i>Nubes</i>	<i>2.631579</i>	<i>15.909091</i>	<i>0.973076</i>

Como resultado final de la clasificación para el año 2000, se tiene que la precisión del índice *Kappa* es el siguiente:

Tabla 16

Valor general del índice Kappa.

<i>Kappa</i>	<i>Kappa Variance</i>
0.871075	0.000058

Tabla 17

Número de observaciones. Fuente: Elaboración propia

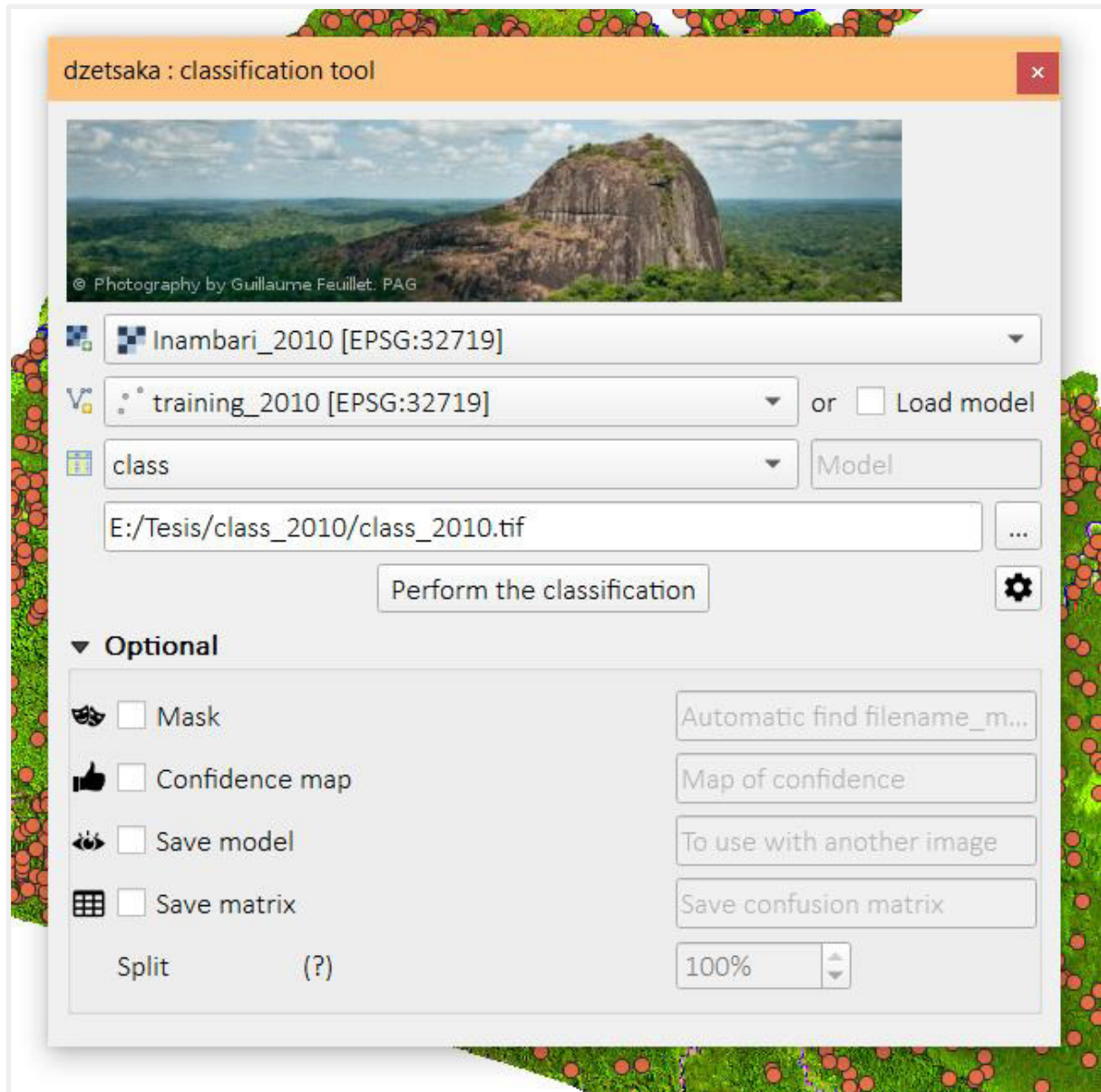
<i>Obs Correct</i>	<i>Total, Obs</i>	<i>% Observed Correct</i>
3630	3893	93.244285

Año 2010

Se realiza primero la clasificación supervisada utilizando el algoritmo de SVM para el año 2010

Figura 34

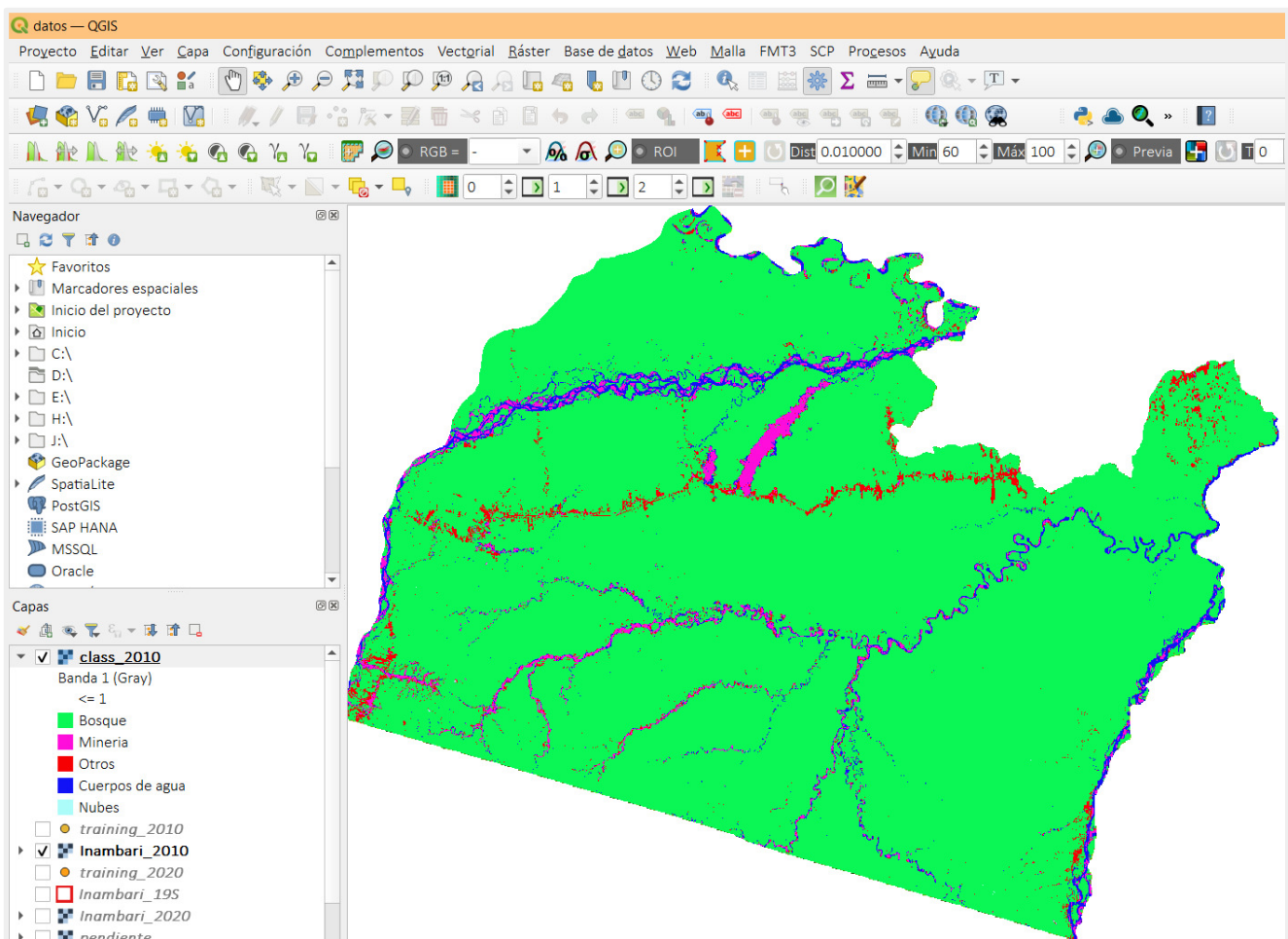
Interfaz de dzetsaka con datos del año 2010



Se realiza primero la clasificación supervisada utilizando el algoritmo de SVM para el año 2010

Figura 35

Clasificación de la cobertura del año 2010



Luego se utilizó la herramienta *r.kappa*, para calcular la matriz de confusión y el índice *Kappa*, teniendo como resultado lo siguiente:

Tabla 18

Matriz de confusión de la clasificación y puntos de entrenamiento

		TRAINING				
		Bosque	Minería	Otros	Cuerpos de agua	Nubes
C	Categorías	2126	9	158	122	11

L A S S	Minería	1	500	21	21	1
	Otros	6	13	332	2	0
	Cuerpos de agua	11	42	4	548	0
	Nubes	0	0	0	0	10
	Col sum	2144	564	515	693	22

Tabla 19

Porcentaje del índice Kappa por cada clase

<i>Categoría</i>	<i>% Comisión</i>	<i>% Omisión</i>	<i>Estimated Kappa</i>
<i>Bosque</i>	<i>12.366035</i>	<i>0.839552</i>	<i>0.728554</i>
<i>Minería</i>	<i>8.088235</i>	<i>11.347518</i>	<i>0.905597</i>
<i>Otros</i>	<i>5.949008</i>	<i>35.533981</i>	<i>0.931559</i>
<i>Cuerpos de agua</i>	<i>9.421488</i>	<i>20.923521</i>	<i>0.885665</i>
<i>Nubes</i>	<i>0.000000</i>	<i>54.545455</i>	<i>1.000000</i>

Como resultado final de la clasificación para el año 2010, se tiene que la precisión del índice *Kappa* es el siguiente:

Tabla 20

Valor general del índice Kappa

<i>Kappa</i>	<i>Kappa Variance</i>
0.823179	0.000064

Tabla 21

Número de observaciones

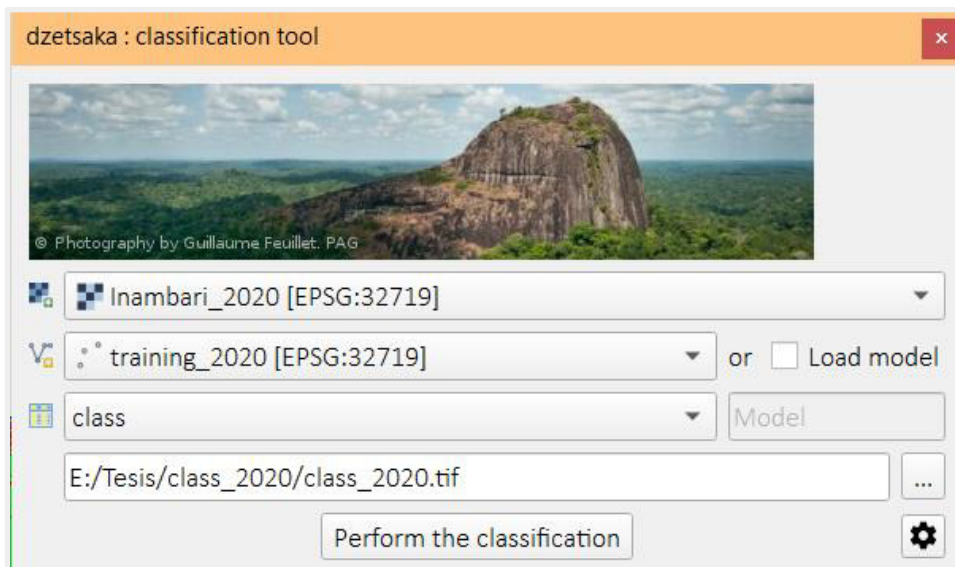
<i>Obs Correct</i>	<i>Total, Obs</i>	<i>% Observed Correct</i>
3516	3938	89.283900

Año 2020

Se realiza primero la clasificación supervisada utilizando el algoritmo de SVM para el año 2020

Figura 36

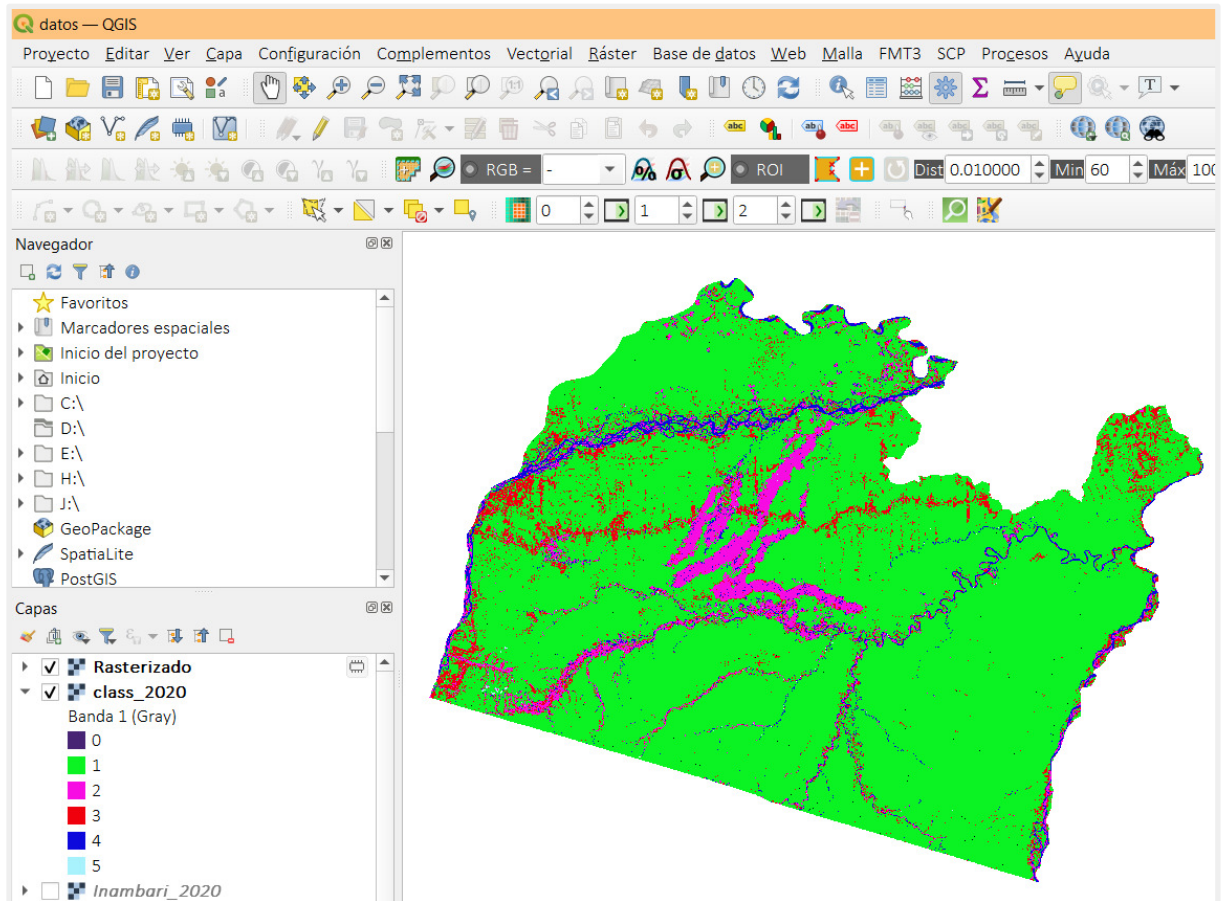
Interfaz de dzetsaka con datos del año 2020



Como resultado tendremos la clasificación creada

Figura 37

Clasificación de la cobertura del año 2020



Por último, para identificar si la clasificación tiene una buena precisión se utilizó la herramienta *r.kappa*, para calcular la matriz de confusión y el índice *Kappa*, teniendo como resultado lo siguiente:

Tabla 22

Matriz de confusión de la clasificación y puntos de entrenamiento

		TRAINING				
Categorías		Bosque	Minería	Otros	Cuerpos de agua	Nubes
C L A S S	Bosque	1499	8	80	33	0
	Minería	0	1160	14	13	0
	Otros	27	12	672	0	0
	Cuerpos de agua	1	23	0	708	0
	Nubes	1	0	0	0	53
Col Sum		1528	1203	766	754	53

Tabla 23

Porcentaje del índice Kappa por cada clase.

<i>Categoría</i>	<i>% Comission</i>	<i>% Omission</i>	<i>Estimated Kappa</i>
<i>Bosque</i>	<i>7.469136</i>	<i>1.897906</i>	<i>0.884196</i>
<i>Minería</i>	<i>2.274642</i>	<i>3.574397</i>	<i>0.968429</i>
<i>Otros</i>	<i>5.485232</i>	<i>12.271540</i>	<i>0.933272</i>
<i>Cuerpos de agua</i>	<i>3.278689</i>	<i>6.100796</i>	<i>0.960249</i>
<i>Nubes</i>	<i>1.851852</i>	<i>0.000000</i>	<i>0.981251</i>

Como resultado final de la clasificación para el año 2020, se tiene que la precisión del índice *Kappa* es el siguiente:

Tabla 24

Valor general del índice Kappa

<i>Kappa</i>	<i>Kappa Variance</i>
0.932520	0.000020

Tabla 25

Número de observaciones

<i>Obs Correct</i>	<i>Total, Obs</i>	<i>% Observed Correct</i>
4092	4304	95.074349

Después de realizar la clasificación supervisada para cada una de las imágenes satelitales de los años 2000, 2010 y 2020; se procede a calcular los valores de la minería para cada imagen de los años 2000, 2010, 2020; además de convertir todas las clasificaciones de formato ráster a vectorial, a fin de detectar que tipo de cobertura representa la categoría otros.

Por otro lado, se procede a crear la información de las variables que se utilizarán para la proyección. Las variables son las siguientes:

- DEM (Anexo B)
- Distancia de las carreteras (Anexo C)
- Pendientes (Anexo D)
- Distancia de los ríos (Anexo E)

- Distancia de centros poblados (Anexo F)
- Distancia a la zona de amortiguamiento (Anexo G)
- Flujo de acumulación (Anexo H).

Teniendo las imágenes satelitales clasificadas del año 2000 y 2010, además de las variables a utilizar se realizará la proyección para el año 2020. Se utiliza el *software* de QGIS versión 2.18 y el *plugin* MOLUSCE, donde se consideran los siguientes valores:

Tabla 26

Valores asignados para la red neuronal.

Valores	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Puntos aleatorios	3000	3000	3000
Vecino	1px	1px	1px
Taza de aprendizaje	0.005	0.005	0.005
Máximo de iteraciones	100	1000	10000
Capas ocultas	8	8	8
Momento	0.005	0.005	0.005

Para realizar esta investigación se realizaron tres opciones, en donde lo que varía es el máximo de iteraciones que es lo que activa a las redes neuronales. Se tiene como resultado los valores del *current validation kappa* los siguientes:

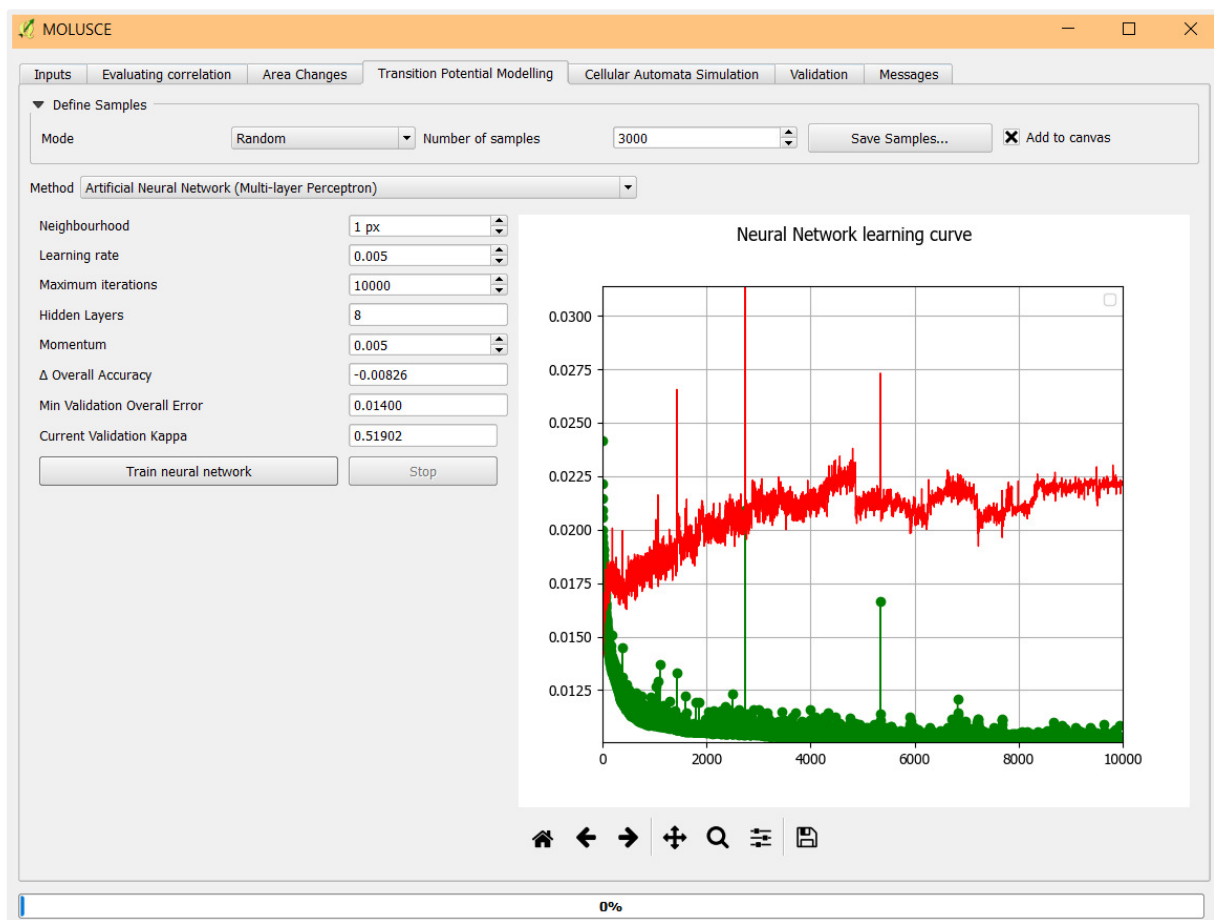
Tabla 27

Valores del current validation kappa para los tres intentos.

Cuadro comparativo	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Current validation kappa	0.47623	0.44568	0.51902

Figura 38

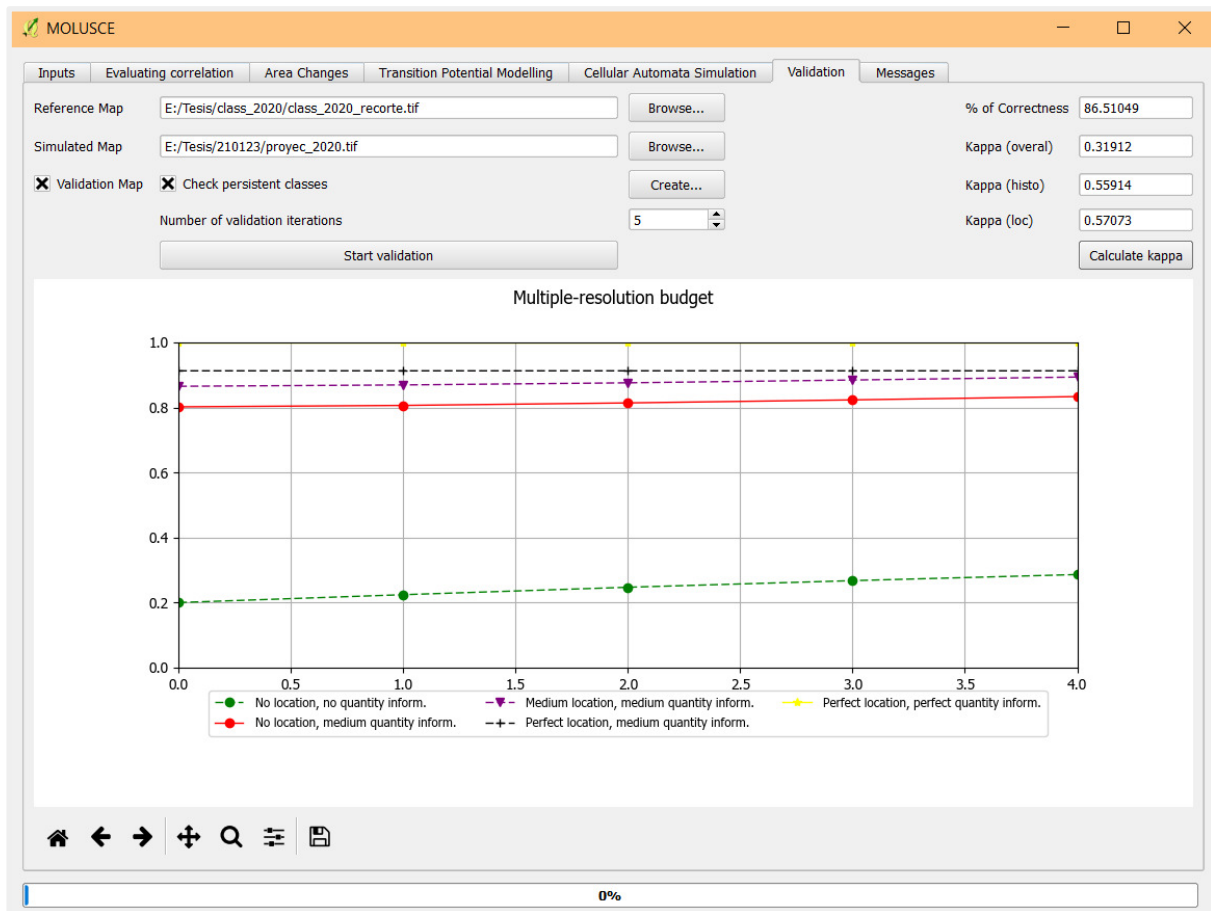
Puntos de entrenamiento para el algoritmo de redes neuronales (Intento 3). Fuente: Elaboración propia



Después de haber realizado el entrenamiento para la red neuronal y elegir la opción 3, se procede a crear el mapa simulado del 2020 utilizando los autómatas celulares. En el proceso de la validación se comparó el mapa de la clasificación real del 2020 y el mapa simulado del 2020, teniendo como resultado que la simulación realizada los autómatas celulares tiene un índice *Kappa* de 0.52051 y el porcentaje de acierto de 86.51%

Figura 39

Validación del modelo proyectado



Luego de obtener todos los índices correctos y un *kappa* moderado, se realiza la proyección para el año 2030, teniendo los valores definidos de:

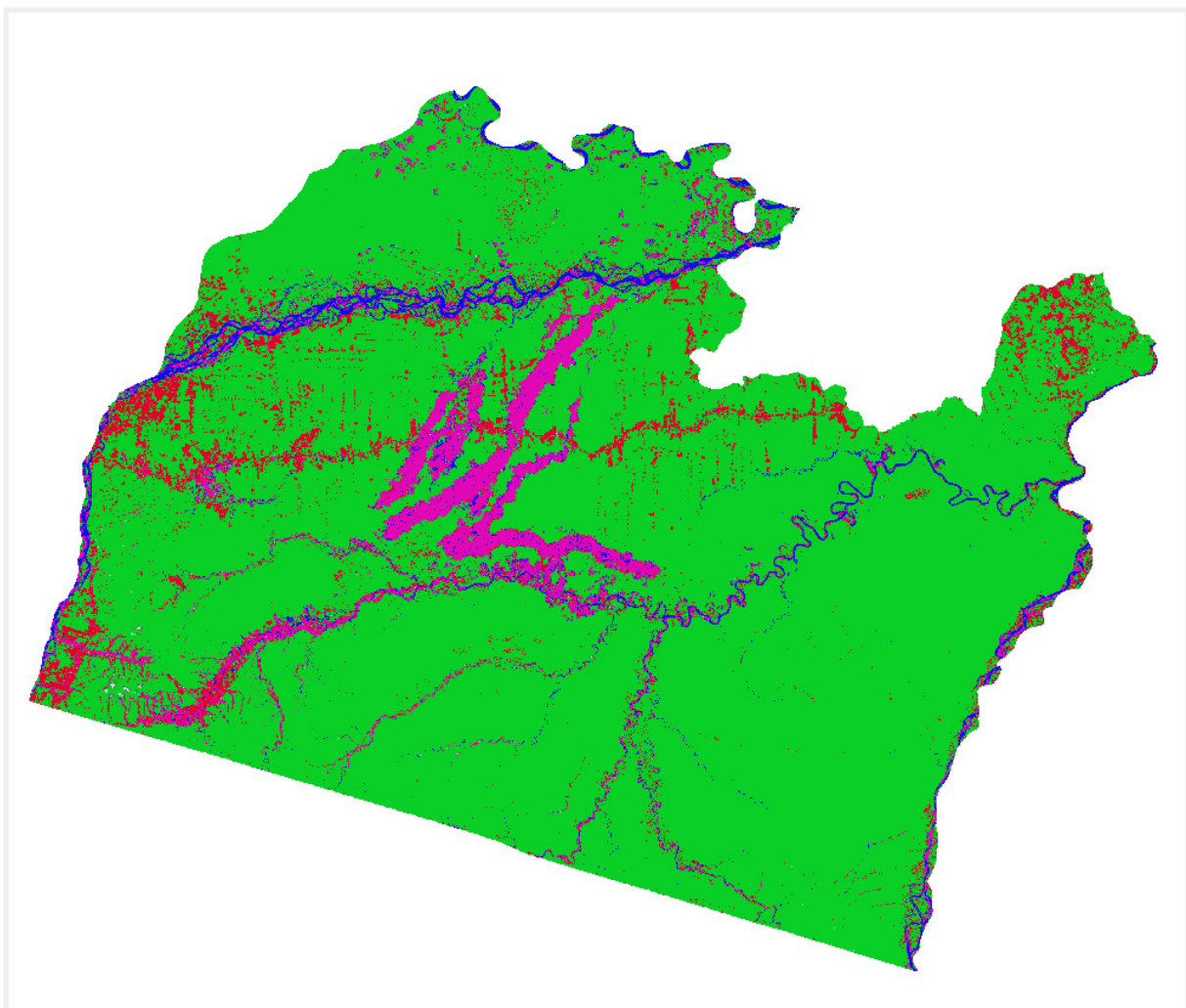
- Vecino 1 px
- Taza de aprendizaje: 0.005
- Máximo de iteraciones: 10000
- Capas ocultas: 8
- Momento: 0.005
- Puntos aleatorios de muestra de 3000

Además, se añadieron las clasificaciones de los años 2010 y 2020, y las variables de *DEM*, distancia de las carreteras, pendientes, distancia de los ríos, distancia de centros poblados, distancia a la zona de amortiguamiento y flujo de acumulación.

