

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**SIMULACIÓN GEOESPACIAL DE LOS CAMBIOS DE COBERTURA Y USO DE
LA TIERRA AL AÑO 2030 EN LA MICROCUENCA SUPTE, DISTRITO RUPA
RUPA – HUÁNUCO, 2022**

TESIS

Para optar el título de:

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

DARWIN SMITH PAREDES CRUZ

Tingo María – Perú

2023



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María- Perú
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N°059-2023-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 06 de junio de 2023, a horas 08:05 a.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“SIMULACIÓN GEOESPACIAL DE LOS CAMBIOS DE COBERTURA Y
USO DE LA TIERRA AL AÑO 2030 EN LA MICROCUENCA SUPTE,
DISTRITO RUPA RUPA – HUÁNUCO, 2022”**

Presentado por el Bachiller: **DARWIN SMITH PAREDES CRUZ**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“BUENA”**.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 26 de julio de 2023


Dr. LUIS EDUARDO ORE CIERTO
PRESIDENTE




Ing. M. Sc. ERLE OTTO BUSTAMANTE SCAGLIONI
MIEMBRO

Ing. M. Sc. FRANKLIN DIONISIO MONTALVO
MIEMBRO


Ing. M. Sc. TORIBIO DUEÑAS LEODAN
ASESOR



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE INVESTIGACIÓN - DGI
REPOSITORIO INSTITUCIONAL - UNAS
Correo: repositorio@unas.edu.pe



“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 217- 2023 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

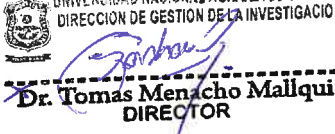
Ingeniería Ambiental

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de investigación
-------	---	--------------------------

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
SIMULACIÓN GEOESPACIAL DE LOS CAMBIOS DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA AL AÑO 2030 EN LA MICROCUENCA SUPTÉ, DISTRITO RUPA RUPA – HUÁNUCO, 2022	DARWIN SMITH PAREDES CRUZ	25 % Veinticinco

Tingo María, 10 de agosto de 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
DIRECCION DE GESTION DE LA INVESTIGACION

Dr. Tomás Menacho Mallqui
DIRECTOR

C.C. Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**SIMULACIÓN GEOESPACIAL DE LOS CAMBIOS DE COBERTURA Y USO DE
LA TIERRA AL AÑO 2030 EN LA MICROCUENCA SUPTE, DISTRITO RUPA
RUPA – HUÁNUCO, 2022**

Autor	:	Darwin Smith Paredes Cruz
Asesor(es)	:	Ing. Msc. Leodan Toribio Dueñas
Programa de investigación	:	Gestión ambiental
Línea de investigación	:	Modelización ambiental
Eje temático	:	Modelización de variables geoespaciales
Lugar de ejecución	:	Microcuenca Supte – Distrito Rupa Rupa
Duración	:	6 meses
Financiamiento	:	Monto : S/. 2,915.00
	:	FEDU : NO
	:	Propio : S/. 2,915.00
	:	Otro : NO

DEDICATORIA

La presente investigación va dedicada a Dios por darme la vida, la sabiduría, a mi abuelita Baudilia y a mi abuelito Luis, quienes han sido mi guía en cada paso que he dado durante mi vida, bendiciéndome y dándome fuerzas para culminar con mis metas trazadas.

A mis padres con mucho amor, Héctor Paredes Torres y Herlinda Cruz López, por ser los pilares fundamentales en el desarrollo de mi vida, aconsejándome, guiándome, teniéndome paciencia, brindándome confianza, inculcándome valores y por siempre brindarme su apoyo incondicional, los cuales me han dado la fuerza para continuar y poder cumplir con todas mis metas.

A mis familiares, amigos y a todas las personas que no menciono aquí pero que siempre estuvieron y están presentes brindándome su apoyo, compartiendo momentos buenos y malos pero que siempre serán recordados de la mejor manera.

AGRADECIMIENTOS

A La Universidad Nacional Agraria de La Selva, en especial a la Facultad De Recursos Naturales y la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental por darme la oportunidad de ser profesional, brindarme su acogedor calor en cada una de sus instalaciones durante toda mi formación profesional.

A Dios y a mi abuelita en el cielo (Q.E.P.D), los cuales me permite disfrutar de mis logros que son el resultado de su ayuda para salir adelante.

A los miembros de jurados: Dr. Luis Eduardo, Oré Cierito; Ing. MSc. Erle Otto, Bustamante Scaglioni; Ing. MSc. Wilfredo Tello Zevallos; Ing. MSc. Franklin Dionisio Montalvo, por su amistad y revisión del presente trabajo.

A mis asesor Ing. MSc. Leodan Toribio Dueñas, por tomarse el tiempo y dedicación para aclarar cualquier duda que surgiera y por todos los consejos brindados para ser una mejor persona y profesional.

A mis padres Héctor y Herlinda por aconsejarme, guiarme y brindarme su apoyo incondicional, en todas las etapas de mi formación personal y profesional.

A mis amigos que me brindaron su apoyo de manera incondicional durante toda la etapa de mi formación profesional.

Gracias a todas las personas que aportaron directa e indirectamente en el desarrollo de la presente investigación.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general	1
1.2. Objetivos específicos	1
II. REVISION DE LITERATURA.....	2
2.1. Marco teórico.....	2
2.1.1. Cuenca hidrográfica	2
2.1.2. Percepción remota y SIG.....	2
2.1.3. Preprocesamiento de imágenes satelitales.....	2
2.1.3.1. Correcciones radiométricas	3
2.1.3.2. Correcciones geométricas.....	3
2.1.3.3. Corrección atmosférica.....	4
2.1.3.4. Corrección topográfica	4
2.1.3.5. Corrección geométrica.....	4
2.1.3.6. Mejoramiento espectral	4
2.1.4. Clasificación de imágenes	5
2.1.4.1. Clasificación supervisada	5
2.1.4.2. Clasificación no supervisada	6
2.1.5. Cobertura y uso de la tierra	6
2.1.6. Cambios de cobertura y uso de la tierra	6
2.1.6.1. Principales causas del cambio de cobertura	7
2.1.7. Metodología Corine Land Cover (CLC)	8
2.1.7.1. Coberturas y uso de la tierra según Corine Land Cover.....	9
2.1.8. Modelo de simulación de cambio de cobertura.....	11
2.1.9. Tasas de cambio de cobertura y uso de la tierra.....	12
2.1.10. Predicción del cambio de cobertura y uso de la tierra.....	12
2.1.10.1. Índices de cambio de cobertura y uso de la tierra	13
2.1.10.2. Modelo de Markov	14
2.1.10.3. El SIG en los modelos predictivos y uso de la tierra.....	17
2.1.10.4. Validación del modelo de simulación	17
2.2. Estado del arte	18
III. MATERIALES Y MÉTODOS	22

3.1. Ubicación de la zona de estudio	22
3.1.1. Clima	22
3.1.2. Características ecológicas	22
3.1.3. Fisiografía.....	23
3.1.4. Suelos	23
3.1.5. Hidrografía	23
3.1.6. Acceso	23
3.2. Materiales y equipos	23
3.2.1. Materiales	23
3.2.2. Equipos	24
3.3. Criterio de investigación.....	24
3.3.1. Nivel de investigación.....	24
3.3.2. Tipo de investigación	24
3.3.3. Variable de investigación.....	24
3.3.4. Operacionalización de las variables	24
3.3.5. Diseño de investigación	25
3.3.6. Población y muestra	25
3.3.7. Análisis estadístico	25
3.3.8. Método de recolección de datos	25
3.4. Metodología.....	25
3.4.1. Estimación de los cambios de cobertura y uso de la tierra para los años 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020 en la microcuenca Supte.....	25
3.4.2. Estimación de la tasa de cambio de cobertura y uso de la tierra para los años 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020 en la microcuenca Supte.....	29
3.4.3. Predicción de los cambios de cobertura y de uso de la tierra al año 2030 en escenarios tendencial y de conservación en la microcuenca Supte	30
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
4.1. Estimación de los cambios de cobertura y uso de la tierra para los años 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020 en la microcuenca Supte	32
4.2. Estimación de la tasa de cambio de cobertura y uso de la tierra para los años 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020 en la microcuenca Supte	41
4.3. Predicción de los cambios de cobertura y de uso de la tierra al año 2030 en escenarios tendencial y de conservación en la microcuenca Supte	44
4.3.1. Simulación de cambio de cobertura al año 2030 en un escenario tendencial	46

4.3.2. Simulación de cambio de cobertura al año 2030 en un escenario de conservación.....	50
V. CONCLUSIONES	53
VI. PROPUESTA A FUTURO	54
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Matriz de transición con ganancias y pérdidas	13
2. Variables, dimensiones, indicadores e instrumentos que intervienen en el estudio. ..	24
3. Leyenda Corine Land Cover para la microcuenca Supte.	27
4. Valores de clasificación del Índice de Kappa.	29
5. Análisis de cobertura y uso de la tierra periodo 2000 al 2020	33
6. Cambio de cobertura en el periodo 2000 – 2020.....	35
7. Tasa de cambio de cobertura periodo 2000 – 2020	42
8. Tasa de cambio de cobertura periodo 2000 – 2005, 2005 – 2010, 2010 – 2015, 2015 – 2020, 2000 - 2020 microcuenca Supte	43
9. Matriz de transición de cambio de cobertura periodo 2000 – 2020	46
10. Simulación del cambio de cobertura al año 2030 en Escenario Tendencial	47
11. Simulación del cambio de cobertura al año 2030 en Escenario de Conservación	50
12. Cambio de cobertura en el periodo 2000 – 2005.....	63
13. Cambio de cobertura en el periodo 2005 – 2010.....	64
14. Cambio de cobertura en el periodo 2010 – 2015.....	65
15. Cambio de cobertura en el periodo 2015 – 2020.....	66
16. Tasa de cambio de cobertura en el periodo 2000 – 2005	67
17. Cambio de cobertura en el periodo 2005 – 2010.....	67
18. Cambio de cobertura en el periodo 2010 – 2015.....	67
19. Cambio de cobertura en el periodo 2015 – 2020.....	68
20. Matriz de transición tasa de cambio de cobertura periodo 2000 – 2005	68
21. Matriz de transición tasa de cambio de cobertura periodo 2005 – 2010.....	69
22. Matriz de transición de cambio de cobertura periodo 2010 – 2015	69
23. Matriz de transición de cambio de cobertura periodo 2015 – 2020	70
24. Cobertura y uso de la tierra año 2000.....	70
25. Cobertura y uso de la tierra año 2005.....	70
26. Cobertura y uso de la tierra año 2010.....	71
27. Cobertura y uso de la tierra año 2015.....	71
28. Cobertura y uso de la tierra año 2020.....	71
29. Cobertura y uso de la tierra de los años 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020.....	72
30. Matriz de transición de cambio de cobertura periodo 2010 – 2020	72

31.	Matriz de transición de cambio de cobertura periodo 2000 – 2020	73
32.	Matriz de transición de cambio de cobertura con un escenario tendencial y de conservación periodo 2000 – 2030	74
33.	Ubicación de puntos de validación en coordenadas UTM microcuenca Supte	75
34.	Matriz de confusión y exactitud temática de la clasificación	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Mapa de ubicación de la microcuenca Supte	22
2. Diagrama de flujo del proceso de modelamiento para la microcuenca Supte.	31
3. Comportamiento del cambio de cobertura y uso de la tierra año 2000 al 2020	34
4. Cambio de cobertura y uso de la tierra años 2000 al 2020	35
5. Mapa de cobertura y uso de la tierra del año 2000	36
6. Mapa de cobertura y uso de la tierra del año 2005	37
7. Mapa de cobertura y uso de la tierra del año 2010	38
8. Mapa de cobertura y uso de la tierra del año 2015	39
9. Mapa de cobertura y uso de la tierra del año 2020	40
10. Tasa de cambio cobertura y uso de la tierra periodo 2000 – 2020	43
11. Cambio de cobertura periodo 2000 – 2030 en un escenario tendencial	48
12. Mapa de cobertura y uso de la tierra al año 2030 en un Escenario Tendencial	49
13. Cambio de cobertura periodo 2000 – 2030 en un Escenario de Conservación	51
14. Mapa de cobertura y uso de la tierra al año 2030 en un Escenario de Conservación... ..	52
15. Comportamiento del cambio de cobertura y uso de la tierra año 2000 al 2005	63
16. Comportamiento del cambio de cobertura y uso de la tierra año 2005 al 2010	64
17. Comportamiento del cambio de cobertura y uso de la tierra año 2010 al 2015	65
18. Comportamiento del cambio de cobertura y uso de la tierra años 2015 al 2020	66
19. Georreferenciación de una purma baja	77
20. Georreferenciación de un terreno con pasto natural	77
21. Georreferenciación de un terreno degradado	78
22. Carretera afirmada a la entrada del centro poblado Cargatambo	78
23. Centro poblado Santa Rosa de Shapajilla	79
24. Georreferenciación de cultivo de Theobroma cacao L	79
25. Georreferenciación de un terreno con Macorilla sector Capitán Arellano	80
26. Georreferenciación de un terreno con pasto natural sector Rio Negro	80
27. Georreferenciación de un terreno con cultivo de Zea mays.....	81
28. Georreferenciación de un terreno con cultivo de Musa paradisiaca L.....	81

RESUMEN

Una de las principales preocupaciones ambientales es el cambio de uso de suelo y la pérdida de cobertura vegetal, peligroso para la humanidad y para el Perú, estas son las principales causas del cambio climático global y se relacionan de manera directa con la deforestación, seguridad en la producción de alimentos, salud humana, urbanización, biodiversidad, calidad del agua y del suelo. El objetivo de la investigación es simular los cambios de cobertura y uso de la tierra en la microcuenca Supte, distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, determinando los cambios, tasa de cambio y predecir los cambios de cobertura al año 2030 en un escenario tendencial y de conservación en la microcuenca Supte mediante un modelo de simulación geoespacial de la dinámica EGO se utiliza para calcular la matriz de transferencia; las variables incluyen: distancia a los asentamientos, distancia a las carreteras, distancia al agua, talas de bosques, porcentajes de pendiente y modelo de elevación digital.

Las áreas se calcularon utilizando métodos geoestadísticos de peso de evidencia, clasificación de variables continuas para obtener probabilidades de transición y pesos para las variables con mayor influencia en el cambio de cobertura y uso del suelo del 2000 al 2020 en un intervalo de 20 años. Se determinaron la tasa de cambio de cobertura y uso de la tierra al 2020 para compararlo con el mapa real de la tasa de cambio al 2020, y evidenciar si el modelo predice estos cambios. Se realizó una matriz de transición y la simulación del cambio de cobertura y uso de la tierra al 2030. Finalmente se consideró un escenario tendencial para evidenciar el avance de la deforestación con una pérdida de 817,13 ha de bosque y aumento de áreas agrícolas (440,03 ha), pasto (218,79 ha), bajo el escenario de conservación se restaurarían 279.68 ha de bosque y 211,94 ha de vegetación secundaria, debido a que las áreas agrícolas en 350,44 ha y pasto en 115,02 ha, reducirían las superficies de coberturas para detener la deforestación de los bosques y recuperar parte de ello, se tiene que realizar buenas prácticas agrícolas en la microcuenca Supte.

Palabras clave: Deforestación, Dinámica EGO, matriz de transición, escenario tendencial y conservación, validación.

**GEOSPATIAL SIMULATION OF THE CHANGES IN PLANT COVER AND USE OF
LAND THROUGH THE YEAR 2030 WITHIN THE SUPTE MICRO-WATERSHED
IN THE RUPA RUPA DISTRICT OF HUANUCO DURING 2022**

ABSTRACT

One of the principal environmental concerns is the change in soil use and the loss of plant cover, [which is] dangerous for humanity and for Peru. These are the principal causes of global climate change, and are related in a direct manner to deforestation, security of food production, human health, urbanization, biodiversity, and the quality of the water and soil. The objective of the research was to simulate plant cover and land use changes within the Supte micro-watershed in the Rupa Rupa district of the Leoncio Prado province [of Peru], [in order to] determine the changes, rate of change, and to predict the changes in plant cover through the year 2030 [by creating] a tendency and conservation scenario of the Supte micro-watershed, through the use of a geospatial simulation model from the Dinamica EGO [software], which is used to calculate the transfer matrix. The variables included: distance from towns, distance from roads, distance to water, forest clearing, slope percentage, and the digital elevation model.

The areas were calculated using weight of evidence geostatistical methods, the classification of continuous variables in order to obtain transition probabilities, and the weight of the variables with the greatest influence on the change in plant cover and soil use from 2000 to 2020, a twenty year interval. The rate of plant cover and land use change was determined through 2020 in order to compare it with the actual map of the rate of change through 2020, and to evidence whether or not the model predicted these changes. A transition matrix and the simulation of the plant cover and land use change through 2030 was done. Finally, a tendency scenario was considered in order to show the progress of deforestation, with a loss of 817.13 acres of forest, and an increase of agricultural areas (440.03 ac), and grass (218.79 ac). Under the conservation scenario, 279.68 ac of forest and 211.94 ac of secondary vegetation would be restored, due to the reduction of 350.44 ac of agricultural area and 115.02 ac of grass; reducing the surface areas with plant cover in order to detain the deforestation of the forests and recover part of them. Good agricultural practice must be used within the Supte micro-watershed

Keywords: deforestation, Dinamica EGO, transition matrix, tendency and conservation scenario, validation.

I. INTRODUCCIÓN

La variación del uso de suelo y la pérdida de la cobertura vegetal son dificultades antrópicas que acontecen debido a que son las principales causas del cambio climático global y están íntimamente relacionados con la seguridad alimentaria, salud humana, urbanización, la biodiversidad, migración transfronteriza, los refugios de las condiciones ambientales y la calidad de los alimentos, agua y suelo (López, 2006).

La región de Huánuco ocupa el cuarto lugar entre las más perjudicadas debido a la deforestación. De acuerdo al “Monitoreo de Pérdida de Selva Amazónica 2019” presentado por el Ministerio del Ambiente (Minam), se reportaron 14 956 hectáreas (ha), la provincia de Leoncio Prado con 1165 ha y el distrito de Rupa Rupa 67 ha de bosques perdidos.

La simulación geoespacial de variación de cobertura y usos de la tierra, ha demostrado ser una metodología muy útil, con más énfasis en materia de deforestación, por su utilidad para analizar modelos y su posible impacto negativo en el territorio. Además de brindar datos acerca de procesos de planificación espacial y de escenarios de cobertura de la superficie.

Actualmente, el área de Rupa Rupa en la microcuenca Supte es vulnerable a cambios en la cobertura vegetal. Por lo tanto, estos procesos necesitan ser investigados. Para ello, se realizan las siguientes preguntas: ¿Cuánto representará el valor de los cambios de cobertura y uso de la tierra al 2030 en la microcuenca Supte, distrito de Rupa Rupa – Huánuco, mediante una simulación Geoespacial? y como hipótesis se pretende demostrar que: los cambios de cobertura y uso de la tierra en la microcuenca Supte, distrito de Rupa Rupa – Huánuco, experimentarán un incremento notable para el año 2030 con respecto del periodo comprendido entre los años 2000 y 2020. Formulándose los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo general

Simular geoespacialmente los cambios de cobertura y uso de la tierra al año 2030 en la microcuenca Supte, distrito de Rupa Rupa – Huánuco, 2022.

1.2. Objetivos específicos

- Estimar los cambios de cobertura y uso de la tierra para los años 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020 en la microcuenca Supte
- Estimar la tasa de cambio de cobertura y uso de la tierra para los años 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020 en la microcuenca Supte
- Predecir los cambios de cobertura y uso de la tierra al año 2030 en escenarios tendencial y de conservación en la microcuenca Supte.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Cuenca hidrográfica

Son las áreas delimitadas según las zonas de mayor altitud según la fisiografía de los ríos, es ahí que se concentra toda la escorrentía que confluye a la desembocadura de la cuenca. En estas superficies el entorno biofísico, las tecnologías, la infraestructura y las instituciones (Andrade, 2021).

La cuenca es una superficie de suelo conectada por uno o más elementos. La estación es parte del área por donde se transporta el agua que cae sobre él, para ubicarse en los ríos o estaciones, su límite también es definido como la cuenca (Ibáñez, 2019).

2.1.2. Percepción remota y SIG

Según Chuvieco (2010) es una técnica que adquiere representaciones gráficas del terreno de la Tierra gracias a detectores ubicados soportes espaciales, siempre y cuando exista un intercambio energético entre el terreno y los sensores, puede ser por reflexión solar e incluso rayos artificiales de energías, además la imagen es adquirida dentro como uno de sus procesos, incluye el anterior proceso relacionado con la transformación de imágenes en productos de información. En pasos de procesamiento posteriores, se utiliza un sistema de información geográfica (SIG) y la información de los sensores se vacía para su manipulación; los SIG se expresan en términos generales como el hardware, el software y los programas complejos que facilitan la recopilación, la gestión, la manipulación, el análisis, el modelado, la visualización y la salida de información referenciada. Muestra la estrecha relación entre SIG y teledetección, desde la recogida de información mediante sensores remotos hasta el input final en forma de cartografía, estadísticas, etc. El objetivo final es resolver problemas complejos de planificación y gestión.

2.1.3. Preprocesamiento de imágenes satelitales

Según el estudio de Monitoring of the Andean Amazon Project (2017), la aplicación es un conjunto de variaciones numéricas aplicadas en la matriz original con la finalidad de producir una representación de imagen más rica. Con el procesamiento digital, el objetivo es obtener la información contenida en los datos de la imagen satelital captada por el receptor.

Las imágenes satelitales se han convertido en una herramienta importante para crear inventarios de uso de la tierra; son los encargados de proporcionar información básica útil para la planificación, organización y gestión de los territorios (Zerda, 2002, como se

citó en RStudio, s.f.). En el caso de Landsat, toda imagen apta para los usuarios está georreferenciada. También se corrigen por el primer factor de error (corrección geométrica), las correcciones radiométricas y atmosféricas se dejan a la habilidad y conveniencia del usuario (Bowen, 2018).

Chuvienco (2010) tiene en cuenta que se requieren ciertas correcciones para eliminar las anomalías existentes en las imágenes para que la alineación de los datos sea lo más cercana posible al registro ideal.

2.1.3.1. Correcciones radiométricas

El estudio de Monitoring of the Andean Amazon Project (2014) muestra que las mejoras realizadas eliminan todo problema de radiación causados por errores del sensor, la oblicuidad del satélite, la disposición del sol, o incluso las condiciones atmosféricas, lo que permite realizar comparaciones entre satélites incluso si se realizaron bajo diferentes circunstancias. Chuvienco (2008) afirma que son métodos que varían el raw digital (ND) para medir la respuesta espectral de cualquier objeto en una imagen ubicada en la superficie terrestre en condiciones ideales de recepción. Convertir los ND almacenados en la imagen sin procesar en variables físicas es un paso inicial que es útil en varios pasos de lectura de imágenes, dicho se de paso, facilita realizar comparaciones utilizando variables físicas de sensor promedio durante todo el proceso. Diferentes sensores y la relación de teledetección espacial con otras metodologías de detección de energía electromagnética.

2.1.3.2. Correcciones geométricas

Con frecuencia, la información obtenida de los sensores remotos presenta errores geométricos de origen sistemático, es decir, errores geométricos que pueden ser corregidos usando información de la plataforma y el conocimiento de las distorsiones internas del sensor, y errores geométricos asistemáticos, es decir, que no pueden ser corregidos. realizado con un error de precisión aceptable corregido. Puntos de control suficientes sobre el terreno.

Muchas razones de fallas de la geometría de origen sistemático, es referente a la velocidad que poseen los soportes y el giro terrestre que se da. Además, las desviaciones de origen no sistemático vienen incluidas con error, causado por la altitud y ubicación del sensor. Se pueden usar dos procedimientos comunes para corregir estos errores, la corrección cuadro por cuadro y la corrección cuadro por cuadro (MAAP, 2017).

Pérez et al., (2008), indica que hay varias formas de mencionar los pasos metodológicos para solucionar este escenario y resolver el problema utilizando algoritmos en aplicaciones informáticas de teledetección.

2.1.3.3. Corrección atmosférica

Las condiciones atmosféricas pueden variar mucho en el espacio y el tiempo (Lillesand et al. 2014). Este cambio afecta de manera negativa a los gráficos satelitales porque la atmósfera puede succionar y modificar la energía electromagnética mostrada desde la tierra (Gomasasca, 2004). La reflectividad superficial significa corregir el efecto de la atmósfera sobre la señal recibida por el sensor (Alcántara, 2014). Para los cálculos se evalúan la transmitancia atmosférica, la radiación difusa y la radiación dispersa.

Según (Britos y Barchuk, 2013), la energía detectada por los equipos de teledetección viaja a lo largo de capas bastante profundas de la atmósfera, donde la intensidad y la longitud de onda de la energía detectada se modifican por la presencia de partículas y gases en la atmósfera. Reduce la calidad de la imagen y afecta la precisión de la interpretación.

