

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**SIMULACIÓN GEOESPACIAL DE LA TASA DE DEFORESTACIÓN AL 2030 EN
EL DISTRITO DE NUEVA REQUENA – UCAYALI**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

MIGUEL ANGEL QUISPE TRINIDAD

ASESOR: Dr. LUIS EDUARDO ORE CIERTO

Promoción 2019

Tingo María – Perú

2021

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



**SIMULACIÓN GEOESPACIAL DE LA TASA DE DEFORESTACIÓN AL 2030 EN
EL DISTRITO DE NUEVA REQUENA – UCAYALI**

Autor	: Quispe Trinidad Miguel Angel.
Asesor (es)	: Dr. Ore Cierito Luis Eduardo.
Programa de investigación	: Gestión Ambiental.
Línea de investigación	: Modelización ambiental.
Eje temático	: Modelización de variables geoespaciales.
Lugar de ejecución	: Distrito de Nueva Requena.
Duración	: 7 meses
Financiamiento	: Propio.



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 023-2021-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 23 de Julio de 2021, a horas 04:00 p.m. en la Sala virtual Microsof Teams de del Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental para calificar la Tesis titulada:

“SIMULACIÓN GEOESPACIAL DE LA TASA DE DEFORESTACIÓN AL 2030 EN EL DISTRITO DE NUEVA REQUENA – UCAYALI”

Presentado por el Bachiller: **QUISPE TRINIDAD, Miguel Ángel**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADA** con el calificativo de **“MUY BUENO”**

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

Tingo María, 24 de Agosto de 2021

Ing. M. Sc. JUAN PABLO RENGIFO TRIGOZO
PRESIDENTE

Ing. M. Sc. FRANKLIN DIONISIO MONTALVO
MIEMBRO

Ing. M. Sc. EDILBERTO DIAZ QUINTANA
MIEMBRO



Dr. LUIS EDUARDO ORÉ CIERTO
ASESOR

DEDICATORIA

A Dios por haberme guiado, protegido y acompañado en el transcurso de mi vida, por la bendición de permitirme terminar esta etapa profesional y en su soberanía en el futuro poder seguir cumpliendo mis metas propuestas.

A mis padres, Miguel Quispe y Mirella Trinidad, por brindarme su apoyo, confianza, fortaleza y sus enseñanzas en cada paso de mi vida.

A mi hermana Karen Gonzales por sus ánimos y apoyo en mi vida profesional.
A mi sobrina Leia.

A Maricela por su apoyo incondicional en la realización de esta investigación.

AGRADECIMIENTO

- A mis padres Miguel y Mirella por brindarme apoyo en los momentos de dificultad y poder superarlos siempre.
- A mi alma mater Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables y plana docente, por contribuir en mi formación profesional.
- A mi asesor Dr. Luis Eduardo Ore Cierzo por su orientación y los conocimientos aportados dentro de la investigación.
- A los señores miembros del jurado calificador: Ing. MSc. Juan Pablo Rengifo Trigozo, Ing. MSc. Franklin Dionisio Montalvo, Ing. MSc. Edilberto Diaz Quintana e Ing. MSc. Marco Antonio Dueñas Tuesta por sus sugerencias en el presente trabajo
- A Maricela por ser una compañera de vida fiel y por permitirme estar cada día a su lado.
- A mis compañeros de la promoción de oro de Ingeniería ambiental 2014, por su apoyo durante los cinco años de estudio que compartimos en la Universidad Nacional Agraria de la Selva

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general.....	2
1.2. Objetivos específicos	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Antecedentes	3
2.2. Marco conceptual.....	3
2.2.1. Bosque.....	3
2.2.2. Deforestación	4
2.2.3. Preprocesamiento de imágenes satelitales	7
2.2.4. Clasificación de imágenes.....	7
2.2.5. Índice Kappa	8
2.2.6. Simulación de cambios de cobertura	9
2.2.7. Validación del modelo de simulación.....	14
III. MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1. Descripción de la zona de estudio	15
3.1.1. Ubicación de la zona de estudio.....	15
3.1.2. Clima y ecología	15
3.1.3. Fisiografía	16
3.1.4. Vegetación	16
3.1.5. Hidrología	17
3.2. Materiales y equipos	17
3.2.1. Materiales.....	17
3.2.2. Equipos	17
3.3. Metodología.....	18