Como resultado se tiene el siguiente mapa de cobertura forestal clasificado al año 2030.

Figura 40

Mapa proyectado de la cobertura forestal al 2030



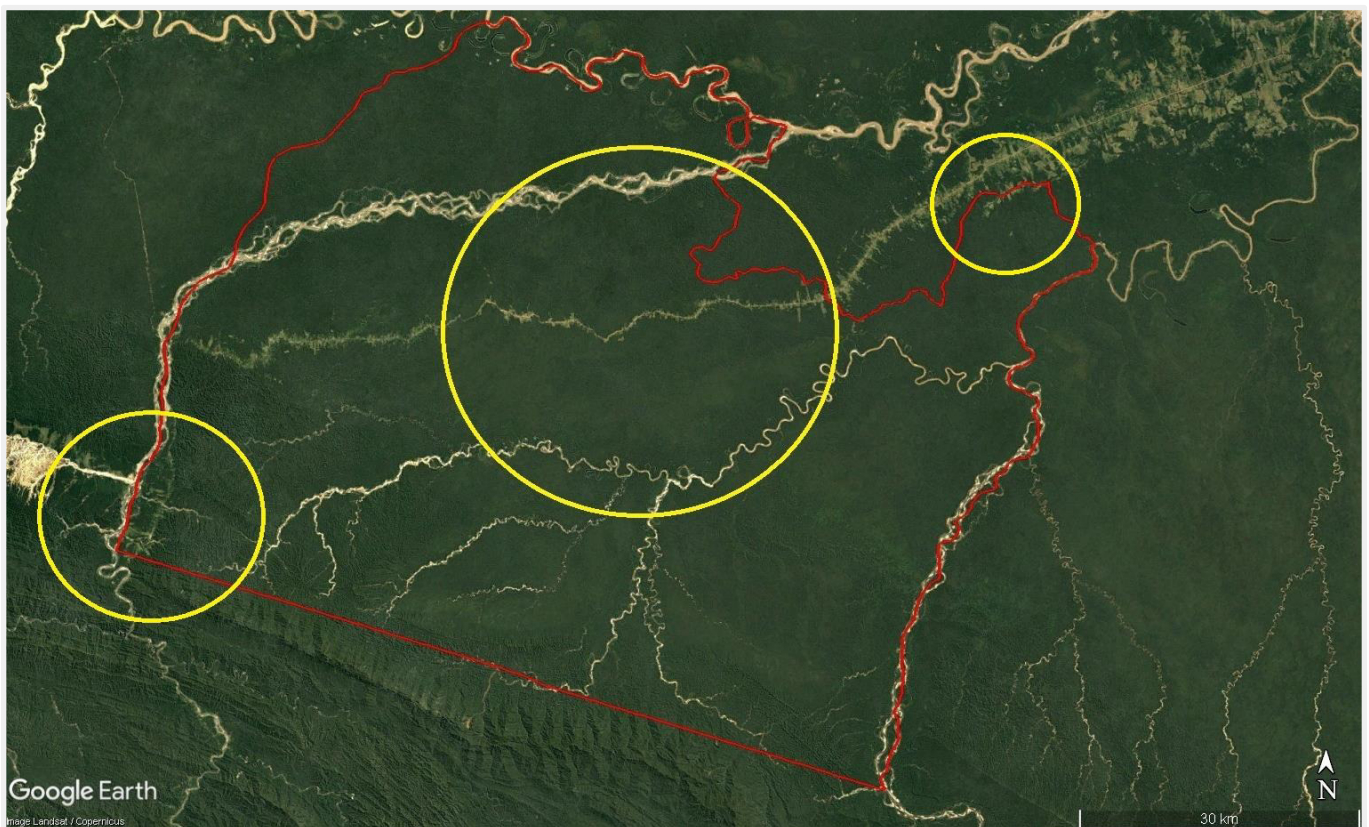
4.2. Monitoreo del cambio de cobertura forestal afectada por los factores antrópicos en el distrito de Inambari, provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios para el periodo de 2000, 2010 y 2020.

Al momento de realizar la fotointerpretación de las imágenes satelitales en *Google Earth Pro*, se pudo determinar que existen dos factores antrópicos significativos, los cuales son la minería y agricultura; ambos influyen en el cambio de la cobertura forestal del distrito de Inambari.

Como resultado tenemos que para el año 2000, se pudo visualizar que en la parte central no hay zonas mineras presentes, pero sí existen zonas agrícolas. Las zonas agrícolas se expanden por la parte noreste y sureste del distrito de Inambari.

Figura 41

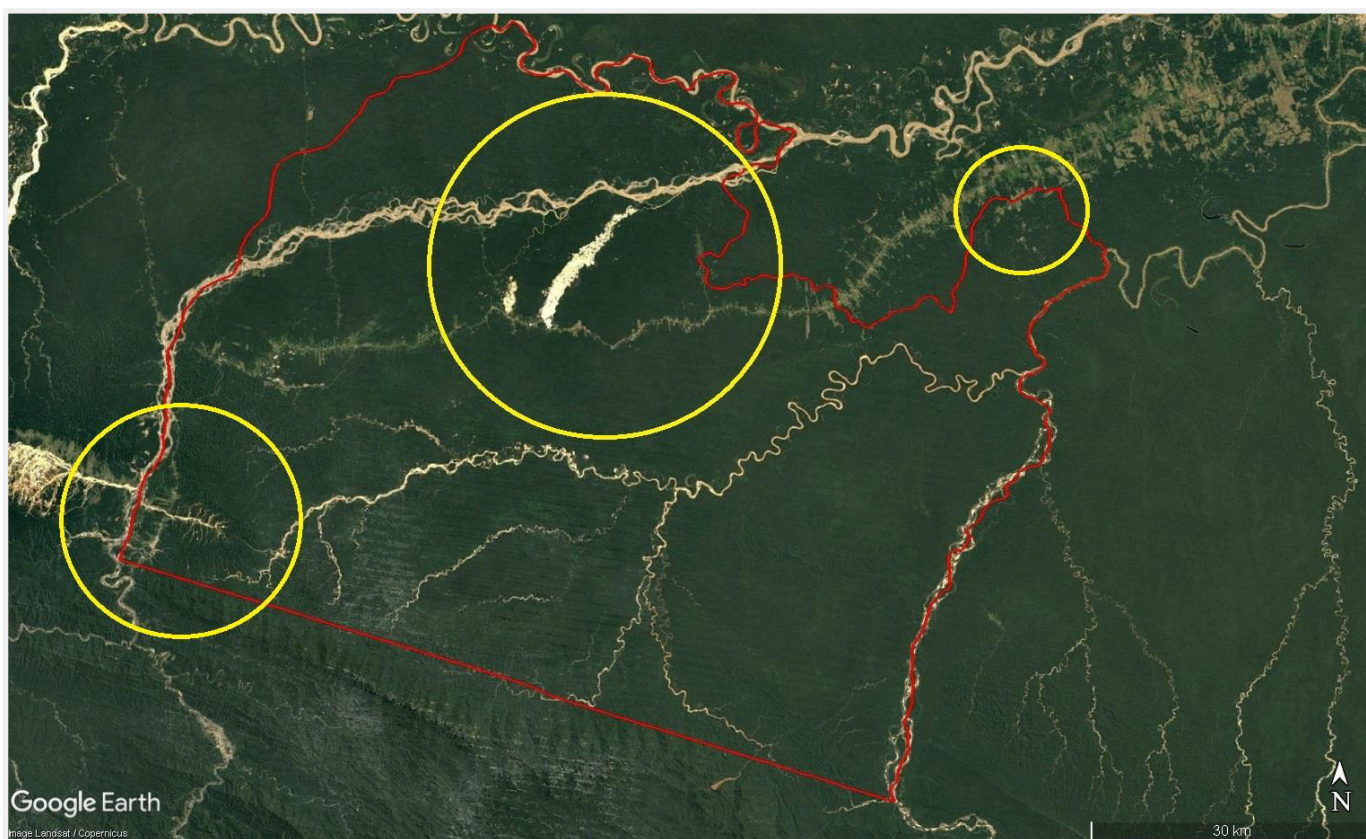
Imagen satelital del distrito de Inambari 2000



Mientras que para el año 2010, ya se puede visualizar un incremento de zonas mineras y agrícolas en todo el distrito, sobre todo en la parte central se puede visualizar zonas mineras que van aumentando hacia la parte sur en donde se encuentra la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional de Tambopata.

Figura 42

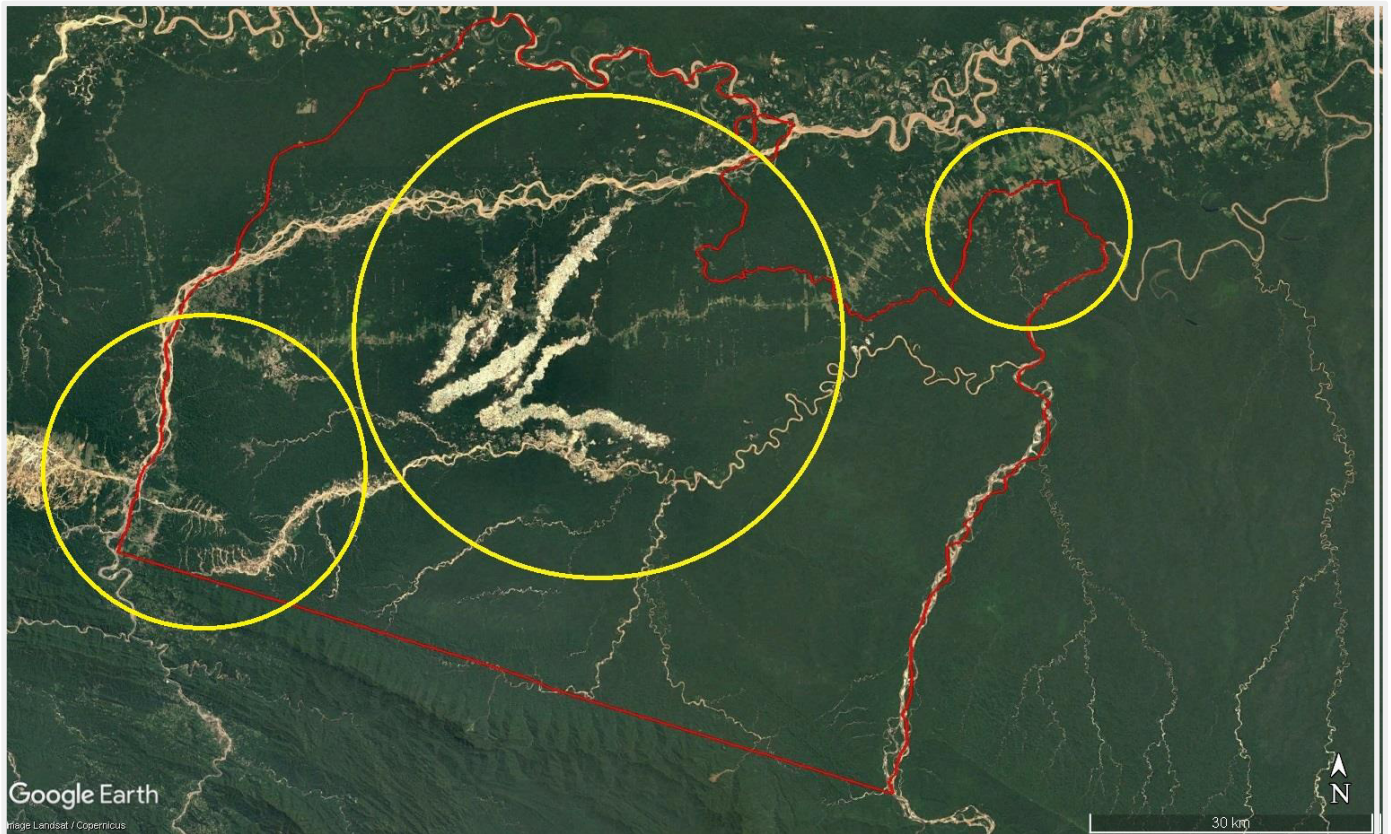
Imagen satelital del distrito de Inambari 2010



Por último, se analizó el año 2020, en donde podemos ver el incremento en la actividad minera hacia la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional de Tambopata y en algunos casos invadiendo esta zona protegida, por otro lado, se ve un aumento de actividad minera y agrícola en la zona suroeste del distrito de Inambari. En la parte noroeste se ve el aumento de zonas agrícolas.

Figura 43

Imagen satelital del distrito de Inambari 2020

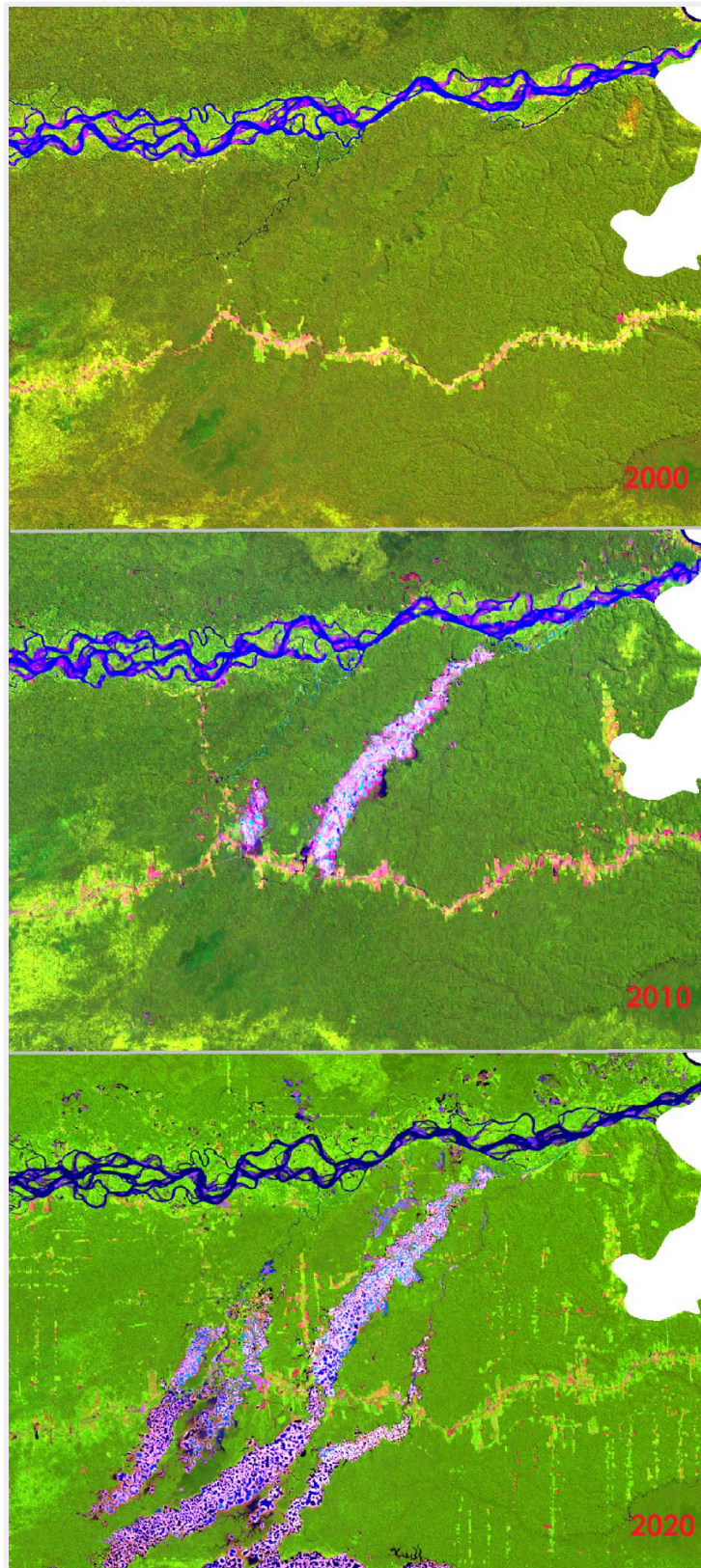


Después de realizar este análisis y fotointerpretación se procedió a utilizar las imágenes de *Landsat 7* y *8*, para comprobar la identificación de estas clases de minería y agricultura utilizando las diferentes combinaciones de bandas.

Como resultado del uso de las imágenes satelitales se pudo determinar que las zonas de minería se interpretan de un color magenta a morado brillante, esto es visualmente diferente por el tipo de imagen satelital que se está utilizando, las bandas que tiene cada satélite. Por otro lado, las zonas agrícolas se pueden visualizar de dos formas, las áreas agrícolas con vegetación (cuadrados de color verde brillante) y las que no tienen vegetación, por lo que representan el suelo desnudo (cuadrados de color amarillo, marrón claro o rojo).

Figura 44

Comparación de las imágenes satelitales en falso color (L7: 5-4-1; L8: 6-5-2).

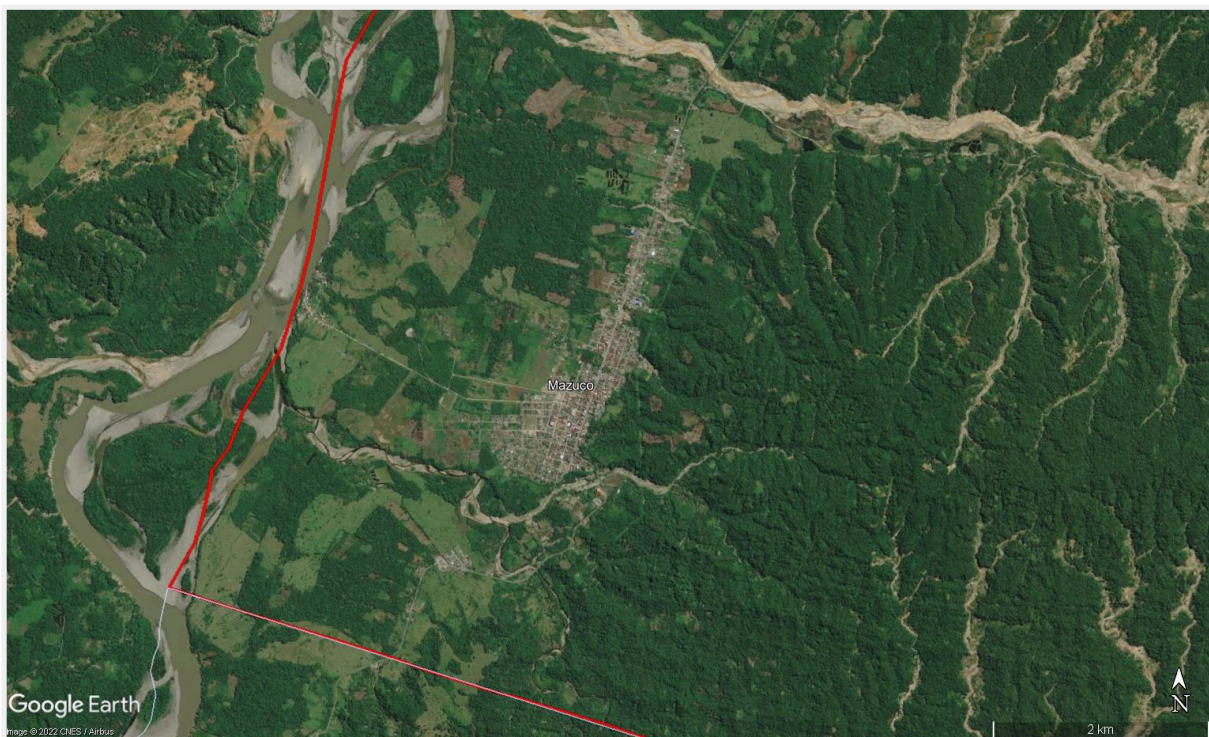


Esta identificación de clases de cobertura en la imagen satelital es muy importante al momento de crear los puntos de entrenamiento, ya que con las diferentes combinaciones podemos detectar de manera óptima cada clase.

Finalmente, teniendo como resultado los factores más predominantes de minería y agricultura, se procede a identificar las clases para realizar la clasificación supervisada. Para el caso de agricultura se considera dentro de la clase otros, ya que cerca de las zonas agrícolas se han detectado zonas urbanas, por lo que se va a trabajar como una sola clase.

Figura 45

Zonas agrícolas y pequeñas áreas urbanas en Inambari, año 2020



4.3. Identificación de la cobertura forestal afectada por los factores antrópicos de minería y agricultura en el distrito de Inambari, provincia de Tambopata en el departamento de Madre de Dios.

Se realizó la clasificación supervisada para las imágenes de los años 2000, 2010 y 2020, para todas estas imágenes se consideraron 5 clases, Bosque, Minería, Otros, Cuerpos de Agua y Nubes, además se utilizó la técnica de *Super Vector Machine* del *plugin dzetsaka*, para mejorar la clasificación se tomó como referencia el mapa base de QGIS para el año 2020 e imágenes históricas de *Google Earth Pro* para los años 2000 y 2010 y así poder visualizar mejor las zonas donde existe vegetación.

Como resultado se tiene que la precisión de la clasificación para cada año fue la siguiente:

Tabla 28

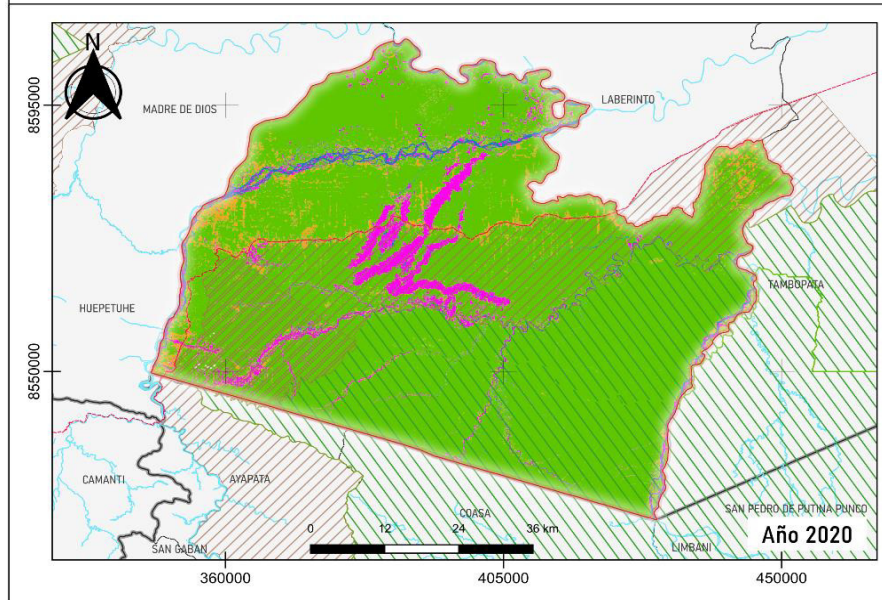
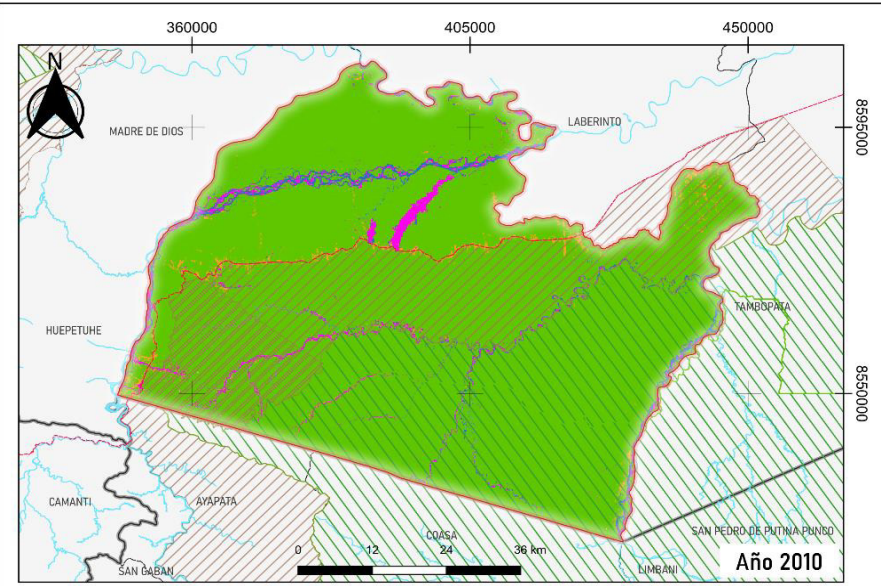
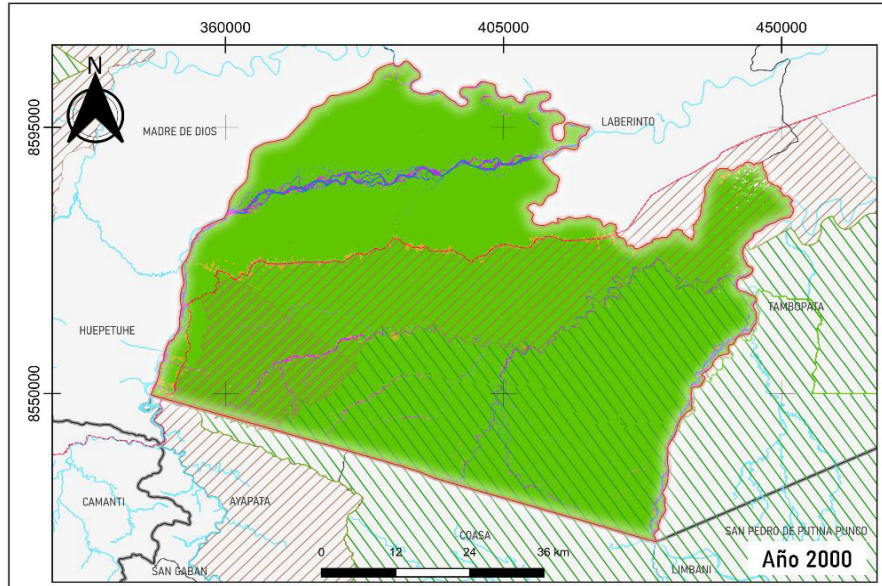
Valores de la fuerza de concordancia del índice Kappa

Año	Kappa
2000	0.871075
2010	0.823179
2020	0.932520

Lo que significa que se tiene una clasificación muy buena (0.81 a 1) según la fuerza de concordancia de la valoración del índice *Kappa*.

Figura 46

Clasificación de las imágenes satelitales para los años 2000, 2010 y 2020



MAPA DE CAMBIO DE COBERTURA FORESTAL PARA LOS AÑOS 2000, 2010 Y 2020

LEYENDA

- | | |
|---|---|
| Coberturas | Minería |
| ■ Bosque | ■ Minería |
| ■ Cuerpos de agua | ■ Agricultura |
| | ■ Nubes |

SIMBOLOGÍA

- Ríos
- Carretera Interoceánica
- Área de estudio
- Zonas de amortiguamiento
- Áreas naturales protegidas
- Límite distrital
- Límite provincial
- Límite departamental

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA		
Tesis: "Monitoreo y proyección del cambio de cobertura forestal por impacto antrópico, aplicando la teledetección en Inambari - Madre de Dios, años 2000 al 2030"		
Mapa de cambio de cobertura forestal para los años 2000, 2010 y 2020		
Elaborado por: Bach. Jeanett Valladares Herrera	Escala: 1/ 700000	Fecha: 23/01/2023
Revisado por: Mg. Ing. Gladys Rojas León	SCR: WGS 84 Zona UTM 19S	Mapa 02

4.3.1. Cálculo de las áreas de las diferentes clases de cobertura del distrito de Inambari para los años 2000, 2010 y 2020

Con las clasificaciones ya realizadas, se procede a calcular el área (hectáreas) y porcentaje de todas las clases:

Tabla 29

Área y porcentaje de las clases para el año 2000

Clase	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Bosque	459646.26	94.88
Minería	7109.56	1.47
Otros	5597.4	1.16
Cuerpos de agua	11598.55	2.39
Nubes	516.9	0.11

Tabla 30

Área y porcentaje de las clases para el año 2010

Clase	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Bosque	450156.21	92.91
Minería	10921.82	2.25
Otros	9613.02	1.98
Cuerpos de agua	13804.72	2.85
Nubes	20.23	0.004

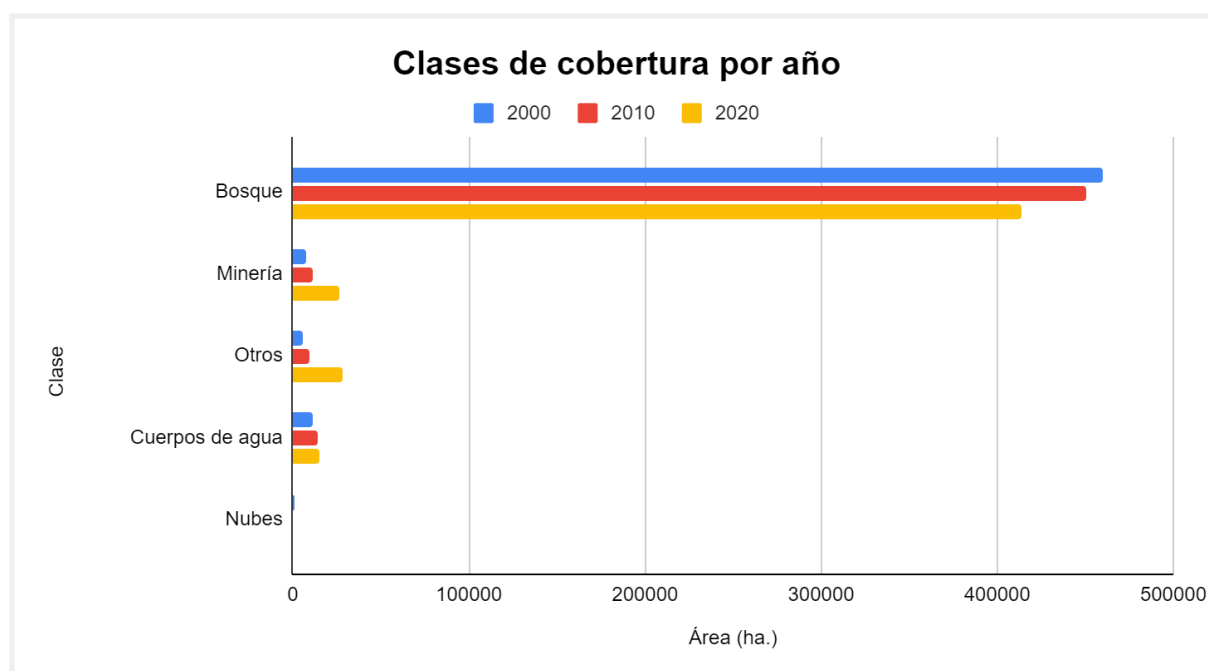
Tabla 31

Área y porcentaje de las clases para el año 2020

Clase	Área (Hectáreas)	Porcentaje
Bosque	413569.36	85.4
Minería	26876.34	5.55
Otros	28595.73	5.9
Cuerpos de agua	15010.71	3.1
Nubes	236.41	0.05

Figura 47

Gráfico de clases de cobertura por año



Como resultado de las coberturas encontradas en el distrito de Inambari, tal como se puede apreciar en el gráfico, la cobertura de bosque ha ido disminuyendo de manera significativa mientras que la minería y la clase otros (agricultura y áreas urbanas) va aumentando en más del 50% cada 10 años.