2.1.3.4. Corrección topográfica

Otro factor importante a considerar es la topografía del terreno, debido a que el reflejo se ve afectado por dos variables: la pendiente, que cambia la geometría de la corriente en chorro entrante, y la segunda es la dirección. La corrección de iluminación, también conocida como medición, se refiere a compensar la radiación solar para minimizar la variación en la reflectancia observada para objetivos similares. Este es un paso importante en el preprocesamiento de datos de teledetección de alta resolución para la detección de cambios en los bosques (Bravo, 2020).

2.1.3.5. Corrección geométrica

Considerará las mejoras espectrales de las técnicas que pueden aumentar la disponibilidad de datos satelitales para el análisis cuantitativo (Ibáñez, 2019).

2.1.3.6. Mejoramiento espectral

Es la acción de organizar píxeles en una clase o categoría numérica de acuerdo a su valor numérico; es decir, si un píxel coincide con un conjunto de propiedades, se asignará a esa clase o categoría (Ramírez et al. 2017).

Se inicia con la interpretación de clases a distinguir en la imagen. Es una clasificación de base numérica. Debe indicar una clase de números (ND) para identificar cada jerarquía según las franjas involucradas en la clasificación. Las clases que no están determinadas por un solo ND, sino por un conjunto de ND y están cerca entre sí. Hay alguna variación en el ND promedio de cada clase. Por lo tanto, la fase de entrenamiento intenta definir cuidadosamente cada clase a distinguir, teniendo en cuenta su prevalencia en el dominio de la investigación (Valdez, 2014).

Estadísticamente busca reducir las variables continuas (ND) a una categoría nominal (Chuvieco, 2002). Se divide en: clasificación supervisada y no supervisada, la primera se encarga de obtener conocimiento del área de estudio (a través de trabajo de campo), selección de muestra (área de entrenamiento), asignación a cálculos, y la segunda busca automáticamente la homogeneidad (Alva y Chávez, 2004).

2.1.4. Clasificación de imágenes

Es la acción de organizar píxeles en una clase o categoría numérica de acuerdo a su valor numérico; es decir, si un píxel coincide con un conjunto de propiedades, se asignará a esa clase o categoría (Ramírez et al. 2017).

Se inicia con la interpretación de clases a distinguir en la imagen. Es una clasificación de base numérica. Debe indicar una clase de números (ND) para identificar cada jerarquía según las franjas involucradas en la clasificación. Las clases que no están determinadas por un solo ND, sino por un conjunto de ND y están cerca entre sí. Hay alguna variación en el ND promedio de cada clase. Por lo tanto, la fase de entrenamiento intenta definir cuidadosamente cada clase a distinguir, teniendo en cuenta su prevalencia en el dominio de la investigación (Valdez, 2014).

Estadísticamente busca reducir las variables continuas (ND) a una categoría nominal (Chuvieco, 2002). Se divide en: clasificación supervisada y no supervisada, la primera se encarga de obtener conocimiento del área de estudio (a través de trabajo de campo), selección de muestra (área de entrenamiento), asignación a cálculos, y la segunda busca automáticamente la homogeneidad (Alva y Chávez, 2004).

2.1.4.1. Clasificación supervisada

Valdez (2014) indica que se necesita de cierto conocimiento del campo de estudio para que en el dibujo se puedan marcar algunas áreas representativas o áreas de diferentes categorías, cuyo propósito es diferenciar. Estas áreas se denominan bandas de entrenamiento porque se utilizan para entrenar a la computadora para que reconozca diferentes categorías. Con base en estas áreas, la computadora calcula varios parámetros estadísticos que determinan el ND de cada clase y luego clasifica los píxeles restantes en una clase según su ND. Es útil seleccionar múltiples regiones de entrenamiento para cada clase para reflejar adecuadamente sus diferencias en la región de estudio.

Para Congedo (2016) la clasificación semiautomática es una técnica para procesar imagen con la intención de materiales en función de sus características espectrales. Según la resolución del codificador, la cantidad y el tipo de cobertura terrestre para

identificar en la image. Hay muchos tipos de algoritmos de clasificación, pero el objetivo es generar mapas temáticos de cobertura del suelo.

Mientras que para Tarazona (2018) este tipo de clasificación parte del supuesto de que existen regiones educativas derivadas de la región en cuestión. Esta es una suposición porque las características espectrales obtenidas de la interpretación de imágenes satelitales generalmente se consideran características conocidas per se y pertenecen a ciertas clases que el usuario cree conocer. Sin embargo, en un trabajo más riguroso, las características espectrales (es decir, las regiones de entrenamiento) se obtienen a través del trabajo de campo y, por lo tanto, la probabilidad de asignar etiquetas correctamente a las clases es alta. Las áreas de entrenamiento se pueden obtener mediante trabajo de campo cercano, actualmente usando imágenes de alta resolución.

La clasificación semiautomática permite encontrar recursos desde sus características espectrales (Jiménez, 2019). Por supuesto, la cantidad y el tipo de cobertura terrestre pueden variar mucho según la resolución del sensor. Actualmente existen distintos algoritmos de clasificación; el propósito principal se basa en elaborar mapas temáticos que representen la cobertura del suelo” (Córdova y Sánchez, 2020).

2.1.4.2. Clasificación no supervisada

Define entre las clases espectrales en imágenes. No involucra conocimiento requerido antes del tema, debido a ello, la intervención antrópica se basa en la descripción objetiva obtenida (Sánchez, 2009).

2.1.5. Cobertura y uso de la tierra

Son esenciales para entender y pronosticar la variación de la composición del paisaje. Además, brindar información para el estudio de la sucesión y dinámica de los ecosistemas, con la finalidad de obtener políticas y estrategias de planificación, conservación y manejo sostenible de los recursos naturales (Ojima et al. 1994).

2.1.6. Cambios de cobertura y uso de la tierra

Investigar las variaciones de cambio de cobertura y uso del suelo son temas atractivos en la investigación ambiental actual (Bocco y Mendoza, 2001) porque estos cambios inciden en la pérdida de hábitat, biodiversidad, servicios ambientales y productividad. ecosistema (Rosete, 2008), pero sin él no se pueden satisfacer las necesidades de nuestra especie. También se consideran uno de los principales contribuyentes al cambio global y se consideran fuente secundaria humana de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Son el resultado de la explosión demográfica y la asimetría socioeconómica. El autor menciona que la cobertura del suelo y el cambio de uso del suelo está considerada como

problema que combina los distintos enfoques del cambio ambiental global. Se utilizan conceptos, información y métodos de varios campos de la ciencia. Sin embargo, este es esencialmente un tema abordado o dominado por geógrafos (Córdova y Sánchez, 2020).

Se considera que la actividad humana es la fuerza principal para cambiar las biosferas y la principal causa del cambio del paisaje moderno. Como resultado del mantenimiento del uso de la tierra o la intensificación del uso de la tierra y la subsiguiente degradación de la superficie terrestre, los ecosistemas terrestres cambian (Rosete, 2008). La deforestación y la presión humana sobre la tierra para la producción de cultivos, así como la mecanización excesiva, se consideran entre los factores más importantes que dañan el cambio del uso de la tierra (Pérez et al. 2008).

2.1.6.1. Principales causas del cambio de cobertura

a. La expansión agropecuaria

Adicional a proporcionar pasto y leño, los bosques tienen un impacto positivo en el entorno natural. Pero parte considerable del planeta utiliza la ganadería y la agricultura, creada debido a una deforestación injustificada (Pérez et al. 2008).

b. La minería

Posee consecuencias a largo tiempo de hacerse en áreas forestales, es considerada como saqueo. La minería y la extracción de petróleo amenazan el 30% de los bosques primitivos del mundo. El uso intensivo de agua requerida para la minería a menudo reduce el nivel freático en el área, secando pozos y manantiales. El agua puede contaminarse con sustancias tóxicas de tiempo de vida prolongado (Lillo, 2006).

c. Migración

A medida que los habitantes aumentaron, hubo menos opciones para sobrevivir con la propiedad de la tierra, su única opción fue migrar a la selva y ocupar el bosque, primero ilegalmente y luego legalmente (IIRSA-SUR, 2006).

d. Apertura de vías de comunicación

La construcción de nuevos caminos es considerada como factor en la etapa de deforestación. Los pequeños productores dedicados a la agricultura iniciaron el proceso de tala y ocupación de tierras apenas se abrieron los caminos. Los buscadores de oro también insisten en abrir camino. Luego se intensificó el uso de la tierra con la entrada de grandes productores (Martino, 2011).

e. Las políticas gubernamentales

En el período de 1980 a 1990 fue uno de los peores períodos de deforestación en la región amazónica.

Se encuentra en fase de ejecución el Proyecto Especial de Colonización (PE) de la Amazonía Peruana, gestionado por el Estado, cuyo principal objetivo es facilitar la ocupación planificada del territorio y la articulación regional a través del camino fronterizo de la selva. Mejorar la producción y productividad agrícola es una extensión lógica de la infraestructura vial (IIRSA-SUR, 2006).

f. Deforestación

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2010) ha definido la deforestación como la conversión de los bosques a otros usos de la tierra o la reducción a largo tiempo de las copas de los árboles por debajo de un umbral (al menos el 10%). La deforestación es la principal causa de pérdida de la protección del suelo, lo que inicia diversos procesos de erosión. A nivel regional, provoca pérdida de bosques, degradación física y química de suelos, cambios en el balance hídrico e inestabilidad de cuencas. A escala global, esto cambia el equilibrio del agua atmosférica, lo que afecta los patrones y, por lo tanto, el calentamiento global. Otras consecuencias incluyen la reducción y/o fragmentación del hábitat, lo que lleva a la pérdida de biodiversidad y variabilidad genética, poblaciones e incluso especies. Según estadísticas de SERFOR, en 2017 Perú había perdido un total de 7,7 millones de hectáreas de bosque natural, de las cuales el 60% se concentraba en las provincias de Ucayali, Madre de Dios, Huánuko y Loreto. Además, solo en 2017 se talaron 155.914 hectáreas de la selva amazónica.

2.1.7. Metodología Corine Land Cover (CLC)

El método Corine Land Cover (CLC) se maneja derivando unidades de cobertura terrestre a partir de criterios geomórficos de altitud y densidad aplicados a todas las unidades dentro del mismo conjunto de coberturas. De esta forma, se puede garantizar la unión de entidades nuevas para estudios de mayor detalle a fin de encontrar y definir las con rapidez (IIAP, 2015). Corredor et al., (2011), indican el enfoque de cobertura terrestre CORINE, basado en sus lineamientos propuestos por el proyecto CORINE (Programa de Coordinación de Información Ambiental), especialmente en proyectos centrados en la cobertura terrestre CORINE land cover, ya que primero se propuso estandarizar la nomenclatura de cobertura terrestre en todos los países de la región, permitiendo comparar la tierra y su uso.

MIMAN (2014) menciona acerca de la Declaración de Cobertura Terrestre CORINE se desarrolló de acuerdo con los acuerdos regionales relacionados con el Plan de Cobertura Terrestre CORINE. (IDEAM, 2010) dice que el programa está adaptado a Colombia y crea un marco para hacer comparaciones con otros países. CORINE Land Cover (CLC) es un método de mapeo de la cobertura y el uso de la tierra. Utiliza la explicación en

capas que relaciona diferentes niveles de detalle espacial, posee diferentes niveles temáticos (de explicación). Durante la consulta de leyendas regionales, se definieron varias categorías de leyendas de nivel 1 y 2, y aunque incorporaron parte del enfoque CLC, también incluyeron adaptaciones que los países de la región consideraron necesarias. El acuerdo se refleja en el conocimiento de la región. Cada país es completamente libre de cambiar, ampliar o profundizar la explicación siempre y cuando cumpla con sus obligaciones de reporte. A continuación, se presentan algunos aspectos de la saga planteada en las discusiones nacionales, como aspectos más finos o reorganización de categorías jerárquicas, pero siempre se creyó que los cambios anteriores no cambiarían la capacidad de reporte y seguimiento de los cuatro niveles nacionales en la región.

2.1.7.1. Coberturas y uso de la tierra según Corine Land Cover

Los conceptos de cobertura y uso del suelo utilizados según el método de cobertura del suelo de Corine (IDEAM, 2010).

1. Territorios artificializados

Incluye ciudades y sus alrededores que se han incorporado a las áreas urbanas a través de procesos de urbanización progresiva o cambios en el uso del suelo con intenciones de comercializar, industrializar, dar servicios y recreación (IDEAM, 2010).

a. Zonas urbanizadas

Están incluidas áreas cubiertas por la infraestructura de la ciudad y áreas verdes con sus redes asociadas de comunicación, están forman estructuras urbanas tanto continuas como discontinuas.

2. Territorios agrícolas

Se usan en principio para la producir alimentos, fibras y otros insumos de industria, ya sean cultivables, pastizales, en barbecho, en barbecho o en barbecho. Incluye áreas destinadas a cultivos permanentes y temporales, pastos y áreas agrícolas heterogéneas donde se puede utilizar ganadería además del uso agrícola.

a. Cultivos transitorios

Comprende la superficie cubierta por cultivos con ciclo vegetativo inferior doce meses e incluso a un par, como cereales (maíz, trigo, cebada y arroz), tubérculos (papa y yuca), oleaginosas (ajonjolí y algodón), la mayor cantidad de verduras y flores se cultivan al aire libre. Se definen las siguientes unidades.

a.1. Arroz (Cereales)

La cubierta vegetal está formada por plantas herbáceas de hojas alargadas y espigas blancas que suelen crecer en suelos muy húmedos.

b. Cultivos permanentes

Comprende las tierras destinadas al cultivo con un ciclo vegetativo superior a un año y que pueden cosecharse varias veces sin replantar; las gramíneas como caña de azúcar, azúcar roja, plátano; cultivos de café en arbusto como el café y el cacao; y cultivos leñosos africanos como palmeras y árboles frutales.

c. Pastos

Consiste en un terreno cubierto de pasto denso dominado por pastos y destinado al pastoreo continuo durante dos años o más. Pueden ocurrir inundaciones temporales o permanentes si ciertas categorías están ubicadas en áreas bajas o depresiones topográficas. Está cubierta se caracteriza porque gran parte de su existencia está relacionada con la actividad humana, especialmente su cultivo, principalmente la introducción de especies exóticas y su posterior gestión.

d. Áreas agrícolas heterogéneas

Combinan dos o más tipos de cubiertas agrícolas y naturales aptas en mosaicos geométricos complejos que dificultan su separación en cubiertas separadas; prácticas de gestión y maneras locales de tenencia del área terrestre.

3. Bosques y áreas seminaturales

Está constituido por un conjunto de vegetación forestal, arbustiva y herbácea que crece sobre diferentes sustratos y elevaciones como resultado de procesos climáticos; también suelos desnudos y rocas por procesos de descomposición natural o inducida y afloramientos arenosos.

a. Bosque

Son espacios que contemplan naturaleza arbórea y vegetal, nativa o exótica. Estos árboles leñosos perennes que poseen un solo tronco con una copa más o menos pronunciada. Según FAO (2015), esta cobertura incluye bosques naturales y plantaciones.

b. Vegetación secundaria o en transición

Incluye la cubierta arbórea obtenida mediante la sucesión natural de la vegetación después de una intervención, o la cubierta vegetal obtenida al restaurar la condición original después de la destrucción de la vegetación original. Se desarrolla en áreas despejadas para diversos fines, áreas agrícolas abandonadas y áreas donde la vegetación natural ha sido destruida por eventos naturales. No hay elementos introducidos deliberadamente por los humanos.

c. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación

Incluye espacios de escasa o ninguna vegetación y consiste principalmente en superficies libres y carbonizadas, en casos se considera a los mantillos arenosos y afloramientos rocosos, en ocasiones cubiertos de nieve.

c.1. Afloramientos rocosos

Áreas donde la plataforma terrestre está formada por capas de roca expuesta que no contemplan vegetación, normalmente situadas en laderas pronunciadas que forman acantilados y acantilados, y zonas de roca expuesta asociadas a actividad volcánica o glacial. Los depósitos, trozos o cenizas de sedimentos de grano fino y grueso pueden estar asociados con afloramientos rocosos. Se ubican principalmente en las laderas escarpadas de la región andina, dominadas por una matriz de roca dura y sólida asociada a fracturas y variaciones de rocas, volcanes y glaciares de montaña.

c.2. Tierras desnudas y degradadas

Terrenos de poca o ninguna cobertura vegetal debido a la erosión natural y antrópica, posee condiciones climáticas extremas. Incluyendo suelos salino-alcalinos, desertificación o zonas muy erosionadas que incluso forman cañones.

4. Superficies de agua

Estas son las características y pasos de masas de agua permanentes, periódicas y estacionales, como los océanos, ubicadas en continentes y bordeando o adyacentes a las costas continentales. Esta categoría incluye activos relacionados con el mar hasta una profundidad de 12 m. Las unidades se dividen en las siguientes dos categorías.

2.1.8. Modelo de simulación de cambio de cobertura

Esta matriz examina con precisión general e individual las categorías clasificadas de uso y cobertura de la tierra y las compara con áreas de interés seleccionadas por expertos. Esta matriz brinda información relacionada con la precisión de productores (porcentaje de aciertos en una clasificación) y usuarios (correspondiente al porcentaje de casos que caen en esa categoría según la clasificación) (Coronado, 2014). En las tareas de simulación se realizan iteraciones que representan el paso del tiempo de acuerdo a las variables (Reyna et al. 2017). Por otro lado, EGO Dynamics usa dos funciones complementarias de autómatas locales para simulaciones. El primero hace referencia a un parche que se crea para vincular la creación de nuevos parches. El segundo se llama Expandir porque simula transformaciones realizadas mediante la expansión de clases. Cabe mencionar que se debe definir el porcentaje de transformaciones a realizar en cada función junto con los parámetros que caracterizan la

medida, tamaño, varianza y reflexión isométrica (Leija, 2013). La isometría varía de 0 a 2, a más dato numérico, más datos isométricos (Ramírez Y Mejía et al. 2017). Los resultados de las simulaciones se reflejan en mapas delimitados por intervalos discretos, que representan áreas proyectadas con trayectorias de cambio según tendencias históricas (Leija, 2013).

2.1.9. Tasas de cambio de cobertura y uso de la tierra

Proporciona una comprensión del alcance y la velocidad del cambio en la cobertura; la evaluación necesita comprender la dinámica y el alcance de la CCUT y su impacto. La mejor manera de cuantificar este proceso es analizar la variación de la cobertura vegetal en el espacio y el tiempo. FAO (1996) propuso la ecuación para expresar la dinámica porcentual en el área en el primer año.

Ecuación 1. Dinámica porcentual

$$tc = \left\{ \left[\frac{S2}{S1} \right]^{1/n} - 1 \right\} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

D

ónde:

tc = tasa de cambio (en %)

S1 = superficie en la fecha inicial

S2 = superficie en la fecha final

n = diferencia de años entre fecha inicial y final

2.1.10. Predicción del cambio de cobertura y uso de la tierra

Poncus and Malanson (2005) indican que las categorías de prueba simulada de cambio de uso y cobertura del suelo se han convertido en una herramienta cada vez más utilizada y útil para la muestra espacial de sus patrones y posibles impactos negativos en los territorios.

Henríquez and Azócar (2011) muestran escasa información en aplicación de modelos que simulan en estados de Latinoamérica. Representan componentes o procesos realistas y se consideran modelos dinámicos capaces de predecir un posible comportamiento futuro. Indican el potencial para reflejar el alcance del cambio, su futura ubicación y patrones espaciales. Según la literatura, estos modelos se simulan en su mayoría utilizando parámetros simples, que incluyen el tamaño del área urbana actual, las principales rutas de transporte, la distancia al mercado laboral, los bienes e inversiones, las circunstancias de la topografía y presencia de suelo en casos específicos.

2.1.10.1. Índices de cambio de cobertura y uso de la tierra

Falcón (2014) mencionó que las matrices son métodos beneficiosos para obtener datos de cobertura y uso del suelo, y se logran obtener superponiendo un mínimo de dos mapas de cobertura y uso del suelo. Las diferencias entre categorías se pueden identificar de manera eficaz organizando los datos resultantes en una matriz de modo que los rangos de fecha de inicio (t1) colocados en filas y rangos de fecha de finalización (t2) se colocan en columnas, donde solamente la diagonal de la matriz indica el total de paisajes estables de una fecha y otra, lo restante es contemplado a todas las posibles uniones de intercambios entre rangos. Una matriz de transición permite indicar el total de variación reflejado a lo largo del tiempo. Logra permitir que el modelo determine la cantidad de células que pasan de un estado a otro. Estas matrices pueden variar según la región y el contenido de producción (Soares-Filho et al. 2017).

De acuerdo con (Pontius y Malanson, 2005) argumentan que la ubicación y cantidad de variaciones en la cobertura del suelo se llevan a cabo utilizando superposiciones cartográficas y matrices de transformación diseñadas para formar la base para obtener información desde un nivel de análisis global hasta uno de cercano detalle observado al comparar los cambios (ganancias, pérdidas, cambio, persistencia, cambio neto y cambio bruto) producidos en el área para comprender algún grado de persistencia. Cuando ocurre el proceso de ganancia aleatoria y cuándo ocurre el proceso de pérdida aleatoria para obtener la diferencia (porcentaje del área total) y la relación (magnitud por encima del azar) en caso de que la variación de lo observado y lo que se espera sea el porcentaje positivo, la clase en t1 pierde más de lo esperado en el proceso de refuerzo aleatorio; si es negativo, la misma clase pierde menos, se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Matriz de transición con ganancias y pérdidas

Matriz de transición con ganancias y pérdidas							
		Tiempo 2					
		Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Total tiempo 1	Perdidas
Tiempo 1	Categoría 1	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}	P_{1+}	$P_{1+} - P_{11}$
	Categoría 2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{24}	P_{2+}	$P_{2+} - P_{22}$
	Categoría 3	P_{31}	P_{32}	P_{33}	P_{34}	P_{3+}	$P_{3+} - P_{33}$
	Categoría 4	P_{41}	P_{42}	P_{43}	P_{44}	P_{+}	$P_{4+} - P_{44}$
	Total tiempo 2	P_{+1}	P_{+2}	P_{+3}	P_{+4}	1	
Ganancias		$P_{+1}-P_{11}$	$P_{+2}-P_{22}$	$P_{+3}-P_{33}$	$P_{+4}-P_{44}$		

Fuente: Pontius y Malanson (2005).

Por tanto, según el índice de variación propuesto por Pontius y Malanson (2005): (G_{ij}) representa la relación del paisaje donde hay crecimiento entre la fecha de inicio (t_1) y la fecha de finalización (t_2), se determina tomando la variación de tiempo total 2 (P) columna j) y persistencia (P_{jj}):

Ecuación 2. Índice de variación

$$G_{ij} = (P_{+j}) - (P_{jj}) \dots \dots \dots (2)$$

La pérdida (L_{ij}), muestra la relación del paisaje que disminuye entre ambas fechas, resultan del cálculo de resta entre la fila del total del tiempo 1 (P_{j+}) y la persistencia (P_{jj});

Ecuación 3. Pérdida de variación

$$L_{ij} = (P_{j+}) - (P_{jj}) \dots \dots \dots (3)$$

Implica ganancia y pérdida simultánea de un nivel ocupacional en el paisaje, ocurre en el momento que la posición de una categoría ocupacional varía entre dos flechas, pero su terreno continúa inalterado. Cada unidad de ganancia es igual a la suma de las pérdidas de la otra clase calculada al doble del valor mínimo de la ganancia y la pérdida.

Ecuación 4. Persistencia de la variación

$$S_j = 2 \times \text{MIN} (P_{j+}) - P_{jj}', P_{j'} - P_{jj} \dots \dots \dots (4)$$

La persistencia (P_{ij}) son las distintas clases de cantidades superficiales que continúan estables a lo largo de diferentes lapsos de estudio. Es clave para analizar los cambios de uso, ya que varios estudios han demostrado que prevalece la estabilidad. En el ambiente, incluso en áreas muy cambiantes, se llega obtener desde la diagonal principal de la matriz, el cambio total (DT_j), que es la adición de las relaciones del paisaje alterado, mientras que el cambio neto (D_j) representa la variación específica en el cauce, muestra la variación entre el cambio total y el intercambio dado en valor absoluto.

Ecuación 5. Cambio total

$$DT_j = (G_{ij}) + (L_{ij}) \dots \dots \dots (5)$$

Ecuación 6. Cambio neto

$$D_j = DT_j - S_j | \dots \dots \dots (6)$$

2.1.10.2. Modelo de Markov

La simulación más aplicada para el uso del suelo y la variación de la superficie del suelo son cadenas de Markov de primer orden y se utilizan en distintas escalas espaciales. Korotov et al., (2001), señalaron que los patrones de cadenas de Markov fueron usados para concretar el proceso continuo de cambio de la superficie vegetal y brindar

estimaciones confiables de manera cuantitativa. No obstante, se usan a fin de respaldar las decisiones de gestión forestal (Banabdellah et al. 2003). Este es un modelo probabilístico porque nos da la probabilidad de que el sistema inicialmente en el (posible) estado "i" entre en el estado "j" en el tiempo (intervalo de tiempo fundamental T), y el proceso está controlado por una matriz de probabilidad. (Aveksu, 1995). Los patrones de cadenas de Markov poseen muchos posibles (Mas y Sandoval, 2011). Los de tipo básico son considerados los cambios de uso y cobertura del suelo como procesos estocásticos, donde las diferentes clases son estados de la cadena. Una cadena se define como un proceso estocástico con la particularidad de que el valor del proceso en el tiempo t X_t dependa únicamente de su valor en el tiempo t-1 X_{t-1} , más no de la secuencia de valores X_{t-2} , X_{t-3} , X_0 , el proceso continúa hasta que se alcanza X_{t-1} .