3.3.1. Determinación de las coberturas de suelo para los años 2005, 2013, 2020 en el distrito de Nueva Requena	18
3.3.2. Determinación de la tasa de deforestación desde el 2005 hasta el 2020 en el distrito de Nueva Requena	20
3.3.3. Simulación de la deforestación al año 2030	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
4.1. Determinación de las coberturas del suelo para los años 2005, 2013, 2020 en el distrito de Nueva Requena.....	27
4.2. Determinación de la tasa de deforestación	32
4.3. Simulación de la deforestación al 2030	38
4.3.1. Cálculo de rangos y peso de evidencia	38
4.3.2. Cálculo de correlación	40
4.3.3. Simulación de la deforestación al 2020	42
4.3.4. Validación	45
4.3.5. Simulación 2030	47
V. CONCLUSIONES	50
VI. RECOMENDACIONES	51
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
ANEXOS	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valoración del índice Kappa	8
Tabla 2. Especies forestales dentro del distrito	16
Tabla 3. Selección de imágenes satelitales Landsat 5 y 8	18
Tabla 4. Cobertura y uso de suelo	19
Tabla 5. Cobertura del suelo año 2005, 2013 y 2020	28
Tabla 6. Tasa de deforestación	33
Tabla 7. Rangos y valores de los pesos de evidencia	39
Tabla 8. Correlación por el índice de Cramer.	41
Tabla 9. Pruebas de simulación	42
Tabla 10. Pruebas de simulación	46
Tabla 11. Tasa anual	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación política	15
Figura 2. Diagrama modelo de cálculo de las matrices de transición	21
Figura 3. Diagrama modelo fijación de rangos de pesos de evidencia.....	22
Figura 4. Diagrama modelo de cálculo de los pesos de evidencia	22
Figura 5. Diagrama modelo de análisis de correlación de variables	23
Figura 6. Diagrama modelo de simulación del paisaje del año 2020	24
Figura 7. Diagrama modelo validación por función exponencial de decaimiento	25
Figura 8. Diagrama modelo validación por función de decaimiento constante con ventanas múltiples	25
Figura 9. Diagrama modelo definitivo de simulación de paisaje 2020-2030.....	26
Figura 10. Área de las coberturas para el año 2005, 2013 y 2020.....	28
Figura 11. Coberturas 2005	29
Figura 12. Coberturas 2013	30
Figura 13. Coberturas 2020	31
Figura 14. Deforestación periodo 2005-2013, 2013-2020 y 2005-2020	33
Figura 15. Tasa de deforestación periodo 2005-2013, 2013-2020 y 2005-2020.....	34
Figura 16. Deforestación periodo 2005-2013.....	35
Figura 17. Deforestación periodo 2013-2020.....	36
Figura 18. Deforestación periodo 2005-2020.....	37
Figura 19. Mapa simulado 2020	44
Figura 20. Salida gráfica de similitudes entre simulación y paisaje observado	45
Figura 21. Validación de similaridad del mapa simulado 2020	46
Figura 22. Deforestación periodo 2005-2013, 2013-2020 y 2020-2030	48
Figura 23. Tasa de deforestación periodo 2005-2013, 2013-2020 y 2020-2030.....	48
Figura 24. Deforestación 2020-2030	49
Figura 25. Zona agrícola con cultivo de cacao	69

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Tablas.....	60
Anexo 2. Fotografías	69
Anexo 3. Distribución de puntos para la matriz de confusión.....	76
Anexo 4. Códigos para el preprocesamiento de las imágenes satelitales	88
Anexo 5. Mapas temáticos del distrito de Nueva Requena	92

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo principal determinar la tasa de deforestación en el distrito de Nueva Requena (Perú), a través del modelo de simulación geoespacial de Dinámica EGO por autómatas celulares; teniendo en cuenta las siguientes variables: distancia a lugares poblados, distancia a vías, distancia a superficies de agua, concesiones forestales, pendiente porcentual, y modelo digital de elevación.

Para dicho propósito, en primer lugar, se procedió a calcular los rangos para categorizar variables continuas a través del método geoestadístico de los pesos de evidencia, con el fin de obtener las probabilidades de transición y, posteriormente, los pesos de las variables que poseen mayor influencia en los cambios. En segundo lugar, se realizó el cálculo de correlación de las variables, en aras de comprobar que las variables ingresadas al modelo sean independientes espacialmente. En tercer lugar, se llevó a cabo una simulación previa al 2020 para compararlo con el mapa real del 2020, con la finalidad de evidenciar si el modelo puede predecir los cambios. Esto último, obteniendo una exactitud de 75 %. En cuarto lugar, se realizó la simulación de la deforestación al 2030 del distrito de Nueva Requena (Perú). Finalmente Se determino que para el periodo 2020 al 2030 se deforestaron 35 112,24 ha con una tasa de deforestación de 3,08 %/año.

Palabras clave: deforestación, Dinámica EGO, autómatas celulares, pesos de evidencia, validación.

ABSTRACT

The principal objective of the current research was to determine the rate of deforestation in the Nueva Requena district (Peru) through the use of the Dinamica EGO geospatial simulation model for cellular automata; taking the following variables into account: distance from populated places, distance from roads, distance from bodies of water, forest concessions, slope percentage, and the digital elevation model.

With this goal in mind, first, the ranges were calculated in order to categorize the continual variables by using the weight of evidence geostatistical method, with the goal of obtaining the transition probabilities, and then the weights of the variables which have a greater influence on the changes. In second place, the calculations were done for the correlation of the variables by using Aras to prove that the variables which were put into the models were spatially independent. In third place, a simulation was done prior to 2020 in order to compare it with the real map of 2020, with the purpose of proving if the model can predict the changes. An accuracy of 75% was obtained with the third step. In fourth place, a simulation of the deforestation through 2030 was done for the Nueva Requena district (Peru). Finally, it was determined that for the 2020 to 2030 period, 35,112.24 ac will be deforested at a deforestation rate of 3.08% per year.