4.3.2. Identificación de las áreas de minería que influyen en el cambio de la cobertura forestal de Inambari en los años 2000, 2010 y 2020

Luego se procede a separar la clase de minería de las capas de los años 2000, 2010 y 2020 y se calcula el área que ha aumentado en el transcurso de cada 10 años.

Tabla 32

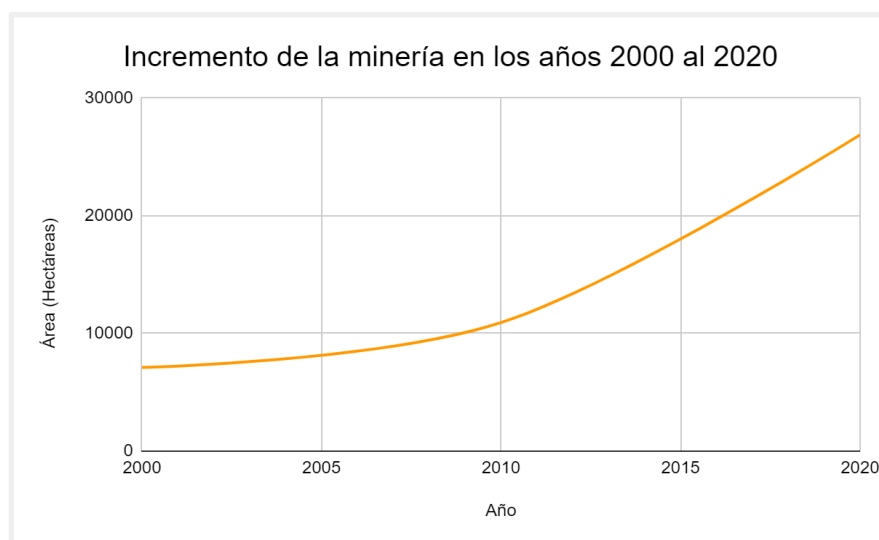
Variación de la minería de los años 2000 al 2020

Año	Área (ha.)	Variación (ha.)
2000	7109.56	-
2010	10921.82	3812.26
2020	26876.34	15954.52

Según la clasificación obtenida podemos determinar que del año 2000 a 2010 ha incrementado en un 3812.26 ha las zonas de minería, mientras que del año 2010 al 2020 se han incrementado en un 15954.52 ha, lo que representa más del 418%.

Figura 48

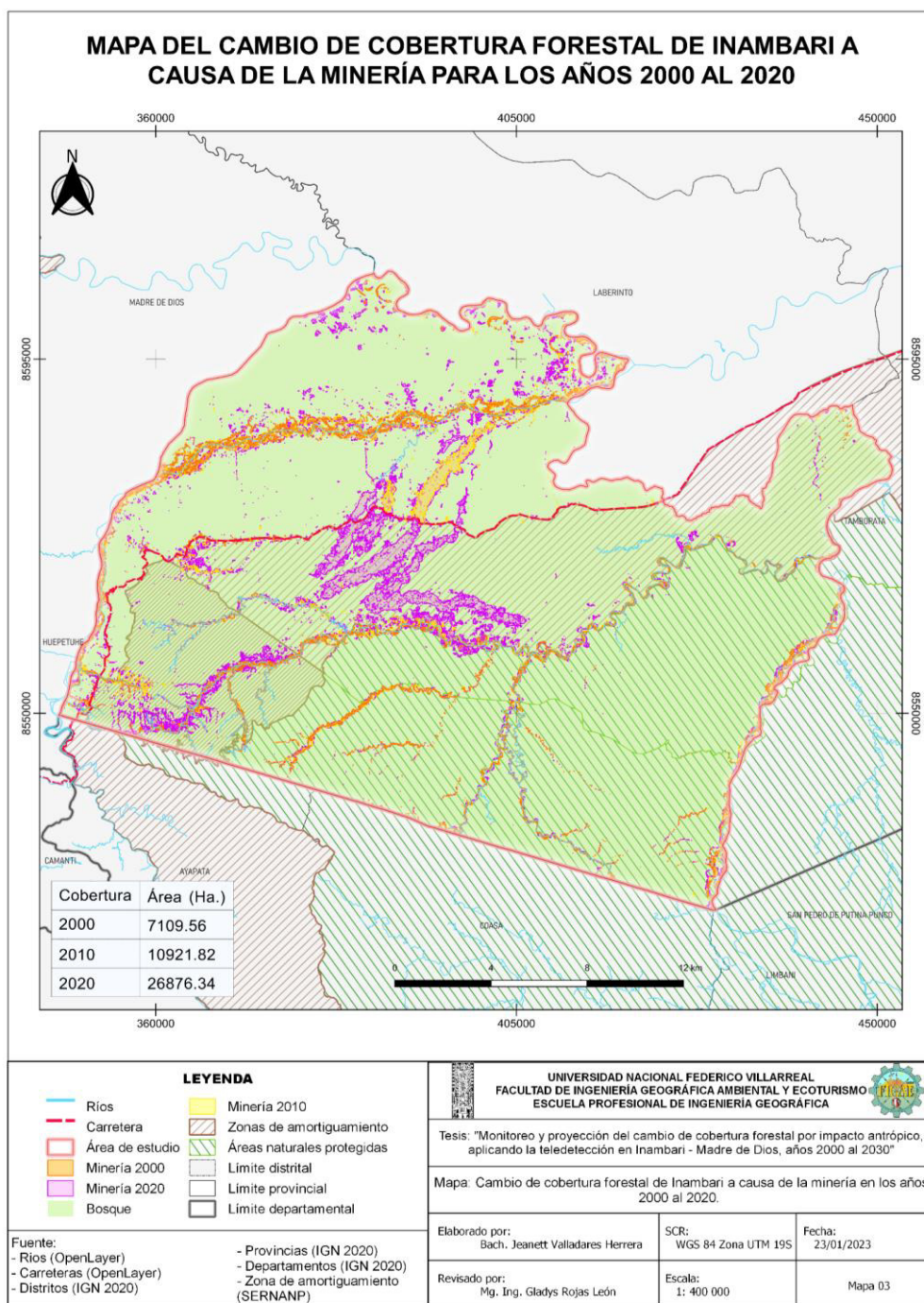
Gráfico de incremento de la minería en los años 2000 al 2020



Tal como podemos apreciar en el gráfico, tenemos que la minería ha ido incrementando de manera exponencial mientras que la cobertura forestal ha disminuido de manera significativa con una pérdida de 19766.78 hectáreas a causa de la minería.

Figura 49

Cambio de la cobertura forestal a causa de la minería, años 2000 al 2020.



4.3.3. Identificación de las áreas de agricultura que influyen en el cambio de la cobertura forestal de Inambari en los años 2000, 2010 y 2020

Realizada ya la clasificación de las imágenes satelitales se pudo determinar que existen otros factores aparte de la minería que influyen en el cambio de la cobertura forestal.; uno de ellos es la agricultura, la cual se ha identificado como la clase otros; ya que presenta pequeñas zonas rurales que no afectan a la cobertura estudiada.

Tenemos la siguiente tabla, en donde nos muestra la variación de la agricultura entre los años 2000 al 2010.

Tabla 33

Variación de la agricultura de los años 2000 al 2020

Año	Área (ha.)	Variación (ha.)
2000	5597.4	-
2010	9613.02	4015.62
2020	28595.73	18982.71

Como se puede visualizar en el gráfico, el aumento de las zonas agrícolas en el distrito de Inambari es de manera exponencial, ya que en 10 años han aumentado aproximadamente 14 hectáreas, lo que vendría a representar en un aumento del más del 470%. La agricultura, representa la segunda causa de pérdida de cobertura forestal en el distrito de Inambari.

Figura 50

Gráfico de incremento de la agricultura en los años 2000 al 2020

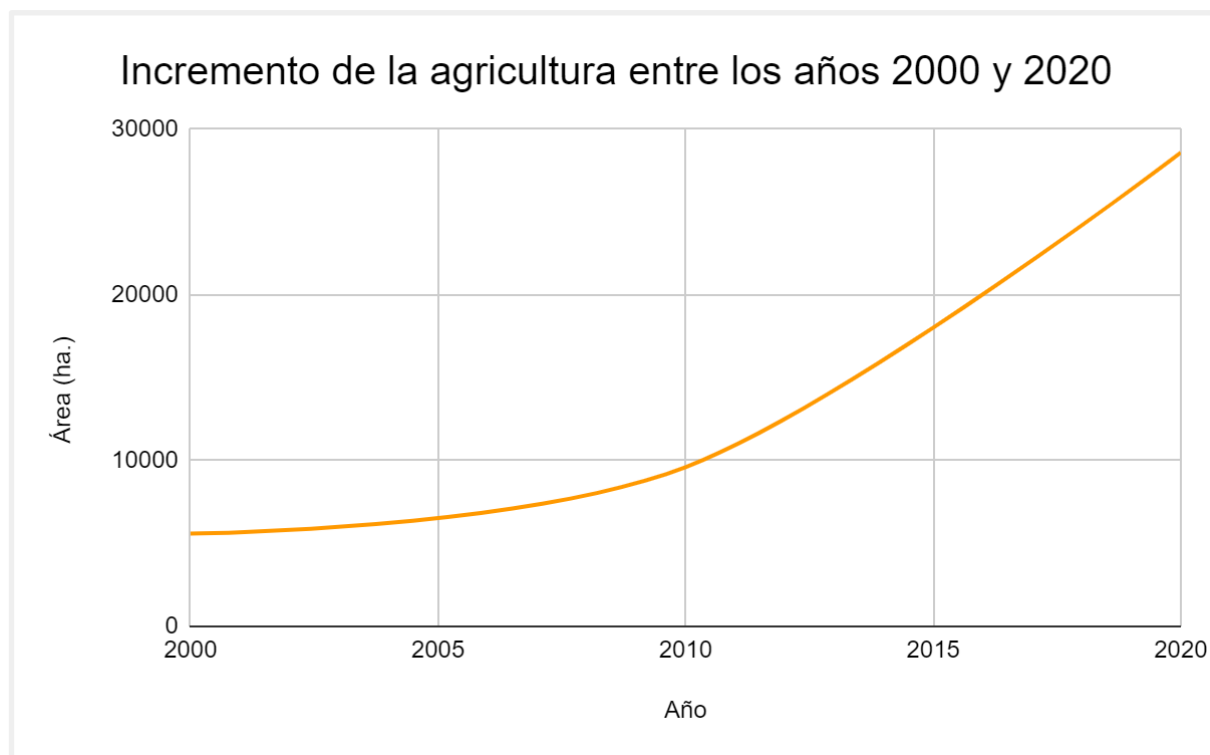
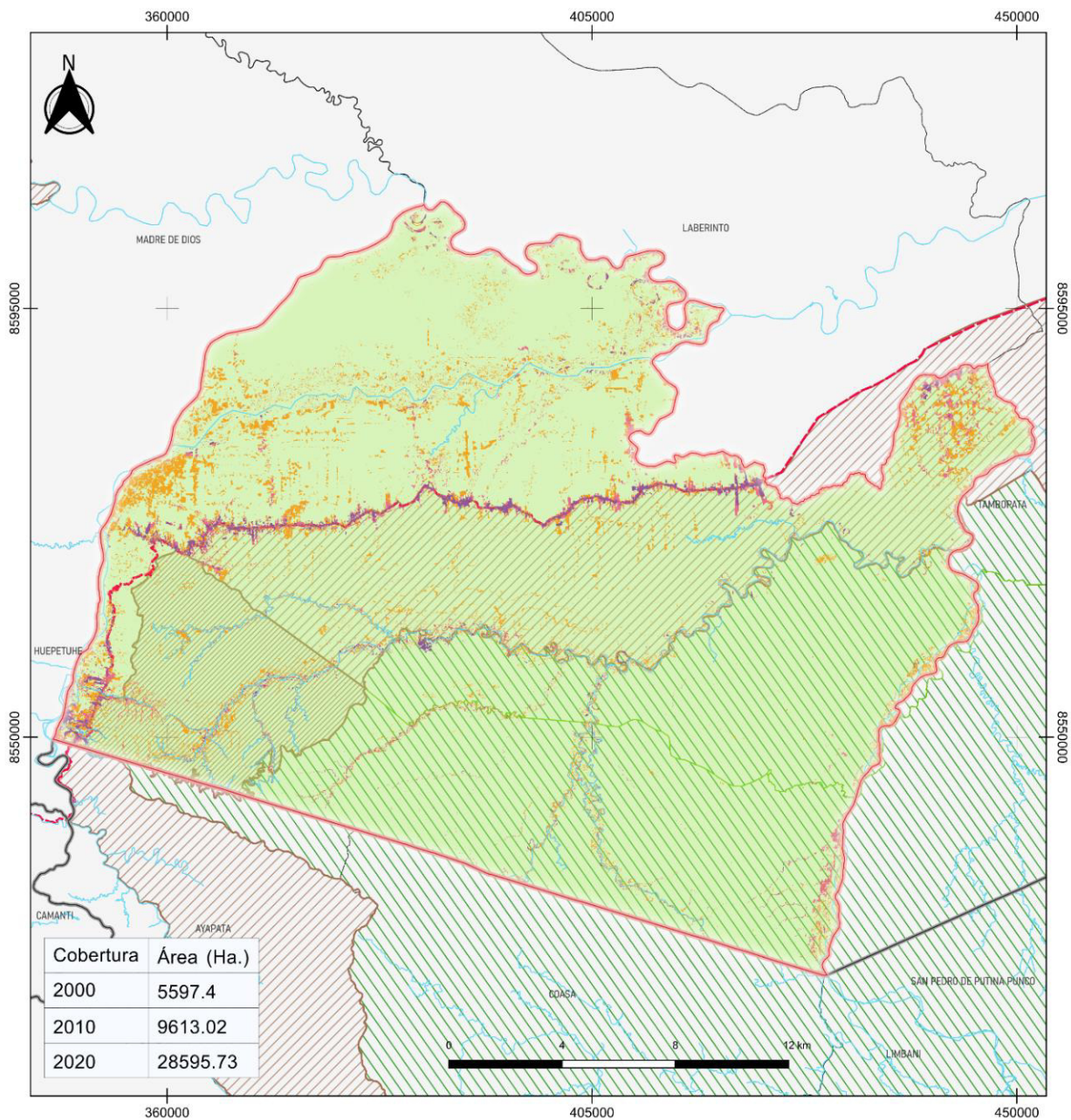


Figura 51

Cambio de la cobertura forestal a causa de la agricultura, años 2000 al 2020

MAPA DEL CAMBIO DE COBERTURA FORESTAL DE INAMBARI A CAUSA DE LA AGRICULTURA PARA LOS AÑOS 2000 AL 2020



LEYENDA

- Ríos
- Carretera
- Área de estudio
- Zonas agrícolas 2000
- Zonas agrícolas 2010
- Zonas agrícolas 2020
- Bosque
- Áreas naturales protegidas
- Zonas de amortiguamiento
- Limite distrital
- Limite provincial
- Limite departamental

Fuente:
 - Ríos (OpenLayer)
 - Carreteras (OpenLayer)
 - Distritos (IGN 2020)

- Provincias (IGN 2020)
 - Departamentos (IGN 2020)
 - Zona de amortiguamiento (SERNANP)

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA AMBIENTAL Y ECOTURISMO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA



Tesis: "Monitoreo y proyección del cambio de cobertura forestal por impacto antrópico, aplicando la teledetección en Inambari - Madre de Dios, años 2000 al 2030"

Mapa: Cambio de cobertura forestal de Inambari a causa de la agricultura en los años 2000 al 2020.

Elaborado por:
 Bach. Jeanett Valladares Herrera

SCR:
 WGS 84 Zona UTM 19S

Fecha:
 23/01/2023

Revisado por:
 Mg. Ing. Gladys Rojas León

Escala:
 1: 400 000

Mapa 04

4.4 Análisis del cambio de cobertura forestal por factores antrópicos de minería y agricultura para el año 2030 en el distrito de Inambari, provincia de Tambopata departamento de Madre de Dios

Se realizó la proyección del cambio de cobertura forestal para el año 2030 utilizando las imágenes clasificadas del año 2010 y 2020, además de las variables de *DEM*, distancia de carreteras, distancia de ríos, distancia a centros poblados, distancia a zonas de amortiguamiento y el flujo de acumulación.

Los valores introducidos en el *plugin Molusce*, fueron 3000 puntos aleatorios, 1px para el valor del vecino, tasa de aprendizaje de 0.005, 10000 iteraciones, 8 capas ocultas y 0.005 de momento; como valor de capa se tuvo el resultado de 0.51902 lo que vendría a ser un valor de concordancia moderado.

4.4.1. Cálculo del cambio de cobertura forestal para el 2030

Una vez obtenida la proyección al 2030, se realizó el cálculo de todas las clases de cobertura y se comparó con las coberturas de los años anteriores.

Tabla 34

Variación de la cobertura forestal desde el año 2000 al 2030

Coberturas	Área (ha.)			
	2000	2010	2020	2030
Bosque	459646.26	450156.21	413569.36	411896.69
Minería	7109.56	10921.82	26876.34	30962.64

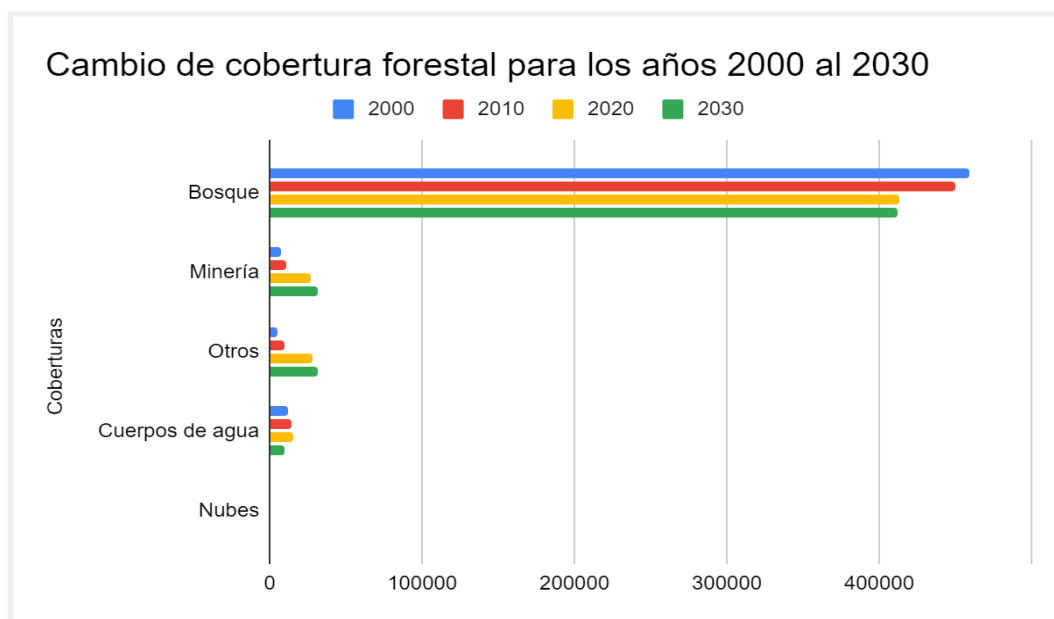
Otros	5597.4	9613.02	28595.73	31195.61
Cuerpos de agua	11598.55	13804.72	15010.71	10206.83
Nubes	516.9	20.23	236.41	26.76

En la tabla anterior se puede visualizar que para el año 2030, las zonas con presencia de minería han aumentado en 4086.3 ha, mientras que la agricultura aumentó en 2599.88 ha. Por otro lado, se puede visualizar que los cuerpos de agua han disminuido considerablemente, esto se debe a que la actividad minera ha invadido parte del cauce de los ríos.

A continuación, se puede observar el gráfico del cambio de cobertura forestal para los años 2000 al 2030, en donde se puede visualizar la disminución de los bosques y cuerpos de agua.

Figura 52

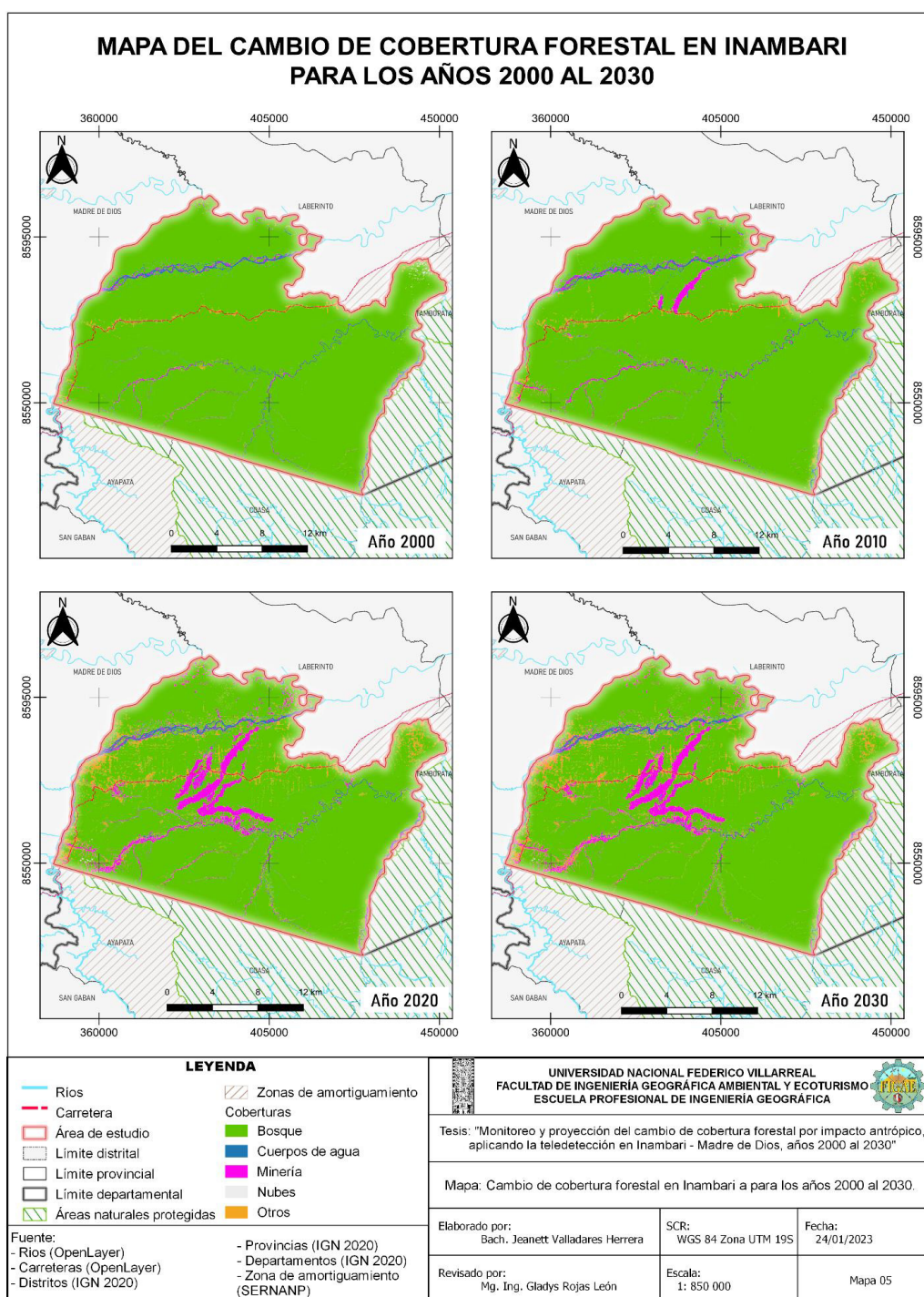
Gráfico del cambio de la cobertura forestal de Inambari a causa de la minería y agricultura para los años 2000 al 2030



Finalmente, después de haber realizado el cálculo de las áreas del cambio de cobertura forestal, se procede a elaborar un mapa en donde se puede visualizar la cobertura de los años 2000, 2010, 2020 y 2030.

Figura 53

Cambio de la cobertura forestal de Inambari para los años 2000 al 2030



V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Sobre el monitoreo del cambio de cobertura forestal afectada en Inambari, provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios para los años 2000, 2010 y 2020

Se pudo determinar mediante las imágenes satélite y las técnicas de fotointerpretación existen dos factores antrópicos bien marcados como son la minería y la agricultura.

Monitoreando las imágenes satelitales de los años 2000 y 2010, se pudo visualizar que desde el año 2010 existe un incremento en la exploración de la minería llegando casi a las zonas de amortiguamiento de la Reserva Nacional de Tambopata y el Parque Nacional Bahuaja. Ya para el año 2020, la minería se expandió lo suficiente para invadir estas áreas naturales protegidas y según la Ley N° 26834 - Ley de Áreas Naturales Protegidas, se deben mantener los recursos de flora silvestre de modo que se asegure una producción estable y sostenible, por lo que la realización de estas actividades estaría yendo en contra de una de nuestras leyes ambientales y de conservación natural.

De esta manera podemos confirmar nuestra primera hipótesis en donde mencionamos que el cambio de cobertura forestal se produce por factores antrópicos ya que no solo se puede visualizar en las zonas de bosque de Madre de Dios, sino también en el departamento de San Martín tal como lo indican Carranza & Tasilla (2020), en el artículo “Pérdida de cobertura vegetal en el distrito de Morales, San Martín, Perú (periodo 1987 – 2017)”.

5.2. Sobre la identificación de la cobertura forestal afectada por los factores antrópicos de minería y agricultura en el distrito de Inambari, provincia de Tambopata en el departamento de Madre de Dios.

Se pudo identificar que en el transcurso de los años 2000 al 2020 la cobertura forestal afectada por los factores de minería y agricultura fueron 42,765.11 ha. lo que vendría a ser el 8% de la superficie de todo el distrito. Además, se ha podido visualizar que esta tendencia sigue en aumento por lo que lamentablemente se espera que siga incrementando.

Por otro lado, se puede confirmar nuestra segunda hipótesis en donde se menciona que la extracción del oro y el aumento de las zonas agrícolas influyen en el cambio de la cobertura forestal. De igual modo, se confirma que la minería es una de las causas de la deforestación en Inambari, debido a que la herramienta RAMI se enfoca en la detección de la extracción del oro ilegal en la zona de Madre de Dios. (Conservación Amazónica 2020).

Finalmente, se han podido identificar zonas agrícolas cerca a los cuerpos de agua, y que se están expandiendo por todo el distrito de Inambari, esta situación es muy similar a la ocurrida en la microcuenca Yuyac, ya que también se identificó que la pérdida de cobertura forestal se ve afecta por el cambio de uso de suelo de bosque a cobertura agrícola, tal como lo menciona Zumaeta (2019) en el artículo “Análisis multitemporal y predictivo del cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal”

5.3. Sobre el análisis del cambio de cobertura forestal por factores antrópicos de minería y agricultura para el año 2030 en el distrito de Inambari, provincia de Tambopata departamento de Madre de Dios

Se pudo identificar que para el año 2030 la cobertura forestal ha disminuido a causa de la minería y agricultura, pero no ha seguido un patrón exponencial tal como se esperaba, ya que del 2010 al 2020 varió en aproximadamente 15954.52 ha. en minería y 18982.71 ha. en agricultura, mientras con el resultado simulado del 2020 al 2030 varió en 4086.3 ha. y 2599.88 ha, para minería y agricultura respectivamente.

Si bien es cierto, el modelo proyectado al año 2030 no cumple con predecir las zonas mineras y agrícolas en función a su tendencia direccional; ya que se pudo visualizar que del 2010 al 2020 las zonas mineras y agrícolas se dirigen hacia la Reserva Nacional de Tambopata; sí ha podido predecir el cambio de la cobertura forestal en función a su cercanía a los cuerpos de agua, elevación, centros poblados y la distancia a la carretera, las cuales son variables considerables que influyen en la deforestación, tal como lo indica Kamaraj & Rangarajan (2022), en el artículo *“Predicting the future land use and land cover changes for Bhavani basin, Tamil Nadu, India, using QGIS MOLUSCE plugin”*.

De igual modo, respecto a nuestra última hipótesis se pudo confirmar que del año 2020 al año 2030 se perdería el 20% de la cobertura forestal, con la proyección realizada se determinó que se perdería aproximadamente 25.61% de cobertura forestal a causa de la minería y agricultura, pero también se pudo visualizar que se verán afectados cuerpos de agua debido a la expansión agrícola y extracción del oro cerca de las riberas de los ríos.

Por otro lado, para realizar la proyección a 10 años se tomó como referencia los valores utilizados por Principi Noelia (2021), en el artículo titulado “Modelado de expansión urbana mediante autómatas celulares y redes neuronales artificiales”, donde realizó la proyección al 2030 utilizando el *plugin Molsce*, y 10000 iteraciones para activar las redes neuronales.