La expresión es:

Ecuación 7. Probabilidad de transición

$$P \{X_t = a_j | X_0 = a_0, X_1 = a_1, \dots, X_{t-1} = a_i\}$$

$$P \{X_t = a_j | X_{t-1} = a_i\} \dots\dots\dots(7)$$

Donde

P = Probabilidad de transición.

X = El sistema analizado.

t = Tiempo.

a_i = Estado inicial.

a_j = Estado final.

En primer lugar, se indica la probabilidad del proceso, para que pase de un estado a_i al a_j en un momento dado. Los pasos para implementar esta transición, $P \{X_t = a_j | X_{t-1} = a_i\}$ que es la probabilidad de transición del paso P (l) ij. Se dice que una cadena de Markov es homogénea si $P(l)ij$ es independiente del tiempo y dependiente únicamente de los estados a_i , a_j y l. De esta forma, la cadena de Markov homogénea de primer orden se puede expresar como:

Ecuación 8. Cadena de Markov homogénea de primer orden

$$P \{X_t = a_j | X_{t-1} = a_i\} = P_{ij} \dots\dots\dots(8)$$

donde P_{ij} se calcula a partir de los datos observados tabulando el número de datos observados para los estados i a j, n_{ij} y sumando el número de ocurrencias del estado a_i , n_i . por lo que entonces:

Ecuación 9. Cadena de Markov

$$P_{ij} = n_{ij}/n_i \dots\dots\dots(9)$$

A medida que la cadena de Markov avanza con el pasar de los tiempos, la probabilidad de encontrarse en el estado j luego de un número suficiente de pasos se vuelve independiente del estado inicial de la cadena. Esto sucede cuando el circuito alcanza un estado de equilibrio:

Ecuación 10. Estado de equilibrio de la cadena de Markov
 $\lim_{n \rightarrow \infty} P^{(n)}_{ij} = P_j$ (10)

Dónde:

Ecuación 11. Probabilidades de transición
 $P_j = \sum_i P_i P^{(n)}_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, m \text{ (estados)} \quad P_i = 1 \quad P_j > 0 \dots$ (11)

Las probabilidades de transición se han utilizado de muchas maneras, en el análisis y modelado del cambio de uso y cobertura del suelo (Turner, 1987; Muller y Middleton, 1994). Este método trata al estado de transición como un proceso estocástico de Markov afectado solo por el estado inicial. El modelo de transferencia se puede expresar en forma de matriz de la siguiente manera:

Ecuación 12. Vector de fracciones de superficie de suelo
 $n_{t+1} = P n_t$ (12)

Donde n_t es el vector de fracciones de superficie de suelo para cada una de las m áreas de cobertura o usos en el tiempo t , n_{t+1} es el vector de fracciones de superficie de suelo del mismo tipo de uso de suelo en el tiempo $t+1$, y P es la matriz $m \times m$ que representa la probabilidad de que una estación pase del estado i al estado j en el tiempo $t+1$. La matriz P está normalizada a nivel de fila para que las probabilidades de transición de cualquier estado sean siempre uno (Brown et al. 2000). Se espera poder utilizar analíticamente para predecir la composición del paisaje (Jahan, 1986; Guttorp, 1995) o para desarrollar escenarios alternativos en modelos de simulación (Turner, 1987). Las matrices de cambio generalmente se derivan de categorías multitemporales del uso de la tierra o de la cobertura de la tierra (Turner, 1987).

Las limitantes primordiales de Markov para determinar el uso y la variación de la tierra en función de posibilidades de transición son: 1) Matriz de transición estacionaria, p . es constante según el tiempo como el espacio, 2) Supuesta independencia espacial de las transiciones, 3) Dificultad de incluir relaciones causales en el modelo, p . Por ejemplo, las posibilidades de transición se derivan empíricamente de mapas politemporales que no indican el proceso (Baker, 1989). La limitación es en particular relevante en el caso que se

estudian las variaciones en la cobertura del suelo, utilizando sensores de imagen remotos, y cuando estos cambios son causados por procesos socioeconómicos (Turner, 1987).

Los modelos de Markov se usan para determinar las probabilidades de variación en el uso de la tierra y la cobertura de la tierra generalmente no son compatibles con imágenes satelitales y técnicas de imagen digital. Por lo general, los antecedentes han utilizado información de estudios de campo, mapas existentes u ortofotografía en lugar de imágenes satelitales (Muller y Vargas, 1999). La perplejidad de la información aún es considerablemente elevada, puesto que la validación de campo solo se ha realizado para un número limitado de sitios. El uso de imágenes satelitales puede brindar oportunidades a fin de obtener un mejor análisis (Weng, 2002), puesto que brinda más uniformidad en la calidad de información.

2.1.10.3. El SIG en los modelos predictivos y uso de la tierra

Vargas (1999) indico que está basado en computadora con la capacidad de cargar, almacenar, mostrar y generar eficientemente datos espaciales (mapas) y atributos (descriptores) según sus detalles y requisitos específicos, que también se considera software y hardware. La composición funciona con entidades que tienen propiedades y propiedades de ubicación. FAO (1988) menciona que una de las ventajas de esta herramienta SIG es su capacidad para realizar múltiples modelaciones con una mínima inversión de tiempo y dinero; los datos espaciales y no espaciales pueden analizarse simultáneamente en forma relacional; gran variedad de conceptos Los modelos se pueden probar rápidamente y repetir varias veces para facilitar el ajuste y la evaluación. Las tecnologías computarizadas se integran con 4 elementos centrales de hardware, software, datos y Liveware, este último es responsable del diseño, implementación y uso de SIG, deben tener conocimientos suficientes no solo en el manejo de software sino también en el análisis de problemas. campos de conocimiento afines (Redrován, 2018)

SIG es una herramienta que puede analizar, presentar e interpretar hechos relacionados con la superficie terrestre utilizando software y hardware específicamente diseñados para gestionar datos cartográficos (Olaya, 2014).

2.1.10.4. Validación del modelo de simulación

Se utilizan dos tipos de funciones de caída a fin de autentificar el modelo de simulación en EGO Dynamics: en primera instancia está la función de caída exponencial que compara (gráfico inicial), (gráfico final) y el gráfico simulado. (Rodríguez et al., 2007). La función Decreciente se puede utilizar como segunda ventana en los sujetos de la segunda prueba de validación. La prueba funciona de manera similar a la ya realizada, pero

“aumenta el tamaño de la ventana de dos píxeles a 11 píxeles de un píxel” (Anahua, 2020). En términos de resultados, “comparar 1 con 2 y viceversa” puede arrojar dos valores de similitud (Leija et al. 2016). Adicional a ello, se trabajó con un porcentaje bajo para coincidir y evitar ajustes artificiales que lleven a resultados excesivos. (Arellano y Castro, 2019) indicó que en caso el valor de semejanza supera el 50%, la autenticación decía: tener éxito. Hagen (2003) concluyó que valores superiores al 50% fueron interpretados como similares.

2.2. Estado del arte

(Mas y Sandoval, 2011) desarrollaron un modelo que simula la cobertura terrestre/cambio agrícola (CCUS) para una región de alta deforestación en el sureste de México. El modelo se basa en dos escenarios: 1) un escenario de tendencia referente al incremento de las altas tasas de deforestación; 2) un escenario alternativo en el que se supone la depreciación de la variación, se traslada al tratamiento de suelos en áreas secundarias. La evaluación del mapa de expectativas muestra que los modelos alternativos muestran una mejora y propone que se necesita integrar conocimientos expertos a fin de formular modelos de expectativas, especialmente en dominios dinámicos.

En su estudio, Laurente (2011) buscó comprender el proceso de deforestación en la microcuenca del río Supte (8.745,5 ha) entre 1990 y 2005, zona que ha sufrido importantes cambios debido a las prácticas madereras. Se usaron métodos de teledetección y SIG mediante las imágenes del sensor del satélite Landsat TM-5. Primero, las imágenes de satélite son preprocesadas. Más tarde, con un receptor GPS (Sistema de Posicionamiento Global), el área de práctica se posiciona para la clasificación de números. Mostrándose el 64% de exactitud y un índice Kappa de 0,57, indicando buena clasificación. Finalmente, la tasa de deforestación anual se determinó en 34,8 hectáreas con una pérdida de bosque de 521,9 hectáreas en 15 años, mientras que el área de tierra degradada aumentó en 720,6 hectáreas y llegó a 1.723,4 hectáreas en 2005. Guerrero et al., (2015). estudio de uso de suelo y cobertura forestal en un municipio de Puerto Rico para analizar cambios en la cobertura durante 23 años (1991, 1997, 2003 y 2014). permite determinar la dinámica de la pérdida de bosques por el proceso de deforestación y el crecimiento de otras coberturas por la intervención humana, mostrando así el cambio en las cifras de cobertura para cada ciudad, mapeando las tres principales áreas de manejo. Además de determinar los cambios de cobertura y las proyecciones de cambio de cobertura parcial para cada área de manejo en 2020.

De La Cruz et al. (2016) investigaron los cambios en la cobertura del uso del suelo en la ciudad de Popayán mediante un análisis multitemporal de la magnitud del impacto de un programa de forestación como alternativa productiva en zonas marginales. En la cuenca

del río Magdalena, incluidos los municipios de Popayán, Timbio, Tambo y Sotara, se han realizado actividades de siembra de árboles en esta cuenca como parte de una campaña planificada creada con diferentes tipos de herramientas paisajísticas. La cobertura forestal en la zona se cuantificó utilizando datos de EARTH EXPLORER para 2003 y 2016; La clasificación supervisada de las diferentes coberturas en el área de estudio para el análisis multitemporal se realizó mediante el programa ArcGis.

Alcántara (2014) buscó comprender la dinámica y los primordiales impactos de la variación de cobertura y uso del suelo en la provincia de Cajamarca desde 2001 hasta 2013, generando mapas temáticos. Determinó el análisis de los factores que influyen en el cambio de cobertura y uso del suelo y los principales impactos resultantes del cambio de cobertura y uso, identificar y describir áreas de tratamiento especial y permitir la identificación de medidas de manejo que puedan fomentar una garantía y sostenibilidad, dinámicas y adecuadas del suelo. El método utilizado es proporcionado por el Ministerio del Ambiente (R.M. N° 135-2013-MINAM), basado en el procesamiento digital de imágenes satelitales utilizando el software QGis y ArcGis, produce mapas temáticos de cobertura terrestre y uso en los anteriores. período, taxones según el método CLC, como recurso básico para la muestra de variación relevante. Se obtuvo que el área total de cobertura y cambio de uso del suelo en Cajamarca fue de 599.236,15 hectáreas, correspondiente al 18,18% del área provincial, y el área de paisaje permanente fue de 2.696 hectáreas, correspondiente al 81,82% del área provincial. Además, encontró 47 cambios por cobertura, siendo los cambios de la cobertura vegetal herbácea y/o arbustiva a zonas de agricultura heterogénea presentan los mayores efectos de transición, la conversión de tierras cultivables a uso agrícola perturba la cubierta vegetal; por lo tanto, forman áreas procesadas espacialmente que permiten proponer medidas de manejo para promover un uso dinámico y sostenible de la cobertura del suelo.

El Instituto de la Amazonía Peruana (2017) realizó una evaluación del cambio de cobertura del suelo y la dinámica del uso del suelo en la región de Padre abad, provincia de Ucayali, para analizar la variación de la cobertura y dinámica del uso del suelo en la región. Para el período 2010 a 2016 en la región, modelar el escenario CCUT hasta el 2022, explicar e identificar los principales cambios en el tiempo para entender y proyectar el impacto de los sucesos. Este enfoque implica recopilar información de CUT hasta 2016 utilizando imágenes satelitales, cuantificar e identificar cambios clave, identificar variables espaciales explicativas que nos han ayudado a modelar transiciones potenciales y, en última instancia, simular escenarios de CCUT en 2022.

Los resultados obtenidos fueron que las principales categorías de TSA en 2016 fueron bosque denso y bosque bajo, 117 382 y 142 956 ha, respectivamente, y área agrícola heterogénea y área de cultivo de banano, 65 760 y 26 674 ha, respectivamente; los cambios más significativos fueron de bosques de alta, de bosques de baja densidad a zonas de agricultura heterogénea, arboledas de alta densidad de plátano y pastoreo de ganado, se estima que para el 2022, aproximadamente 16,643.88 hectáreas de bosques se convertirán en áreas agrícolas. Ibáñez (2019) cuando realiza una investigación evalúa la dinámica de cobertura y uso del suelo y proyecta datos, debido a ello, se puede predecir las variaciones anuales en la cobertura y uso del suelo (CCUT) de la cuenca del río Tocache. Se cortó el año 2026 utilizando productos para categorizar imágenes Sentinel 2A y Landsat 8 y 5 de 2006, 2011 y 2016 y variables fueron: elevación, pendiente, áreas protegidas y distancia: caminos, ríos, centros densamente poblados y áreas deforestadas. La información fue cargada en el software Dinámica EGO para calcular matrices de transición y pesos de evidencia que seleccionaron transiciones para predecir CUT hasta el 2026 bajo dos escenarios posibles: un escenario tendencial donde los resultados muestran una reducción de 3975.50 hectáreas en el bosque, en la agricultura. se amplió, según el escenario de protección, las áreas de restauración de bosque y vegetación secundaria fueron 1042.5 ha y 2519.9 ha, respectivamente, las demás áreas cubiertas cambiaron poco, por lo que se deben implementar políticas de protección y restauración. Crear un equilibrio entre la protección del medio ambiente y la actividad agrícola.

Quispe (2021) determinó la tasa de deforestación en la región de Nueva Requena (Perú) utilizando el modelo de simulación geoespacial de autómatas celulares EGO Dynamics; considerando las siguientes variables: distancia a los asentamientos, distancia al camino, distancia al agua, concesiones forestales, porcentaje de pendiente y modelos digitales de elevación, en primer lugar, se calculan los intervalos utilizando métodos de análisis geoestadístico de pesos para clasificar las variables continuas para obtener las probabilidades de transición de las variables que más afectan Cambios y pesos. En segundo lugar, las variables que ingresan al modelo se someten a cálculos de correlación para que sean espacialmente independientes. En tercer lugar, ejecutó simulaciones antes de 2020 y las comparó con mapas reales para 2020 para mostrar si el modelo podía predecir cambios con un 75 por ciento de precisión. En cuarto lugar, se simuló la situación de deforestación en la región de Nuevo Requena del Perú hasta el 2030 y se determinó un área de deforestación de 35.112,24 hectáreas del 2020 al 2030, con una tasa de deforestación del 3,08% anual.

Puerta et al., (2022), indica que la deforestación es el problema ambiental primordial en el Perú y a nivel mundial, y en tal sentido, el objetivo de este trabajo es calcular

la cobertura forestal al 2021 en la provincia de Leoncio Prado, ubicada en Huánuco. región Perú. Se utilizó el procesamiento Sentinel-2 de imágenes y se clasificaron mediante el algoritmo de inteligencia artificial Random Forest sobre la plataforma Google Earth Engine. La precisión de los elementos de clasificación final también se evaluó utilizando imágenes planetarias de una calidad de imagen espacial. Obteniéndose que el área de estudio fue de 349.811,47 ha, lo que representó más del 70% del área total, mientras que el área total de degradación e invasión fue de 131.392,12 ha, principalmente como consecuencia de los cambios de uso de suelo. Bosques para tierras agrícolas. En términos de puntajes de evaluación de precisión de clasificación de sujetos, el índice Kappa es 0.77 y la precisión general es 89.14%. Leoncio Prado presenta la mayor cobertura forestal, tiene una precisión de clasificación alta.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación de la zona de estudio

La investigación se realizó en la microcuenca Supte con una superficie de 74.72 km², perímetro 47.31 km y en la desembocadura como punto de aforo, ubicada en el distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco, presenta las coordenadas UTM Datum WGS 84 del empalme de la carta nacional Zona 18 L, a 390450.87 m Este, 8981607.35 m Norte, con una altitud de 510 m.s.n.m.

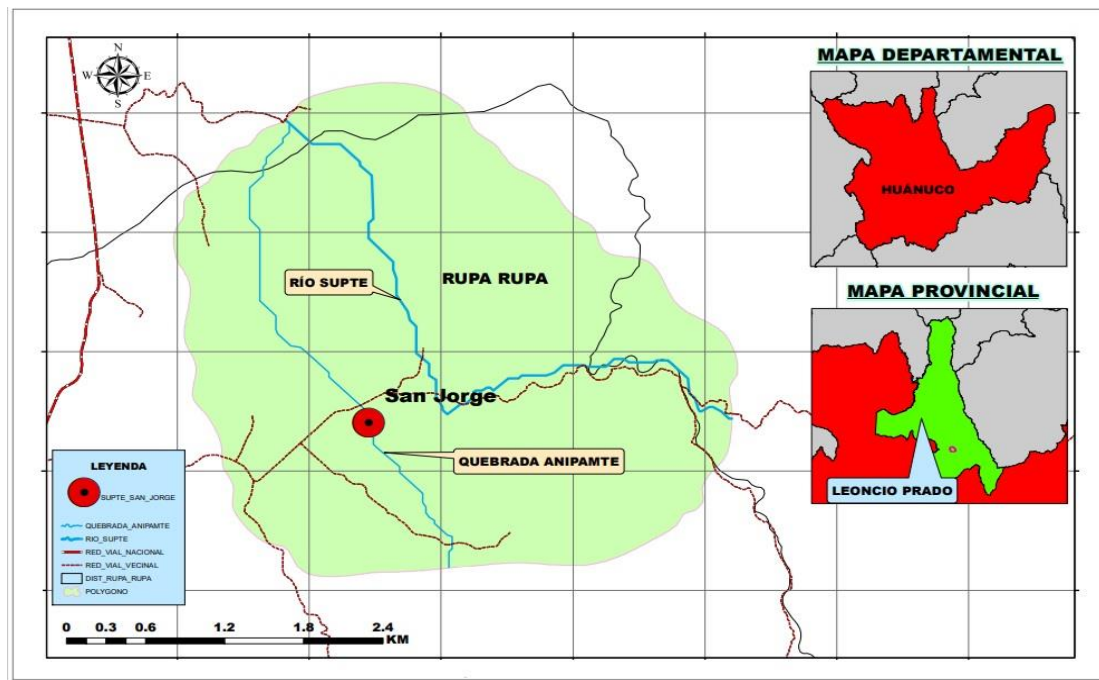


Figura 1. Mapa de ubicación de la microcuenca Supte

3.1.1. Clima

Por su ubicación geográfica, el clima es propicio para la actividad agrícola durante todo el año con una precipitación anual de 2.350 mm, siendo la mayor precipitación de enero a marzo y la menor de junio a agosto. La temperatura media anual es de 28°C con un ligero descenso en junio, julio y agosto (SEMAMHI, 2021).

3.1.2. Características ecológicas

El carácter ecológico se manifiesta por una vegetación arbórea adaptada a las condiciones climáticas, caracterizada por la presencia de una amplia variedad de vegetación natural y cultivos panificables. De acuerdo con la clasificación mundial de zonas de vida o morfologías vegetales y el mapa bioclimático de Holdridge (1987), corresponde a la zona de vida de transición: bosque muy húmedo tropical Piamonte (bmh-PT) y corresponde a Rupa Rupa o selva alta.

3.1.3. Fisiografía

Las características geomórficas del área de estudio son: terrazas bajas sumergidas y no sumergidas, interterrazas planas y onduladas, terrazas altas y onduladas, montañas bajas de distribución ligera a moderada, montañas altas de distribución ligera a moderada, montañas bajas y montañas altas. (GOREHCO, 2016).

3.1.4. Suelos

Los suelos de la microcuenca Supte, por su material de origen, en forma general pueden ser agrupados en tres grupos:

- **Suelos de origen aluvial reciente**

Incluyen todas las tierras cercanas al río Supte y reciben sedimentación permanente. Por lo general, trabajan en la agricultura y cultivan cultivos ecológicamente adaptados.

- **Suelos de origen aluvial antiguo**

Contemplan todos los suelos derivados de antiguos depósitos fluviales que han alcanzado una altura de 15 a 40 o 50 metros por perturbación o movimiento de cauces, por lo que se consideran terrazas meso altas. Región de estudios.

- **Suelos residuales**

Incluye todos los suelos de origen in situ a partir de sedimentos del Terciario y Cuaternario y materiales heterogéneos (lutitas, limolitas, areniscas, gravas) y colinas y montañas como resultado de diversos fenómenos orogénicos y epigenéticos. Sistemas montañosos (Laurente, 2011).

3.1.5. Hidrografía

Los principales afluentes del Supte son: la cuenca del río Barranco y Cañón Daniel por la margen izquierda, y el río Negro por la margen derecha (Laurente, 2011).

3.1.6. Acceso

La vía de acceso hacia la microcuenca Supte es terrestre por una carretera asfaltada de Tingo María a Aucayacu. Desde la ciudad de Tingo María por vía terrestre el recorrido de 12 km y el tiempo es de aproximadamente 20 minutos, en automóvil. Ya que la carretera cruza la mencionada cuenca a la altura del caserío de Santa Rosa de Shapajilla.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales

Los materiales utilizados en la investigación fueron: libreta campo, botas, machete, imágenes satelitales de los satélites Sentinel 2A para el año 2020, y Landsat 8 OLI para el año 2015 y para los 2010, 2005 y 2000 se utilizaron landsat 7 y 5 de acuerdo con la

disponibilidad. Los softwares utilizados fueron: QGIS 3.x (código libre), BaseCam 4.2.5, Excel y Dinámica EGO 4.0.

3.2.2. Equipos

Los equipos utilizados fueron: GPS Garmin Map 62SC, cámara fotográfica, Laptop Intel Core i5 y vehículo motorizado lineal.

3.3. Criterio de investigación

3.3.1. Nivel de investigación

El nivel de la investigación es predictivo, ya que se busca proyectar y predecir los cambios futuros en la cobertura vegetal y uso del suelo en el área de estudio.

3.3.2. Tipo de investigación

Aplicada, porque se está aplicando herramientas y métodos existentes en el campo geoespacial para abordar un problema concreto y obtener resultados útiles para comprender y gestionar el uso de la tierra en el área de estudio.

3.3.3. Variable de investigación

Variable y: Cobertura y uso de la tierra

Variables x: Geoespacio al año 2030 en los cambios de cobertura y uso de la tierra en la microcuenca Supte, distrito de Rupa Rupa – Huánuco, 2022.

3.3.4. Operacionalización de las variables

La tabla 2 muestra las variables de investigación con sus dimensiones, indicadores e instrumentos, considerando el tipo de investigación descriptiva, donde la cobertura y el uso del suelo son variables independientes (Y) y dependientes (X).

Tabla 2. Variables, dimensiones, indicadores e instrumentos que intervienen en el estudio.

Variable	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidades
X:	Geoespacio al año 2030 en los cambios de cobertura y uso de la tierra en la microcuenca Supte, distrito de Rupa Rupa – Huánuco, 2022.	Espacial	Clases de cobertura	ha, %
		Temporal	Tasa de cambio	ha/año
Y:	Cobertura y uso de la tierra	Espacial	Simulación geoespacial	ha, %

3.3.5. Diseño de investigación

El diseño de investigación fue no experimental por que se basó en la observación y análisis de fenómenos tal como ocurren naturalmente, sin manipulación deliberada de variables ni establecimiento de un grupo de control. (Hernández et al. 2003). De tipo Longitudinal, debido al enfoque temporal y la recopilación de datos en diferentes momentos a lo largo del tiempo para analizar cambios y tendencias en el uso de la tierra.

3.3.6. Población y muestra

Población:

Para esta investigación la población fue tomada toda el área de la cobertura y uso del suelo de la microcuenca Supte.

Muestra:

La muestra identificada fueron los puntos de verificación de las seis mayores coberturas de uso de suelo identificadas dentro de la superficie de la cuenca.

3.3.7. Análisis estadístico

Los análisis estadísticos utilizado fue inferencial utilizando el índice de Kappa (k), con el objetivo de comprender y describir las características espaciales y los patrones de cambio en el tiempo de la cobertura y uso de la tierra en una cuenca.

Para conocer el resultado de este análisis se utilizaron los softwares: QGis 10.2., ArcGis 10.5, estos programas nos permitieron realizar un análisis y gráficos estadísticos sin tener que conocer la mecánica de los cálculos ni la sintaxis de los comandos del sistema, asimismo nos permitió organizar y analizar datos, así como ordenar datos, calcular nuevos datos y realizar una gran variedad de análisis estadísticos.