VI. CONCLUSIONES

6.1. Se monitoreo el cambio de cobertura forestal afectada en el distrito de Inambari, para los años 2000, 2010 y 2020

Finalmente se encontró que las actividades que más afectan a este cambio de cobertura forestal son la minería y agricultura, en ambos casos este tipo de actividad está afectando de manera directa la biodiversidad de la zona, ya que ha invadido las zonas de amortiguamiento de la Reserva Nacional de Tambopata y también la del Parque Nacional Bahuaja Sonene, y se están expandiendo dentro de las mismas.

Por otro lado, este monitoreo se realizó utilizando imágenes satelitales y software de teledetección, lo cual es un muy útil ya que, en el distrito de Inambari, por la zona denominada la Pampa, presenta zonas donde no solo existe la minería ilegal, sino que también existen actividades delictivas como trata de personas, sicariato, prostitución; motivo por el cual este tipo de actividades es muy difícil de frenar y se necesitaría el apoyo de las instituciones especializadas en delito ambiental.

6.2. Se identificó la cobertura forestal afectada por los factores antrópicos de minería y agricultura en el distrito de Inambari.

Los factores antrópicos de minería y agricultura siguen aumentando de manera considerable en todos los bosques del Perú, en el caso del distrito de Inambari que se encuentra en el departamento de Madre de Dios, se vio un aumento de estas actividades desde el año 2000 al 2010, se redujeron 7,827.88 ha de cobertura forestal mientras que para los años 2010 al 2020 se han reducido aproximadamente 34,937.23 ha de bosque lo que vendría hacer más del 400% de bosque perdido en solo 10 años, siendo 15,954.52 ha y 18,982.71 ha de la minería y agricultura respectivamente. Lo que vendría a ser una tendencia que seguirá en aumento en el

transcurso de los años si no se logra tomar acciones correctivas lo que para eso se necesitaría el apoyo de las autoridades competentes de la región.

6.3. Sé analizó el cambio de cobertura forestal por factores antrópicos de minería y agricultura para el año 2030 en el distrito de Inambari.

Por último, en la proyección realizada para el año 2030, se pudo analizar que el 25.61% de la cobertura forestal afectada serian causadas por incremento de la agricultura en 2599.88 ha, y debido a la extracción del oro se perderían 4086.3 ha.

En relación a la idea anterior, la proyección realizada para el año 2030 en esta investigación no solo detectó zonas de cobertura forestal afectadas sino también pérdida en los cuerpos de agua debido a los mismos factores antrópicos. Por otro lado, el modelo proyectado no sigue la tendencia de pérdida de cobertura forestal del año 2010 al 2020 pero sí identifica nuevas zonas de cambio de cobertura forestal, esto se debe a las variables utilizadas en esta investigación, por lo que, las variables son de gran importancia para el desarrollo del modelo proyectado y ayudarían a conocer posibles escenarios futuros.

Finalmente, estas nuevas técnicas de la teledetección como proyección a futuro son muy importante porque nos permite conocer cómo podría ser nuestra realidad a futuro si es que no se toman acciones preventivas a favor de nuestros bosques y biodiversidad.

VII. RECOMENDACIONES

- Realizar el monitoreo de la deforestación utilizando las técnicas de teledetección y uso de imágenes de satélite, actualmente el proyecto RAMI; el cual es gestionado por SERVIR y la NASA; es de mucha utilidad ya que se encargan de realizar el monitoreo de la deforestación pero se enfocan solamente en la minería, sin embargo, en esta investigación hemos detectado que no solo la minería afecta al cambio de cobertura forestal sino que también la expansión de zonas agrícolas afecta de forma directa a los bosques primarios y acelera el cambio de cobertura forestal.
- Implementar nuevas técnicas para el monitoreo de la cobertura forestal, como es el uso de escenarios futuros o proyecciones, para conocer cómo sería el estado de nuestros bosques y poder tomar consciencia de las acciones que se vienen realizando y así poder mejorarlas y evitar la degradación del ecosistema. De igual modo, se pueden realizar planes de concientización ambiental a los mismos pobladores de la zona y personas interesadas.
- Se sugiere el uso de la teledetección para el monitoreo de zonas de difícil acceso para tener información precisa y actualizada sobre los cambios que ocurren en las diferentes zonas del país tal como es el caso del distrito de Inambari, que es una zona peligrosa debido al alto índice delincuencia.

VIII. REFERENCIAS

- Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio [NASA]. (s.f.). *Cronología Landsat*. Recuperado de: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/about/landsat-timeline/>
- Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio [NASA]. (s.f.). *Landsat 7*. Recuperado de: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-7/>
- Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio [NASA]. (s.f.). *Landsat 8*. Recuperado de: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/>
- Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio [NASA]. (12 de agosto de 2021). *Evaluando la relación entre la agricultura y la deforestación*. Recuperado de <https://ciencia.nasa.gov/relacion-agricultura-deforestacion>
- Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio [NASA]. ARSET (11 de mayo de 2021). *Observaciones de satélites y herramientas para el riesgo, detección y análisis de incendios*. Recuperado de: https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/2021-05/Fire_Part1_Spanish.pdf
- Amat J. (abril de 2017). *Máquinas de Vector Soporte (Support Vector Machines, SVMs)*. Recuperado de: https://www.cienciadedatos.net/documentos/34_maquinas_de_vector_soporte_support_vector_machines#M%C3%A1quinas_de_Vector_Soporte
- America Mining. (5 de agosto de 2019). *Madre de Dios: la deforestación por minería ilegal en LaPampa se redujo en 92%. Rumbo Minero*. Recuperado de: <https://www.rumbominero.com/peru/noticias/mineria/madre-de-dios-la-deforestacion-por-mineria-ilegal-en-la-pampa-se-redujo-en-92/>
- Anji M. (2008). *Textbook of Remote Sensing and Geographical Information Systems*. (Third Edition). Editorial BS Publications.

Asian Air Survey. (2 de abril de 2014). *MOLUSCE, Modules for Land Use Change Evaluation*
- *Quick Help*. Recuperado de:

<https://github.com/nextgis/molusce/blob/master/doc/en/QuickHelp.pdf>

Buğday, E. & Erkan Buğday, S. (2019). *Modeling and simulating land use/cover change using artificial neural networks from remotely sensing data*. *Revista CERNE.*, 25(2), pp. 246-254. <https://doi.org/10.1590/01047760201925022634>

Carranza J. & Tasilla F. (2020). *Pérdida de cobertura vegetal en el distrito de Morales, San Martín, Perú (periodo 1987 – 2017)*. *Revista de Investigación ciencia, tecnología y desarrollo*. 6(1). pp. 1-11. <https://doi.org/10.17162/rictd.v6i1>

Chuvieco E. (2010). *Teledetección ambiental - La observación de la Tierra desde el espacio*. Primera edición. Editorial Ariel

Conservación Amazónica - ACCA (s.f.). *Tecnologías para la conservación - Programa SERVIR - AMAZONÍA*. Recuperado de: <https://dev2.acca.org.pe/plataforma-rami/>

Damián M. (marzo de 2001). *Redes Neuronales: Conceptos Básicos y Aplicaciones*.

Recuperado de:

https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/5_ano/orientadora1/monografias/matich-redesneuronales.pdf

Dammert A. & Molinelli F. (Setiembre de 2007). *Panorama de la minería en el Perú*. OSINERGMIN. Recuperado de:

https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Libro_Panorama_de_la_Mineria_en_el_Peru.pdf

El Peruano. (28 de abril de 2017). *D.S. N° 002-2017-MINAM - Aprueban el Reglamento de Organización y Funciones (ROF) del Ministerio del Ambiente - MINAM*. Recuperado de: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/D.S-N%C2%B0-002-2017-MINAM1.pdf>

- Gandia S. & Meliá, J. (1991). *La teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Recursos renovables. Agricultura*. Editorial: Universidad de Valencia. Recuperado de:
- <https://books.google.com.pe/books?id=t8ZLSpM20m8C&pg=PA249&dq=clasificaci+on+supervisada&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKewj1mq3mlYX8AhUlhJUCHe5eC-sQ6AF6BAgHEAI#v=onepage&q=clasificacion%20supervisada&f=false>
- García F. (22 de febrero de 2019). *¿Qué es La Pampa y por qué era tan peligrosa esta zona de Madre de Dios?. El Comercio*. Recuperado de: <https://elcomercio.pe/peru/madre-de-dios/pampa-origen-enclave-mineria-ilegal-noticia-609033-noticia/?ref=ecr>
- Google (s.f.). *Una plataforma a escala planetaria para datos y análisis de ciencias de la Tierra*. Google Earth Engine. Recuperado de: <https://earthengine.google.com/>
- Ibañes Bocanegra, A. J. (2019). *Predicción de los cambios de cobertura y uso de la tierra al año 2026 en la cuenca del río Tocache, San Martín*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. Recuperado de: <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1413>
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico [INGEMMET]. (8 de enero de 2021). *Actividad Minera Artesanal en la Región Madre de Dios*. Recuperado de: <https://www.gob.pe/institucion/ingemmet/informes-publicaciones/1495531-actividad-minera-artesanal-en-la-region-madre-de-dios>
- Kamaraj, M., Rangarajan, S. (2022). “*Predicting the future land use and land cover changes for Bhavani basin, Tamil Nadu, India, using QGIS MOLUSCE plugin.*” *Environ Sci Pollut Res*. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17904-6>
- Ministerio de Agricultura (14 de octubre de 2009). *DS N° 017-2009-AG - Reglamento de clasificación de Tierras por su capacidad de uso mayor, Anexo IV: Guía de Clasificación de los Parámetros Edáficos*. Recuperado de:

<http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/difusion/tallares/CUM-DS-017-2009-AG-2.pdf>

Ministerio del Ambiente [MINAM]. (Junio de 2009). *Mapa de Deforestación de la Amazonía Peruana 2000 - Capítulo 4: Causas de la deforestación*. Recuperado de: <https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/39068>

Ministerio del Ambiente [MINAM]. (s.f.). *Monitoreo y evaluación - Cobertura y uso de la Tierra*. Recuperado de: <https://geoservidor.minam.gob.pe/monitoreo-y-evaluacion/cobertura-y-uso-de-la-tierra/>

Ministerio del Ambiente [MINAM] (Abril de 2011). *Minería aurífera en Madre de Dios y contaminación con Mercurio - Una bomba de tiempo*. Recuperado de: http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/mineria_aurifera_en_madre_de_dios.pdf

Ministerio del Ambiente [MINAM] & Bosques (2021). *Protocolo metodológico para la detección de la pérdida de bosque*. Recuperado de: [http://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/descargas_geobosque/perdida/documentos/Protocolo_Metodologico_Deteccion_Perdida_de_Bosque.pdf?Tue%20May%2003%202022%2012:54:47%20GMT-0500%20\(hora%20est%C3%A1ndar%20de%20Per%C3%BA\)](http://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/descargas_geobosque/perdida/documentos/Protocolo_Metodologico_Deteccion_Perdida_de_Bosque.pdf?Tue%20May%2003%202022%2012:54:47%20GMT-0500%20(hora%20est%C3%A1ndar%20de%20Per%C3%BA))

Ministerio de Energía y Minas [MINEM]. (2021). *Perú: País Minero. Ministerio de energía y minas*. Recuperado de: https://www.minem.gob.pe/_detalle.php?idSector=1&idTitular=159&idMenu=sub149&idCateg=159

Nieves-Solarte, F. A., & Ruiz-Fajardo, J. E. (2021). *Procesos de deforestación asociados a la minería legal en la Amazonía colombiana*. *Revista Ontare*, 9. <https://doi.org/10.21158/23823399.v9.n0.2021.2943>

Olaya V. (8 de julio de 2020). *Sistemas de Información Geográfica*. Recuperado de: <http://volaya.github.io/libro-sig/>

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería [OSINERGMIN] (febrero de 2017). *La industria de la minería en el Perú. 20 años de contribución al crecimiento y desarrollo económico del país*. Recuperado de: <https://issuu.com/osinergmin/docs/osinergmin-industria-mineria-peru-2/76>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (setiembre de 2015). *Documento de trabajo de la evaluación de los recursos forestales N° 180. - FRA 2015. Términos y definiciones*. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/ap862s/ap862s00.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. & Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA] (23 de diciembre de 2020). *El estado de los bosques en el mundo 2020. Los bosques, la biodiversidad y las personas*. Roma. Recuperado de: <https://doi.org/10.4060/ca8642es>

Organización Mundial de la Salud [OMS] (2017). *Riesgos para la salud relacionados con el trabajo y el medioambiente asociados a la extracción de oro artesanal o a pequeña escala [Environmental and occupational health hazards associated with artisanal and small-scale gold mining]*. Ginebra. Recuperado de: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/259452/9789243510279-spa.pdf;sequence=1#:~:text=La%20miner%C3%ADa%20aur%C3%ADfera%20artesanal%20y,el%20Medio%20Ambiente%2C%202014>).

Palacios, I. & Arellano, K. (2021). *Modelo predictivo del cambio de cobertura forestal en el área de conservación municipal Quillamo – Cantón Morona*. *Revista Geoespacial*, 18(1), 01–13. <https://doi.org/10.24133/geoespacial.v18i1.2201>

Pérez C. & Muñoz A. (2006). *Teledetección, nociones y aplicaciones*. Tercera Edición. Editorial Universidad de Salamanca. Recuperado de:

<https://books.google.com.pe/books?id=SfrGxbO1DT0C&pg=PA10&dq=imagen+satelital+que+es&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKewibspfQsdr3AhUhp5UCHYvuBRMQ6AF6BAgDEAI#v=onepage&q=imagen%20satelital%20que%20es&f=true>

Prinicpi N. (2021). *Modelado de expansión urbana mediante autómatas celulares y redes neuronales artificiales*. Revista Universitaria de Geografía, 31(1), pp. 95-113, 2022.

<https://www.redalyc.org/journal/3832/383271068004/html/>

QGIS. (s.f.). QGIS - *El SIG Líder de Código Abierto para Escritorio*. Recuperado de:

<https://qgis.org/es/site/about/index.html>

Ramsayer K. (15 de abril de 2015). *Landsat 9 está llegando*. Recuperado de:

<https://landsat.gsfc.nasa.gov/article/nasa-usgs-begin-work-on-landsat-9-to-continue-land-imaging-legacy/>

Reaño G. (14 de setiembre de 2021). *La ruta de la deforestación en Madre de Dios: Los madereros han rodeado mi concesión*. Mongabay Recuperado de:

<https://es.mongabay.com/2021/09/deforestacion-madre-de-dios-territorios-indigenas-shihuahuacos-tala-ilegal-peru/>

Scikit (2022). *Máquinas de vectores de soporte*. Recuperado de: [https://scikit-](https://scikit-learn.org/stable/modules/svm.html)

[learn.org/stable/modules/svm.html](https://scikit-learn.org/stable/modules/svm.html)

Sociedad Peruana de Derecho Ambiental [SPDA]. (25 de agosto de 2020). *Madre de Dios: destruyen equipamiento usado para minería ilegal en el Pariamanu*. Recuperado de:

<https://www.actualidadambiental.pe/madre-de-dios-destruyen-equipamiento-usado-para-mineria-ilegal-en-el-pariamanu/>

- Universidad de Ciencias y Humanidades [UCH]. (6 de abril de 2018). *¿Qué son las imágenes satelitales? Facultad de Ingeniería electrónica con mención en telecomunicaciones*. Recuperado de: <https://blog.uch.edu.pe/ingenieria-electronica-con-mencion-en-telecomunicaciones/que-son-las-imagenes-satelitales/>
- Vera E. (31 de marzo de 2022). *Vía Interoceánica Sur: tras una década, preocupa a las comunidades*. *Dialogo Chino*. Recuperado de: <https://dialogochino.net/es/infraestructura-es/52497-via-interoceanica-sur-tras-una-decada-preocupa-a-las-comunidades/>
- Voight, C., Hernández-Aguilar, K., Garcia, C. y Gutierrez, S. (2019). "Predictive Modeling of Future Forest Cover Change Patterns in Southern Belize" *Remote Sensing* 11(7): 823. <https://doi.org/10.3390/rs11070823>
- World Wildlife Fund [WWF]. (2015). *La deforestación en el Perú - Como las comunidades indígenas, agencias gubernamentales, organizaciones sin fines de lucro y negocios trabajan juntos para detener la tala de bosques*. Edición: Otoño. Recuperado de: https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/la_deforestacion_en_el_peru.pdf
- Zumaeta Lozano, D. (2019). *Análisis multitemporal y predictivo del cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal*. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 2(3), 81-89. <http://dx.doi.org/10.25127/ucni.v2i3.607>

IX. ANEXOS

A. Descarga de imagen satelital

Para la descarga de las imágenes satelitales se utilizó la plataforma de la USGS, los recursos de *USGS Landsat 7 ETM + C2 L1* y

Se descargó las siguientes imágenes por cada año:

Año 2000

Parte 1

LANDSAT_PRODUCT_ID = "LE07_L1TP_002069_20000430_20200918_02_T1"

PROCESSING_LEVEL = "L1TP"

COLLECTION_NUMBER = 02

COLLECTION_CATEGORY = "T1"

OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"

SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_7"

SENSOR_ID = "ETM"

WRS_PATH = 002

WRS_ROW = 069

DATE_ACQUIRED = 2000-04-30

MAP_PROJECTION = "UTM"

DATUM = "WGS84"

ELLIPSOID = "WGS84"

UTM_ZONE = 19

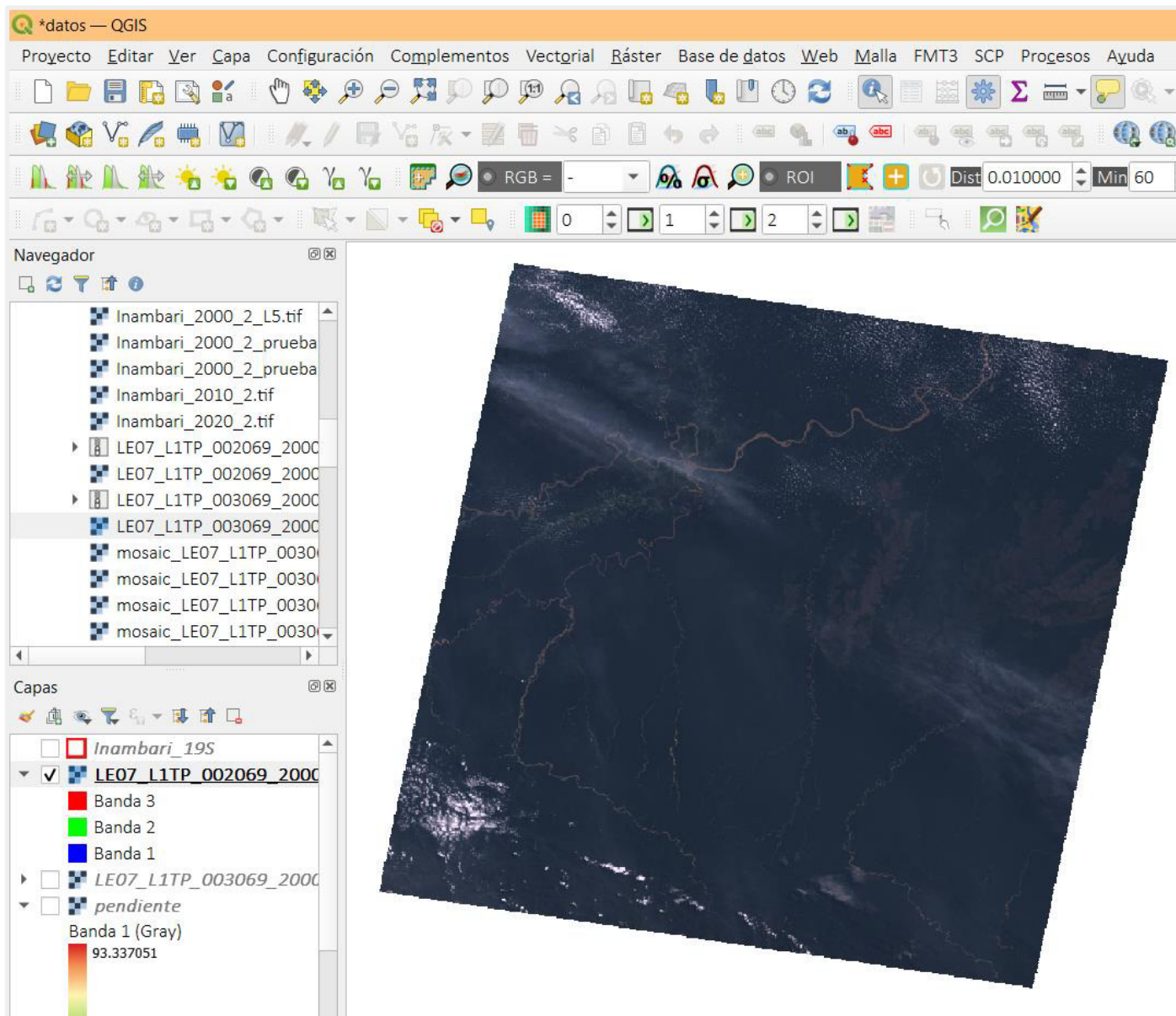
GRID_CELL_SIZE_PANCHROMATIC = 15.00

GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 30.00

GRID_CELL_SIZE_THERMAL = 30.00

Figura 54

Imagen Landsat 7 del año 2000 parte 1, en color natural (3-2-1)



Parte 2

LANDSAT_PRODUCT_ID = "LE07_L1TP_003069_20000726_20200917_02_T1"

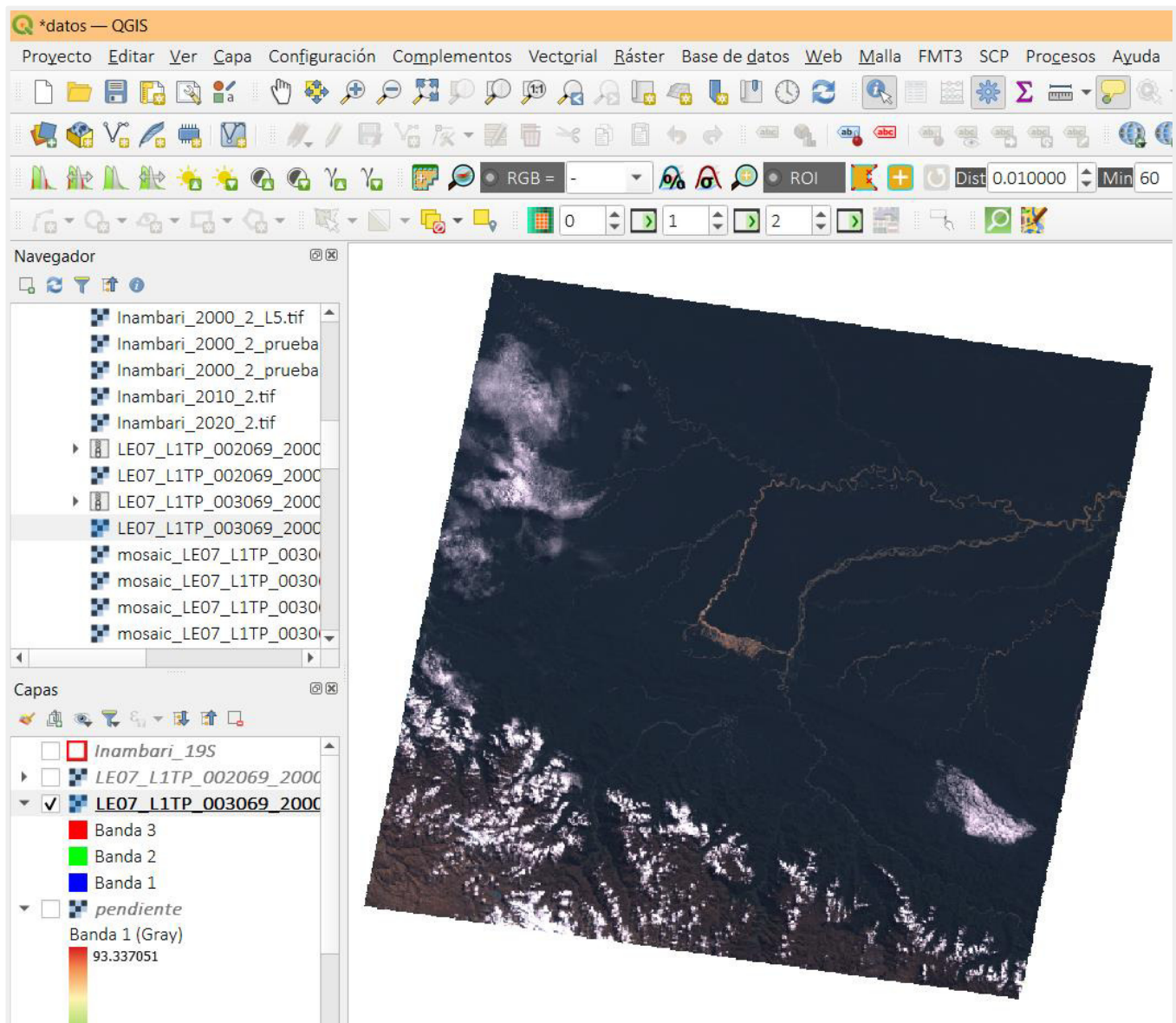
PROCESSING_LEVEL = "L1TP"

COLLECTION_NUMBER = 02

COLLECTION_CATEGORY = "TI"
OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_7"
SENSOR_ID = "ETM"
WRS_PATH = 003
WRS_ROW = 069
DATE_ACQUIRED = 2000-07-26
MAP_PROJECTION = "UTM"
DATUM = "WGS84"
ELLIPSOID = "WGS84"
UTM_ZONE = 19
GRID_CELL_SIZE_PANCHROMATIC = 15.00
GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 30.00
GRID_CELL_SIZE_THERMAL = 30.00

Figura 55

Imagen Landsat 7 del año 2000 parte 2, en color natural (3-2-1)

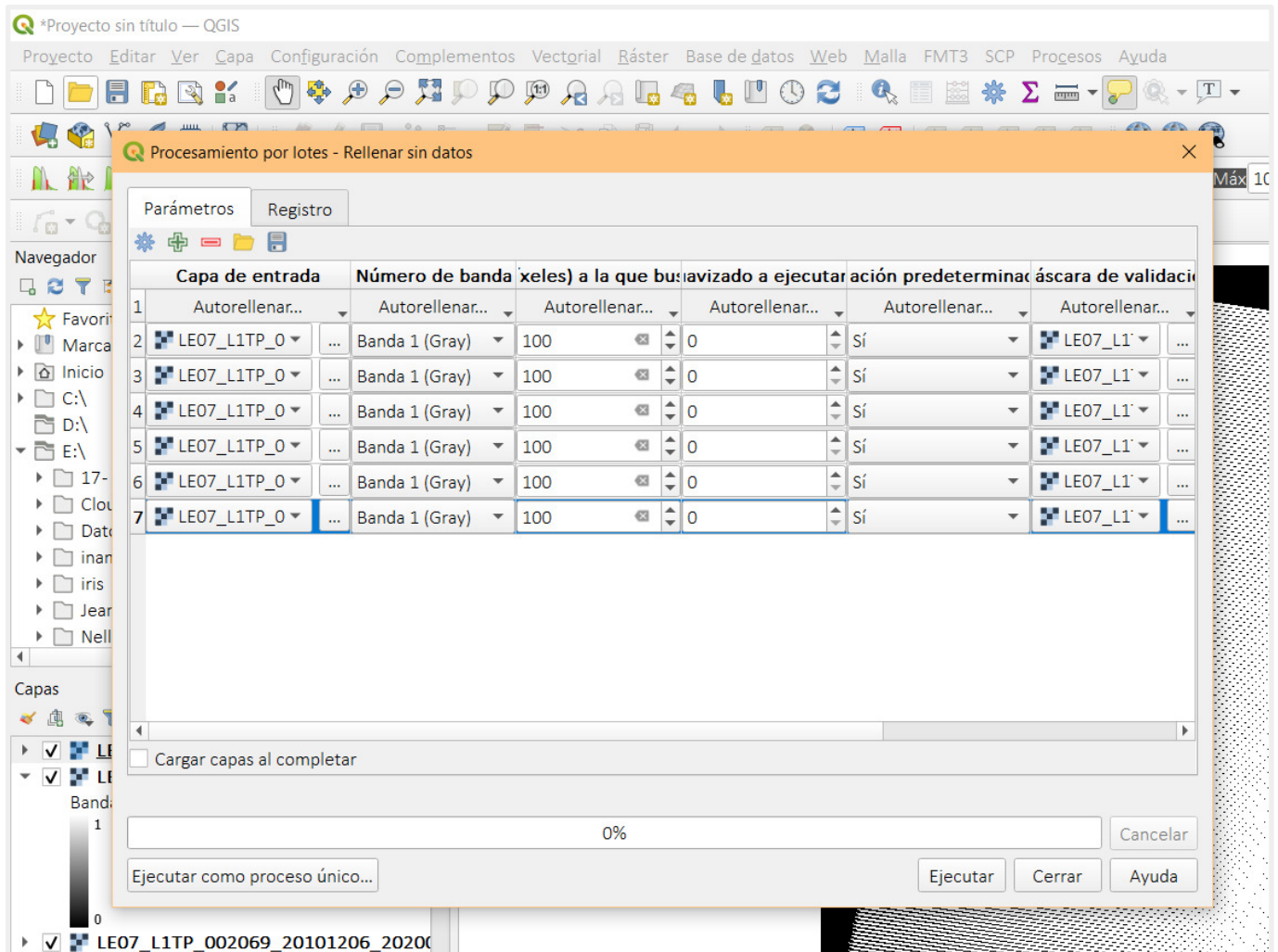


Año 2010

Para las imágenes de Landsat 7 del año 2010 se tuvo que realizar una corrección de bandeamiento debido a que desde el año 2003 el sensor SLC tuvo fallas. Para esta corrección de bandeamiento se utilizó la herramienta Rellenar sin datos, en donde se insertó la imagen principal y luego la imagen de *gap mask*.

Figura 56

Imágenes Landsat 7 en la herramienta Rellenar



Parte 1

LANDSAT_PRODUCT_ID = "LE07_L1TP_002069_20100823_20200911_02_T1"

PROCESSING_LEVEL = "L1TP"

COLLECTION_NUMBER = 02

COLLECTION_CATEGORY = "T1"

OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"

SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_7"

SENSOR_ID = "ETM"

WRS_PATH = 002

WRS_ROW = 069

DATE_ACQUIRED = 2010-08-23

MAP_PROJECTION = "UTM"

DATUM = "WGS84"

ELLIPSOID = "WGS84"

UTM_ZONE = 19

GRID_CELL_SIZE_PANCHROMATIC = 15.00

GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 30.00

GRID_CELL_SIZE_THERMAL = 30.00

Parte 2

LANDSAT_PRODUCT_ID = "LE07_LITP_003069_20100807_20200911_02_T1"

PROCESSING_LEVEL = "LITP"

COLLECTION_NUMBER = 02

COLLECTION_CATEGORY = "T1"

OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"

SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_7"

SENSOR_ID = "ETM"

WRS_PATH = 003

WRS_ROW = 069

DATE_ACQUIRED = 2010-08-07

MAP_PROJECTION = "UTM"

DATUM = "WGS84"

ELLIPSOID = "WGS84"

UTM_ZONE = 19

GRID_CELL_SIZE_PANCHROMATIC = 15.00

GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 30.00

GRID_CELL_SIZE_THERMAL = 30.00

Figura 57

Imagen Landsat 7 del año 2010 parte 1, en color natural (3-2-1)

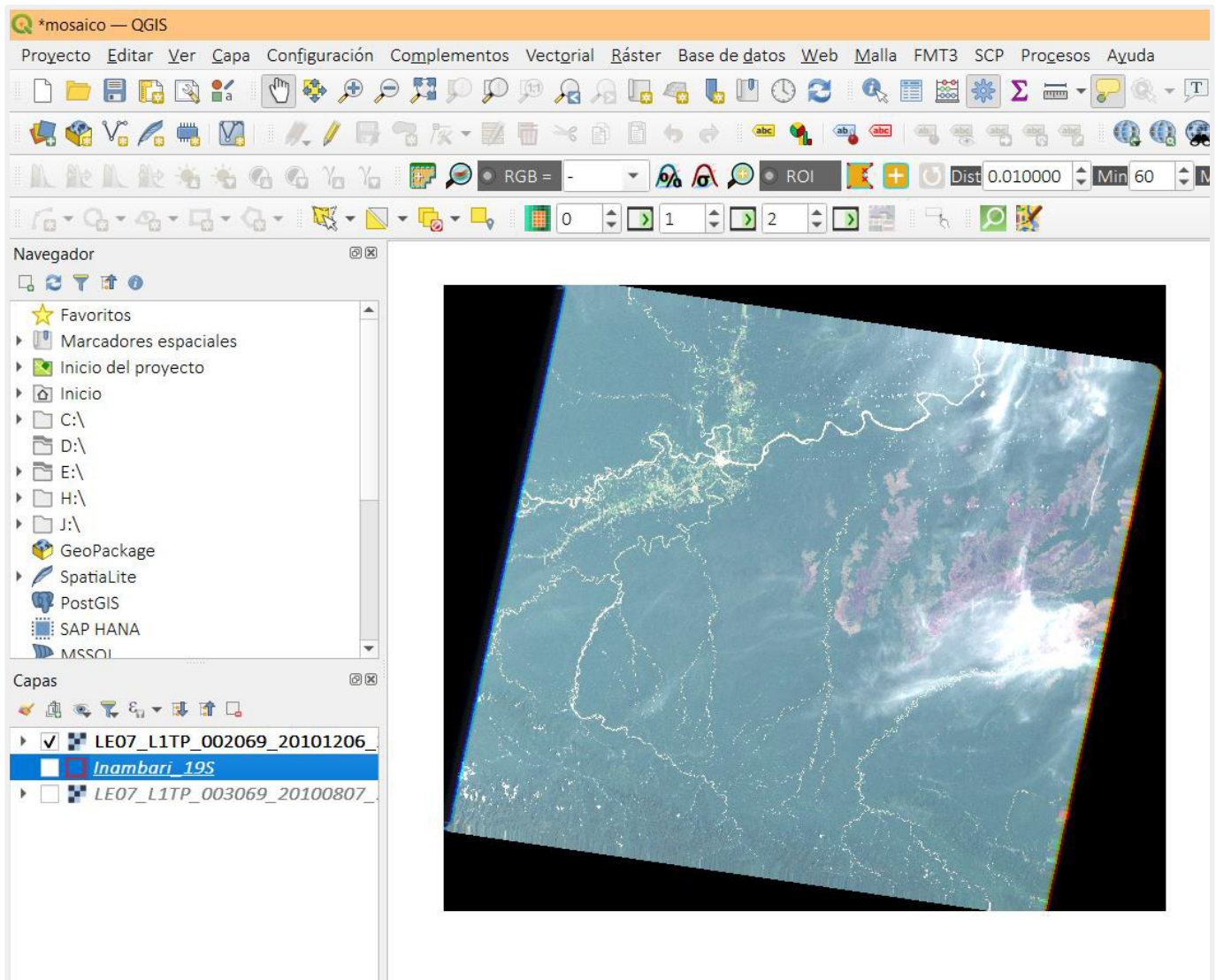
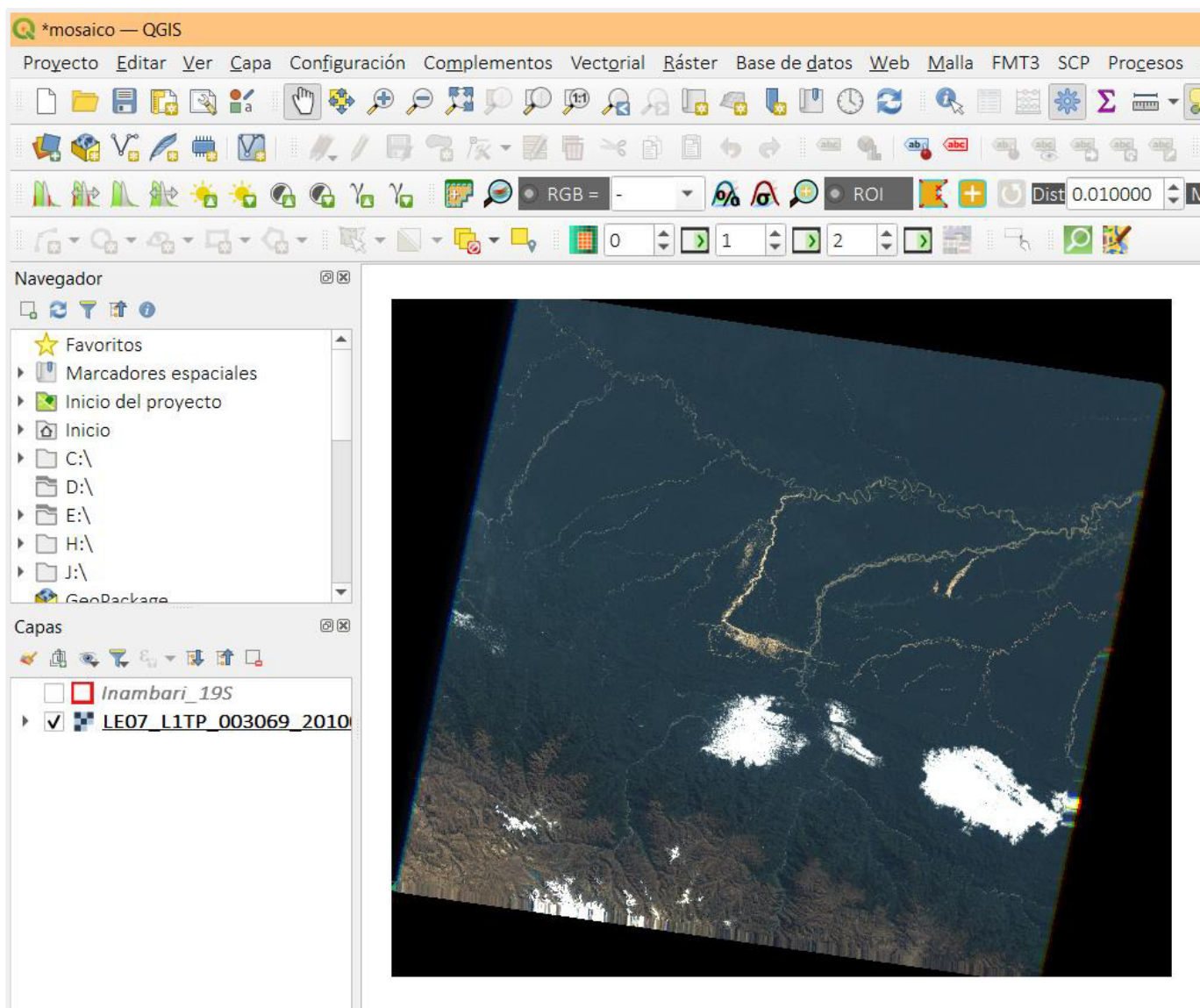


Figura 58

Imagen Landsat 7 del año 2010 parte 2, en color natural (3-2-1)

Año 2020



Parte 1

LANDSAT_PRODUCT_ID = "LC08_L1TP_002069_20200616_20200823_02_T1"

PROCESSING_LEVEL = "L1TP"

COLLECTION_NUMBER = 02

COLLECTION_CATEGORY = "T1"

OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"

SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_7"

SENSOR_ID = "OLI_TIRS"

WRS_PATH = 002

WRS_ROW = 069

DATE_ACQUIRED = 2020-06-16

MAP_PROJECTION = "UTM"

DATUM = "WGS84"

ELLIPSOID = "WGS84"

UTM_ZONE = 19

GRID_CELL_SIZE_PANCHROMATIC = 15.00

GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 30.00

GRID_CELL_SIZE_THERMAL = 30.00

Parte 2

LANDSAT_PRODUCT_ID = "LC08_L1TP_003069_20200420_20200822_02_T1"

PROCESSING_LEVEL = "L1TP"

COLLECTION_NUMBER = 02

COLLECTION_CATEGORY = "TI"

OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"

SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_7"

SENSOR_ID = "OLI_TIRS"

WRS_PATH = 003

WRS_ROW = 069

DATE_ACQUIRED = 2012-04-20

MAP_PROJECTION = "UTM"

DATUM = "WGS84"

ELLIPSOID = "WGS84"

$UTM_ZONE = 19$

$GRID_CELL_SIZE_PANCHROMATIC = 15.00$

$GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 30.00$

$GRID_CELL_SIZE_THERMAL = 30.00$

Figura 59

Imagen Landsat 8 del año 2020 parte 1, en color natural (4-3-2)

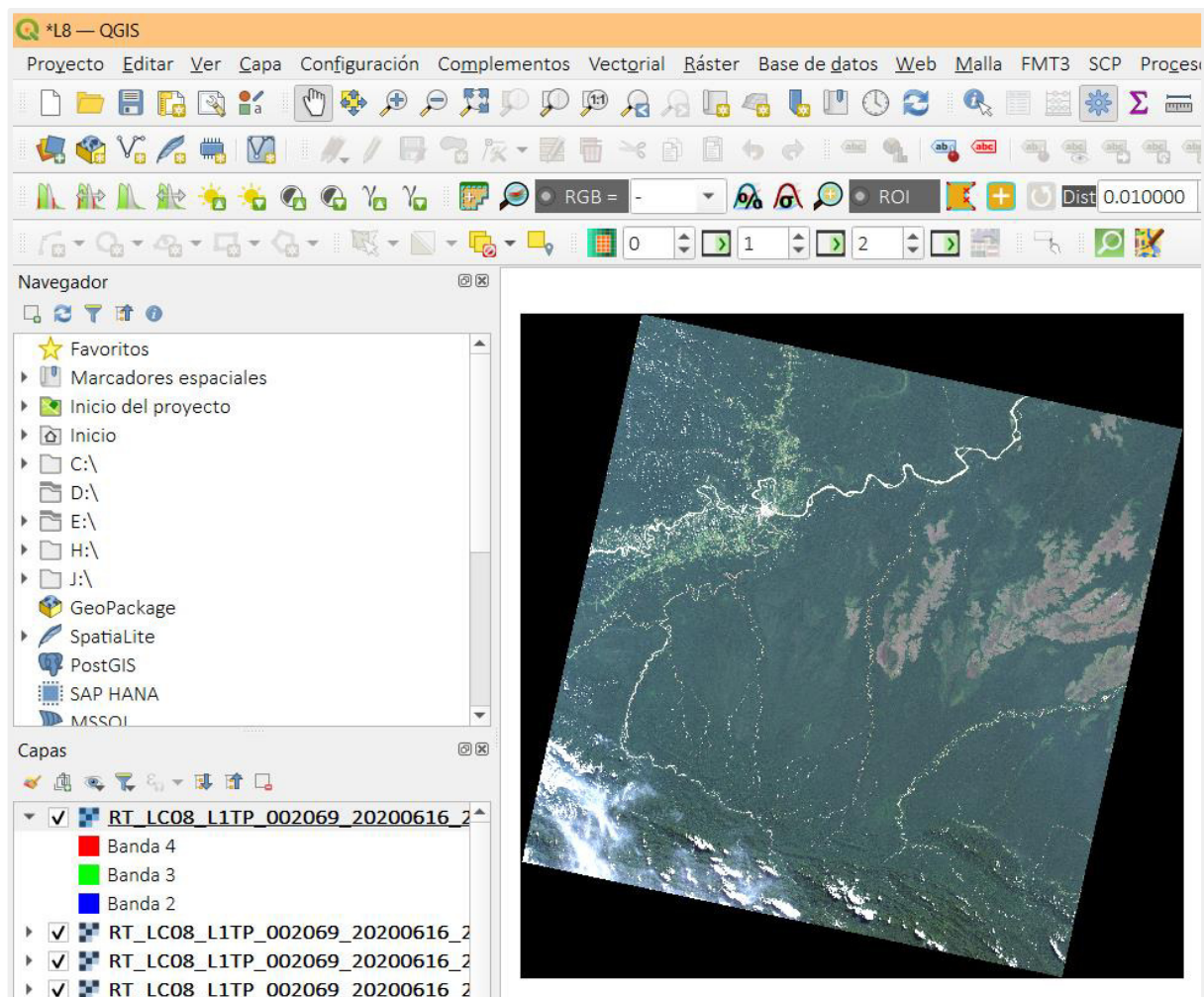
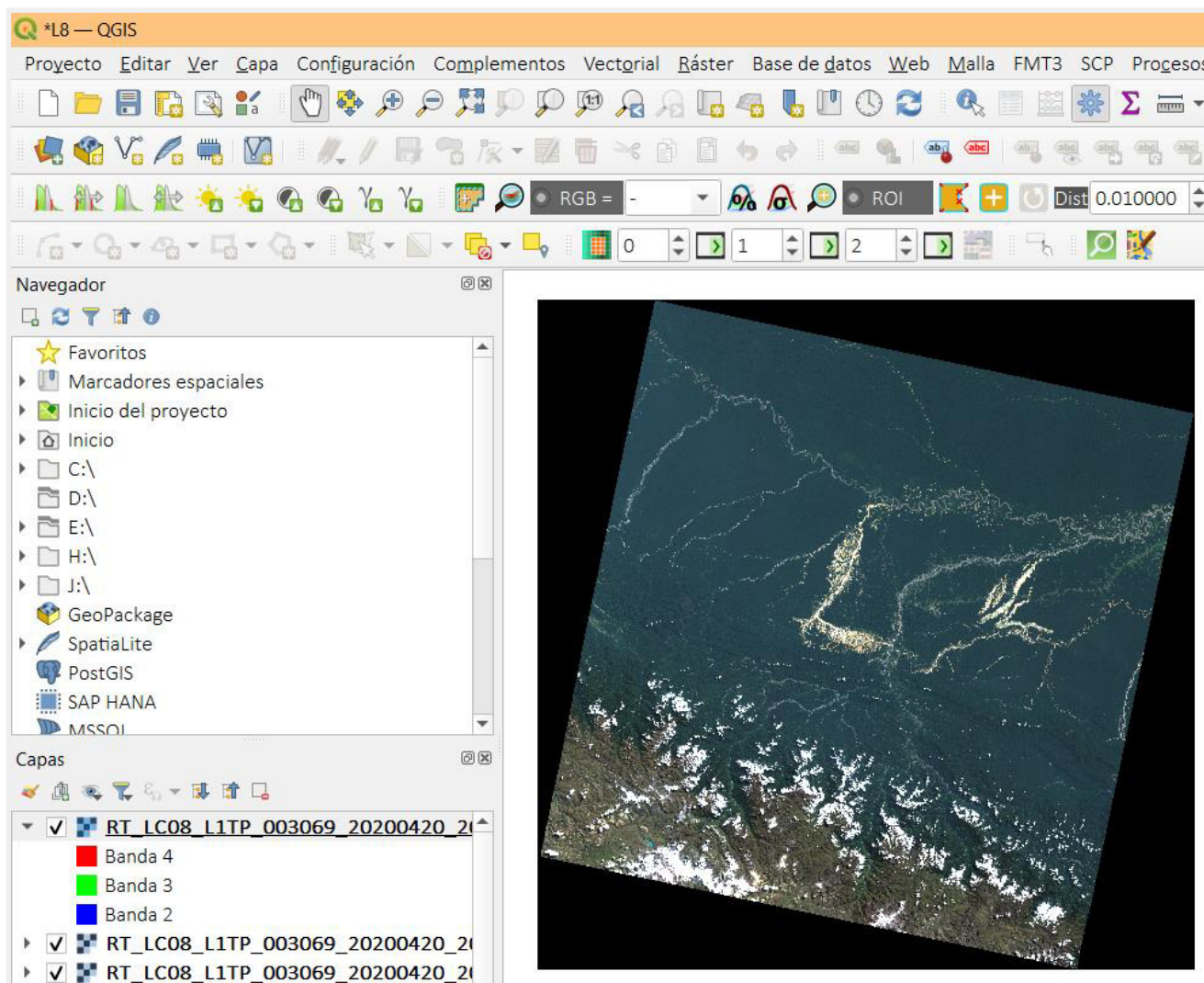


Figura 60

Imagen Landsat 8 del año 2020 parte 2, en color natural (4-3-2)



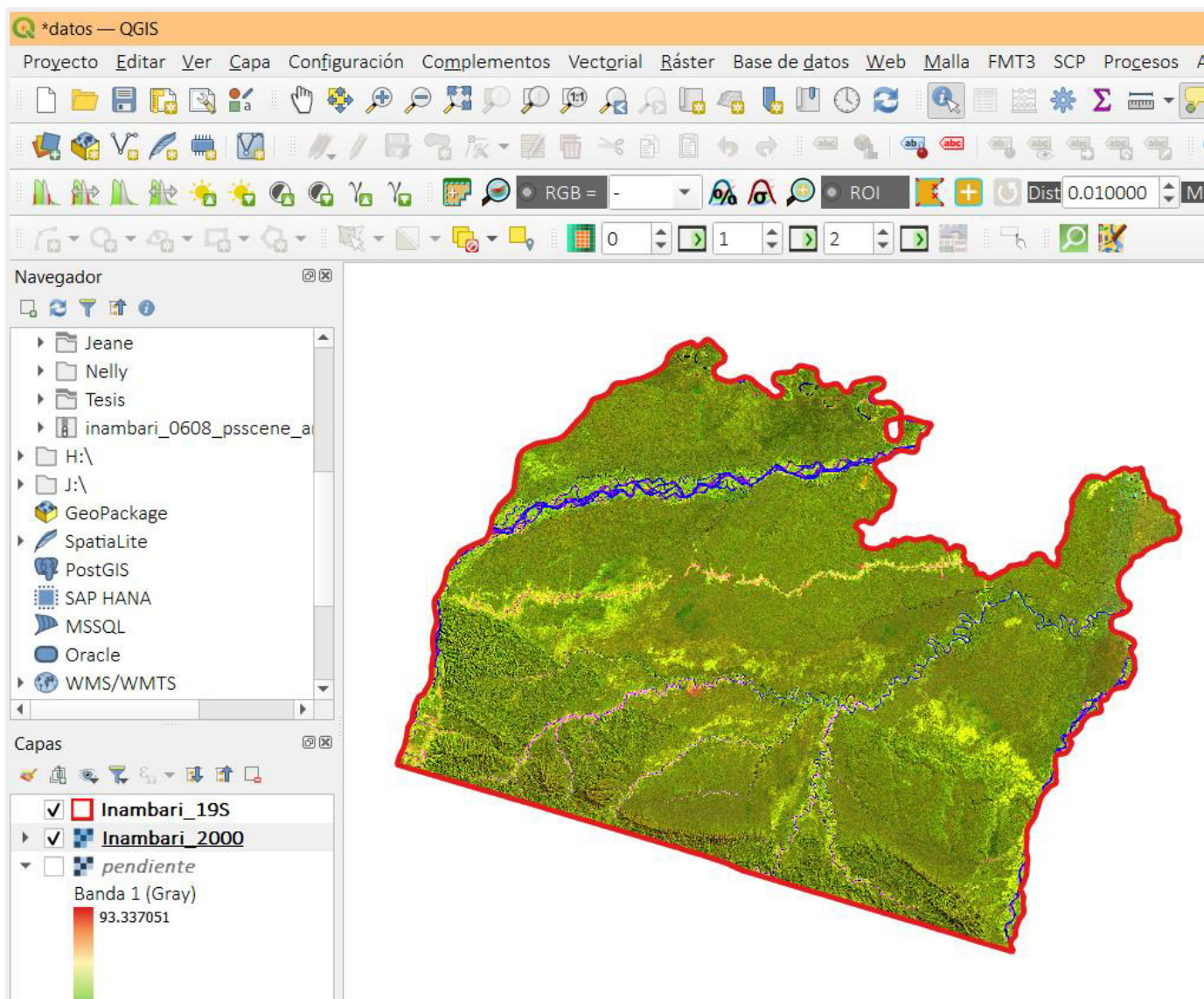
Las imágenes *Landsat* descargadas contienen sus datos en valores digitales, por lo que se usa el *software QGIS* y el *plugin SCP* para realizar la corrección atmosférica *DOSI*. Las imágenes cuentan con una resolución espacial de 30m, además de ello se realizó la descarga de todas las bandas espectrales desde la plataforma de la *USGS*.

Luego se procedió a realizar el mosaico respectivo de cada imagen por año y cortarlo en base a la geometría del distrito de Inambari.

Año 2000

Figura 61

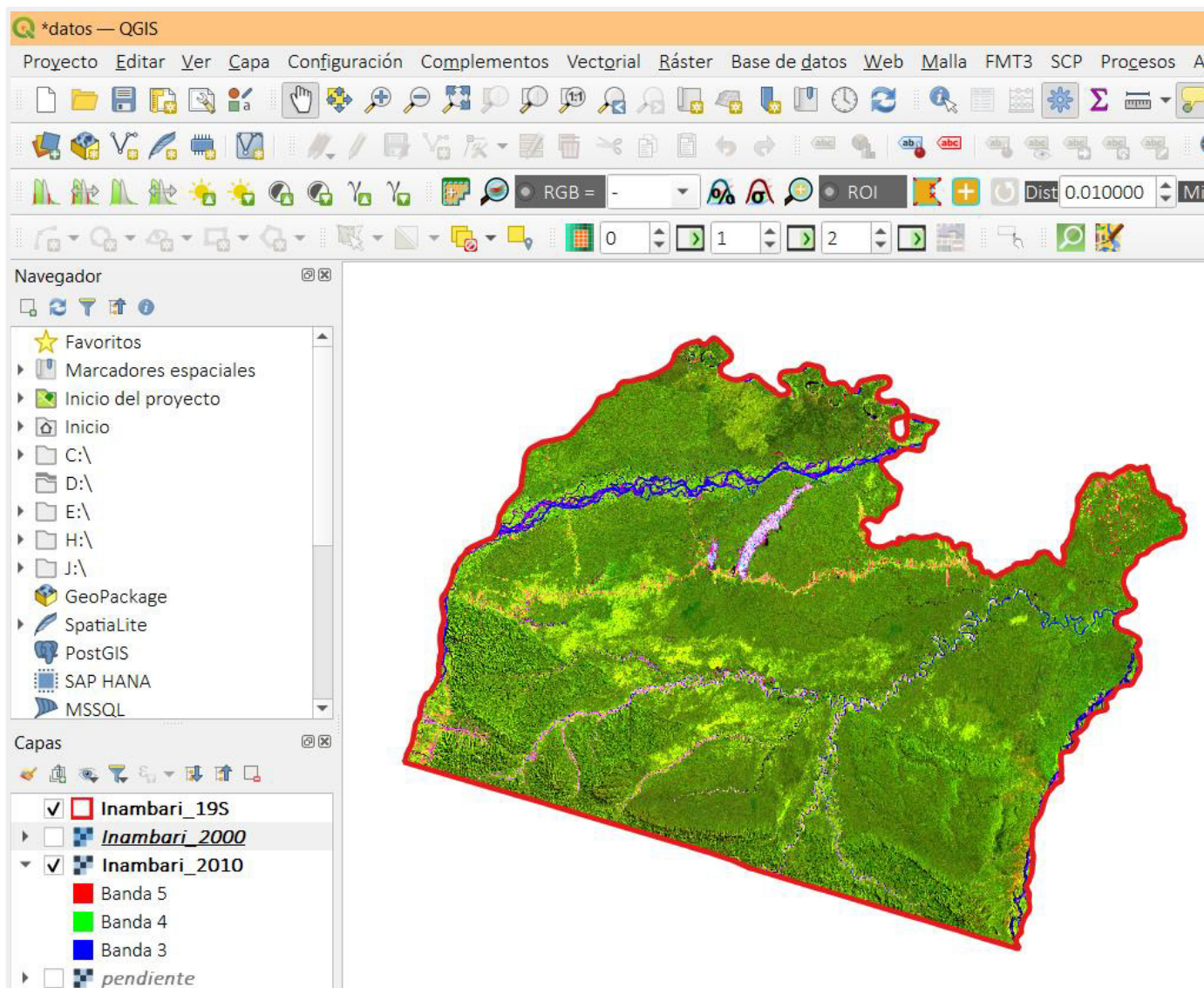
Imagen satelital del distrito de Inambari del año 2000, en falso color (5-4-3)



Año 2010

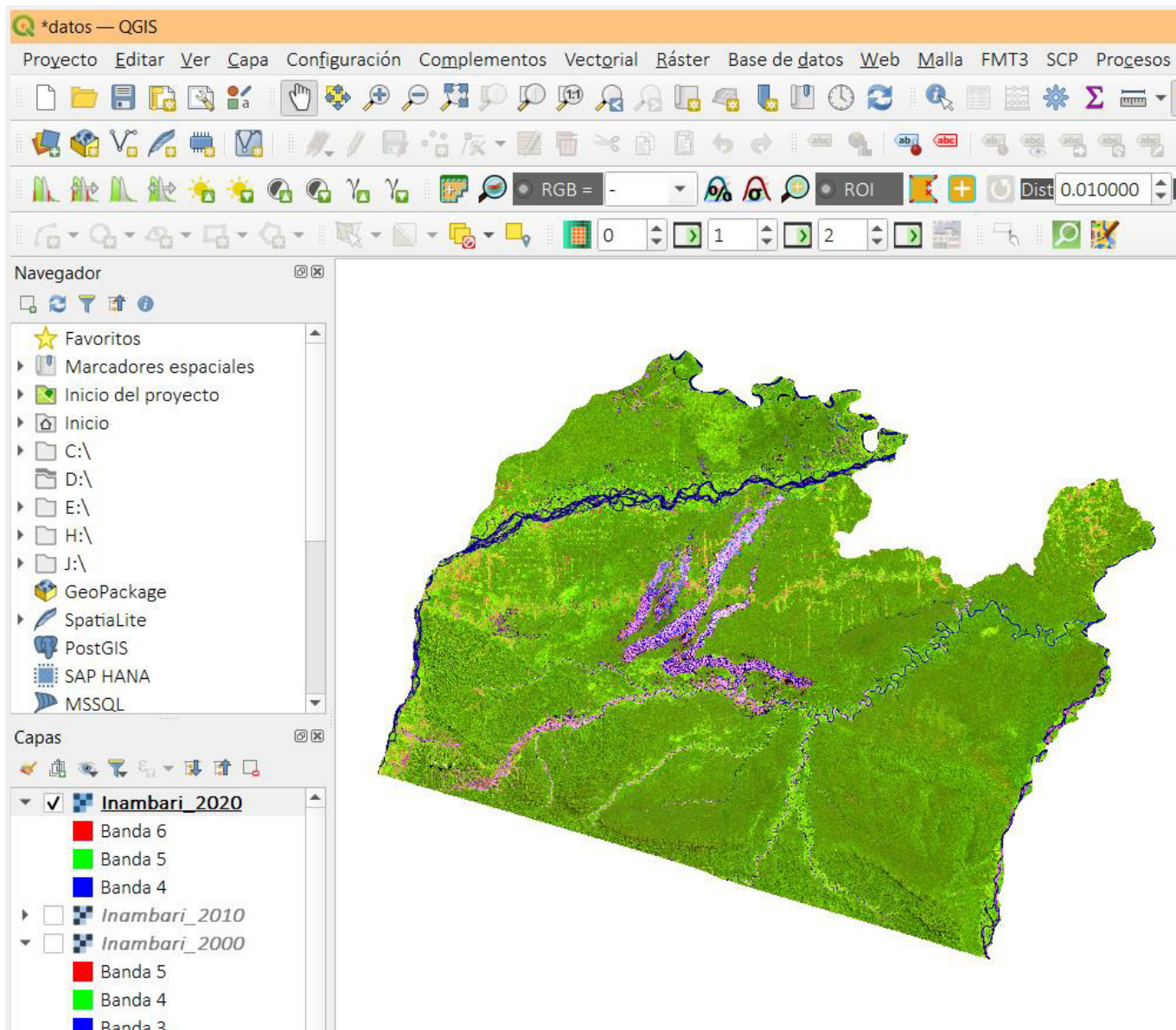
Figura 62

Imagen satelital del distrito de Inambari del año 2010, en falso color (5-4-3)



Año 2020

Figura 63

Imagen satelital del distrito de Inambari del año 2020, en falso color (6-5-4)

B. Descarga de DEM

Para la descarga del DEM se utilizó la plataforma de *Google Earth Engine* y el catálogo de DEM “*NASA DEM: Digital Elevation 30m*” con una resolución de 30m, la banda que se descargó es la “*elevation*” y luego se procedió a realizar un recorte al *DEM* en base a la geometría de nuestra área de interés.