3.3.8. Método de recolección de datos

Se pudo calcular medidas de cambio, como la tasa de cambio de la cobertura y uso de la tierra a lo largo del tiempo. También se pueden identificar tendencias y patrones temporales mediante el análisis de series de tiempo y gráficos, como el análisis de variabilidad espacial.

3.4. Metodología

3.4.1. Estimación de los cambios de cobertura y uso de la tierra para los años 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020 en la microcuenca Supte

Para la selección de los años de estudio se utilizó el método del MINAM (2016), que describe los procedimientos técnicos y metodológicos del ‘‘Estudio Especializado de Cobertura del Suelo y Análisis de Cambio de Uso’’. Este análisis comparativo incluye información y uso del suelo 0 (2000), 1 (2005), 2 (2010), 3 (2015) y 4 (2020). Para el análisis

cronológico se determina que: el año 0 es el punto de partida o línea de partida del análisis del proceso de cambio; El año 1 es una meta intermedia correspondiente al año 5. Corresponde al período de veinte (10) años a partir del año 0. Para una mejor comprensión, se divide en las siguientes partes:

- **Recolección de información**

Toda la información cartográfica del Instituto Geográfico Nacional - IGN, ZEE - Huánuco, Geoportal del MINAM y otros, como redes viales, redes hidrológicas, centros de población, bosques productivos permanentes, concesiones forestales, etc., todo en formato shapefile, recopilada.

Además, las imágenes satelitales Landsat 8, 7 y 5 y Sentinel 2A para 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 y Sentinel 2A se descargaron del sitio web “<http://glovis.usgs.gov/>” que seleccionaron. Los principales criterios son: coincidencia de meses (junio y julio) en todas las imágenes y bajo porcentaje de nubosidad (hasta un 10%). Todos estos procedimientos se realizaron de acuerdo con el protocolo del Ministerio de Medio Ambiente sobre ortorrectificación de imágenes Landsat.

- **Pre-procesamiento y ortorrectificación de imágenes satelitales**

El preprocesamiento y la ortorrectificación de las imágenes satelitales se realizaron en el software Qgis. Se usó el complemento de clasificación semiautomática, se cargó una imagen de satélite, se recortó la imagen del área de estudio (el polígono en la microcuenca de sopa), y luego se realizó una corrección atmosférica sobre ellos para obtener la reflectancia de la imagen de cada banda.

- **Clasificación preliminar**

La clasificación de las imágenes satelitales se basó primero en la primera clasificación, la cual determinó la cobertura para el último año (2020) y los últimos años 2015, 2010, 2005 y 2000, respectivamente (Más et al. 2004). Se realizó un análisis inicial de las imágenes satelitales del año actual (2020) con las imágenes corregidas, seguido de una clasificación no supervisada, pruebas con diferentes números de clases hasta que se encontró la clase más adecuada y se preparó la leyenda en consecuencia. La cobertura y uso de suelo inicial se realizó según el método de cobertura terrestre de Corine, lo que nos permitió sumar información desde el nivel local hasta el nivel regional y nacional según (MIMAN, 2013).

- **Toma de puntos y datos en campo**

Previo a este proceso se requieren puntos de verificación para lo cual se realizó un estudio de puntos de recolección en diferentes zonas de la microcuenca Supte

mediante verificación en campo mediante GPS (Garmin Map 62s). (Córdova y Sánchez, 2020) y (IIAP, 2015), es decir, requieren control de sujetos.

- Clasificación de la cobertura y uso de la tierra

Para la clasificación de la cobertura y uso del suelo, se utilizó un sistema de posicionamiento digital (GPS) para recolectar puntos de muestreo en el campo para definir el área de entrenamiento. La información recolectada en el sitio es sistematizada y precargada en una base de datos para facilitar su uso en el proceso de clasificación de interpretación y seguimiento. En este proceso, utilizando el software Qgis y un "complemento" de clasificación semiautomática, se cargan las imágenes satelitales de 2020 y las coordenadas tomadas en el campo, y luego la leyenda predefinida se superpone para crear un "área de entrenamiento" (Perú Corine Land Cover) , a partir de lo cual se realizó una clasificación y análisis supervisado de características espectrales, y luego se asignó un nombre claro a la cobertura y uso según el método Corine Land Cover (Cuadro 3). Luego se utilizó el software ArcGis para desarrollar los mapas de cobertura y uso del suelo de 2010, 2015 y 2020 y como insumo para el modelado en el software Dinámica EGO.

Tabla 3. Leyenda Corine Land Cover para la microcuenca Supte.

Código CLC	Cobertura y uso de la tierra (Corine Land Cover)		
	Nivel I	Nivel II	Nivel III
1.1.	Áreas artificializadas	Zonas urbanizadas	
2.3.		Pastos	
2.4.1.	Áreas agrícolas	Áreas agrícolas heterogéneas	
3.1.		Bosques	
3.3.3.	Bosques y áreas mayormente naturales	Áreas con vegetación herbácea y /o arbustiva	Vegetación secundaria o en transición
3.4.		Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	
5	Superficies de aguas		

Fuente: Chuvieco (2002).

- Exactitud temática del mapa

La validación de los mapas de cobertura se realizó de acuerdo con el protocolo para evaluar la precisión temática de los mapas de deforestación (MINAM, 2014), para lo cual se realizaron los siguientes pasos:

- **Validación con imágenes de alta resolución**

Previamente a este proceso se requirió de puntos de validación, para lo cual en el presente trabajo se realizó a través de la recolección de puntos de las diferentes zonas de la microcuenca Supte, a través de la verificación in situ mediante del uso de GPS (Garmin Map 62s). En esta etapa se utilizaron una imagen satelital de alta resolución; se tomaron como referencia el servidor Google Earth, que consistió en contrastar los resultados encontrados en el mapa de cambio de uso de la tierra del 2020 versus la imagen satelital de alta resolución espacial, para lo cual se crearon una capa de puntos de verificación.

- **Método de muestreo**

El método de muestreo utilizado es estratificado no emparejado, ya que es uno de los métodos más utilizados en el trabajo de validación. Agrupa puntos seleccionados en el mapa en categorías principales, cada una proporcional al área que se encuentra en el mapa. Posteriormente se realizó la superposición de la capa de puntos de muestreo con la imagen satelital, así como el contraste de la coincidencia de las clases, y los datos quedaran registrados en la tabla de atributos de dicha capa.

- **Análisis de los datos**

Los datos se analizaron en una matriz de incertidumbre que determinó la precisión global del mapa, la precisión del usuario y la precisión del productor. En esta matriz, las filas representan clases de tarjetas y las columnas representan clases de imágenes. La diagonal de la matriz representa el número de confirmaciones que coinciden entre mapas e imágenes, mientras que los bordes representan la precisión de productores y usuarios.

- **Exactitud del mapa**

Con base en el análisis de la información de estos puntos, se crean indicadores y herramientas de evaluación (como la matriz de confusión) para calificar los productos.

- **Creación de matrices de confusión**

Se utiliza un algoritmo de clasificación para crear la matriz. Desde el punto de vista de la precisión, a partir de las matrices de mezcla se calculan otras métricas de interés, como, por ejemplo:

- **Índice Kappa (k)**

Utilizando el estadístico Kappa, es posible evaluar la concordancia entre clasificaciones discriminantes, donde las clases de interés son significativamente más precisas que las obtenidas por asignación aleatoria.

Tabla 4. Valores de clasificación del Índice de Kappa.

Kappa	Grado de concordancia
< 0,2	Mala
0,21 – 0,40	Ligera
0,41 – 0,60	Moderada
0,61 – 0,80	Buena
0,81 – 1,00	Excelente

Fuente: Chávez (2007).

Para determinar la precisión del mapa se utilizó el índice Kappa, basado en la fórmula establecida por el MINAM (2014), que diferencia entre la precisión que logra la clasificación y la precisión que logran las imágenes de alta resolución para una correcta clasificación.

Ecuación 13. Índice de Kappa

$$K = \frac{Po - Pe}{1 - Pe} \dots\dots\dots(13)$$

Dónde:

Po: Representa el número de aciertos entre n

Pe: Se calcula desde la matriz de confusión

- Validación en campo

Las áreas para la verificación en campo se definieron tomando en cuenta la accesibilidad para disminuir costo, por lo que se tomaron en cuenta la red vial existente y con la ayuda del GPS se tomaron puntos de control, de esa manera para corregir las zonas, se procedieron a realizar pruebas con los clasificadores supervisados, eligiendo el que realiza la mejor discriminación de clases. De la cual se obtuvo el siguiente resultado. (Tabla 34)

- Exactitud global 84,8 %
- Índice de Kappa 0,80 (Grado de concordancia = Buena)

3.4.2. Estimación de la tasa de cambio de cobertura y uso de la tierra para los años 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020 en la microcuenca Supte

En este proceso se calcularon las tasas de cambios que existió entre periodos en estudio, según la ecuación 1 establecida por (FAO, 2002).

$$tc = \left\{ \left[\frac{S2}{S1} \right]^{1/n} - 1 \right\} \times 100$$

Donde:

tc = tasa de cambio (en %)

S1 = superficie en la fecha inicial

S2 = superficie en la fecha final

n = diferencia de años entre fecha inicial y final

3.4.3. Predicción de los cambios de cobertura y de uso de la tierra al año 2030 en escenarios tendencial y de conservación en la microcuenca Supte

Se utilizó el software Dinámica EGO 4.0, basado en el método de cadenas de Markov de primer orden, para la predicción de los cambios de cobertura del suelo y el uso de las microcuencas Suptes (Britaldo, 2009).

Se tuvieron en cuentas las siguientes variables:

- Áreas de conservación
- Distancia a áreas ya deforestadas
- Distancia a carreteras
- Distancia a centros poblados
- Distancia a ríos
- Altitud
- Pendientes
- **Cálculo de la matriz de transición**

Durante este proceso se cargaron los mapas de cobertura y uso del suelo del primer y último año, y para este estudio se generaron cuatro matrices de transición de primer orden para los siguientes periodos de 2000 a 2005; 2005 a 2010; 2010 - 2015 y 2015 - 2020, solo el último se considera para el pronóstico futuro, ya que el objetivo es pronosticar para los próximos 10 años en función de los cambios que ocurrieron hace 20 años.

- **Categorización de variables continuas y pesos de evidencias**

Debido a que el método de peso de la evidencia solo es aplicable a variables categóricas, es necesario clasificar estas variables continuas (datos cuantitativos como distancia, altura, mapas de pendiente) (Britaldo, 2009).

EGO Dynamics (Goodacre et al. 1993; Bonham-Carter, 1994) utiliza técnicas geoestadísticas de peso de la evidencia para crear mapas de probabilidad de transición que muestran las áreas con mayor probabilidad de cambio (Soares-Filho et al. 1994). El peso de la evidencia representa el efecto de cada variable sobre la probabilidad espacial de transición (Britaldo, 2009).

- Simulación del cambio de cobertura y uso de la tierra

Usando la matriz de transición CCUT de 2000 a 2020 y las variables ordenadas según su peso de evidencia, se calibró el modelo a simular del mapa CUT para 2020. Esta comparación nos ayudó a ajustar las variables y el peso de la evidencia. Una vez que se completó el modelo, se calibró para simular la cobertura terrestre y los mapas de uso en 2030. Este estudio propone modelar la TSA 2030 bajo dos escenarios ("Tendencia" y "Conservación") utilizando el mapa TSA 2020 como primer año basado en el método propuesto (Mas y Sandoval, 2011). En ambos casos, el tipo y características se detallan:

1) Escenario tendencial (ET)

El escenario asume que los cambios en la cobertura del suelo, el uso del suelo y la distribución geográfica siguen las mismas tendencias que en el período 2000-2020, que continuará sin acciones y políticas para evitar la deforestación y un buen manejo agrícola.

2) Escenario de conservación (EC)

Este escenario considera la implementación de políticas de conservación, restauración y reducción de la deforestación, que, a diferencia de los escenarios anteriores, se considera como insumo al modelo. Finalmente, el modelo se ejecutó en el software Dinámica EGO 4.0, como se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 2.

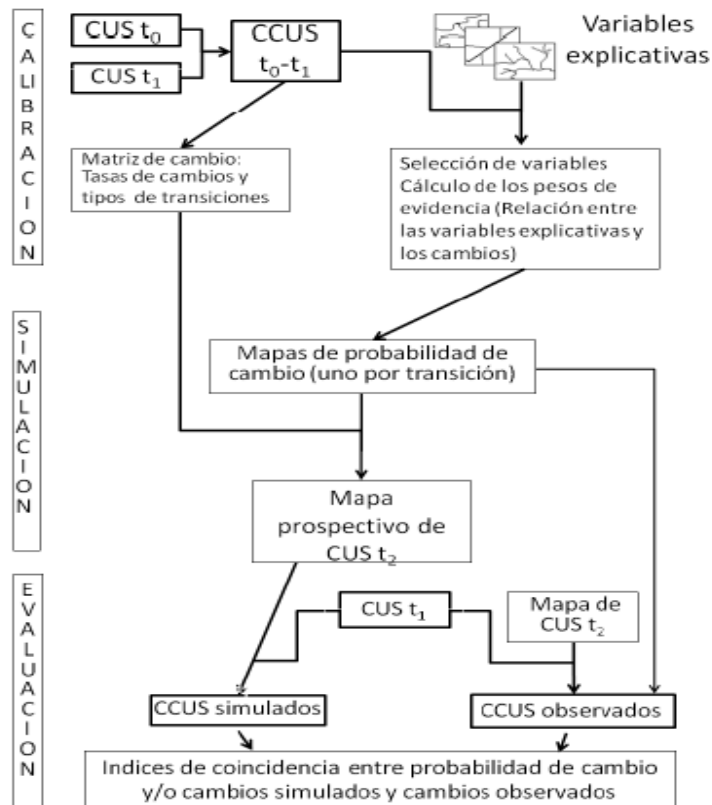


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de modelamiento para la microcuenca Supte.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Estimación de los cambios de cobertura y uso de la tierra para los años 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020 en la microcuenca Supte

Cambio de cobertura y uso de la tierra año 2000 al 2020

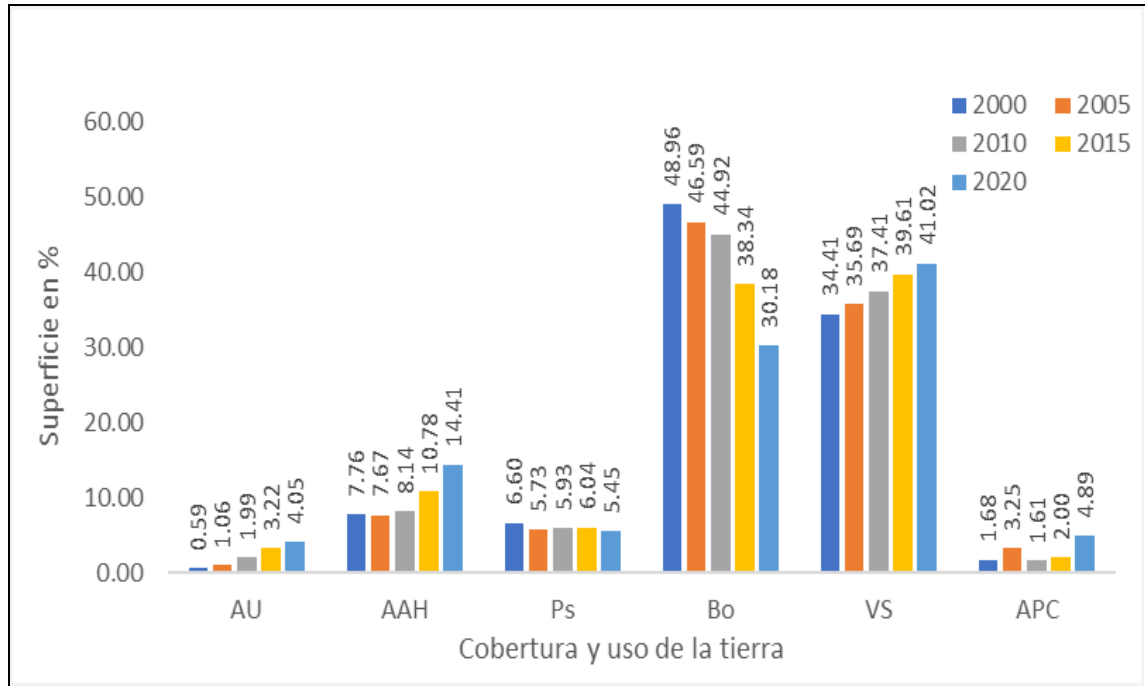
En la Tabla 5, muestra la superficie en hectáreas de los cambios de cobertura y uso de la tierra identificadas en la microcuenca Supte para los años del 2000 al 2020, observando los tipos de coberturas con sus respectivos hectáreas, donde las coberturas de pasto y bosque tuvo un disminución de (5, 45% y 30,18%), mientras que las áreas urbanizadas, áreas agrícolas heterogéneas, vegetación secundaria y áreas sin o con poca vegetación presentan una ganancia de hectáreas de terrenos con (4,05%, 14,41%, 41,02% y 4,89%) al año 2020, para (Ojima et al. 1994). Los autores coinciden en que, para comprender y predecir la dinámica de la composición del paisaje, es fundamental describir la cobertura del suelo de la región, el uso del suelo y sus cambios temporales y espaciales relacionados con la actividad humana.

(Bocco y Mendoza, 2001) indicaron que el estudio de los procesos de cambio de cobertura y uso del suelo es un tema atractivo en la investigación ambiental actual. Rosete (2008) mencionó que los cambios en la cobertura y uso del suelo pueden afectar el hábitat, la biodiversidad, los servicios ambientales y la pérdida de productividad de los ecosistemas. Los autores señalan que se producen cambios en los ecosistemas terrestres debido al mantenimiento del uso de la tierra o la intensificación del uso de la tierra y la subsiguiente degradación de la tierra., como se observa en la Tabla 5 que el uso del terreno de la cuenca se dio especialmente por la expansión de tierras agrícolas y vegetación secundaria producto de la actividad de la población asentada en la cuenca.

Según Pérez et al., (2008), la deforestación y la presión humana sobre las tierras de cultivo, así como la mecanización excesiva, se encuentran entre las principales causas de la transición del uso de la tierra y el cambio de la cobertura terrestre.

Tabla 5. Análisis de cobertura y uso de la tierra periodo 2000 al 2020

Símbolo	Cobertura - CLC	Año 2000		Año 2005		Año 2010		Año 2015		Año 2020	
		Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
AU	Áreas urbanizadas	47,12	0,59	84,58	1,06	158,28	1,99	256,21	3,22	321,82	4,05
AAH	Áreas agrícolas heterogéneas	616,30	7,76	609,79	7,67	646,72	8,14	856,75	10,78	1 145,05	14,41
Ps	Pastos	524,57	6,60	455,38	5,73	470,84	5,93	479,63	6,04	432,72	5,45
Bo	Bosque	3 889,97	48,96	3 701,76	46,59	3 569,04	44,92	3 046,36	38,34	2 397,71	30,18
VS	Vegetación secundaria	2 733,87	34,41	2 835,83	35,69	2 972,33	37,41	3 147,23	39,61	3 259,36	41,02
APC	Áreas sin o con poca vegetación	133,34	1,68	257,85	3,25	127,97	1,61	158,99	2,00	388,51	4,89
Superficie total		7 945,18	100,00	7 945,18	100,00	7 945,18	100,00	7 945,18	100,00	7 945,18	100,00



Donde: AU= áreas urbanizadas, AAH = área agrícola heterogénea, Ps = Pasto, Bo: Bosque, VS = Vegetación Secundaria, APC = área sin o con poca vegetación

Figura 3. Comportamiento del cambio de cobertura y uso de la tierra año 2000 al 2020

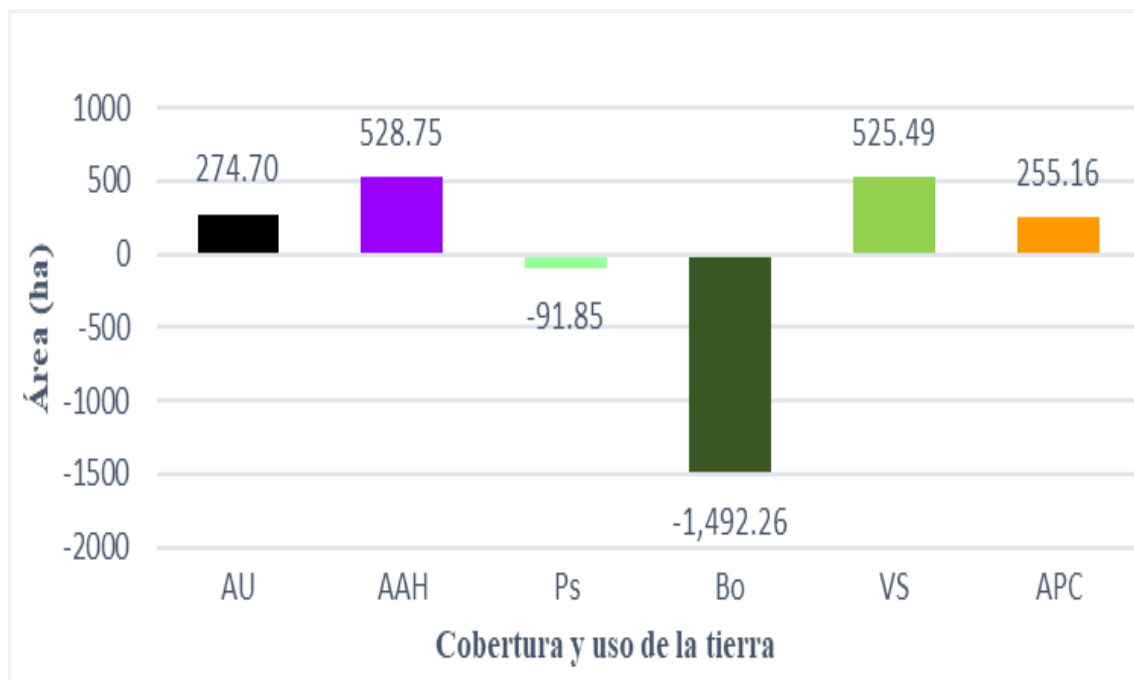
Según un estudio multiperiodo de uso de suelo y cobertura forestal en un municipio de Puerto Rico, analizó los cambios en la cobertura por 23 años. En 2020, se espera que los cambios en las cifras de cobertura mapeadas por el municipio en las tres grandes áreas administrativas resultarán en adiciones de cobertura, cambios en la cobertura parcial en cada área (Guerrero et al. 2015). En la tabla 6 se observan 2 coberturas que disminuyeron sus áreas, (-1 492,26 ha en bosque y pastos con -91,85 ha), mientras que 4 de las coberturas ganaron áreas en ese periodo (áreas agrícolas heterogéneas con 528,75 ha, vegetación secundaria con 525,49 ha, áreas urbanizadas con 274,70 ha y áreas con poca vegetación con 255,16 ha).

El Instituto de la Amazonía Peruana (2017) realizó una evaluación de la dinámica del cambio de uso y cobertura del suelo en la región de Ucayali, con el objetivo de analizar la dinámica del cambio de uso y cobertura del suelo en la región entre 2010 y 2016 para simular el impacto climático de estos procesos espaciales en 2022, puede predecirse utilizando la construcción histórica de estos procesos y las proyecciones del futuro cambio de uso y cobertura del suelo (CCUT). Como resultado, las categorías dominantes en 2016 fueron bosque denso y bajo, con 117 382 y 142 956 ha, respectivamente, y área agrícola heterogénea y bananera, con 65 760 y 26 674 ha; en áreas agrícolas heterogéneas densas y de bosques denso, se estima que aproximadamente 16.643,88 ha que se convertirán en tierras agrícolas para el año 2022.

Tabla 6. Cambio de cobertura en el periodo 2000 – 2020

Símbolo	Cobertura - CLC	Área (ha)		Cambios (ha)
		Año 2000	Año 2020	
AU	Áreas urbanizadas	47,12	321,82	274,70
AAH	Áreas agrícolas heterogéneas	616,30	1,145,05	528,75
Ps	Pastos	524,57	432,72	-91,85
Bo	Bosque	3 889,97	2 397,71	-1 492,26
VS	Vegetación secundaria	2 733,87	3 259,36	525,49
APC	Áreas sin o con poca vegetación	133,34	388,51	255,16
Superficie total		7 945,18	7 945,18	-

La Figura 4, en la microcuenca Supte presenta cambios de cobertura y uso de la tierra entre los años 2000 al 2020, 2 disminuyeron sus áreas (bosque y pastos), 4 son las que aumentaron sus áreas (áreas agrícolas heterogéneas, vegetación secundaria, áreas urbanizadas y áreas sin o con poca vegetación). Pérez et al. (2008) con referencia a los cambios en la cobertura y el uso de la tierra, mencionan las diferentes dimensiones del cambio ambiental global. Su estudio requiere interdisciplinariedad ya que utiliza conceptos, información y métodos de diferentes campos del conocimiento, manejado por geógrafos, las figuras 5, 6, 7, 8 y 9 muestran la cobertura del suelo y mapas para 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020.