Código de descarga del *ALOS DSM: Global 30m v3.2*

```

var DEM = ee.Image("NASA/NASADEM_HGT/001")
  .clip(area_estudio)
  .select('elevation')

var DEMVis = {
  min: 0,
  max: 2000,
  palette: ['0000ff', '00ffff', 'ffff00', 'ff0000', 'ffffff']
}

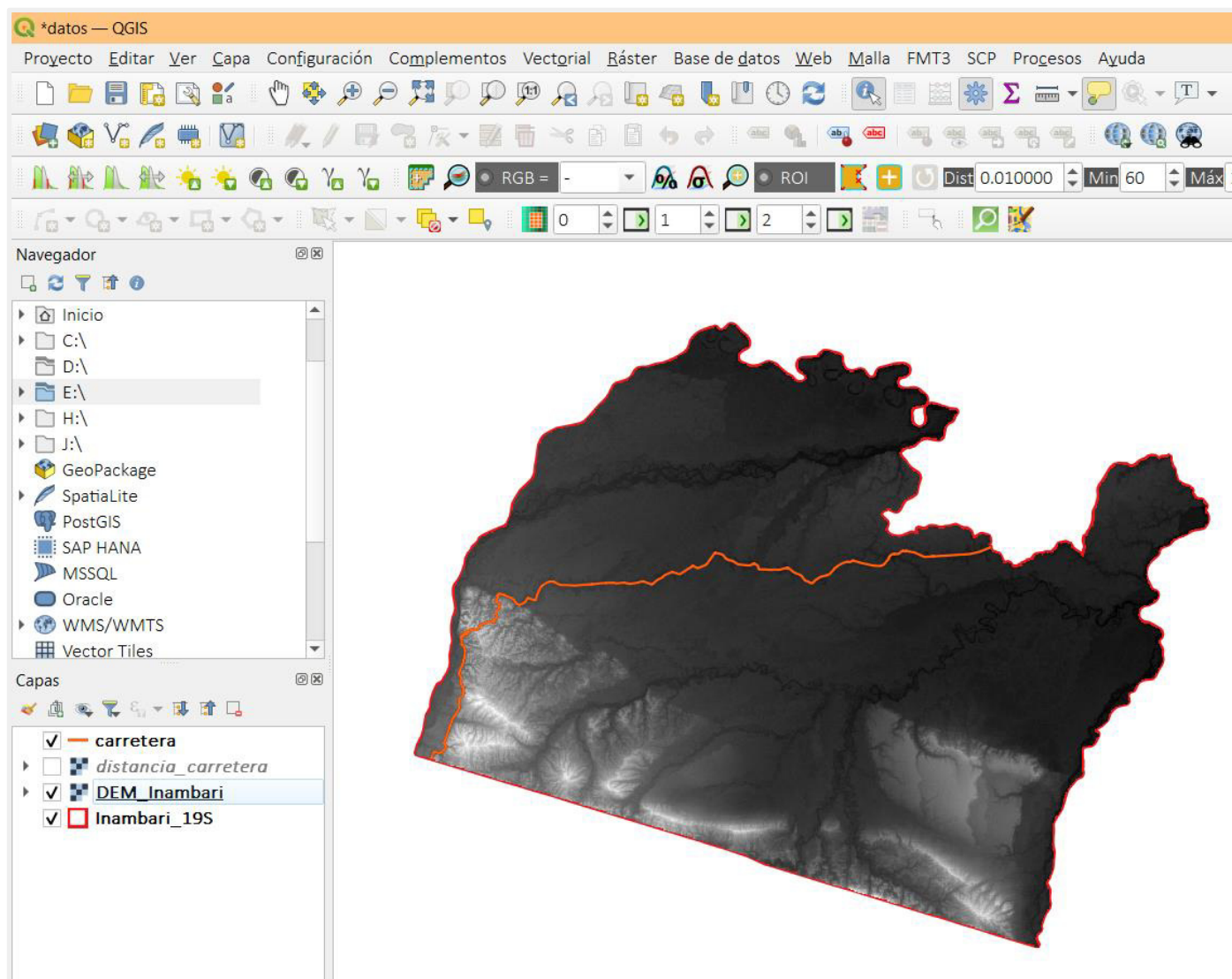
Map.addLayer(DEM, DEMVis, 'Elevation');
Map.addLayer(DEM)

Export.image.toDrive({
  image: DEM,
  description: 'DEM',
  scale: 30,
  region: area_estudio,
  crs: 'EPSG:32719', // zona 17='EPSG:32717', zona 19='EPSG:32719'
  maxPixels: 9000000000000
});

```

Figura 64

Imagen del DEM en software QGIS

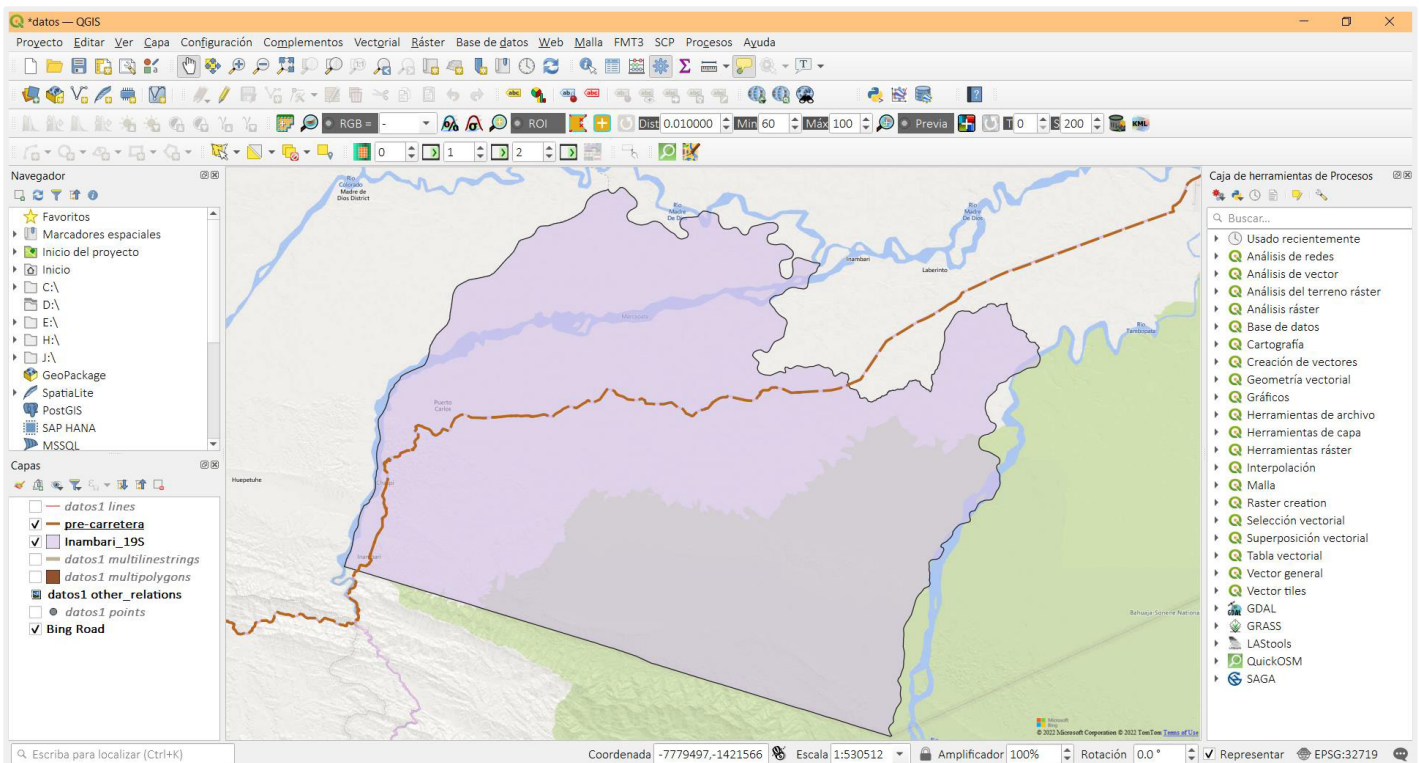


C. Distancia de carreteras

Las carreteras descargadas para la generación de sus distancias provienen de *Bings Roads*, para ello se utilizó el software *QGIS* y los *plugin de OpenLayer* y *OMS Download*.

Figura 65

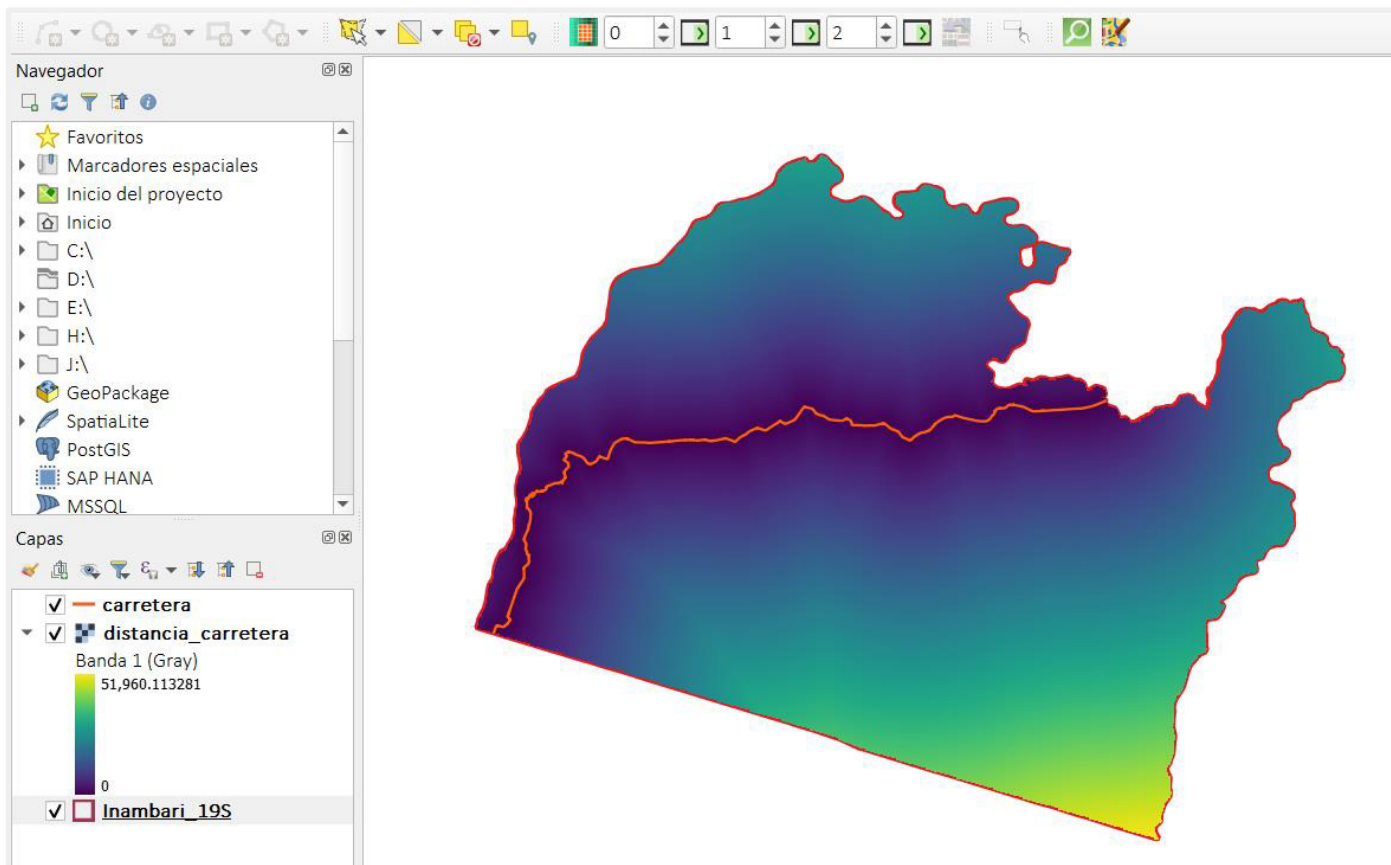
Imagen de las carreteras descargadas en QGIS mediante OMS Download.



Luego se utilizó la herramienta *Rasterizar* para convertir la capa vectorial de carreteras a un archivo ráster y así poder generar la capa de distancia de las carreteras.

Figura 66

Imagen de la distancia de las carreteras



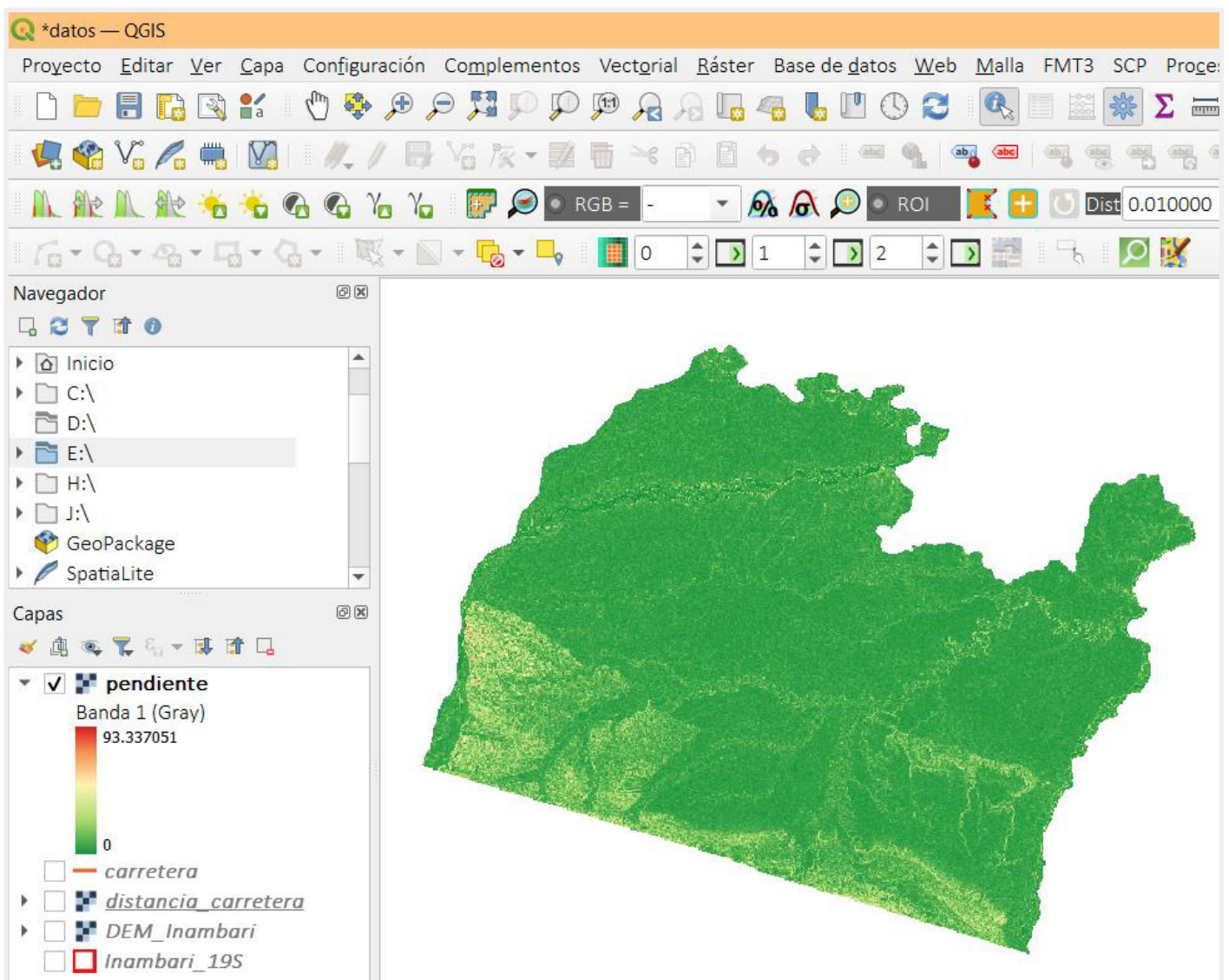
D. Generación de pendientes

Las pendientes se generaron a partir del DEM descargado, para la asignación de los valores de las clases se utilizó el DS N° 017-2009-AG - Reglamento de clasificación de Tierras por su capacidad de uso mayor, Anexo IV: Guía de Clasificación de los Parámetros Edáficos.

Se utilizó el *software QGIS 3.18* y la herramienta Pendiente.

Figura 67

Imagen de las pendientes generadas

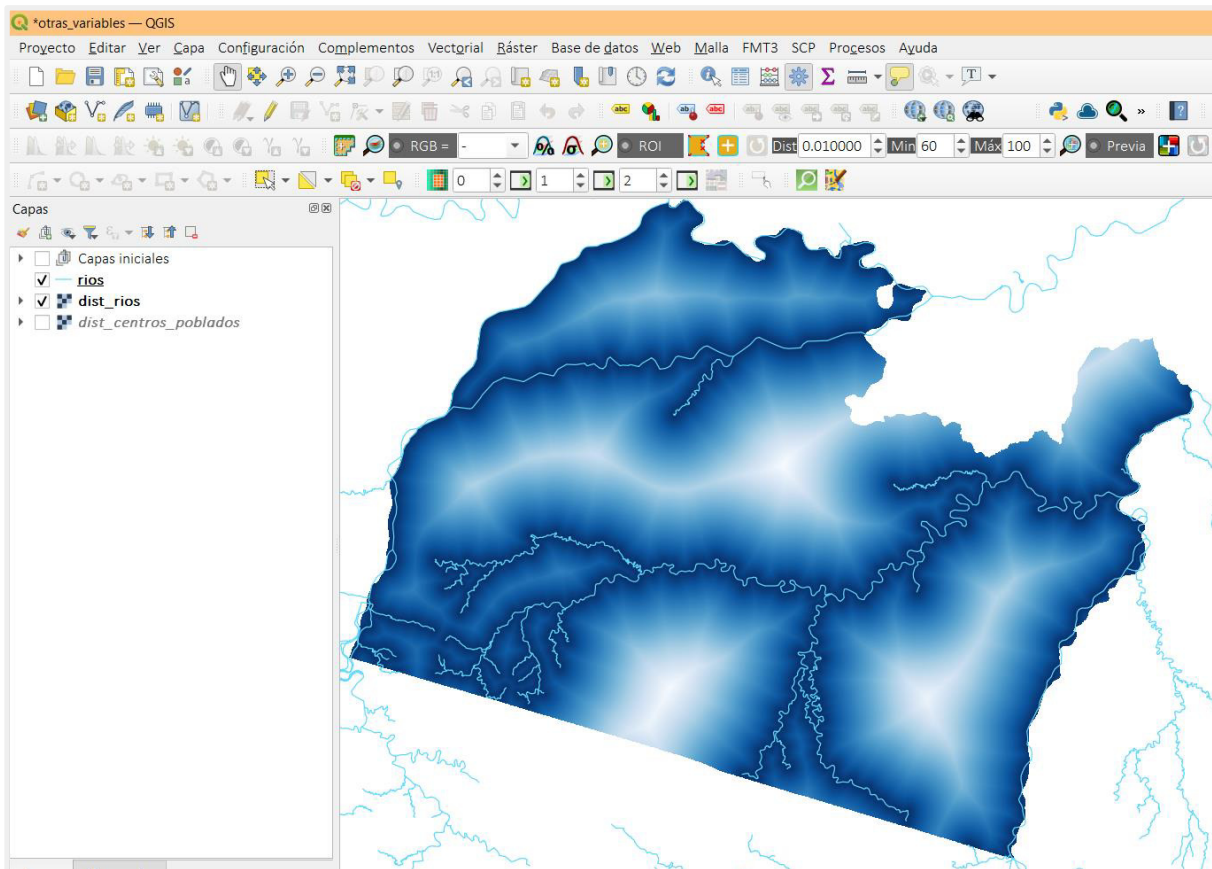


E. Distancia de los ríos

Los ríos que se han descargado corresponden a la información de *Bings Roads*, para la generación de esta capa se utilizó el *software QGIS* y los *plugin* de *OpenLayer* y *OMS Download*. Luego se generó la capa de las distancias utilizando la herramienta Proximidad.

Figura 68

Imagen de la distancia de los ríos.

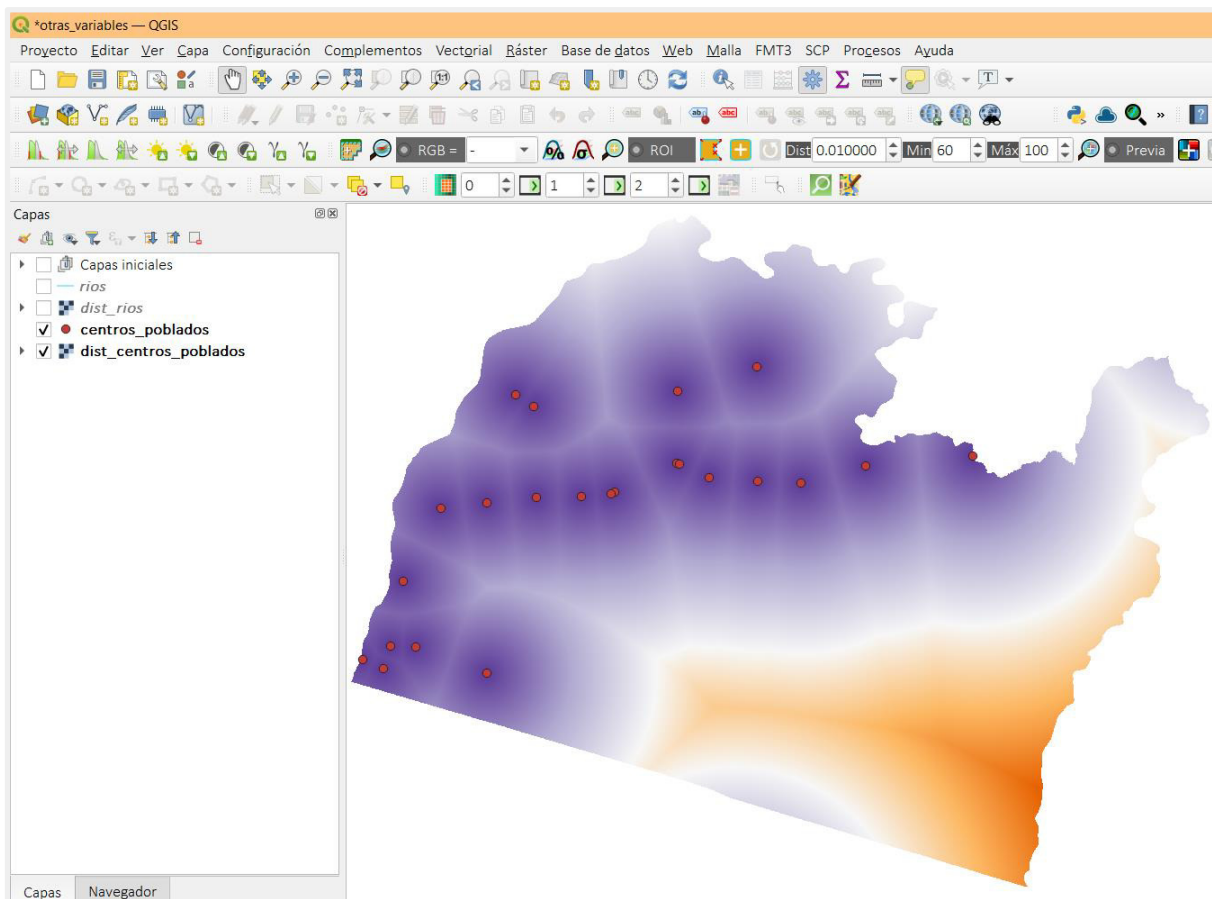


F. Distancia de centros poblados

Los centros poblados se descargaron del *Minedu Scale* del año 2020, se han considerado los centros poblados que están dentro del distrito de Inambari. La información original estaba en formato *shapefile*, se procede a convertir a formato *raster* para posterior a ello utilizar la herramienta Proximidad y poder calcular la distancia de centros poblados.

Figura 69

Imagen de la distancia de los centros poblados.

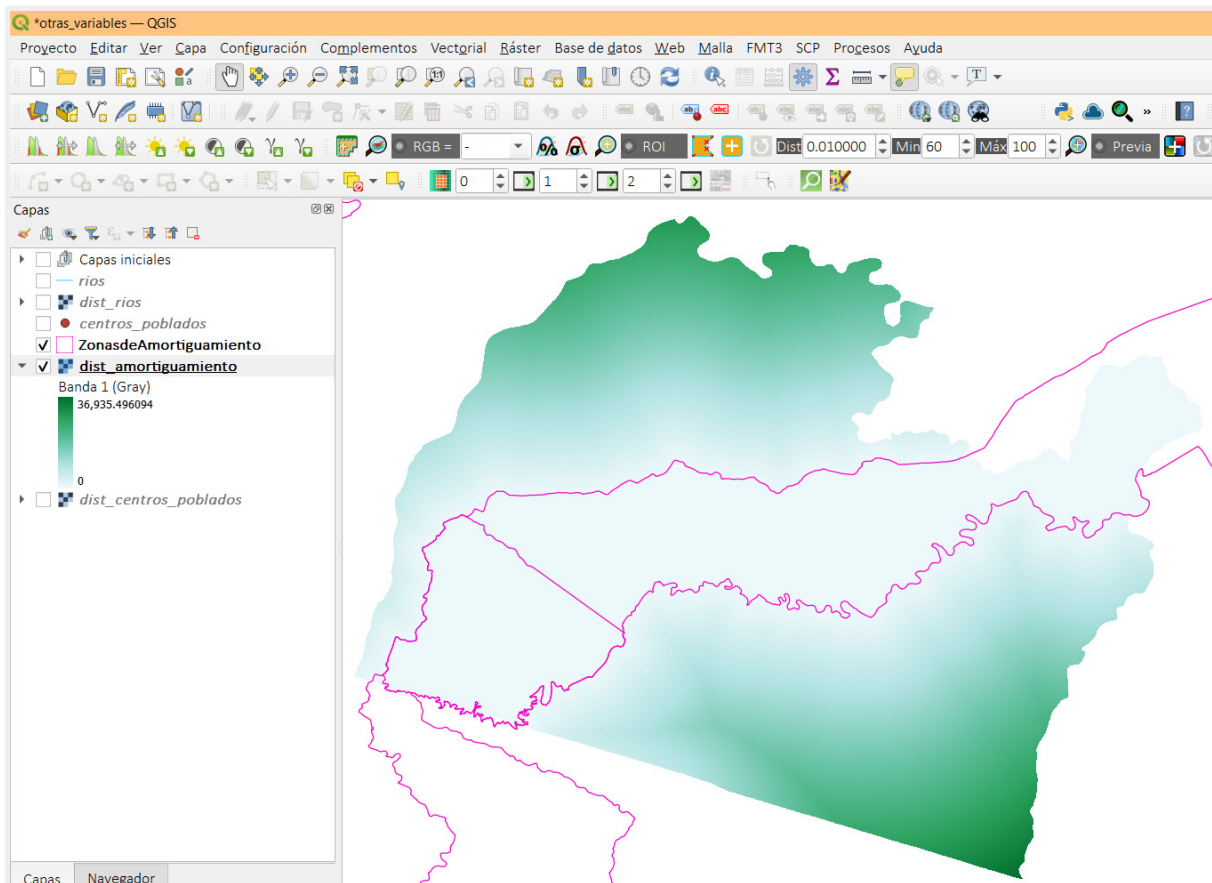


G. Distancia a la zona de amortiguamiento

La capa de zonas de amortiguamientos se descargó del Geoportal ANP del SERNANP del año 2020, la información original estaba en formato *shapefile*, se procede a convertir a formato *raster* para posterior a ello utilizar la herramienta Proximidad y poder calcular la distancia de las zonas de amortiguamiento.

Figura 70

Imagen de la distancia de las zonas de amortiguamiento

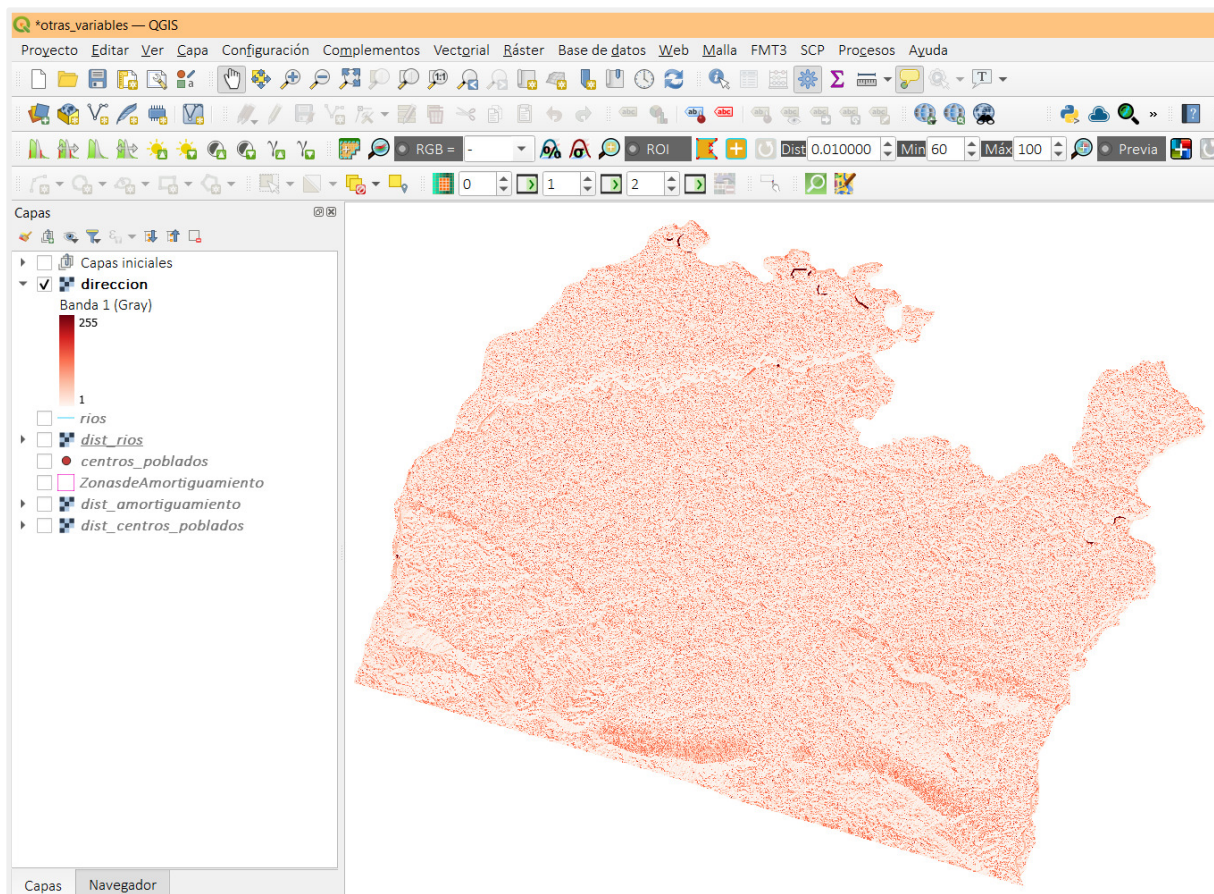


H. Flujo de dirección

Para el cálculo del flujo de acumulación se utilizó el *DEM* como insumo principal, luego se utilizó la herramienta *r.watershed* para crear la dirección de flujo.