Donde: AU= áreas urbanizadas, AAH = área agrícola heterogénea, Ps = Pasto, Bo: Bosque, VS = Vegetación Secundaria, APC = área sin o con poca vegetación

Figura 4. Cambio de cobertura y uso de la tierra años 2000 al 2020

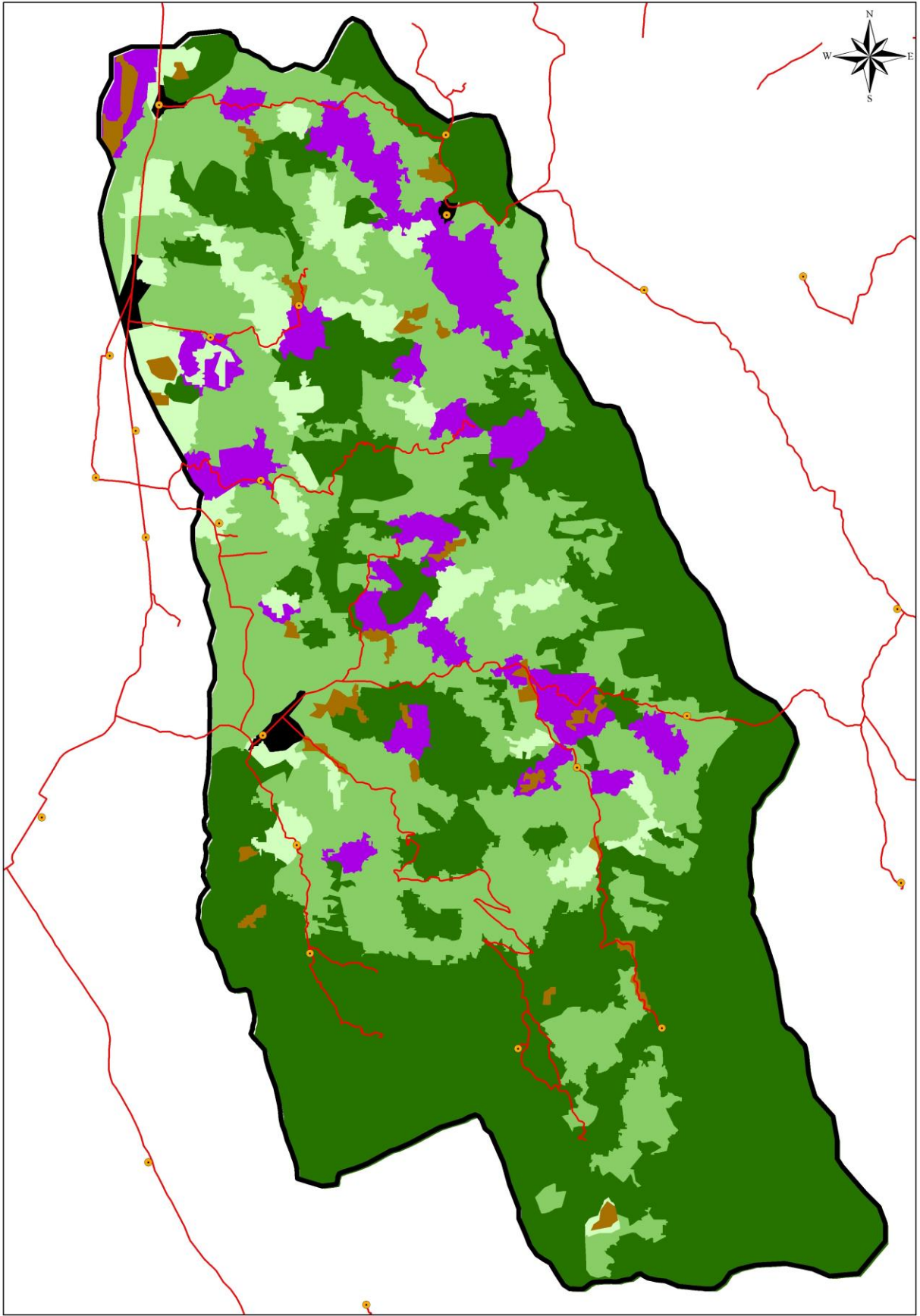


Figura 5. Mapa de cobertura y uso de la tierra del año 2000

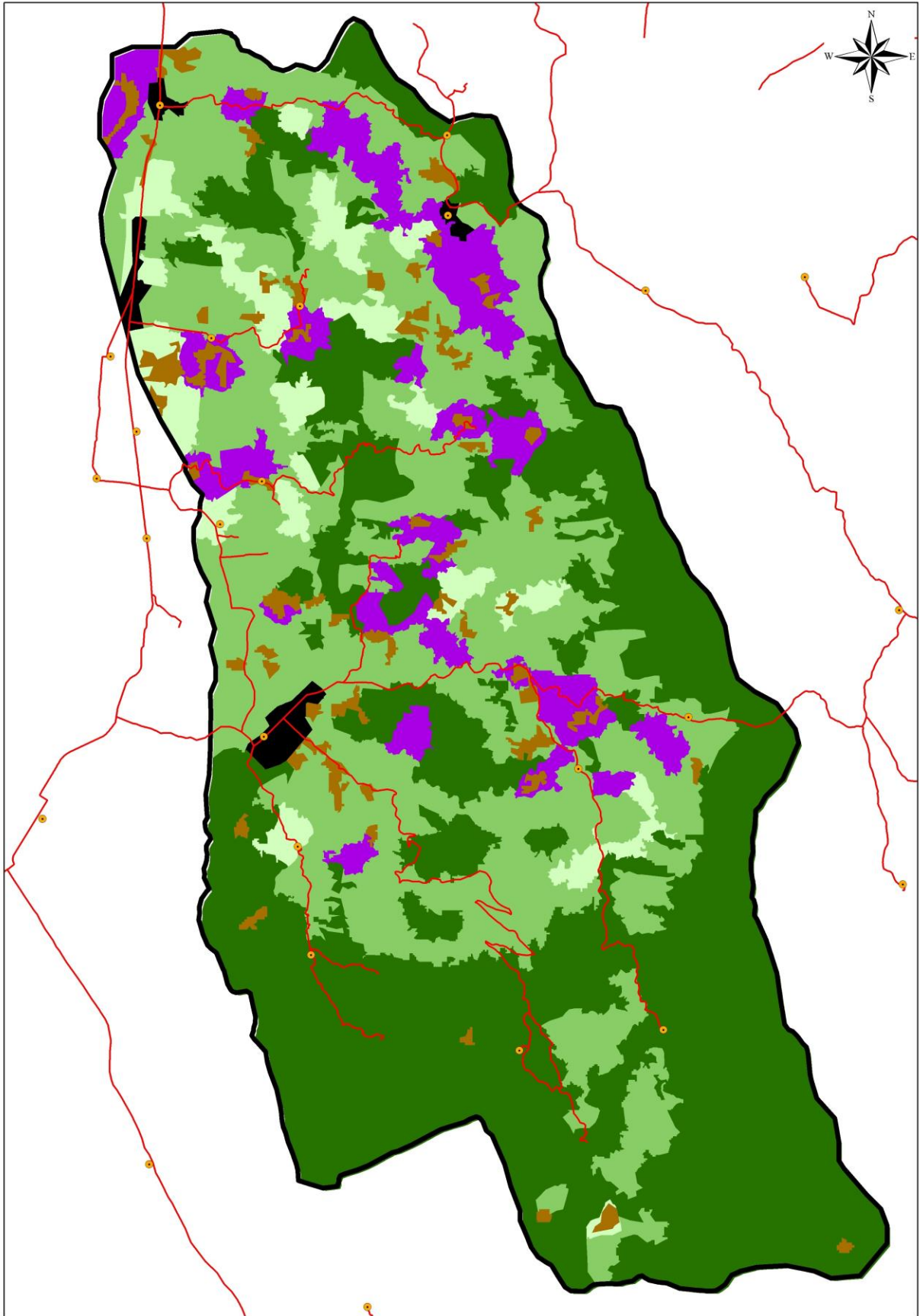


Figura 6. Mapa de cobertura y uso de la tierra del año 2005

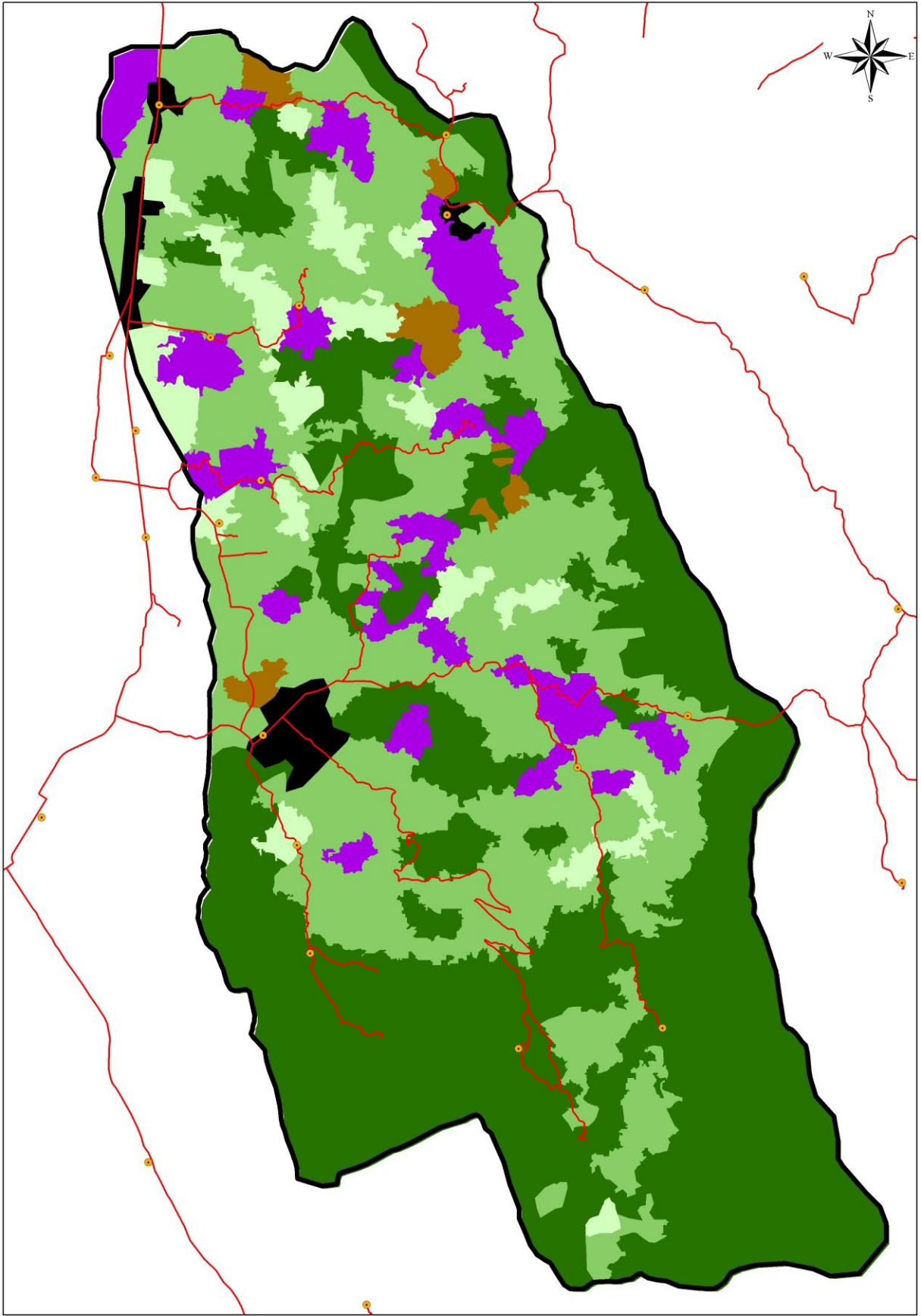


Figura 7. Mapa de cobertura y uso de la tierra del año 2010

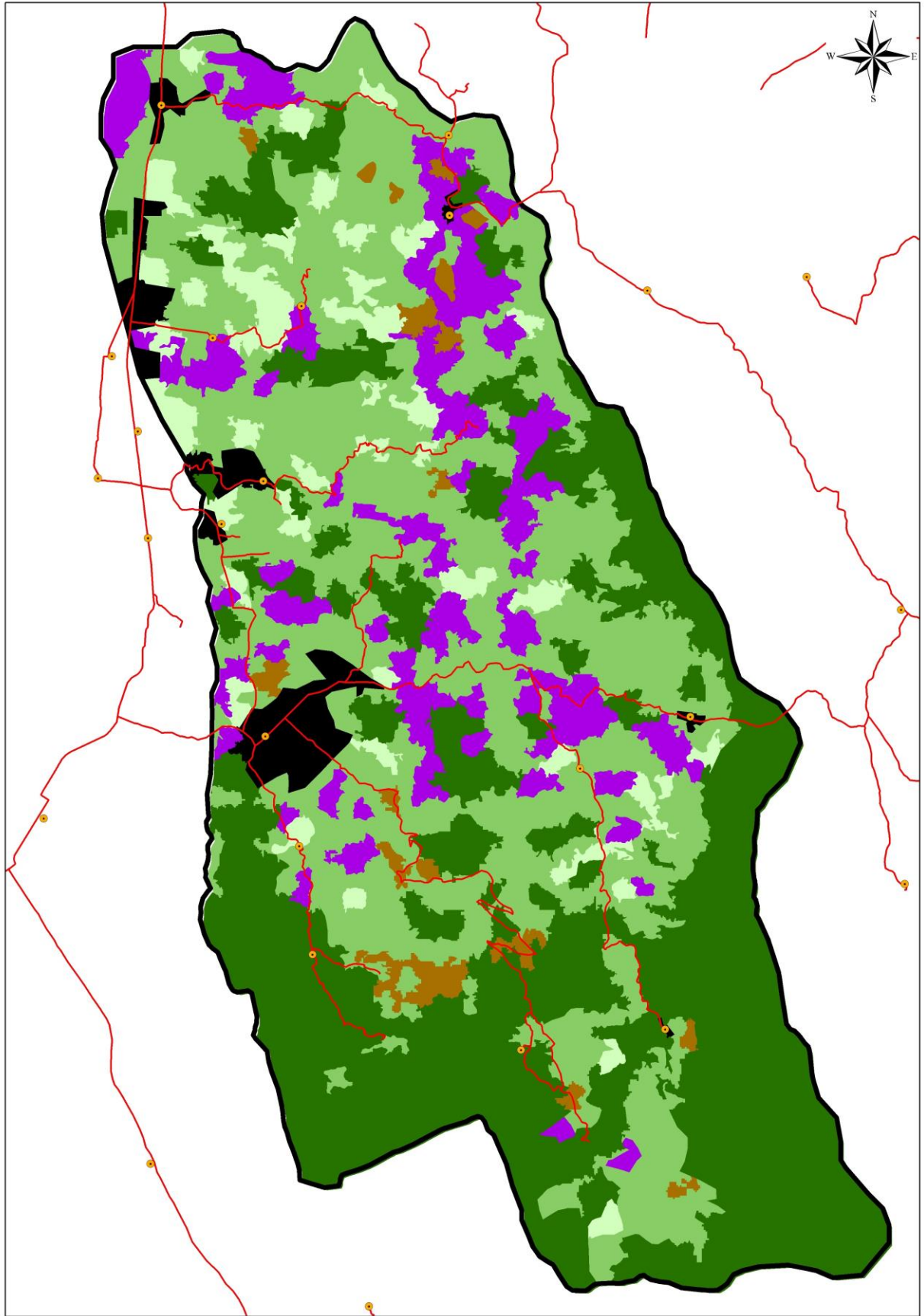


Figura 8. Mapa de cobertura y uso de la tierra del año 2015

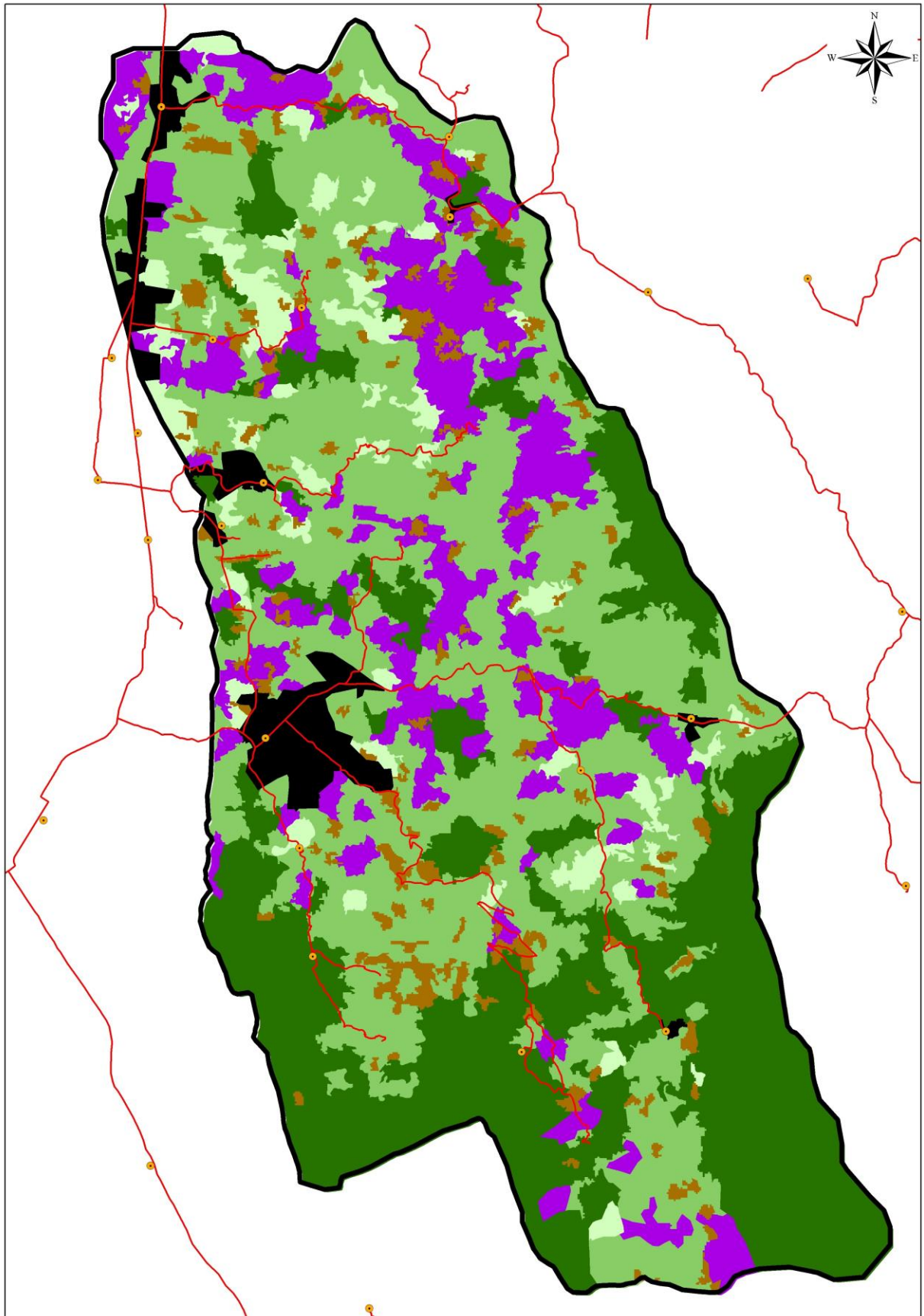


Figura 9. Mapa de cobertura y uso de la tierra del año 2020

4.2. Estimación de la tasa de cambio de cobertura y uso de la tierra para los años 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020 en la microcuenca Supte

Tasa de cambio de cobertura y uso de la tierra del año 2000 al 2020

Las tabla 7 y 8, nos muestran la tasa de cambio de cobertura y uso de la tierra en porcentaje, las pérdidas y ganancias en hectáreas por año (ha/año) para periodos de veinte 20 años del año 2000 al 2020, donde las tasas de cambios más resaltantes fueron las áreas sin o con poca vegetación, periodo 2000 – 2005 con 14,10%, equivalente a un aumento 24,90 ha/año, periodo 2005 – 2010 disminuye a -13,07% equivalente a -25,98 ha/año, periodo 2010 – 2015 presenta 4,44% equivalente a un aumento de 6,20 ha/año, periodo 2015 – 2020 aumenta con 19,57% equivalente a un aumento de 45,90 ha/año. FAO (2010) afirmó que la tasa de cambio es un indicador capaz de comprender la magnitud y velocidad del cambio de cobertura, y su evaluación es necesaria para comprender la dinámica y extensión de CCUT y su impacto al 2020.

Por otro lado la tasa de cambio del bosque en el periodo 2000 – 2005 es de -0,99% equivalente a una pérdida de -37,64 ha/año, en el periodo 2005 - 2010 disminuye el 0,73% equivalente a una pérdida de 26,54 ha/año, en el periodo 2010 - 2015 disminuye el -3,12% equivalente a una pérdida de -104,54 ha/año y en el periodo 2015 - 2020 disminuye el -4,68% equivalente a una pérdida de -129,73 ha/año, analizando las otras coberturas se observa que las tasas están a favor de la deforestación y el aumento de las activadas que interviene el hombre

FAO (2002) propone que la manera más adecuada de cuantificar dicho proceso es a través de un análisis de la dinámica de la cubierta vegetal vinculándola con el tiempo y espacio, en la investigación el espacio fue la superficie de la microcuenca Supte y el tiempo fue el análisis realizado para los periodos del año 2000 al 2020.

El IIAP en el 2017 desarrolló una evaluación de la dinámica del cambio de la cobertura y uso de la tierra en el distrito Padre Abad, región Ucayali, para analizar la dinámica de cambio de cobertura y uso de la tierra en el periodo 2010 – 2016 con una predicción para el 2022, los resultados para el año 2016 mencionan que los Bosques denso alto y bajo poseen 117,382 y 142,956 ha, áreas agrícolas heterogéneas y el cultivo de plátano con 65 760 y 26 674 ha; los principales cambios fueron de Bosque denso alto y bajo a áreas agrícolas heterogéneas, bosque denso alto a cultivo de plátano y pastos para ganadería. La predicción al año 2022 fue que 16 643,88 ha de Bosque pasaran a ser áreas agrícolas. En la investigación se coincide con los resultados puesto que las áreas con mayor crecimiento son las que tienen intervención directa del hombre.

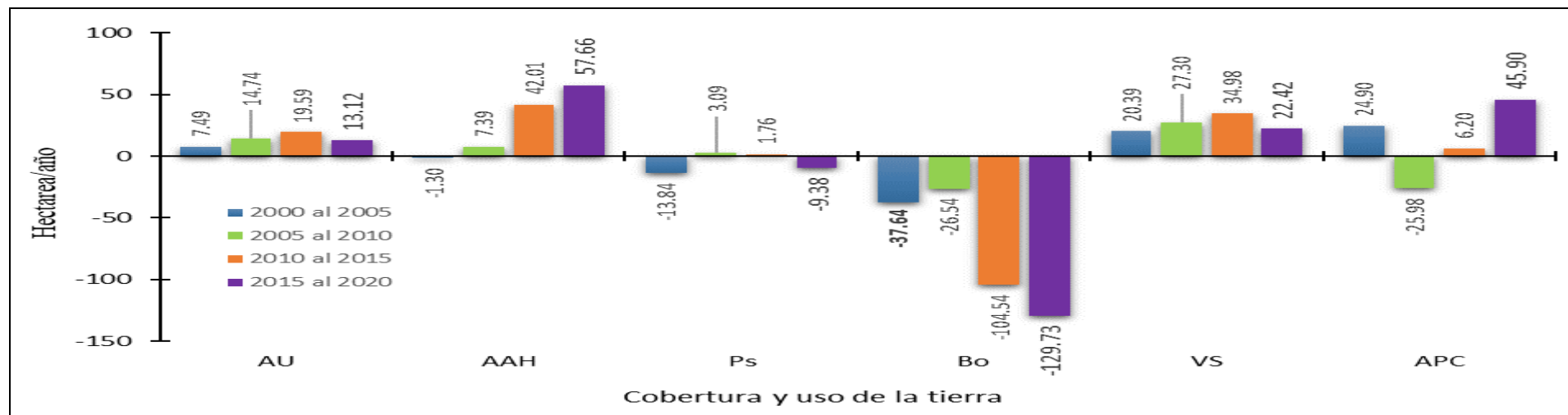
Tabla 7. Tasa de cambio de cobertura periodo 2000 – 2020

Símbolo	Descripción	Año 2000	Año 2005	Año 2010	Año 2015	Año 2020
		Área (ha)	Área (ha)	Área (ha)	Área (ha)	Área (ha)
AU	Áreas urbanizadas	47,12	84,58	158,28	256,21	321,82
AAH	Áreas agrícolas heterogéneas	616,30	609,79	646,72	856,75	1 145,05
Ps	Pastos	524,57	455,38	470,84	479,63	432,72
Bo	Bosque	3 889,97	3 701,76	3 569,04	3 046,36	2 397,71
VS	Vegetación secundaria	2 733,87	2 835,83	2 972,33	3 147,23	3 259,36
APC	Áreas sin o con poca vegetación	133,34	257,85	127,97	158,99	388,51
Superficie total		7 945,18	7 945,18	7 945,18	7 945,18	7 945,18

La Figura 10, muestra las coberturas con tasas de cambio más resaltantes fueron las áreas sin o con poca vegetación, periodo 2000 – 2005 presenta tasa de 14,10%, periodo 2005 – 2010 disminuye a -13,07%, en el periodo 2010 – 2015 la tasa es de 4,44%, en el periodo 2015 – 2020 la tasa es de 19,57%, por otro lado la tasa de cambio del bosque en el periodo 2000 – 2005 es de -0,99%, en el periodo 2005 - 2010 disminuye el 0,73%, en el periodo 2010 - 2015 disminuye el -3,12% y en el periodo 2015 - 2020 disminuye el -4,68%, analizando los otras coberturas se observa que las tasas están a favor de la deforestación y el aumento de las activadas que interviene el hombre.

Tabla 8. Tasa de cambio de cobertura periodo 2000 – 2005, 2005 – 2010, 2010 – 2015, 2015 – 2020, 2000 - 2020 microcuenca Supte

Símbolo	Cobertura - CLC	2000 al 2005		2005 al 2010		2010 al 2015		2015 al 2020		2000 al 2020	
		ha/año	% Anual	ha/año	% Anual	ha/año	% Anual	ha/año	% Anual	ha/año	% Anual
AU	Áreas urbanizadas	7.49	12.41	14.74	13.35	19.59	10.11	13.12	4.67	13.73	10.08
AAH	Áreas agrícolas heterogéneas	-1.30	-0.21	7.39	1.18	42.01	5.79	57.66	5.97	26.44	3.15
Ps	Pastos	-13.84	-2.79	3.09	0.67	1.76	0.37	-9.38	-2.04	-4.59	-0.96
Bo	Bosque	-37.64	-0.99	-26.54	-0.73	-104.54	-3.12	-129.73	-4.68	-74.61	-2.39
VS	Vegetación secundaria	20.39	0.73	27.30	0.94	34.98	1.15	22.42	0.70	26.27	0.88
APC	Áreas sin o con poca vegetación	24.90	14.10	-25.98	-13.07	6.20	4.44	45.90	19.57	12.76	5.49



Donde: AU= áreas urbanizadas, AAH = área agrícola heterogénea, Ps = Pasto, Bo: Bosque, VS = Vegetación Secundaria, APC = área sin o con poca vegetación

Figura 10. Tasa de cambio cobertura y uso de la tierra periodo 2000 – 2020

4.3. Predicción de los cambios de cobertura y de uso de la tierra al año 2030 en escenarios tendencial y de conservación en la microcuenca Supte

Según Martino (2011) uno de los factores en los cambios de cobertura en la selva se inicia con la apertura de carreteras que es un factor importante en el proceso de deforestación. En la investigación se muestra la matriz de transición (en hectáreas) de los cambios de cobertura y uso de la tierra del año 2000 con respecto al 2005 (05 años); donde observamos los cambios más resaltantes son la pérdida de bosque (Nº: 4) de 213,01 ha y vegetación secundaria (Nº: 5) con 92,75 ha, por otra parte, las coberturas que mayor superficie ganaron fueron vegetación secundaria (Nº: 5) con 194,69 ha y áreas sin o con poca vegetación (Nº: 6) con 166,37 ha, (Tabla 9).

Pérez et al., (2008), mencionan que el cambio de cobertura también se da por la expansión agropecuaria, debido a que el bosque además de aportar forraje y madera tiene efectos positivos sobre el medio ambiente. Sin embargo, gran parte de la tierra habilitada para ganadería y agricultura se hace en base al desmonte masivo e irracional. La matriz de transición de los cambios de cobertura y uso de la tierra del año 2005 con respecto al 2010 los más resaltantes son la pérdida de áreas sin o con poca vegetación (Nº: 6) con 232,55 ha, seguido de bosque (Nº: 4) de 175,30 ha y vegetación secundaria (Nº: 5) con 162,44 ha, por otra parte, las coberturas que mayor superficie ganaron fueron vegetación secundaria (Nº: 5) con 297,90 ha y áreas sin o con poca vegetación (Nº: 6) con 103,31 ha. mientras que

Lillo (2006) afirmó que la minería es una actividad de corto plazo con efectos a largo plazo. Si la minería se hace en áreas forestales, es saqueo. La minería y la extracción de petróleo amenazan el 30 por ciento de los bosques primitivos del mundo; las encuestas no han detectado minería.

La matriz de transición (en hectáreas) de los cambios de cobertura y uso de la tierra del año 2010 con respecto al 2015, los más resaltantes son la pérdida de bosque (Nº: 4) de 713,84 ha, por otra parte, las coberturas que mayor superficie ganaron fueron vegetación secundaria (Nº: 5) con 796,19 ha, áreas agrícolas (Nº: 2) con 437,26 ha y otras coberturas en menor superficie.

Ibáñez (2019) indica que la población de los Andes creció con cada vez menos oportunidades de subsistencia en tierra, su única opción era migrar a la selva y apropiarse del bosque inicialmente ilegal y luego legal que se encuentra en la microcuenca Supte de La cima de la población sedentaria de Huánuco en la región y en otros lugares.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2010) ha definido la deforestación como la conversión de los bosques en otro uso de la tierra

(es decir, la deforestación completa) o la reducción a largo plazo de la cubierta de copas de los árboles por debajo de un umbral (al menos 10). La deforestación es la principal causa de pérdida de la protección del suelo, lo que inicia diversos procesos de erosión. A nivel regional, provoca pérdida de bosques, degradación física y química de suelos, cambios en el balance hídrico e inestabilidad de cuencas.

A escala global, esto cambia el equilibrio del agua atmosférica, lo que afecta los patrones y, por lo tanto, el calentamiento global. Otras consecuencias incluyen la reducción y/o fragmentación del hábitat, lo que lleva a la pérdida de biodiversidad y variabilidad genética, poblaciones e incluso especies.

La matriz de transición de cambios de cobertura y uso del suelo en 2015 respecto a 2020 (en hectáreas) mostrando los cambios más significativos: 705.57 hectáreas de pérdida de bosque (Nº: 4) y 468.74 hectáreas de vegetación secundaria (Nº: 5), áreas de pastos (número: 3), con una superficie de 104,70 hectáreas; el área con mayor incremento es de 580.86 hectáreas de vegetación secundaria, 263.53 hectáreas con o sin vegetación (Nº: 6) y 360.34 hectáreas de suelo agrícola (Cuadro 9).

Según un informe de SERFOR, en 2017 Perú había perdido un total de 7,7 millones de hectáreas de bosque natural, de las cuales el 60% se concentraba en las provincias de Ucayali, Madre de Dios, Huánuco y Loreto. Además, solo en el año 2017 se deforestaron 155,914 de bosques húmedos amazónicos.

La microcuenca del río Supte no es ajeno a esta problemática, según la matriz de transición (en hectáreas) de los cambios cobertura y uso de la tierra del año 2000 con respecto al 2020 (20 años); muestran los cambios más resaltantes fueron la pérdida bosque (Nº: 4) de 1 674,75 ha y vegetación secundaria (Nº: 5) con 1 049,95 ha, por otra parte, las coberturas que mayor superficie ganaron fueron vegetación secundaria (Nº: 5) con 1 575,46 ha y áreas agrícolas (Nº: 2) con 816,70 ha.

Según Coronado (2014) nos menciona que esta matriz prueba la precisión general e individual de las categorías clasificadas de uso del suelo y cobertura del suelo frente a áreas de interés seleccionadas por expertos.

Esta matriz brinda información relacionada con la precisión de productores (porcentaje de aciertos en una clasificación) y usuarios (correspondiente al porcentaje de casos que entran en esa categoría según la clasificación).

Tabla 9. Matriz de transición de cambio de cobertura periodo 2000 – 2020

Cobertura y uso de la tierra - año 2020									
Cobertura y uso de la tierra - año 2000	Símbolo	AU	AAH	Ps	Bo	VS	APC	Área (ha) Año 2000	Perdida (ha)
	AU	45,05	0,56			0,37	1,12	47,10	2,05
	AAH	28,72	328,35	13,46	39,57	177,40	28,77	616,27	287,92
	Ps	55,74	107,42	241,02	6,90	89,21	24,23	524,52	283,50
	Bo	19,92	200,29	40,95	2215,41	1.287,30	126,29	3890,16	1674,75
	VS	159,95	459,20	124,06	122,85	1683,84	183,89	2733,79	1049,95
	APC	12,43	49,23	13,22	13,05	21,18	24,23	133,34	109,11
Área (ha) año 2020	321,81	1.145,05	432,71	2.397,78	3.259,30	388,53	7 945,18		
Ganancia (ha)	276,76	816,70	191,69	182,37	1.575,46	364,30			

4.3.1. Simulación de cambio de cobertura al año 2030 en un escenario tendencial

Reyna et al., (2017), menciona que en materia de simulación, se realizan iteraciones que muestran el transcurso del tiempo según la variable, tal como se muestra en la investigación donde la simulación del cambio de cobertura y uso de la tierra al año 2030 en un escenario tendencial, para este cálculo se consideró que para el año 2030 seguiría la misma tendencia de los cambios histórico en el periodo de análisis del año 2000 al 2020; es decir donde se observa la reducción de áreas naturales específicamente del bosque y aumento de áreas que tienen que ver con las actividades humanas para su subsistencia, realizando la simulación se observa que para el año 2030 existiría una pérdida de -817.13 ha de bosque y aumento de áreas agrícolas en 440.03 ha, pastos en 218.79 ha, áreas urbanizadas, vegetación secundaria y áreas sin o con poca vegetación en menor cantidad con 86.06 ha, 43.08 ha y 29.18 ha respectivamente (Tabla 10).

Ibáñez (2019) en sus los objetivos fueron proyección del cambio de uso y cobertura de la tierra (CCUT) en la cuenca del río Tocache hasta 2026, para lo cual usamos los mapas CUT de 2006, 2011 y 2016 para calcular matrices de transición y ponderaciones de evidencia, luego seleccionamos CUT de transición para 2026 para el escenario tendencial

muestra una disminución de la superficie forestal en 3975,50 hectáreas y una expansión de las actividades agropecuarias.

Mas y Sandoval (2011) desarrollaron un modelo de simulación de cambio de cobertura terrestre/agrícola (CCUS) para una gran área deforestada en el sureste de México. El modelo se basa en dos escenarios:

1) Un escenario de tendencia basado en el supuesto de que las altas tasas de deforestación continuarán siguiendo el mismo patrón de distribución.

2) Un escenario alternativo en el que se supone depreciación del tipo de cambio y depreciación del tipo de cambio.

Se traslada el tratamiento de suelos en áreas secundarias. En la investigación se determinaron las tasas de cambio de cobertura y uso del suelo para el periodo de los años 2000 al 2030.

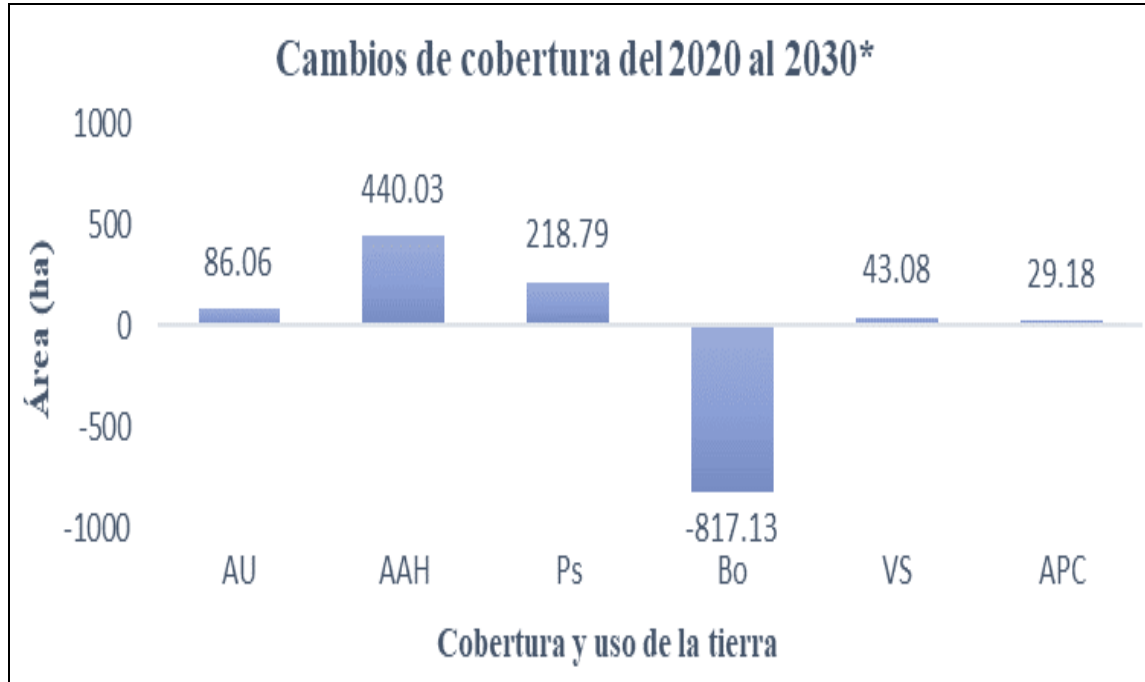
Tabla 10. Simulación del cambio de cobertura al año 2030 en Escenario Tendencial

Símbolo	Cobertura - CLC	Área (ha)		Cambios (ha)
		Año 2000	Año 2030*	
AU	Áreas urbanizadas	321.82	407.88	86.06
AAH	Áreas agrícolas heterogéneas	1,145.05	1,585.08	440.03
Ps	Pastos	432.72	651.51	218.79
Bo	Bosque	2,397.71	1,580.58	-817.13
VS	Vegetación secundaria	3,259.36	3,302.44	43.08
APC	Áreas sin o con poca vegetación	388.51	417.69	29.18
Superficie total		7,945.18	7,945.18	-

La Figura 11 y 12, muestra la variación en hectáreas de la cobertura y uso de la tierra entre el año 2020 y la simulación al año 2030 en escenario tendencial, donde las coberturas que están por debajo la línea 0, con valores negativos reducirían su área en dicho periodo, mientras las áreas que aumentarían presentan valores positivos; de las seis coberturas identificadas en la microcuenca Supte, cinco de ellas aumentarían sus superficies (áreas urbanizadas, áreas agrícolas, pasto, vegetación secundaria y áreas sin o con poca vegetación), y la cobertura de bosque reducirían su superficie.

En su estudio de simulación de Quispe (2021) utilizó el modelo de simulación geoespacial de autómatas celulares EGO Dynamics para determinar las tasas de deforestación en la región de Nueva Requena en Perú; cuando simuló la deforestación en la región de Nueva Requena (Perú) en 2030, se consideran las siguientes variables: distancia a los

asentamientos, distancia a los caminos, distancia al agua, concesiones forestales, porcentaje de pendiente y un modelo de elevación digital, se determinó que la deforestaron fue de 35.112,24 hectáreas entre 2020 y 2030, a una tasa anual de 3,08%.



Donde: AU= áreas urbanizadas, AAH = área agrícola heterogénea, Ps = Pasto, Bo: Bosque, VS = Vegetación Secundaria, APC = área sin o con poca vegetación

Figura 11. Cambio de cobertura periodo 2000 – 2030 en un escenario tendencial

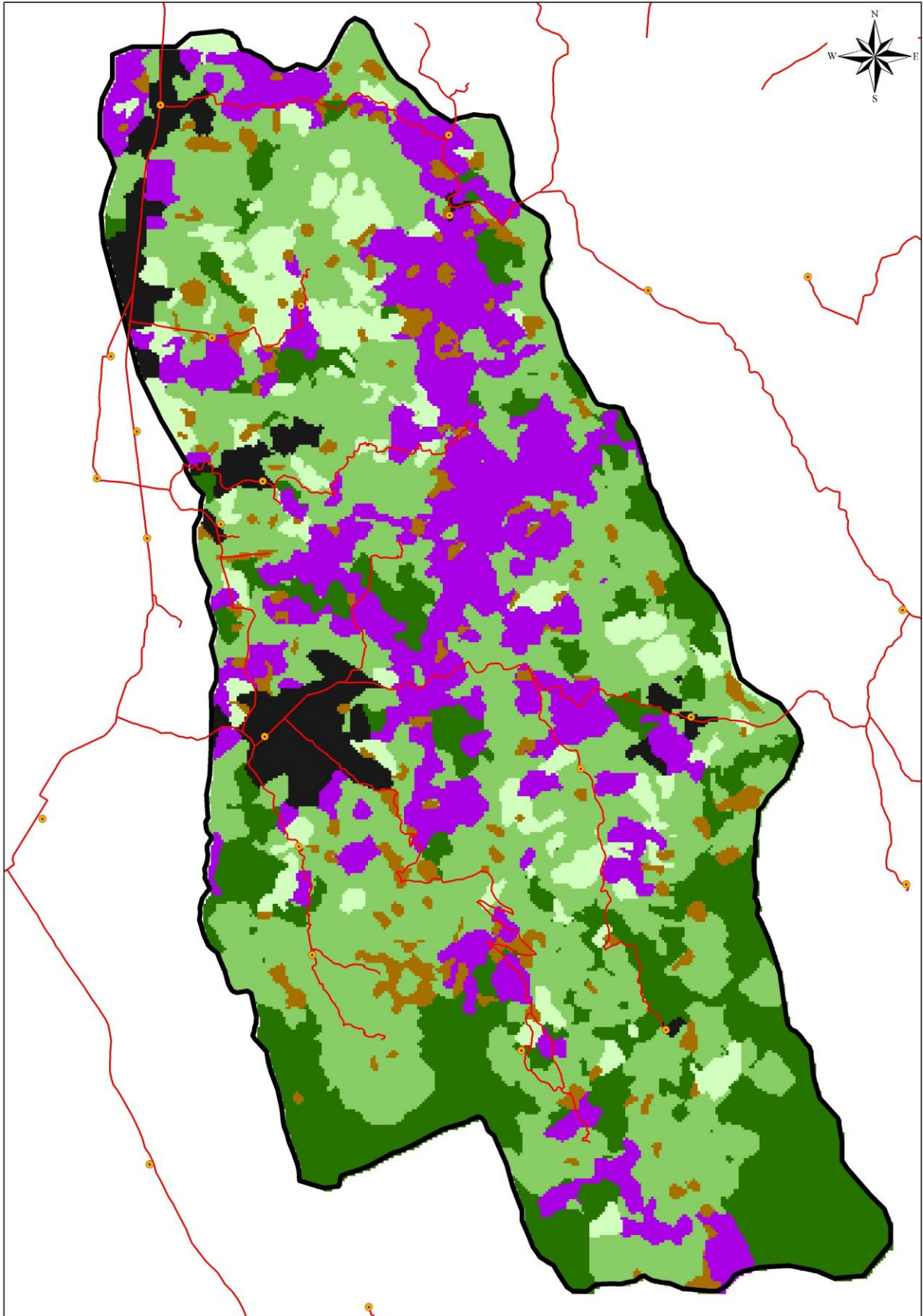


Figura 12. Mapa de cobertura y uso de la tierra al año 2030 en un Escenario Tendencial

4.3.2. Simulación de cambio de cobertura al año 2030 en un escenario de conservación

Leija, (2013) manifiesta que los resultado de la simulación se refleja en mapas delimitados por lapsos discretos, los cuales reflejan zonas de la proyección de las trayectorias de cambio según las inclinaciones históricas, en la investigación se observa la simulación del cambio de cobertura y uso de la tierra al año 2030 en un escenario de conservación, para este proceso se consideró que para el año 2030; se implementarían políticas de conservación y recuperación de áreas naturales como el bosque y retroceso de las áreas que ver con las actividades humanas, en tal escenario para el año 2030 hubiera una recuperación de 279.68 ha de bosque y 211.94 ha de vegetación secundaria y por otro lado la reducción de áreas agrícolas en 350.44 ha, pasto en 115.02 ha y la recuperación de 24.28 ha de área sin o con poca vegetación, mientras que las áreas urbanizadas se mantendría con un mínimo retroceso de 1.87 ha, (Tabla 11). Los mapas como resultados de la investigación se visualizan (Anexo 3).

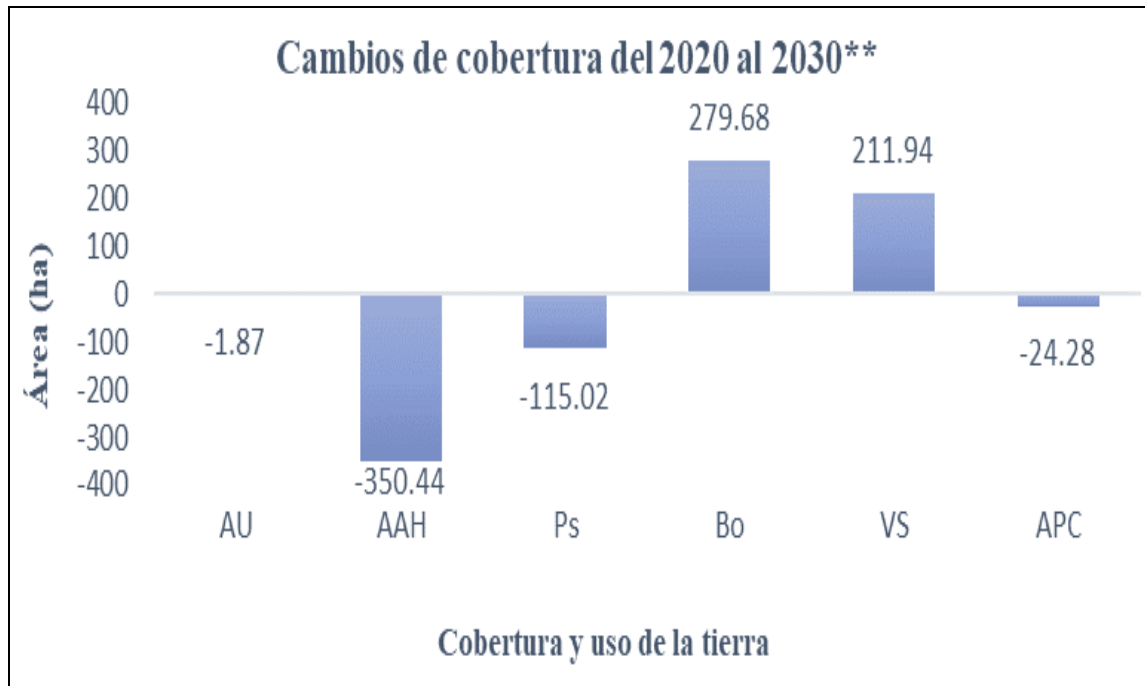
Ibáñez (2019) tuvo como objetivo predecir los cambios en la cobertura y el uso de la tierra (CCUT) en la cuenca del río Tocache hasta 2026, y usó mapas CUT de 2006, 2011 y 2016 para sus cálculos. Según la matriz de transición y el peso de la evidencia en la transición seleccionada para predecir CUT en escenarios de conservación. Después de 2026, se observaron 1042,5 y 2519,9 ha de restauración de bosque y vegetación secundaria, respectivamente, con pocos cambios en el resto de la cobertura.

Tabla 11. Simulación del cambio de cobertura al año 2030 en Escenario de Conservación

Símbolo	Cobertura - CLC	Área (ha)		Cambios (ha)
		Año 2000	Año 2030**	
AU	Áreas urbanizadas	321.82	319.95	-1.87
AAH	Áreas agrícolas heterogéneas	1,145.05	794.61	-350.44
Ps	Pastos	432.72	317.70	-115.02
Bo	Bosque	2,397.71	2,677.39	279.68
VS	Vegetación secundaria	3,259.36	3,471.30	211.94
APC	Áreas sin o con poca vegetación	388.51	364.23	-24.28
Superficie total		7,945.18	7,945.18	-

La Figura 13 y 14, muestra la variación en hectáreas de la cobertura y uso de la tierra entre el año 2020 y la simulación al año 2030 en escenario conservacionista, donde las coberturas que están por debajo la línea 0, es decir con valores negativos reducirían su área

en dicho periodo, mientras las que aumentarían en área están con valores positivos; de las seis coberturas identificadas en la cuenca, dos de ellas aumentaron en superficie (bosque y vegetación secundaria), y cuatro de ellas reducirían su hectareaje (áreas urbanizadas, áreas agrícolas, pasto, y áreas sin o con poca vegetación).