Figura 71

Imagen del flujo de dirección

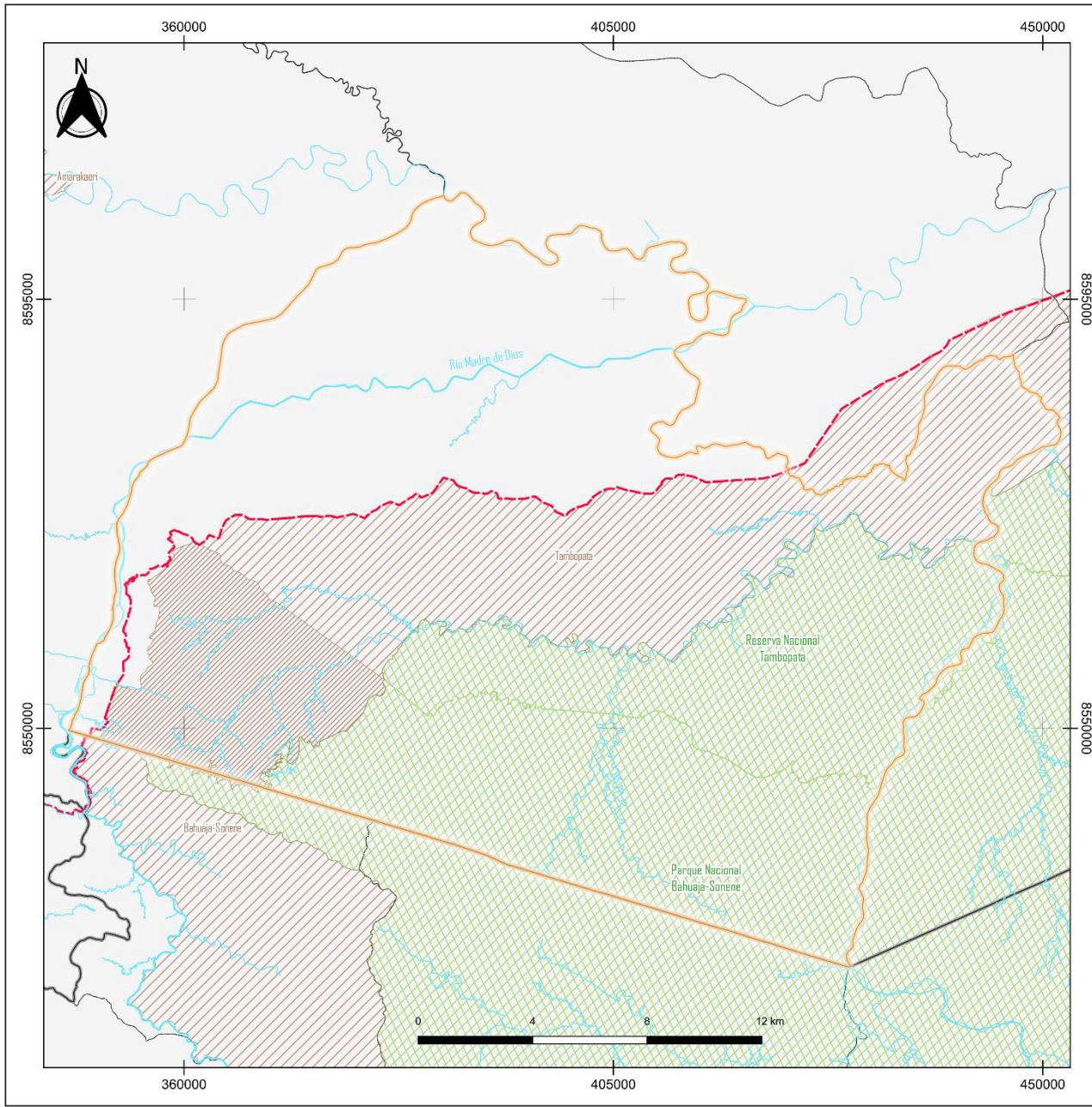


I. Matriz de consistencia

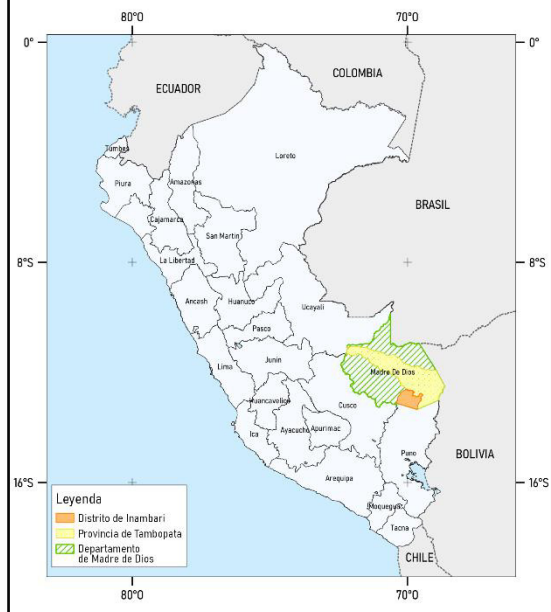
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>Problema general</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿De qué manera el cambio de la cobertura forestal se ve afectada por los factores antrópicos en el distrito de Inambari, provincia de Tambopata en el departamento de Madre de Dios para el periodo de 2000, 2010 y 2020? 	<p>Objetivo General</p> <ul style="list-style-type: none"> • Monitorear el cambio de cobertura forestal afectada por los factores antrópicos en el distrito de Inambari, provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios para el periodo de 2000, 2010 y 2020. 	<p>Hipótesis general</p> <ul style="list-style-type: none"> • El cambio de la cobertura forestal se ve afectada de manera significativa por los factores antrópicos en el distrito de Inambari, provincia de Tambopata departamento de Madre de Dios en los periodos de 2000, 2010 y 2020. 	<p>Dependiente</p> <p>Cambio de cobertura forestal</p> <p>Indicadores</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zonas sin vegetación • Tipos de cobertura • Evolución de la cobertura 	<p>Tipo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Descriptiva • Explicativa <p>Nivel</p> <ul style="list-style-type: none"> • Relacional <p>Enfoque</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cuantitativo
<p>Problemas específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo los factores antrópicos de minería y agricultura influyen en el cambio de la cobertura forestal en el distrito de Inambari, provincia de Tambopata en el departamento de Madre de Dios? • ¿Hasta qué punto la cobertura forestal cambiará para el año 2030 debido a los factores antrópicos de minería y agricultura en el distrito de Inambari, provincia de Tambopata departamento de Madre de Dios? 	<p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificar la cobertura forestal afectada por los factores antrópicos de minería y agricultura en el distrito de Inambari, provincia de Tambopata en el departamento de Madre de Dios. • Analizar el cambio de cobertura forestal por factores antrópicos de minería y agricultura para el año 2030 en el distrito de Inambari, provincia de Tambopata departamento de Madre de Dios. 	<p>Hipótesis específica</p> <ul style="list-style-type: none"> • La minería y agricultura son los factores que más influyen en el cambio de la cobertura forestal debido a la extracción del oro y aumento de las zonas de cultivo respectivamente. • La cobertura forestal cambiará de manera significativa para el año 2030 debido a los factores de minería y agricultura, se estima que se perderá el 20% de cobertura forestal. 	<p>Independiente</p> <p>Factores antrópicos: minería y agricultura</p> <p>Indicadores</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zonas donde existe minería y agricultura • Evolución de la minería y agricultura 	<p>Método</p> <ul style="list-style-type: none"> • Deductivo

J. Mapas realizados

- Mapa de ubicación del distrito de Inambari
- Mapa de cambio de cobertura forestal para los años 2000, 2010 y 2020
- Mapa de cambio de cobertura forestal de Inambari a causa de la minería en los años 2000 al 2020
- Mapa de cambio de cobertura forestal de Inambari a causa de la agricultura en los años 2000 al 2020
- Mapa de cambio de cobertura forestal en Inambari para los años 2000 al 2030
- Mapa de distancia a carreteras
- Mapa de pendientes
- Mapa de distancia a ríos
- Mapa de distancia a centros poblados
- Mapa de distancia a zonas de amortiguamiento
- Mapa de dirección de flujo



MAPA DE UBICACIÓN DEL DISTRITO DE INAMBARÍ



LEYENDA

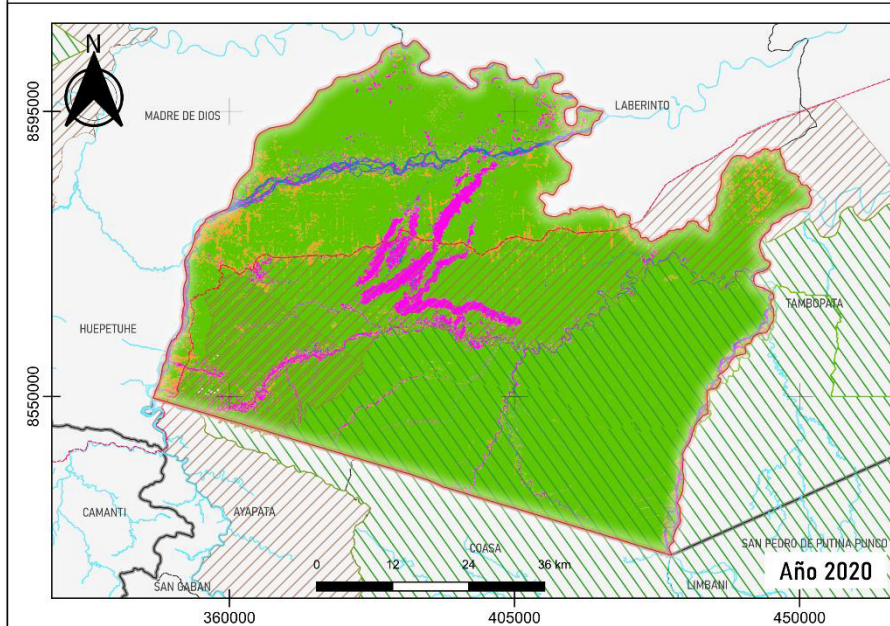
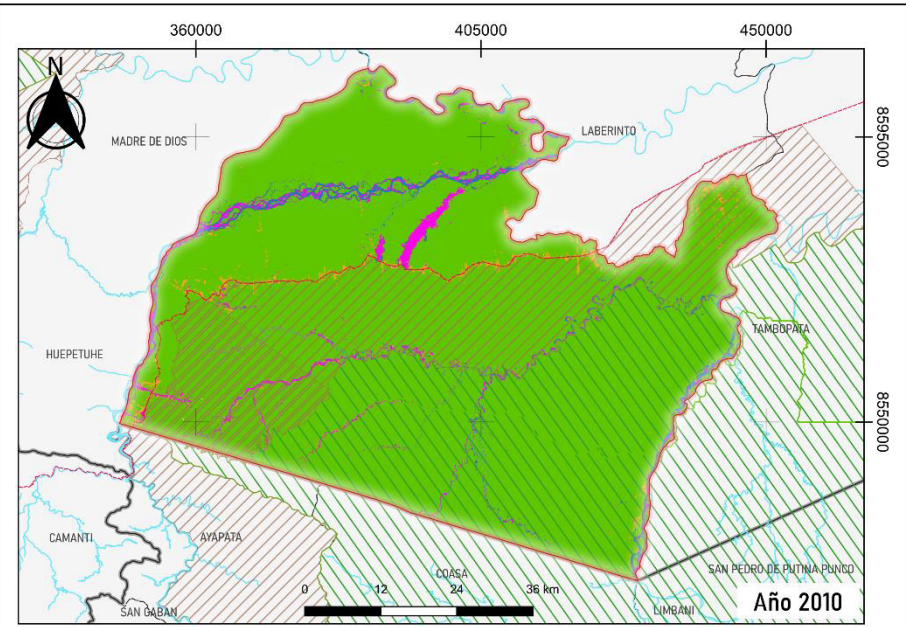
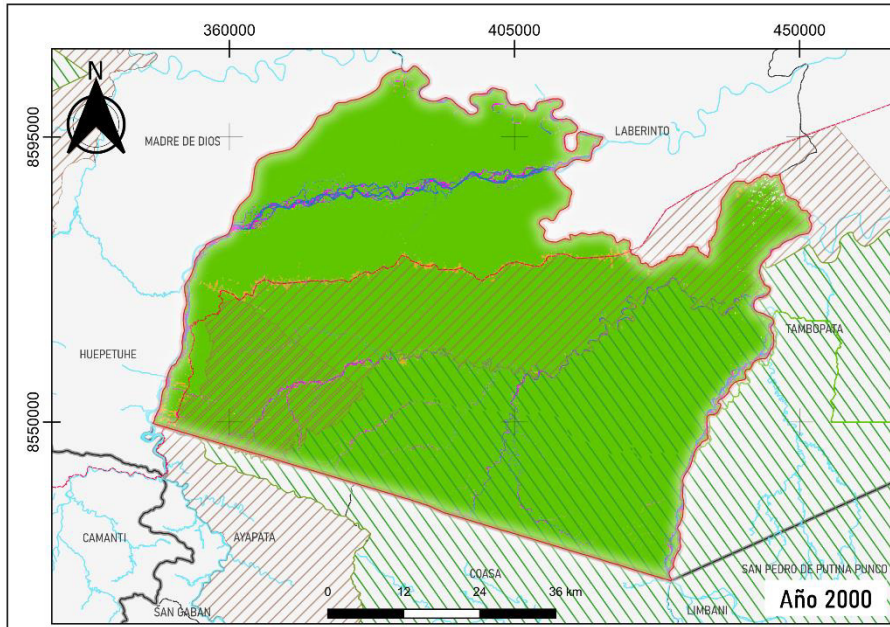
- Ríos
- Límite distrital
- Carretera Interoceánica
- Límite provincial
- Área de estudio
- Límite departamental
- Zonas de amortiguamiento
- Áreas naturales protegidas

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA AMBIENTAL Y ECOTURISMO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA

Tesis: "Monitoreo y proyección del cambio de cobertura forestal por impacto antrópico, aplicando la teledetección en Inambari - Madre de Dios, años 2000 al 2030"

Mapa de ubicación del distrito de Inambari

Elaborado por: Bach. Jeanett Valladares Herrera	Escala: 1: 400 000	Fecha: 23/01/2023
Revisado por: Mg. Ing. Gladys Rojas León	SCR: WGS 84 Zona UTM 19S	Mapa 01



MAPA DE CAMBIO DE COBERTURA FORESTAL PARA LOS AÑOS 2000, 2010 Y 2020

LEYENDA

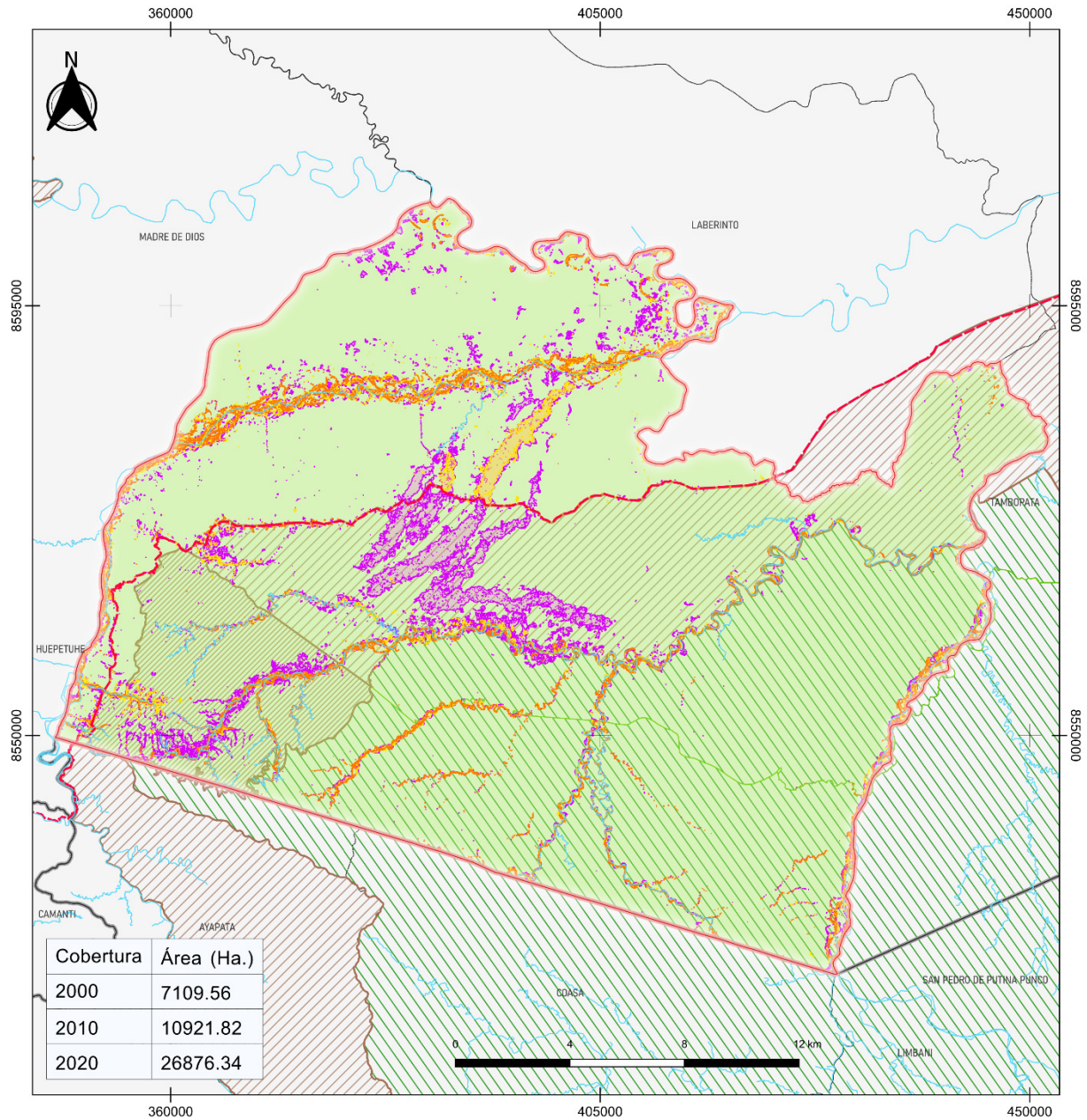
Coberturas	Minería
Bosque	Agricultura
Cuerpos de agua	Nubes

SIMBOLOGÍA

	Ríos
	Carretera Interoceánica
	Área de estudio
	Zonas de amortiguamiento
	Áreas naturales protegidas
	Límite distrital
	Límite provincial
	Límite departamental

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA		
Tesis: "Monitoreo y proyección del cambio de cobertura forestal por impacto antrópico, aplicando la teledetección en Inambari - Madre de Dios, años 2000 al 2030"		
Mapa de cambio de cobertura forestal para los años 2000, 2010 y 2020		
Elaborado por: Bach. Jeanett Valladares Herrera	Escala: 1/ 700000	Fecha: 23/01/2023
Revisado por: Mg. Ing. Gladys Rojas León	SCR: WGS 84 Zona UTM 19S	Mapa 02

MAPA DEL CAMBIO DE COBERTURA FORESTAL DE INAMBARI A CAUSA DE LA MINERÍA PARA LOS AÑOS 2000 AL 2020



LEYENDA	
	Ríos
	Carretera
	Área de estudio
	Minería 2000
	Minería 2020
	Bosque
	Minería 2010
	Zonas de amortiguamiento
	Áreas naturales protegidas
	Limite distrital
	Limite provincial
	Limite departamental

Fuente:

- Ríos (OpenLayer)
- Carreteras (OpenLayer)
- Distritos (IGN 2020)
- Provincias (IGN 2020)
- Departamentos (IGN 2020)
- Zona de amortiguamiento (SERNANP)

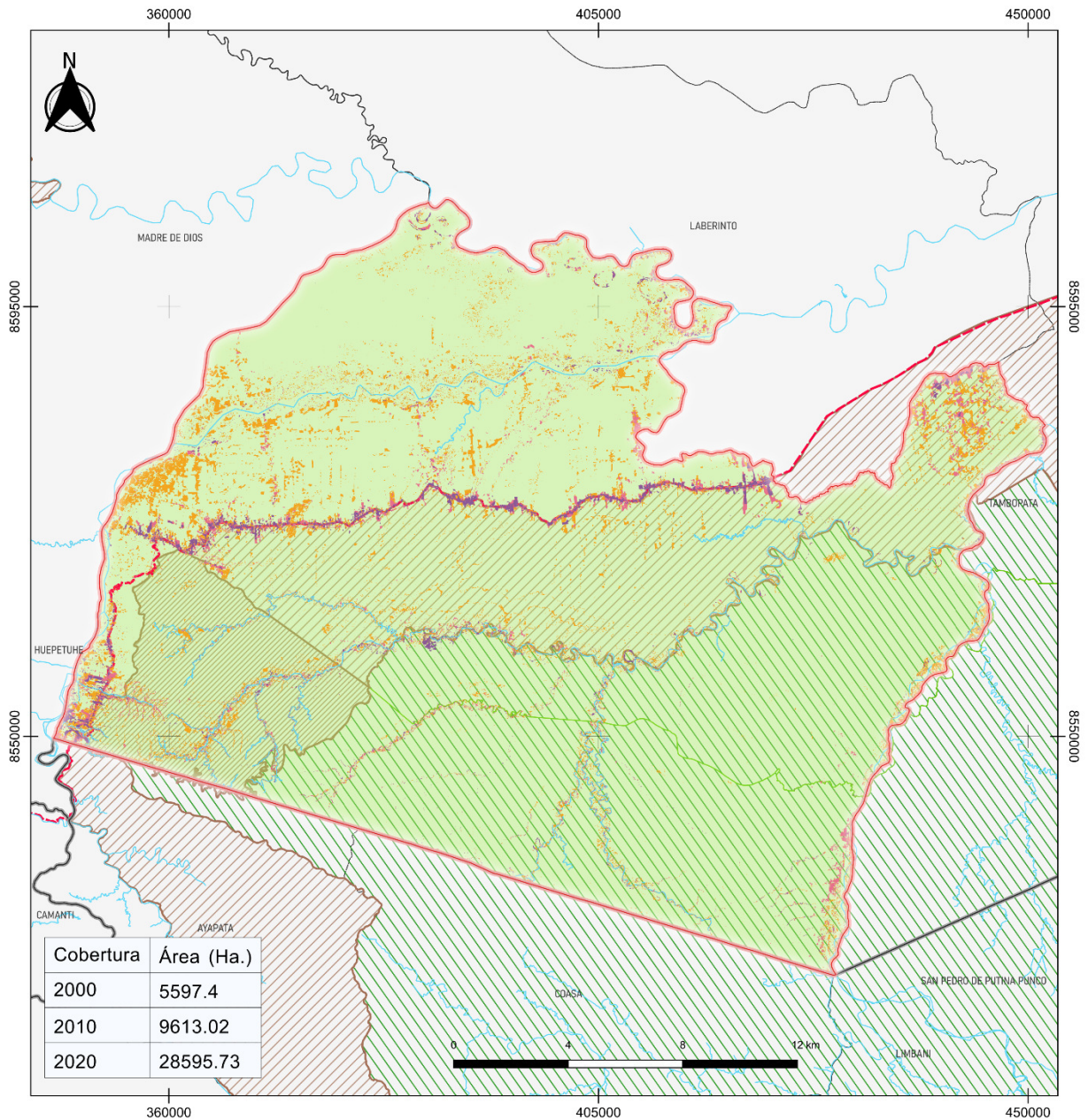
UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA AMBIENTAL Y ECOTURISMO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA

Tesis: "Monitoreo y proyección del cambio de cobertura forestal por impacto antrópico, aplicando la teledetección en Inambari - Madre de Dios, años 2000 al 2030"

Mapa: Cambio de cobertura forestal de Inambari a causa de la minería en los años 2000 al 2020.

Elaborado por: Bach. Jeanett Valladares Herrera	SCR: WGS 84 Zona UTM 19S	Fecha: 23/01/2023
Revisado por: Mg. Ing. Gladys Rojas León	Escala: 1: 400 000	Mapa 03

MAPA DEL CAMBIO DE COBERTURA FORESTAL DE INAMBARÍ A CAUSA DE LA AGRICULTURA PARA LOS AÑOS 2000 AL 2020



LEYENDA

- Ríos
- - - Carretera
- Área de estudio
- Zonas agrícolas 2000
- Zonas agrícolas 2010
- Zonas agrícolas 2020
- Bosque
- Áreas naturales protegidas
- Zonas de amortiguamiento
- Límite distrital
- Límite provincial
- Límite departamental

Fuente:
 - Ríos (OpenLayer)
 - Carreteras (OpenLayer)
 - Distritos (IGN 2020)
 - Provincias (IGN 2020)
 - Departamentos (IGN 2020)
 - Zona de amortiguamiento (SERNANP)



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA AMBIENTAL Y ECOTURISMO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA



Tesis: "Monitoreo y proyección del cambio de cobertura forestal por impacto antrópico, aplicando la teledetección en Inambari - Madre de Dios, años 2000 al 2030"

Mapa: Cambio de cobertura forestal de Inambari a causa de la agricultura en los años 2000 al 2020.

Elaborado por:
 Bach. Jeanett Valladares Herrera

SCR:
 WGS 84 Zona UTM 19S

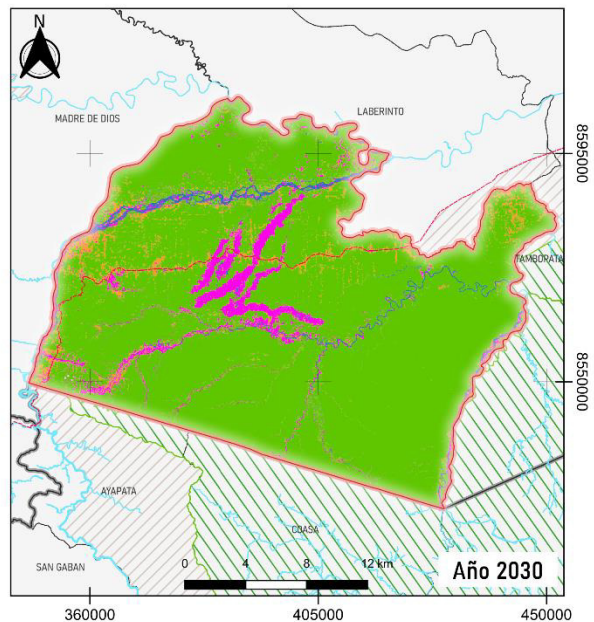
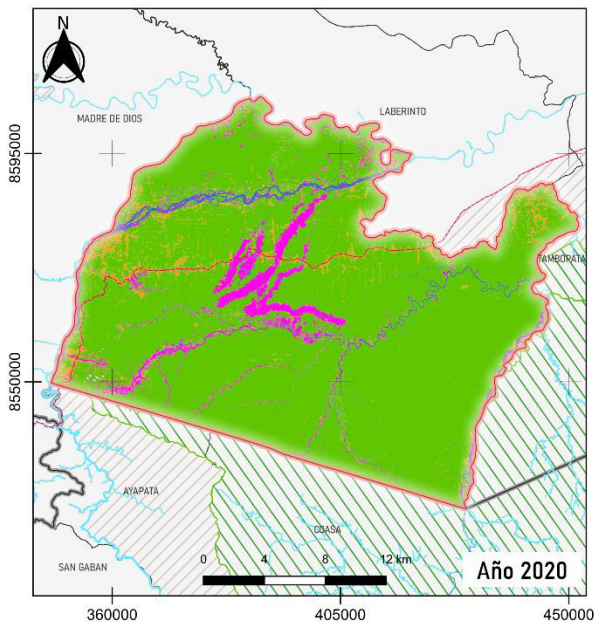
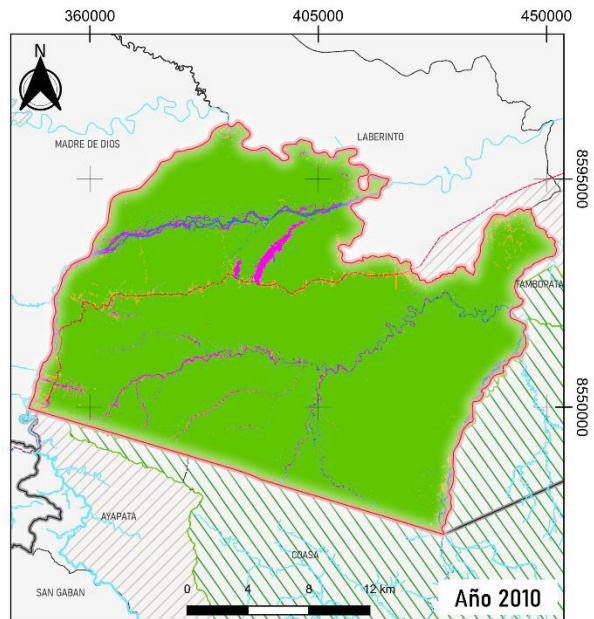
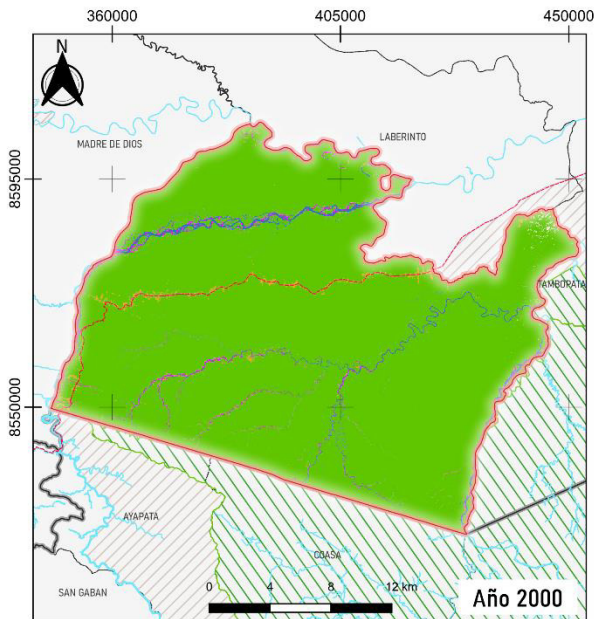
Fecha:
 23/01/2023

Revisado por:
 Mg. Ing. Gladys Rojas León

Escala:
 1: 400 000

Mapa 04

MAPA DEL CAMBIO DE COBERTURA FORESTAL EN INAMBARI PARA LOS AÑOS 2000 AL 2030



LEYENDA

- | | |
|----------------------------|--------------------------|
| Ríos | Zonas de amortiguamiento |
| Carretera | Coberturas |
| Área de estudio | Bosque |
| Límite distrital | Cuerpos de agua |
| Límite provincial | Minería |
| Límite departamental | Nubes |
| Áreas naturales protegidas | Otros |

Fuente:

- Ríos (OpenLayer)
- Carreteras (OpenLayer)
- Distritos (IGN 2020)
- Provincias (IGN 2020)
- Departamentos (IGN 2020)
- Zona de amortiguamiento (SERNANP)

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA AMBIENTAL Y ECOTURISMO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA



Tesis: "Monitoreo y proyección del cambio de cobertura forestal por impacto antrópico, aplicando la teledetección en Inambari - Madre de Dios, años 2000 al 2030"

Mapa: Cambio de cobertura forestal en Inambari a para los años 2000 al 2030.