Donde: AU= áreas urbanizadas, AAH = área agrícola heterogénea, Ps = Pasto, Bo: Bosque, VS = Vegetación Secundaria, APC = área sin o con poca vegetación

Figura 13. Cambio de cobertura periodo 2000 – 2030 en un Escenario de Conservación

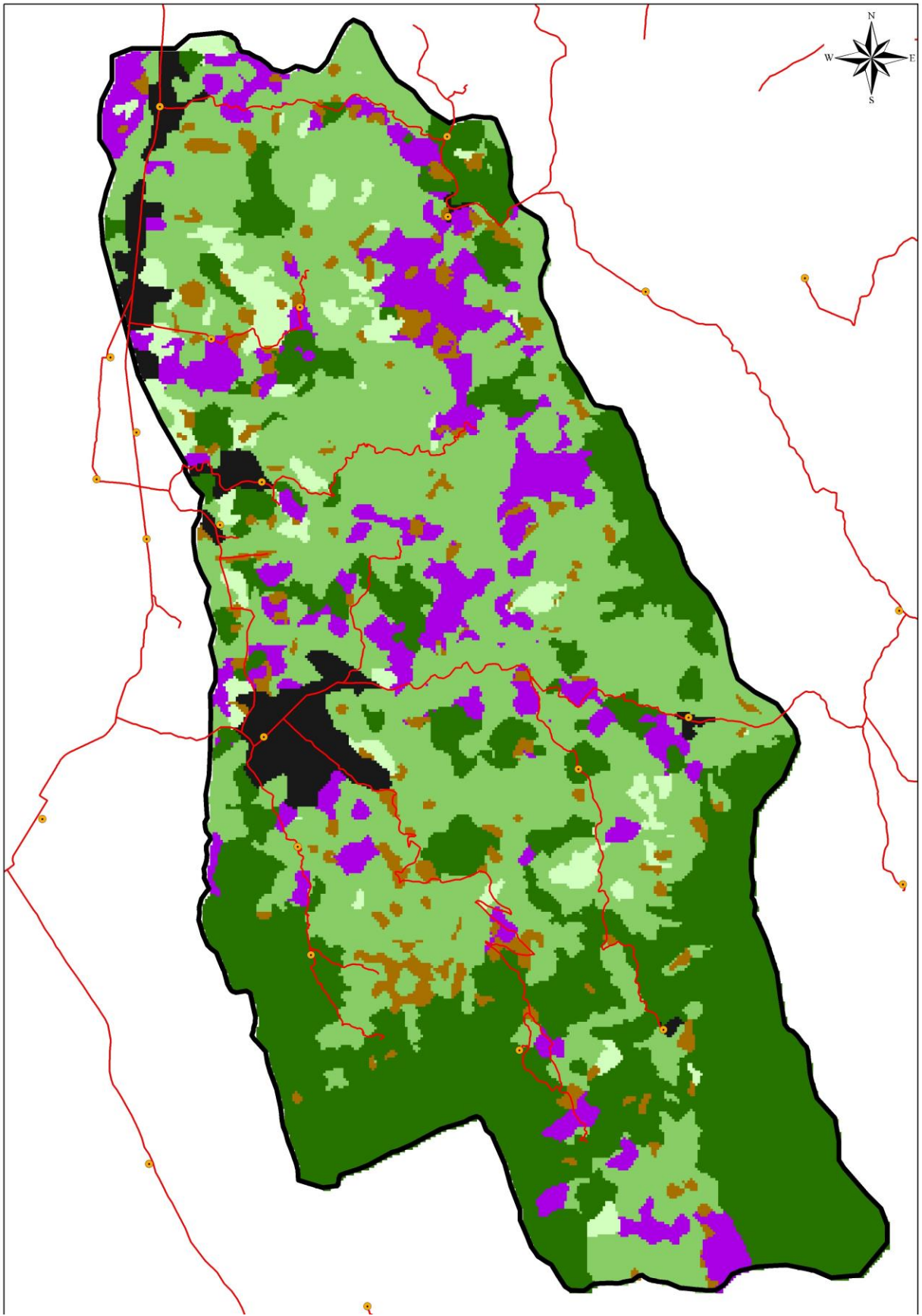


Figura 14. Mapa de cobertura y uso de la tierra al año 2030 en un Escenario de Conservación

V. CONCLUSIONES

1. Se demostró que los cambios de cobertura y uso de la tierra en la microcuenca Supte, distrito de Rupa Rupa – Huánuco experimentarán un incremento en la pérdida de 817,13 ha de bosque para el año 2030.
2. Se estimaron para el periodo 2000 al 2020, que la deforestación mostró un total de 1 492,26 ha de bosque, lo que representa aproximadamente el 18% de la superficie total de la microcuenca. Esta pérdida de bosque se correlaciona con un aumento notable en áreas antropogénicas, como áreas agrícolas, vegetación secundaria, áreas urbanizadas y áreas sin o con poca vegetación, que abarcan 528,75 ha, 525,49 ha, 274,70 ha y 255,16 ha, respectivamente.
3. Se estimó que la microcuenca Supte muestra un aumento preocupante en la tasa de cambio de bosque; que muestra la pérdida anual promedio del 2,39%, con un incremento significativo del 3,90% anual en el período de 2010 a 2020. Estos resultados indican una intensificación de las actividades agrícolas, que han contribuido a la deforestación en la zona. Además, se observó un crecimiento poblacional del 7,35% y una estabilidad relativa en la vegetación secundaria.
4. Se predijo los cambios de cobertura y uso de la tierra donde se encontró que en un escenario tendencial se espera un aumento continuo de la deforestación con una pérdida de 817,13 ha de bosque, así como un incremento en áreas agrícolas y pasto. En contraste, en un escenario de conservación se proyecta una recuperación de 279,68 ha de bosque y 211,94 hectáreas de vegetación secundaria, acompañada de una reducción en áreas agrícolas y pasto, para detener la deforestación y recuperar parte del bosque se tiene que implementar buenas prácticas agrosilvopastoril, políticas de reforestación y buen manejo de la agricultura migratoria.

VI. PROPUESTA A FUTURO

1. Dadas las alarmantes tasas de deforestación (1492.26 ha) y el considerable avance de las áreas cultivadas, resulta fundamental generar conciencia tanto en la población como en las autoridades del gobierno regional y local. Es crucial promover la implementación de proyectos y políticas de reforestación para abordar la brecha existente de aproximadamente 892.26 ha de áreas deforestadas. Aunque se llevó a cabo un proyecto de reforestación de 600 ha en 2021, es necesario seguir frenando la expansión de las zonas de influencia humana y asegurar un adecuado manejo de las áreas agrícolas, evitando así prácticas de agricultura migratoria.
2. Los residentes que viven en microcuencas deben ser conscientes de que el uso de leña y por lo tanto la tala de árboles para calefacción y cocina es una práctica muy común, especialmente en los países en desarrollo, que plantea graves problemas de salud y contaminación ambiental. medio ambiente (aumentando también el riesgo de incendio), se recomienda implementar una cocina con energía solar, que es ideal para cocinar de forma segura y sostenible.
3. El gobierno local debe promover los cultivos hidropónicos como alternativa de solución para sembríos de consumo humano como (Lechuga, tomate, cebolla, zanahoria, arándanos, brócoli, etc.) y frenar el crecimiento de la agricultura migratoria.
4. La comunidad universitaria debe continuar realizando estos tipos de estudios sobre la deforestación y la expansión de las áreas agrícolas. Para abordar estos desafíos, es crucial llevar a cabo estudios de monitoreo con imágenes satelitales de mayor resolución, lo que permitirá obtener información detallada y tomar decisiones informadas. Además, se recomienda aprovechar las ventajas de la inteligencia artificial y los drones en proyectos de reforestación, lo que facilitará el acceso a áreas remotas y la planificación eficiente de acciones conservación de los ecosistemas.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcántara, G. (2014). Análisis de los cambios de la cobertura y uso de la tierra en la región Cajamarca, Perú.
- Alva, W., and Chávez, T. (2004). Manual: procesamiento digital de imágenes. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú.
- Andrade, J. (2021). Conflictos de uso de la tierra en la cuenca Cocheros, distrito Rupa Rupa – Tingo María. [Tesis de pregrado, Universidad Agraria de la Selva]. Repositorio Universidad Nacional Agraria de la Selva <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.14292/2028>
- Anahua, R. (2020). Modelamiento dinámico espacial del crecimiento urbano mediante autómatas celulares en el periodo 1974 al 2065 de la ciudad de Puno. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Universidad Nacional del Altiplano <https://tesis.unap.edu.pe/browse?type=author&value=Anahua+Apomayta%2C+Rosmeri>
- Arellano, K., and Castro, B. (2019). Modelamiento del crecimiento urbano en el Cantón Ibarra al año 2025 para la planificación del uso y ocupación del suelo. [Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas]. Repositorio Universidad de las Fuerzas Armadas <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/20346/T-ESPE-039144.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Baker, W. L. (1989). A review of models of landscape change. *Landscape Ecology*, 2, 111–133.
- Bell, E. J. (1974). Markov analysis of land use change: an application of stochastic processes to remotely sensed data. *Socio-economic Planning Science*, 8, 311–316.
- Banabdellah, B., Albrecht, K.-F., Pomaz, V. L., Denisenko, E. A., & Logofet, D. O. (2003). Markov Caín models for forest successions in the Erzgebirge, Germany. *Ecological Modelling*, 159, 145–160.
- Bonham-Carter, G. (1994). *Geographic information systems for geoscientists: modeling with GIS*. Pergamon.
- Bowen, C. (2018). Análisis multitemporal del cambio de uso de suelo en la microcuenca del río Tabacay para el periodo 2005-2017. [Tesis de maestría, Universidad Andina Simón Bolívar]. Repositorio Universidad Andina Simón Bolívar

- <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/8687/1/T3801-MCCSD-Pabon-Analisis.pdf>
- Bravo, N. (2020). Teledetección y procesamiento de imágenes satelitales. Geomática ambiental. Tingo María, Perú.
- Britos, M. A., and Barchuk, A. H. (2013). Dinámica de la cobertura vegetal y los usos de la tierra a través de modelos de no-equilibrio. *Revista de Teledetección*, 40(2016), Argentina.
- Britaldo, L. (2009). Modelamiento de dinámica ambiental con Dinámica. Centro de sensoramiento remoto. Universidad federal de Minas Gerais (CSR/UFMG). Brazil.
- Brown, D. G., Pijanowski, B. C., & Duh, J. D. (2000). Modeling the relationships between land use and land cover on private lands in the Upper Midwest, USA. *Journal of Environmental Management*, 59, 247–263.
- Castro, Y. (2018). La deforestación y su incidencia ambiental en el cambio climático. [Tesis de pregrado, Universidad estatal del sur de Manabí]. Repositorio Universidad estatal del sur de Manabí <https://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/1080>
- Congedo, L. (2016). Documentation of Semiautomatic Classification Plugin. Release.
- Coronado, M. (2014). Análisis de la fragmentación en el Parque Nacional Cerro Azul Meámbar (PANACAM). Universidad Zamorano.
- Chuvieco, E. (2002). Fundamentos de Teledetección Espacial (3ra ed.). RIALP.
- Chuvieco, E. (2008). Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio. Ariel Ciencia.
- Chuvieco, E. (2010). Teledetección ambiental. Editorial Planeta.
- Córdova, J., and Sánchez, L. (2020). Análisis de la variación multitemporal de la cobertura vegetal entre los años 2010-2018, en la cuenca del Río Neshuya, Ucayali, Perú [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ucayali]. Repositorio Universidad Nacional de Ucayali. <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/4318>
- Corredor, L., Cárdenas, E., and Ordóñez, J. (2011). Aplicación de la metodología Corine Land Cover en la determinación de los cambios de cobertura en el parque natural los flamencos. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 21(2), 153-167.
- Goodacre, C. M., Bonham-Carter, G. F., Agterberg, F. P., & Wright, D. F. A. (1993). Statistical analysis of spatial association of seismicity with drainage patterns and magnetic anomalies in western Quebec. *Tectonophysics*, 217, 205-305.
- GOREHCO. (2017). Plan de contingencia ante el periodo de lluvias intensas 2017. [En línea] de

http://ftp.regionhuanuco.gob.pe/regulations/2017/002o/002o010002032017_1495030507.pdf

- Guttorp, P. (1995). *Stochastic Modeling of Scientific Data*. New York: Chapman & Hall.
- Henríquez, C., and Azócar, G. (2011). Propuesta de modelos predictivos en la planificación territorial y evaluación de impacto ambiental. *Scripta Nova*, XI(245), 41.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2003). *Metodología de la investigación*. México, D.F., México: McGraw-Hill.
- Ibáñez, A. (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 Agraria de la Selva]. Repositorio Universidad Nacional Agraria de la Selva. http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1413/AJIB_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000*. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- INEI. (2009). *Anuario de Estadísticas Ambientales*. Lima: Centro de Edición del INEI.
- IIAP. Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana. (2017). *Evaluación de la dinámica del cambio de la cobertura y uso de la tierra distrito de Padre Abad, departamento de Ucayali, Perú*. Iquitos, Perú.
- IIAP. Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana. (2015). *Cobertura y uso de la tierra de las provincias de Alto Amazonas y Ramón Castilla*. Iquitos, Perú.
- IIRSA-SUR. (2006). *Análisis de la deforestación - EISA Corredor Vial Interoceánico Sur, Perú - Brasil: Tramo 2*.
- Jahan, S. (1986). The determination of stability and similarity of Markovian land use change processes: a theoretical and empirical analysis. *Socio-economic Planning Science*, 20, 243-251.
- Jiménez, E. (2019). *Dinámica y modelamiento futuro de cambios y fragmentación en la cobertura y uso del suelo en La Hoya de Loja en el periodo 2001-2016* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio Universidad Nacional de Loja. https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/21833/1/Tesis_Jim%C3%A9nez_B_Evelyn.pdf

- Joomla. (2013). El agua y cuencas hidrográficas. Universidad Autónoma del Estado de México. [En línea] de <http://idrisi.uaemex.mx/index.php/esta-semana/nocion/lista-de-nociones/46-que-es-una-cuenca-hidrografica>
- Korotov, V., Logofet, D. O., & Loreau, M. (2001). Sucesión in mixed boreal forest of Russia: Markov models and non-Markov effects. *Ecological Modelling*, 142, 25-38.
- Laurente, M. A. (2011). Medición de la deforestación mediante percepción remota en la microcuenca río Supte, Tingo María - Perú [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Universidad Nacional Agraria de la Selva. <https://es.scribd.com/document/332477741/Deforestacion-Tingo-Maria#>
- Leija, E. (2013). Cambios en la cubierta vegetal/uso del suelo y escenarios futuros en tres municipios de la región costera del Estado de Oaxaca, México [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de San Luis Potosí]. Repositorio Universidad Autónoma de San Luis de Potosí. <http://comunidadpmpca.uaslp.mx/documento.aspx?idT=318>
- Lillesand, T., Kiefer, R., & Chipman, J. (2014). *Remote Sensing and Image Interpretation* (7th ed.). John Wiley & Sons.
- Lillo, J. (2006). Impactos de la minería en el medio natural. Grupo de Geología, Universidad Rey Juan Carlos, 35 p.
- López, I., & Pita, S. (2001). Medidas de concordancia: el índice Kappa. *Fisterra*. [En línea] de <http://www.fisterra.com/mbe/investiga/kappa/kappa2.pdf>
- López-Granados, E. M. (2006). Patrones de cambio de uso del terreno en la cuenca del Lago de Cuitzeo [Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma de México]. Repositorio Universidad Autónoma de México. https://repositorio.unam.mx/contenidos/patrones-de-cambio-de-uso-del-terreno-en-la-cuenca-de-cuitzeo-96164?c=plMm0R&d=false&q=*&i=2&v=1&t=search_0&as=2
- Martino, D. (2011). Deforestación en la Amazonía: principales factores de presión y perspectivas. *Revista del Sur*, N°169, 22 p.
- Mas, J. F., Sorani, V., and Álvarez, R. (2004). Elaboración de un modelo de simulación del proceso de deforestación. *Investigación Geográficas* número especial 5.
- Mas, J. F., and Sandoval, A. (2011). Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México. *Geo Trópico*, 5(1), 1-24.
- Ministerio de Agricultura [MINAG]. (2011). Cadena agropecuaria de papa. Manejo y fertilidad de suelos. Guía técnica de orientación al productor.

- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2013). Guía Metodológica para la Elaboración de Instrumentos Técnicos Sustentatorios para el Ordenamiento Territorial - Lima: Ministerio del Ambiente, 20 p.
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2014). Informe Final del Proyecto: Análisis de las Dinámicas de Cambio de Cobertura de la Tierra en la Comunidad Andina Dirección General de Ordenamiento Territorial - Lima: Ministerio del Ambiente.
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2016). Procedimiento técnico y metodológico para la elaboración del "estudio especializado de análisis de los cambios de la cobertura y uso de la tierra.
- Monitoring of the Andean Amazon Project [MAAP]. (2017). Nuevos hotspots de deforestación al 2017 en la Amazonía peruana. [En línea] de <https://maaproject.org/2017/hotspots-2017-2/>
- Muller, R. M., and Middleton, J. (1994). A Markov model of land-use change dynamics in the Niagara región, Ontario, Canada. *Landscape Ecology*, 9, 151-157.
- NASA. (2013). Landsat 7 Science Data Users Handbook. NASA, EE.UU., 86 p.
- Ojima, D. S., Galvin, K. A., and Turner II, B. L. (1994). The global impact of land-use change. *BioScience*, 44(5), 300-305.
- Olaya, V. (2014). Sistemas de Información Geográfica. [En línea] de https://www.icog.es/TyT/files/Libro_SIG.pdf
- Pérez, C., Moscuza, C. H., and Fernández-Cirelli, A. (2008). Efectos socioeconómicos y ambientales de la expansión agropecuaria. Estudio de caso: Santiago del Estero, Argentina. *Rev. Ecosistemas*, 17(1), 5-15.
- Pontius, R., and Malanson, J. (2005). Comparison of the structure and accuracy of two land change models. *International Journal of Geographical Information Science*, 19(2).
- Puerta Tuesta, R., and Fajardo-Gamarra, R. (2022). Cobertura Boscosa al 2021 en la provincia Leoncio Prado, Perú. *The Biologist*, 20(1), 93-101. <http://doi.org/10.24039/rtb20222011319>.
- Quispe, M. (2021). Simulación geoespacial de la tasa de deforestación al 2030 en el distrito de Nueva Requena. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva] Repositorio Universidad Nacional Agraria de la Selva. https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/1976/TS_MAQT_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Ramírez-Mejía, D., Cuevas, G., and Mendoza, E. (2017). Land Use and Cover Change Scenarios in the Mesoamerican Biological Corridor-Chiapas, México. *Botanical Sciences*, 95(2), 221-234. doi:10.17129/botsci.838
- Redrován, K. J. (2018). Aplicación de sistemas de información geográfica para el análisis espacial para la variable radiación solar en la ciudad de Cuenca. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15631/1/UPS-CT007681.pdf>
- Reyna, A., Reyna, J., and Vines, C. (2017). Escenarios de crecimiento urbano 2017 y 2022 de la ciudad de Portoviejo, Manabí-Ecuador, a partir de autómatas celulares. *Revista San Gregorio*, 19.
- Rosete, V. F. A. (2008). Modelos predictivos de cambio de uso de la tierra en la península de Baja California, México. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio de Universidad Nacional Autónoma de México. https://repositorio.unam.mx/contenidos/modelos-predictivos-de-cambio-de-uso-del-suelo-en-la-peninsula-de-baja-california-mexico-79443?c=pkAXj4&d=false&q=*.:*&i=3&v=1&t=search_0&as=0
- Ruíz, D., and Salcedo, J. (2005). Análisis comparativo de herramientas Software especializadas para el tratamiento digital de imágenes de Satélite. Caracterización de procesos básicos. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Molina]. Repositorio de Universidad Nacional Agraria de la Molina. <https://docplayer.es/97131048-Universidad-nacional-agraria-la-molina.html>
- Sánchez, A. (2009). Análisis multitemporal de la cobertura de la tierra en la cuenca del valle de Jesús de Otoro entre los años 2000 – 2006 aplicando técnicas de teledetección. Universidad Nacional Autónoma de Honduras.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2013). Cuencas hidrográficas: Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión. Red Mexicana de Cuencas Hidrográficas.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. [SENAMHI] (2021). Sitio web oficial. [En línea] de <https://ocw.unican.es/mod/page/view.php?id=965>
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre [SERFOR]. (2016). Interpretación de la dinámica de la deforestación en el Perú y lecciones aprendidas para reducirlas.
- Soares-Filho, B. S., Pennachin, C. L., & Cerqueira, G. Dinámica. (2002). Stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *Ecological Modelling*, 154, 217-235.

- Tarazona, Y. (2018). Monitoreo de la Perturbación de Bosques usando Sensores Remotos. American Program in GIS and Remote Sensing. Lima, Perú.
- Turner, M. G. (1987). Spatial simulation of landscape changes in Georgia: a comparison of three transition models. *Landscape Ecology*, 1, 29-39.
- Valdez, E. (2014). Análisis de pérdida de suelos por erosión hídrica en la Subcuenca Conduriri mediante la metodología Rusle. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Universidad Nacional del Altiplano. <http://tesis.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/4588>
- Vargas, J. R. (1999). Sistema de gestión y territorial a través de la teledetección y sistemas de información geográfica para el municipio de Cercado – Cochabamba. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Universidad Nacional del Centro del Perú. <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3979/Montes%20De%20Oca%20Llanco-Madue%C3%B1o%20Zenteno.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Weng, Q. (2002). Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modeling. *Journal of Environmental Management*, 64, 273-284.

ANEXOS

Anexo 1. Cobertura y uso de la tierra de los años 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020

Tabla 12. Cambio de cobertura en el periodo 2000 – 2005

N°	Cobertura - CLC	Área (ha)		Cambios (ha)
		Año 2000	Año 2005	
1	Áreas urbanizadas	47,12	84,58	37,45
2	Áreas agrícolas heterogéneas	616,30	609,79	-6,51
3	Pastos	524,57	455,38	-69,19
4	Bosque	3 889,97	3 701,76	-188,21
5	Vegetación secundaria	2 733,87	2 835,83	101,96
6	Áreas sin o con poca vegetación	133,34	257,85	124,51
Superficie total		7 945,18	7 945,18	-

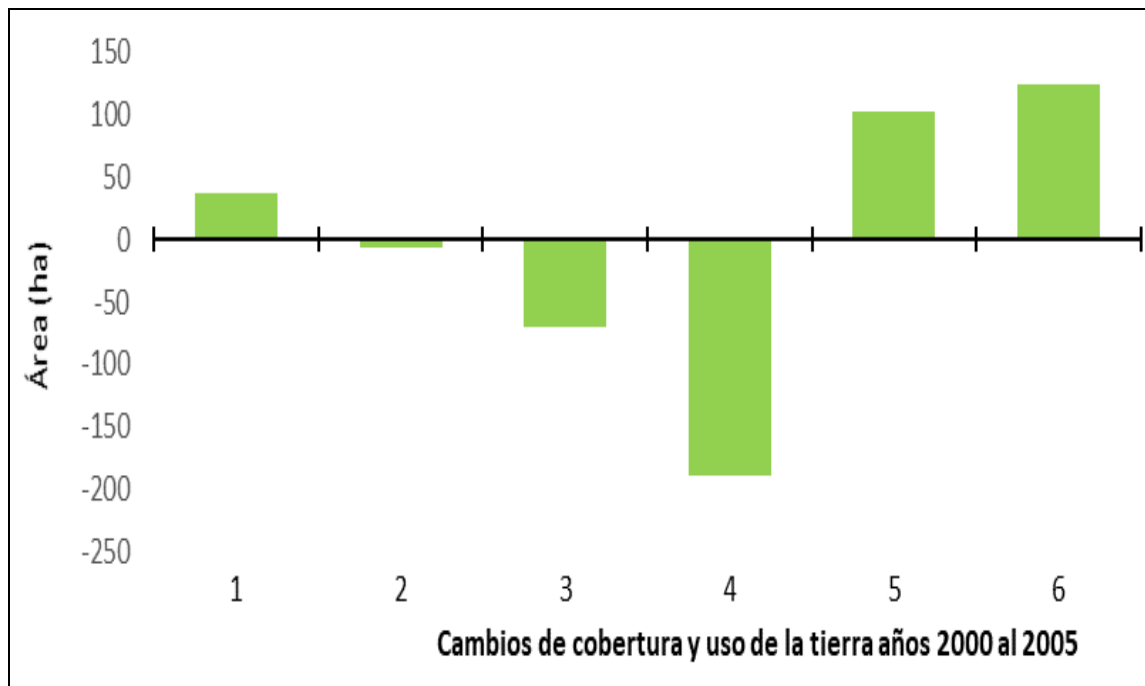


Figura 15. Comportamiento del cambio de cobertura y uso de la tierra año 2000 al 2005

Tabla 13. Cambio de cobertura en el periodo 2005 – 2010

N°	Cobertura - CLC	Área (ha)		Cambios (ha)
		Año 2005	Año 2010	
1	Áreas urbanizadas	84,58	158,28	73,70
2	Áreas agrícolas heterogéneas	609,79	646,72	36,93
3	Pastos	455,38	470,84	15,46
4	Bosque	3 701,76	3 569,04	-132,72
5	Vegetación secundaria	2 835,83	2 972,33	136,50
6	Áreas sin o con poca vegetación	257,85	127,97	-129,88
Superficie total		7 945,18	7 945,18	-

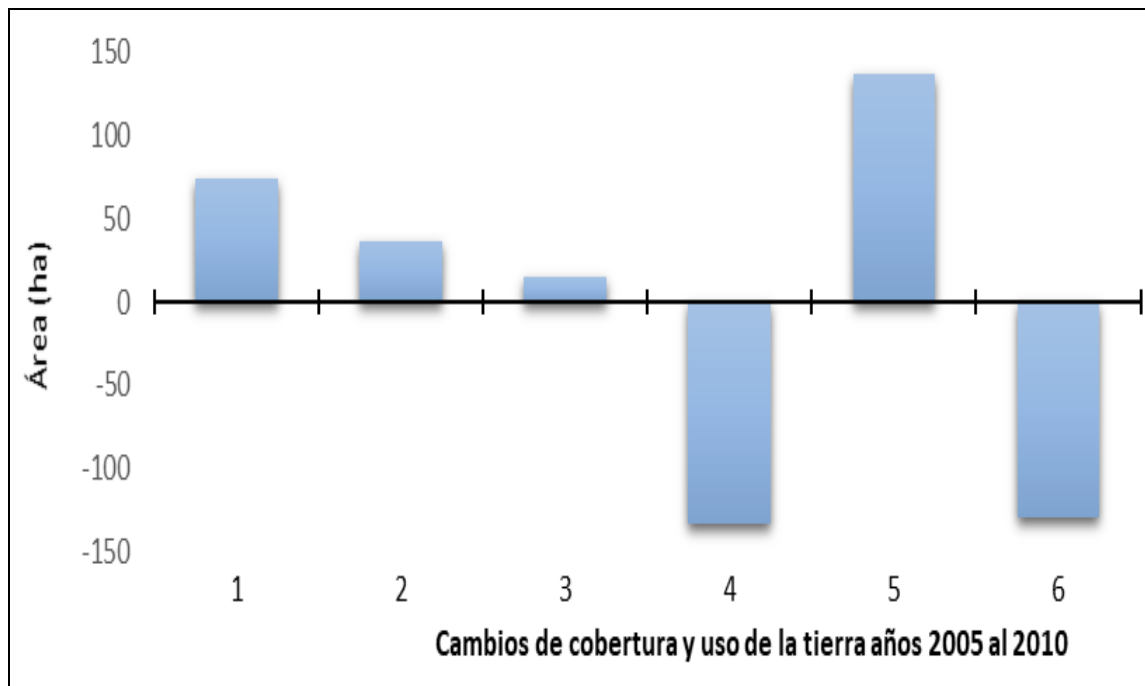
**Figura 16.** Comportamiento del cambio de cobertura y uso de la tierra año 2005 al 2010

Tabla 14. Cambio de cobertura en el periodo 2010 – 2015

N°	Cobertura - CLC	Área (ha)		Cambios (ha)
		Año 2010	Año 2015	
1	Áreas urbanizadas	158,28	256,21	97,93
2	Áreas agrícolas heterogéneas	646,72	856,75	210,03
3	Pastos	470,84	479,63	8,79
4	Bosque	3 569,04	3 046,36	-522,68
5	Vegetación secundaria	2 972,33	3 147,23	174,90
6	Áreas sin o con poca vegetación	127,97	158,99	31,02
Superficie total		7 945,18	7 945,18	-

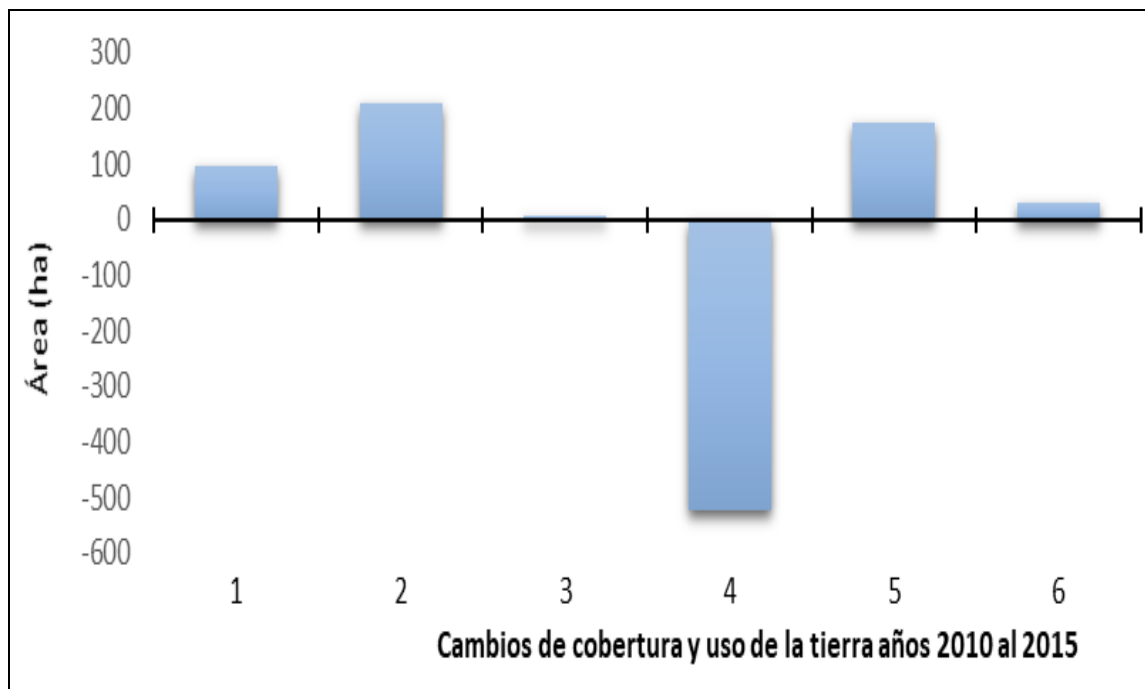
**Figura 17.** Comportamiento del cambio de cobertura y uso de la tierra año 2010 al 2015

Tabla 15. Cambio de cobertura en el periodo 2015 – 2020

N°	Cobertura - CLC	Área (ha)		Cambios (ha)
		Año 2015	Año 2020	
1	Áreas urbanizadas	256,21	321,82	65,61
2	Áreas agrícolas heterogéneas	856,75	1 145,05	288,30
3	Pastos	479,63	432,72	-46,90
4	Bosque	3 046,36	2 397,71	-648,65
5	Vegetación secundaria	3 147,23	3 259,36	112,12
6	Áreas sin o con poca vegetación	158,99	388,51	229,52
Superficie total		7 945,18	7 945,18	-

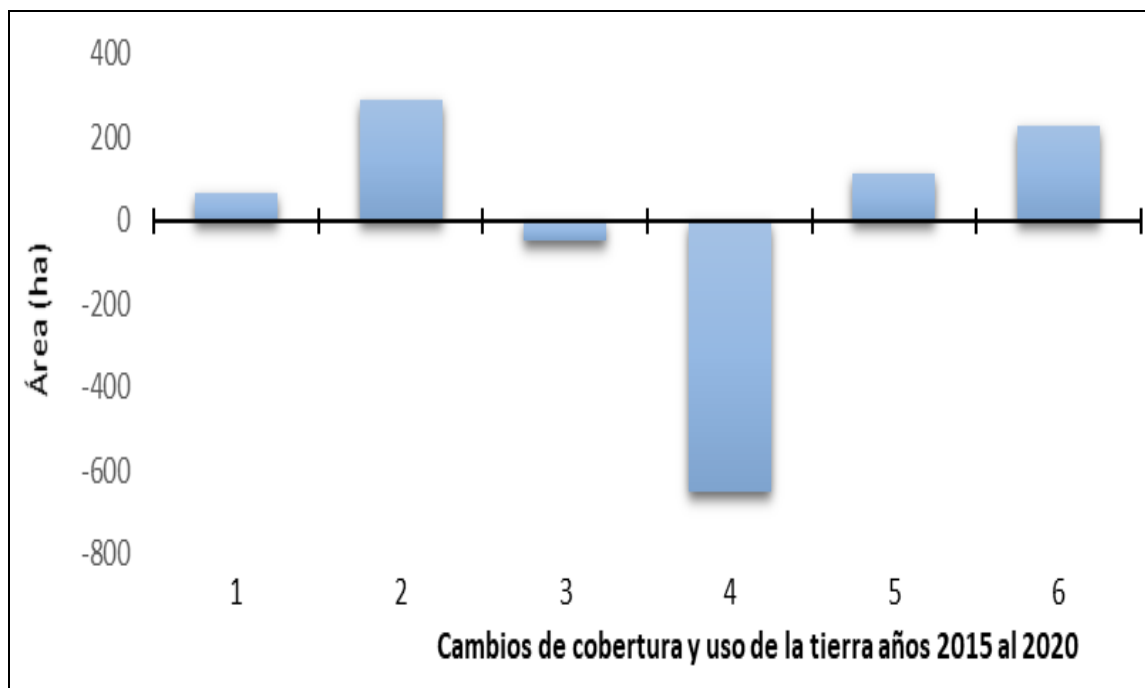
**Figura 18.** Comportamiento del cambio de cobertura y uso de la tierra años 2015 al 2020

Tabla 16. Tasa de cambio de cobertura en el periodo 2000 – 2005

N°	Cobertura - CLC	Área (ha)		Tasa de cambios (ha)/año	% Tasa de cambio anual
		Año 2000	Año 2005		
1	Áreas urbanizadas	47,12	84,58	7,49	12,41
2	Áreas agrícolas heterogéneas	616,30	609,79	-1,30	-0,21
3	Pastos	524,57	455,38	-13,84	-2,79
4	Bosque	3 889,97	3 701,76	-37,64	-0,99
5	Vegetación secundaria	2 733,87	2 835,83	20,39	0,73
6	Áreas sin o con poca vegetación	133,34	257,85	24,90	14,10
Superficie total		7 945,18	7 945,18	-	-

Tabla 17. Cambio de cobertura en el periodo 2005 – 2010

N°	Cobertura - CLC	Área (ha)		Tasa de cambios (ha)/año	% Tasa de cambio anual
		Año 2005	Año 2010		
1	Áreas urbanizadas	84,58	158,28	14,74	13,35
2	Áreas agrícolas heterogéneas	609,79	646,72	7,39	1,18
3	Pastos	455,38	470,84	3,09	0,67
4	Bosque	3 701,76	3 569,04	-26,54	-0,73
5	Vegetación secundaria	2 835,83	2 972,33	27,30	0,94
6	Áreas sin o con poca vegetación	257,85	127,97	-25,98	-13,07
Superficie total		7 945 18	7 945,18	-	-

Tabla 18. Cambio de cobertura en el periodo 2010 – 2015

N°	Cobertura - CLC	Área (ha)		Tasa de cambios (ha)	% Tasa de cambio anual
		Año 2010	Año 2015		
1	Áreas urbanizadas	158,28	256,21	19,59	10,11
2	Áreas agrícolas heterogéneas	646,72	856,75	42,01	5,79
3	Pastos	470,84	479,63	1,76	0,37
4	Bosque	3 569,04	3 046,36	-104,54	-3,12
5	Vegetación secundaria	2 972,33	3 147,23	34,98	1,15
6	Áreas sin o con poca vegetación	127,97	158,99	6,20	4,44
Superficie total		7 945,18	7 945,18	-	-

Tabla 19. Cambio de cobertura en el periodo 2015 – 2020

N°	Cobertura - CLC	Área (ha)		Tasa de cambios (ha)	% Tasa de cambio anual
		Año 2015	Año 2020		
1	Áreas urbanizadas	256,21	321,82	13,12	4,67
2	Áreas agrícolas heterogéneas	856,75	1.145,05	57,66	5,97
3	Pastos	479,63	432,72	-9,38	-2,04
4	Bosque	3 046,36	2 397,71	-129,73	-4,68
5	Vegetación secundaria	3 147,23	3 259,36	22,42	0,70
6	Áreas sin o con poca vegetación	158,99	388,51	45,90	19,57
Superficie total		7 945,18	7 945,18	-	-

Tabla 20. Matriz de transición tasa de cambio de cobertura periodo 2000 – 2005

Cobertura y uso de la tierra - año 2005									
Cobertura y uso de la tierra - año 2000	N°	1	2	3	4	5	6	Área (ha) Año 2000	Perdida (ha)
	1		47,11						47,11
2			584,06			1,62	30,62	616,30	32,24
3		13,18		437,60		3,73	70,06	524,57	86,97
4			12,23	13,90	3 676,96	175,81	11,06	3 889,97	213,01
5		24,34		1,35	12,43	2 641,12	54,63	2 733,87	92,75
6			13,63	2,33	12,36	13,54	91,48	133,34	41,86
Área (ha) año 2005		84,64	609,92	455,19	3 701,76	2 835,81	257,85	7 945,17	
Ganancia (ha)		37,52	25,86	17,59	24,79	194,69	166,37		

Tabla 21. Matriz de transición tasa de cambio de cobertura periodo 2005 – 2010

		Cobertura y uso de la tierra - año 2010							Área (ha) Año 2005	Perdida (ha)
Cobertura y uso de la tierra - año 2005	Nº	1	2	3	4	5	6			
	1	83,73	0,28	0,44					84,46	0,73
	2	1,82	555,68		11,58	38,77	1,77		609,62	53,94
	3	18,36	2,10	433,05		2,04			455,55	22,50
	4		0,74	7,40	3 526,96	164,92	2,24		3 702,25	175,30
	5	43,12	3,00	4,78	12,24	2 673,87	99,31		2 836,31	162,44
	6	11,38	84,38	25,30	19,32	92,17	24,44		256,99	232,55
Área (ha) año 2010		158,41	646,17	470,98	3 570,10	2.971,77	127,76	7 945,18		
Ganancia (ha)		74,68	90,49	37,92	43,14	297,90	103,31			

Tabla 22. Matriz de transición de cambio de cobertura periodo 2010 – 2015

		Cobertura y uso de la tierra - año 2015							Área (ha) Año 2010	Perdida (ha)
Cobertura y uso de la tierra - año 2010	Nº	1	2	3	4	5	6			
	1	138,01	8,28				12,00		158,28	20,27
	2	33,23	419,50	8,59	50,14	123,85	11,41		646,72	227,22
	3	16,64	25,59	320,84	19,72	88,05			470,84	150,00
	4	14,78	62,50	10,75	2 855,19	560,77	65,04		3 569,04	713,84
	5	52,69	273,50	133,87	116,58	2 351,04	44,66		2,972,33	621,29
	6	0,85	67,39	5,58	4,74	11,53	37,87		127,97	90,09
Área (ha) año 2015		256,21	856,75	479,63	3 046,36	3 147,23	158,99	7 945,18		
Ganancia (ha)		118,21	437,26	158,79	191,17	796,19	121,11			

Tabla 23. Matriz de transición de cambio de cobertura periodo 2015 – 2020

Cobertura y uso de la tierra - año 2020										
Cobertura y uso de la tierra - año 2015	N°	1	2	3	4	5	6	Área (ha) Año 2015	Perdida (ha)	
	1	243,39	3,58				6,28	2,96	256,21	12,82
	2		784,72	6,30	8,43	12,93	44,38		856,75	72,04
	3	1,49	50,39	374,93	2,22	13,23	37,37		479,63	104,70
	4	0,82	102,51	25,06	340,79	2	531,94	45,23	046,36	705,57
	5	76,12	186,92	25,85	46,26	678,50	2	133,59	147,23	468,74
	6		16,93	0,59			16,49	124,98	158,99	34,01
	Área (ha) año 2020	321,82	1,145,05	432,72	2,397,71	3,259,36	388,51		7 945,18	
	Ganancia (ha)	78,43	360,34	57,80	56,92	580,86	263,53			

Tabla 24. Cobertura y uso de la tierra año 2000

N°	Cobertura - CLC	Año 2000	
		Área (ha)	%
1	Áreas urbanizadas	47,12	0,59
2	Áreas agrícolas heterogéneas	616,30	7,76
3	Pastos	524,57	6,60
4	Bosque	3 889,97	48,96
5	Vegetación secundaria	2 733,87	34,41
6	Áreas sin o con poca vegetación	133,34	1,68
	Superficie total	7 945,18	100,00

Tabla 25. Cobertura y uso de la tierra año 2005

N°	Cobertura - CLC	Año 2005
----	-----------------	----------

		Área (ha)	%
1	Áreas urbanizadas	84,58	1,06
2	Áreas agrícolas heterogéneas	609,79	7,67
3	Pastos	455,38	5,73
4	Bosque	3 701,76	46,59
5	Vegetación secundaria	2 835,83	35,69
6	Áreas sin o con poca vegetación	257,85	3,25
Superficie total		7 945,18	100,00

Tabla 26. Cobertura y uso de la tierra año 2010

N°	Cobertura - CLC	Año 2010	
		Área (ha)	%
1	Áreas urbanizadas	158,28	1,99
2	Áreas agrícolas heterogéneas	646,72	8,14
3	Pastos	470,84	5,93
4	Bosque	3 569,04	44,92
5	Vegetación secundaria	2 972,33	37,41
6	Áreas sin o con poca vegetación	127,97	1,61
Superficie total		7 945,18	100,00

Tabla 27. Cobertura y uso de la tierra año 2015

N°	Cobertura - CLC	Año 2015	
		Área (ha)	%
1	Áreas urbanizadas	256,21	3,22
2	Áreas agrícolas heterogéneas	856,75	10,78
3	Pastos	479,63	6,04
4	Bosque	3 046,36	38,34
5	Vegetación secundaria	3 147,23	39,61
6	Áreas sin o con poca vegetación	158,99	2,00
Superficie total		7,945.18	100,00

Tabla 28. Cobertura y uso de la tierra año 2020

N°	Cobertura - CLC	Año 2020	
		Área (ha)	%

1	Áreas urbanizadas	321,82	4,05
2	Áreas agrícolas heterogéneas	1 145,05	14,41
3	Pastos	432,72	5,45
4	Bosque	2 397,71	30,18
5	Vegetación secundaria	3 259,36	41,02
6	Áreas sin o con poca vegetación	388,51	4,89
Superficie total		7 945,18	100,00

Tabla 29. Cobertura y uso de la tierra de los años 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020

N°	Cobertura - CLC	Año 2000		Año 2005		Año 2010		Año 2015		Año 2020	
		Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
1	Áreas urbanizadas	47,12	0,59	84,58	1,06	158,28	1,99	256,21	3,22	321,82	4,05
2	Áreas agrícolas heterogéneas	616,30	7,76	609,79	7,67	646,72	8,14	856,75	10,78	1 145,05	14,41
3	Pastos	524,57	6,60	455,38	5,73	470,84	5,93	479,63	6,04	432,72	5,45
4	Bosque	889,97	11,13	701,76	8,76	569,04	7,14	1 046,36	13,14	2 397,71	30,18
5	Vegetación secundaria	733,87	9,17	835,83	10,52	2 972,33	37,41	3 147,23	39,61	3 259,36	41,02
6	Áreas sin o con poca vegetación	133,34	1,68	257,85	3,25	127,97	1,61	158,99	2,00	388,51	4,89
Superficie total		7 945,18	100,00	7 945,18	100,00	7 945,18	100,00	7 945,18	100,00	7 945,18	100,00

Tabla 30. Matriz de transición de cambio de cobertura periodo 2010 – 2020

Cobertura y uso de la tierra - año 2020

Cobertura y uso de la tierra - año 2010	ID	1	2	3	4	5	6	Área (ha) Año 2010	Perdida (ha)
	1	146,70	4,25				4,97	2,36	158,28
2	29,65	392,51	13,13	36,80	139,40	35,21	646,70	254,19	
3	16,29	73,84	258,63	7,00	96,10	18,98	470,84	212,21	
4	16,06	167,63	17,21	2 232,72	1 023,67	111,78	3 569,07	1 336,35	
5	105,73	434,65	138,21	121,22	1 982,20	190,31	2 972,32	990,12	
6	7,38	72,17	5,58		12,95	29,89	127,97	98,08	
Área (ha) año 2010	321,81	1 145,05	432,76	2 397,74	3 259,29	388,53	7 945,18		

Tabla 31. Matriz de transición de cambio de cobertura periodo 2000 – 2020

Cobertura y uso de la tierra - año 2020									
Cobertura y uso de la tierra - año 2000	ID	1	2	3	4	5	6	Área (ha) Año 2000	Perdida (ha)
	1	45,05	0,56				0,37	1,12	47,10
2	28,72	328,35	13,46	39,57	177,40	28,77	616,27	287,92	
3	55,74	107,42	241,0 2	6,90	89,21	24,23	524,52	283,50	
4	19,92	200,29	40,95	2 215,41	1 287,30	126,2 9	3 890,16	1 674,75	
5	159,9 5	459,20	124,0 6	122,85	1 683,84	183,8 9	2 733,79	1 049,95	
6	12,43	49,23	13,22	13,05	21,18	24,23	133,34	109,11	
Área (ha) año 2020	321,8	1	432,7	2	3	388,5			
Ganancia (ha)	276,7 6	816,70	191,6 9	182,37	1 575,46	364,3 0	7 945,18		

Tabla 33. Ubicación de puntos de validación en coordenadas UTM microcuenca Supte

N°	Este (m)	Norte (m)	Altitud (msnm)	Clasificación en gabinete	Validación
1	397163	8972429	756	3	Pastos
2	397221	8972476	756	5	Veg. Secundaria
3	397688	8972940	736	5	Veg. Secundaria
4	397630	8972930	737	2	Áreas agrícolas
5	397702	8973235	734	1	Urbano
6	397457	8973166	742	5	Veg. Secundaria
7	396911	8973534	723	4	Bosque
8	396433	8973688	706	6	Sin cobertura
9	396649	8973601	714	5	Veg. Secundaria
10	395858	8973563	679	2	Áreas agrícolas
11	395840	8973705	665	6	Sin cobertura
12	395795	8973777	667	6	Sin cobertura
13	395561	8973807	691	5	Veg. Secundaria
14	394156	8972371	675	6	Sin Cobertura
15	395445	8973860	681	5	Veg. Secundaria
16	395137	8973797	670	5	Veg. Secundaria
17	394971	8973819	668	5	Veg. Secundaria
18	394613	8973660	658	5	Veg. Secundaria
19	394382	8973627	660	2	Áreas agrícolas
20	394169	8973556	655	5	Veg. Secundaria
21	393966	8973645	653	1	Urbano
22	393786	8973507	652	1	Urbano
23	393521	8973626	658	1	Urbano
24	393397	8973562	650	1	Urbano
25	392845	8973152	641	1	Urbano
26	391004	8980472	625	2	Áreas agrícolas
27	391647	8980890	632	1	Urbano
28	391388	8979607	638	2	Áreas agrícolas
29	392735	8976135	650	5	Veg. Secundaria
30	395680	8970102	1200	4	Bosque

31	397186	8969578	928	4	Bosque
32	390933	8978873	638	4	Bosque
33	392584	8977901	653	6	Sin Cobertura
34	394244	8976304	800	5	Veg. Secundaria
35	392305	8980215	650	5	Veg. Secundaria
36	393043	8980557	667	2	Áreas agrícolas
37	392225	8975810	675	3	Pastos
38	392313	8975008	650	5	Veg. Secundaria
39	392710	8973715	675	2	Áreas agrícolas
40	393527	8974143	689	5	Veg. Secundaria
41	393081	8971143	735	2	Áreas agrícolas
42	392003	8976421	650	5	Veg. Secundaria
43	391598	8977437	650	2	Áreas agrícolas
44	396377	8972436	725	5	Veg. Secundaria
45	398142	8973204	738	3	Pastos
46	398368	8973126	740	3	Pastos

Tabla 34. Matriz de confusión y exactitud temática de la clasificación

Resultado de clasificación	Verificación campo							Total
	Símbolo	AU	AAH	Ps	Bo	VS	APC	
AU		7	0	0	0	0	0	7
AAH		0	7	1	0	2	0	10
Ps		0	1	3	0	1	0	5
Bo		0	0	0	4	0	0	4
VS		0	1	0	0	13	0	14
APC		0	0	0	0	1	5	6
Total		7	9	4	4	17	5	46
Exactitud global		84,8 %				Índice de Kappa 0,80		

Donde: AU= áreas urbanizadas, AAH = área agrícola heterogénea, Ps = Pasto, Bo: Bosque, VS = Vegetación Secundaria, APC = área sin o con poca vegetación

Anexo 2. Panel fotográfico



Figura 19. Georreferenciación de una purma baja



Figura 20. Georreferenciación de un terreno con pasto natural



Figura 21. Georreferenciación de un terreno degradado



Figura 22. Carretera afirmada a la entrada del centro poblado Cargatambo



Figura 23. Centro poblado Santa Rosa de Shapajilla



Figura 24. Georreferenciación de cultivo de *Theobroma cacao* L



Figura 25. Georreferenciación de un terreno con Macorilla sector Capitán Arellano



Figura 26. Georreferenciación de un terreno con pasto natural sector Río Negro



Figura 27. Georreferenciación de un terreno con cultivo de *Zea mays*



Figura 28. Georreferenciación de un terreno con cultivo de *Musa paradisiaca* L.