Elaborado por:
Bach. Jeanett Valladares Herrera

SCR:
WGS 84 Zona UTM 19S

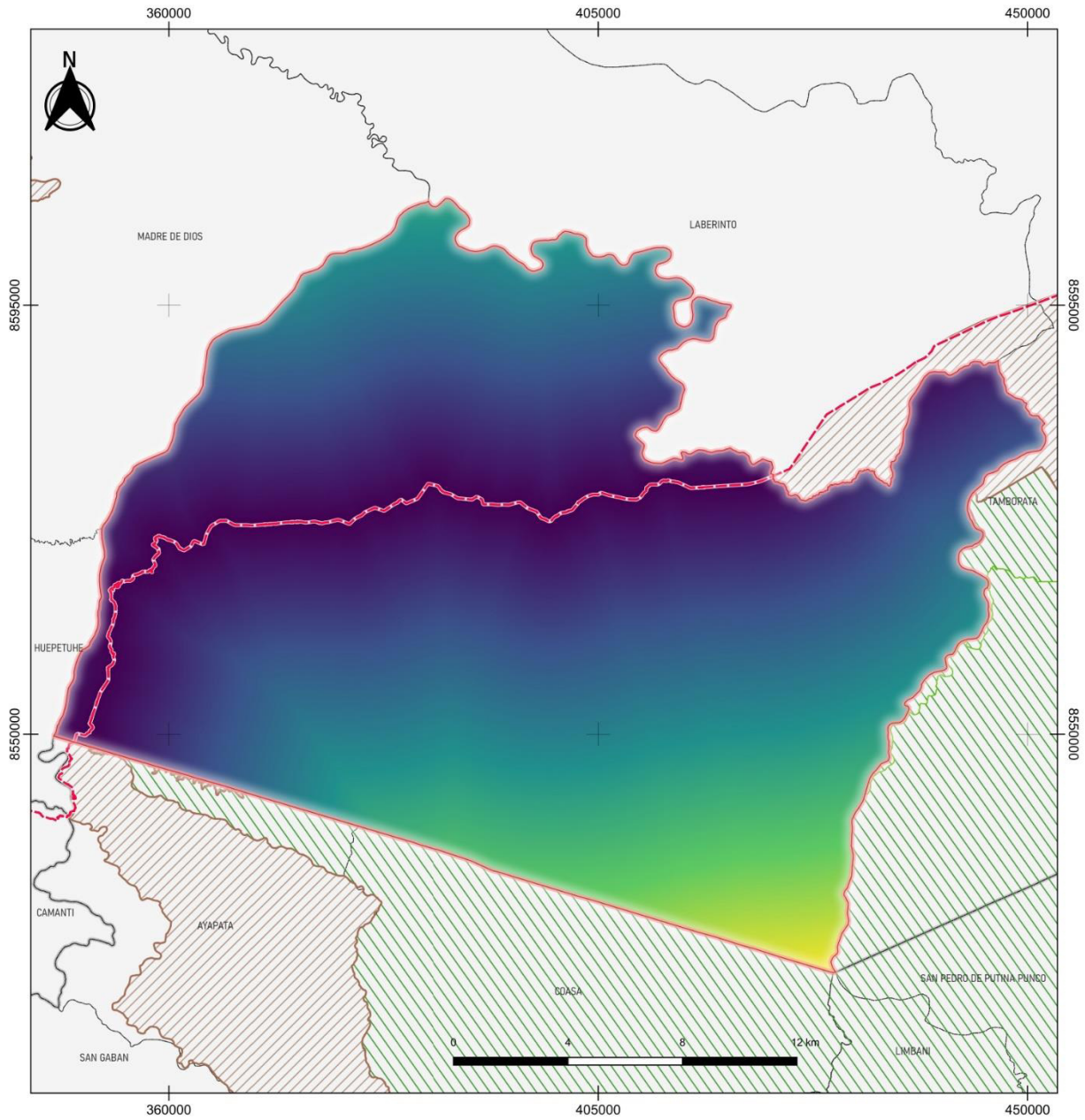
Fecha:
24/01/2023

Revisado por:
Mg. Ing. Gladys Rojas León

Escala:
1: 850 000

Mapa 05

MAPA DE DISTANCIA A CARRETERAS



LEYENDA

- | | |
|----------------------------|--------------------------|
| Ríos | Distancia carreteras (m) |
| Carretera Interoceánica | 1.00 |
| Área de estudio | 12982.64 |
| Áreas naturales protegidas | 25965.28 |
| Zonas de amortiguamiento | 38947.92 |
| Límite distrital | 51930.56 |
| Límite provincial | |
| Límite departamental | |



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA AMBIENTAL Y ECOTURISMO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA

Tesis: "Monitoreo y proyección del cambio de cobertura forestal por impacto antrópico, aplicando la teledetección en Inambari - Madre de Dios, años 2000 al 2030"

Mapa de distancia a carreteras

Elaborado por:
 Bach. Jeanett Valladares Herrera

SCR:
 WGS 84 Zona UTM 19S

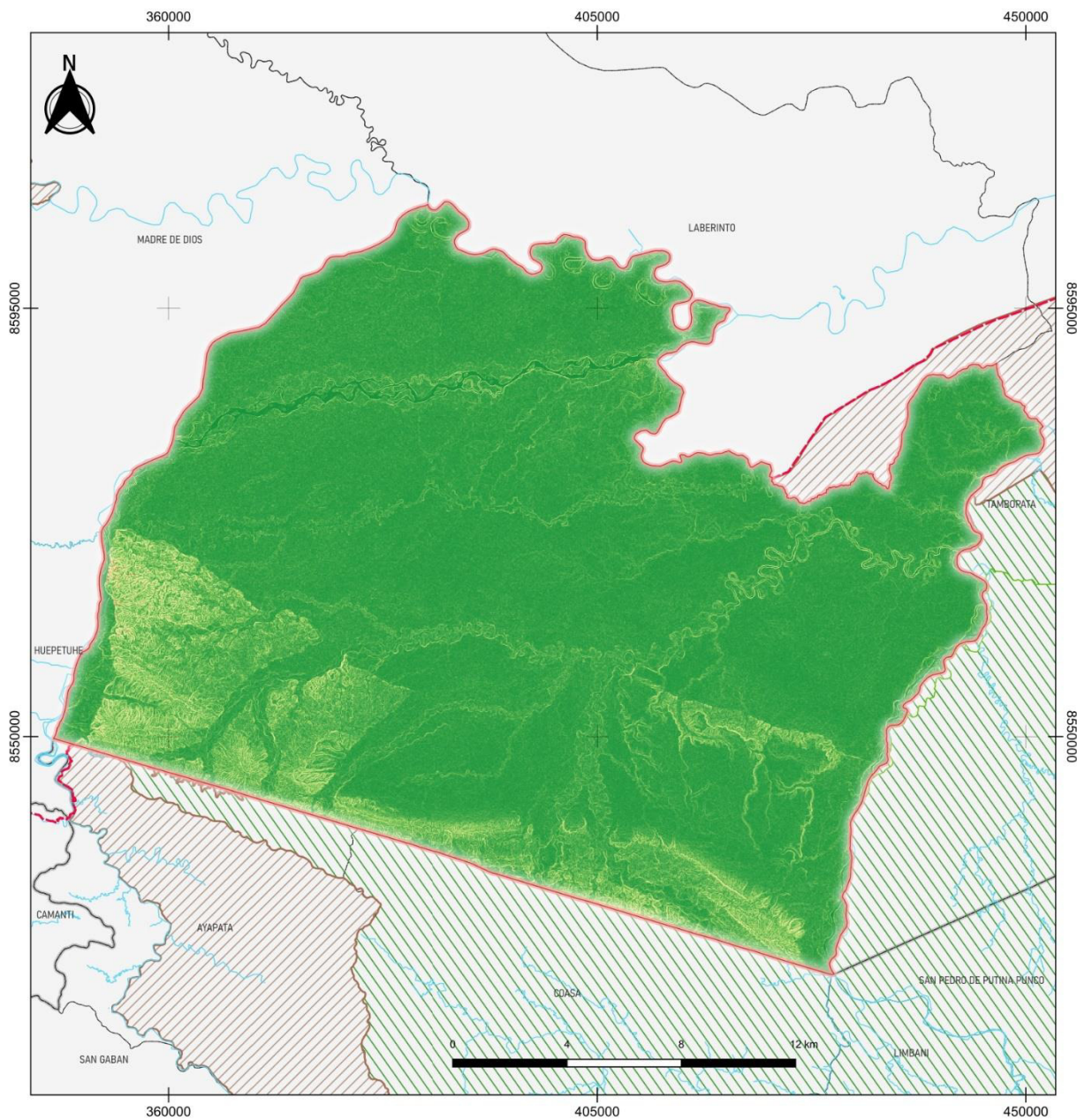
Fecha:
 24/01/2023

Revisado por:
 Mg. Ing. Gladys Rojas León

Escala:
 1: 400 000

Mapa 06

MAPA DE PENDIENTES



LEYENDA

	Ríos		Pendiente (%)
	Carretera		< 2
	Área de estudio		2 - 4
	Áreas naturales protegidas		4 - 8
	Zonas de amortiguamiento		8 - 15
	Límite distrital		15 - 25
	Límite provincial		25 - 50
	Límite departamental		50 - 75
			> 75



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA AMBIENTAL Y ECOTURISMO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA

Tesis: "Monitoreo y proyección del cambio de cobertura forestal por impacto antrópico, aplicando la teledetección en Inambari - Madre de Dios, años 2000 al 2030"

Mapa de pendientes

Elaborado por:
 Bach. Jeanett Valladares Herrera

SCR:
 WGS 84 Zona UTM 19S

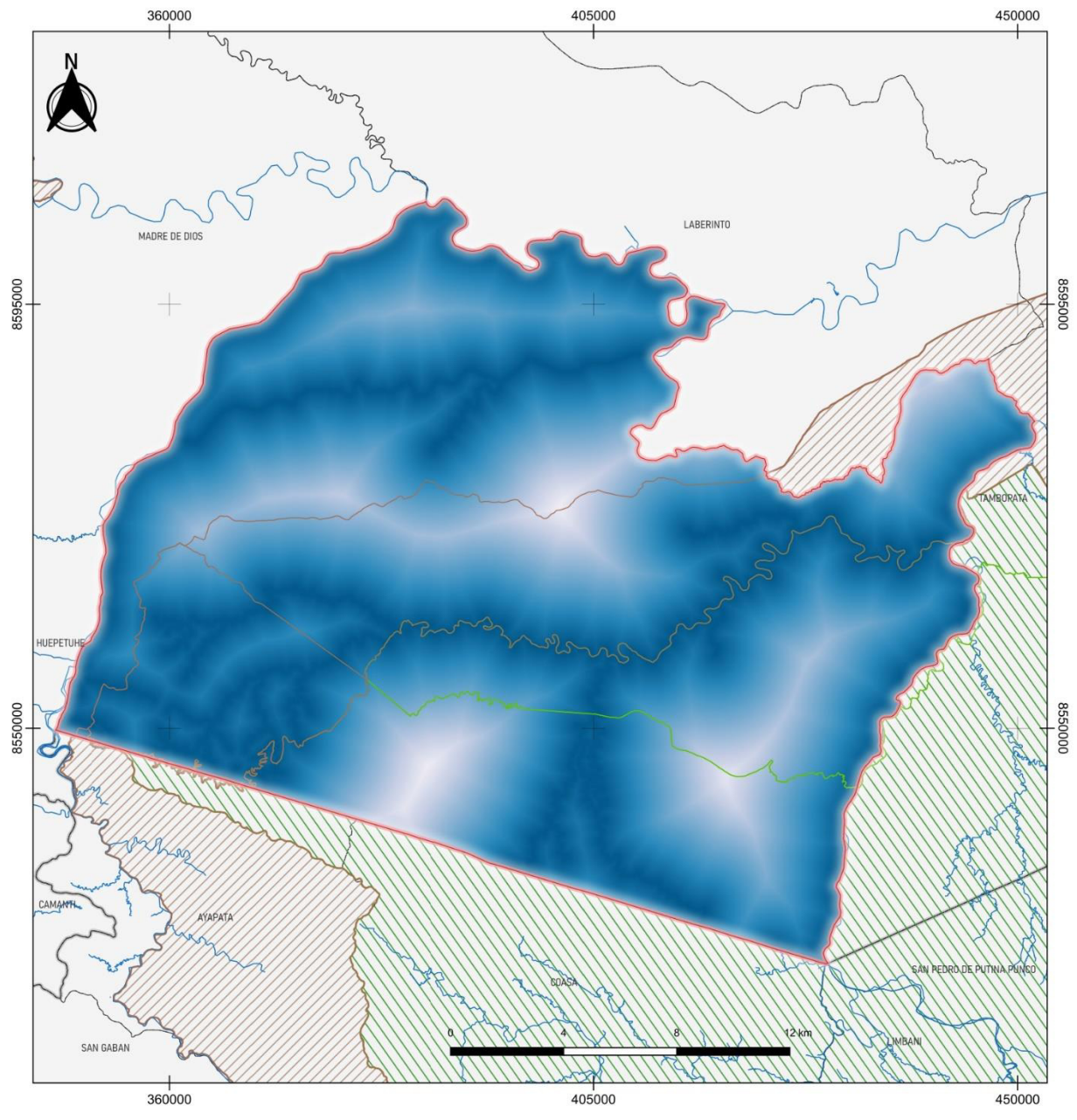
Fecha:
 24/01/2023

Revisado por:
 Mg. Ing. Gladys Rojas León

Escala:
 1: 400 000

Mapa 07

MAPA DE DISTANCIA A RÍOS



LEYENDA

- | | | | |
|--|----------------------------|--|----------------------|
| | Ríos | | Distancia a ríos (m) |
| | Carretera | | 0.0000 |
| | Área de estudio | | 3067.89 |
| | Áreas naturales protegidas | | 4601.84 |
| | Zonas de amortiguamiento | | 7669.73 |
| | Límite distrital | | 10737.62 |
| | Límite provincial | | 13805.51 |
| | Límite departamental | | |

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA AMBIENTAL Y ECOTURISMO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA

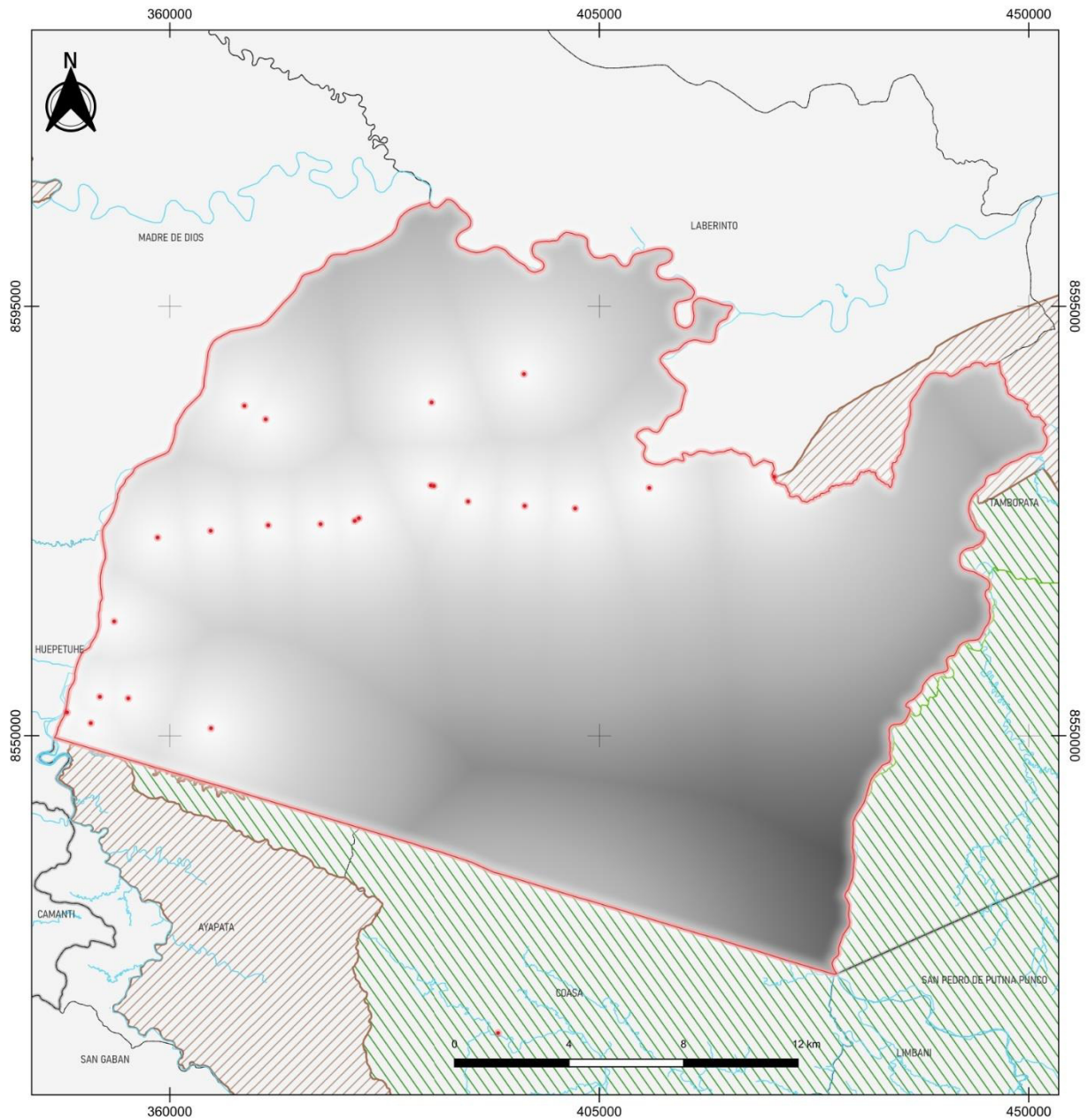
Tesis: "Monitoreo y proyección del cambio de cobertura forestal por impacto antrópico, aplicando la teledetección en Inambari - Madre de Dios, años 2000 al 2030"

Mapa de distancia a ríos

Elaborado por: Bach. Jeanett Valladares Herrera	SCR: WGS 84 Zona UTM 19S	Fecha: 23/01/2023
--	-----------------------------	----------------------

Revisado por: Mg. Ing. Gladys Rojas León	Escala: 1: 400 000	Mapa 08
---	-----------------------	---------

MAPA DE DISTANCIA A CENTROS POBLADOS



LEYENDA

	Ríos	
	Carretera	
	Área de estudio	
	Áreas naturales protegidas	
	Zonas de amortiguamiento	
	Límite distrital	
	Límite provincial	
	Límite departamental	

	Distancia a centros poblados (m)
	180.00
	10376.78
	20573.56
	30770.35
	40967.13



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA AMBIENTAL Y ECOTURISMO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA

Tesis: "Monitoreo y proyección del cambio de cobertura forestal por impacto antrópico, aplicando la teledetección en Inambari - Madre de Dios, años 2000 al 2030"

Mapa de distancia a centros poblados

Elaborado por:
Bach. Jeanett Valladares Herrera

SCR:
WGS 84 Zona UTM 19S

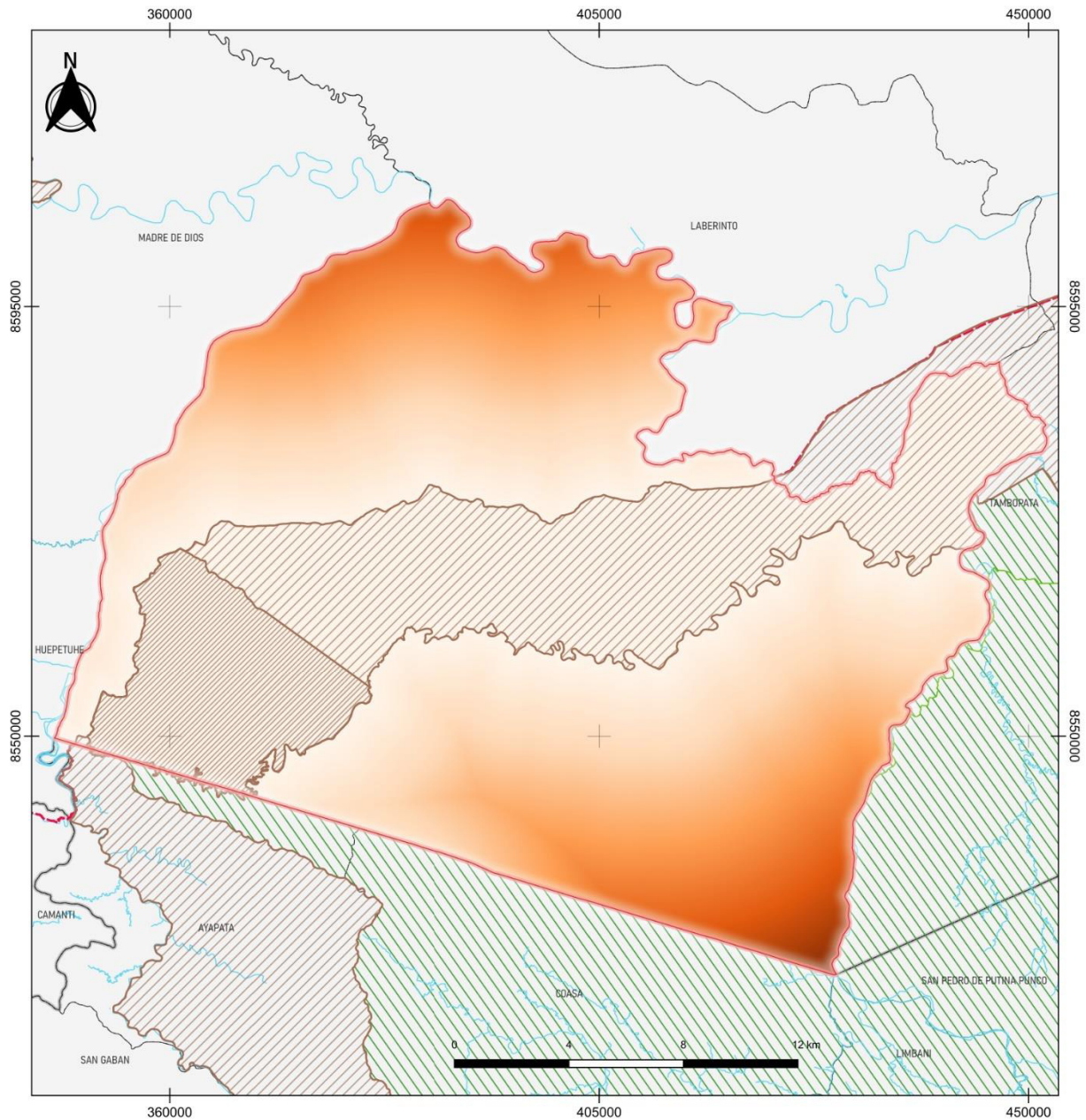
Fecha:
23/01/2023

Revisado por:
Mg. Ing. Gladys Rojas León


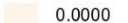











Escala:
1: 400 000

Mapa 09

MAPA DE DISTANCIA A ZONAS DE AMORTIGUAMIENTO



LEYENDA

 Ríos	Distancia a zonas de amortiguamiento (m)	 0.0000
 Carretera		 9233.87
 Área de estudio	 18467.75	
 Áreas naturales protegidas	 27701.62	
 Zonas de amortiguamiento	 36935.50	
 Límite distrital		
 Límite provincial		
 Límite departamental		

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA AMBIENTAL Y ECOTURISMO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA

Tesis: "Monitoreo y proyección del cambio de cobertura forestal por impacto antrópico, aplicando la teledetección en Inambari - Madre de Dios, años 2000 al 2030"

Mapa de distancia a zonas de amortiguamiento

Elaborado por:
Bach. Jeanett Valladares Herrera

SCR:
WGS 84 Zona UTM 19S

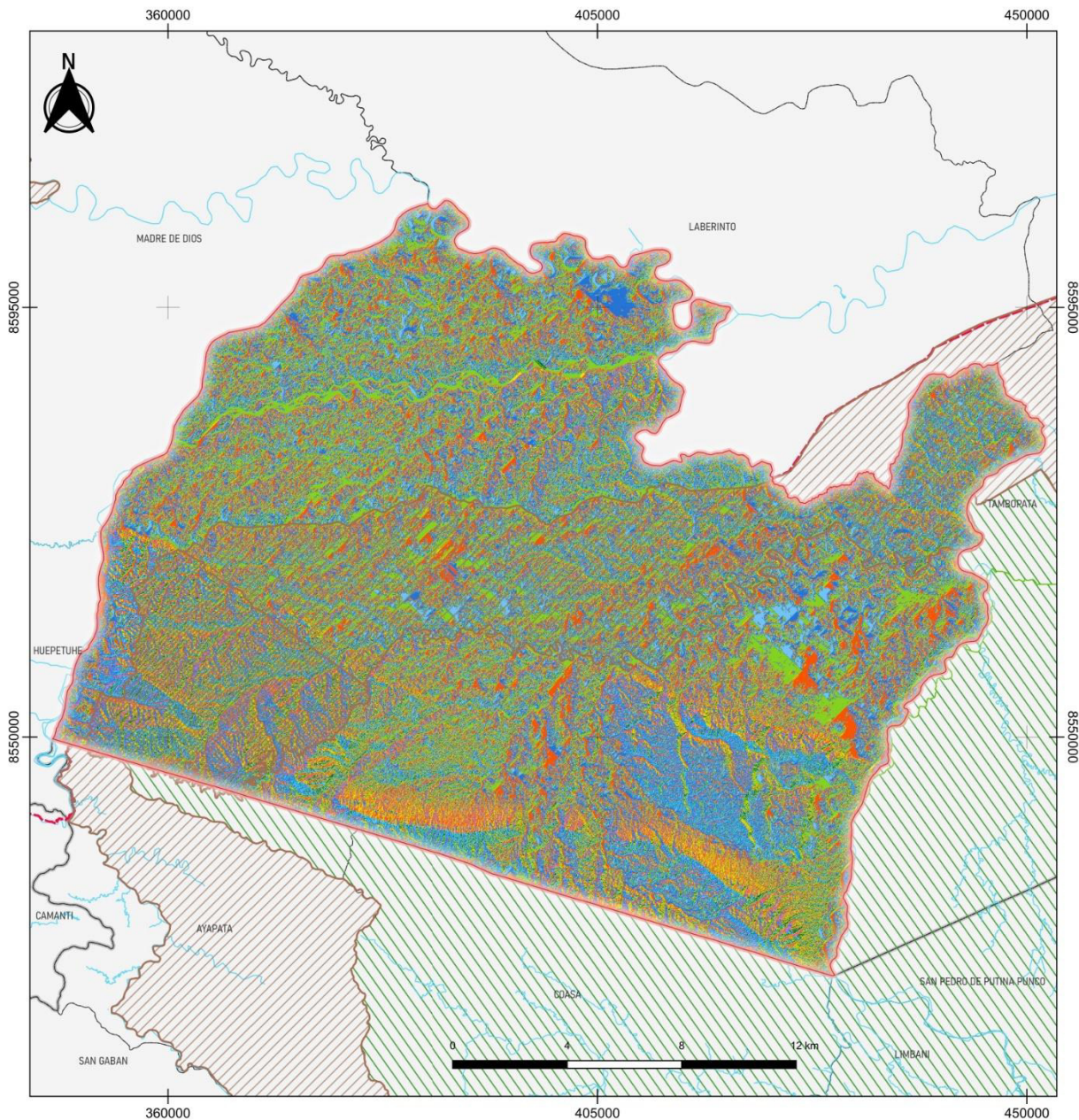
Fecha:
23/01/2023

Revisado por:
Mg. Ing. Gladys Rojas León

Escala:
1: 400 000

Mapa 10

MAPA DE DIRECCIÓN DE FLUJO



LEYENDA

- | | |
|----------------------------|-----------------------------|
| Ríos | Dirección de flujo Este |
| Carretera | Dirección de flujo Sureste |
| Área de estudio | Dirección de flujo Sur |
| Áreas naturales protegidas | Dirección de flujo Suroeste |
| Zonas de amortiguamiento | Dirección de flujo Oeste |
| Límite distrital | Dirección de flujo Noroeste |
| Límite provincial | Dirección de flujo Norte |
| Límite departamental | Dirección de flujo Noreste |

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA AMBIENTAL Y ECOTURISMO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA

Tesis: "Monitoreo y proyección del cambio de cobertura forestal por impacto antrópico, aplicando la teledetección en Inambari - Madre de Dios, años 2000 al 2030"

Mapa de dirección de flujo

Elaborado por:
 Bach. Jeanett Valladares Herrera

SCR:
 WGS 84 Zona UTM 19S

Fecha:
 24/01/2023

Revisado por:
 Mg. Ing. Gladys Rojas León

Escala:
 1: 400 000

Mapa 11