Keywords: deforestation, EGO DYNAMICS, cellular automata, weights of evidence, validation.

I. INTRODUCCIÓN

“La deforestación es un proceso dinámico asociado a cambios sociales, políticos y económicos” (Armenteras y Rodríguez, 2014, p. 234). El crecimiento demográfico, “la debilidad de sectores alternativos productivos” (Chuvieco et al., 2002), la falta de vigilancia y control por parte de autoridades competentes en materia ambiental son causas que incrementan este proceso, trayendo como consecuencia la pérdida de la cobertura boscosa y la disminución de recursos naturales circundantes.

Durante las últimas décadas, los modelos de simulación de cambios de usos y coberturas, principalmente los referidos al proceso de deforestación, se han convertido en una herramienta muy solicitada y útil en el análisis de sus patrones y sus potenciales efectos negativos sobre el territorio. A su vez, representan una herramienta de gestión al proporcionar información sobre los procesos de planificación territorial, especialmente cuando se requiere la simulación de escenarios futuros de coberturas del suelo.

Por otra parte, el departamento de Ucayali se ha convertido en una de las zonas más afectadas por la deforestación. Según el informe *Monitoreo de la pérdida de bosques húmedos amazónicos en el año 2019*, presentado por el Ministerio de Ambiente (Minam), Ucayali fue el primer departamento con mayor deforestación de bosques en el 2019, esto es, con 38 377 hectáreas (ha). Asimismo, según los registros proporcionados por GEO Bosques (Minam, 2020), durante el periodo 2001-2018 se produjo una pérdida de bosques en 29 494 ha del distrito de Nueva Requena, provincia de Coronel Portillo – Ucayali. Sumado a ello, durante el 2019 se alcanzó una pérdida de bosque de 4721 ha.

De acuerdo con el informe de la Gerencia Regional de Flora y Fauna Silvestre, durante el periodo enero-septiembre del 2020, en el distrito de Nueva Requena se identificaron alertas tempranas de deforestación en 2 215.82 ha de bosque, cuya mayor concentración se dio en concesiones, “bosque de producción permanente, comunidades nativas, predios rurales y áreas no categorizadas” (Defensoría del Pueblo, 2017, p. 7), constancias de posesión, entre otros.

Actualmente, el distrito peruano de Nueva Requena se encuentra experimentando fuertes cambios en su cobertura vegetal. Por esa razón, en aras de guiar adecuadamente el desarrollo de esta investigación, se planteó la siguiente interrogante: ¿Cuánto es la Tasa De Deforestación Al 2030 En El Distrito De Nueva Requena – Ucayali estimado mediante Simulación Geoespacial? En ese orden de ideas, se formuló la siguiente hipótesis de

investigación: la tasa de deforestación del distrito de Nueva Requena estimado mediante Simulación Geoespacial, será mayor en el 2030, en comparación con la actual.

1.1. Objetivo general

- Simular geoespacialmente la tasa de deforestación para el año 2030 del distrito de Nueva Requena.

1.2. Objetivos específicos

- Determinar las coberturas de suelo para los años 2005, 2013 y 2020 en el distrito de Nueva Requena.
- Determinar la tasa de deforestación desde el 2005 hasta el 2020 en el distrito de Nueva Requena.
- Simular la deforestación para el año 2030 en el distrito de Nueva Requena.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Pinos (2015) llevó a cabo un examen de evaluación para la construcción de escenarios para el 2010 y el 2030; esto lo condujo a un análisis multitemporal con Landsat de años 1991 y, a su vez, 2001. Este análisis se realizó en el cantón de Cuenca y emplearon prototipos de simulación “(Autómatas celulares de cadenas de Markov CA_MARKOV y el Land Change Modeler -LCM)”.

Con respecto a los modelos del 2010 y 2030, hubo una inclinación en la reducción de cobertura de paramo en 17,000 ha durante ese periodo. Por su parte, Toribio (2016), como se citó en Ibáñez (2019), lideró una indagación de modelamiento espacio en cobertura y utilización del suelo en Nuevo Progreso, San Martín. El estudio se pensó para el 2025. En cuanto a la modelización, se emplearon mapas de CUS del 2000, 2007 y 2015 cartografiadas gracias a imágenes satelitales Landsat y variables (altitud, área y distancia) en zonas deforestadas.

Vallejo (2020) generó un prototipo de predicción espacial en la jurisdicción de Corpochivor en el periodo 2017-2047, el cual se basó en mapas de cobertura y análisis con Dinámica Ego. Utilizando variables como “distancia a las vías, distancia a los centros poblados, distancias a las zonas de explotación minera, pendiente porcentual del terreno, modelo digital de elevación – MDE” (p. 57).

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Bosque

La dinámica de los bosques está directamente relacionada con una serie de actividades antrópicas de origen económico, social y cultural, que han hecho al ser humano beneficiario de los recursos naturales, en diversas escalas temporales (Hernández y de la Tejera, 2016). Actividades como la deforestación, agricultura y ganadería, han ocasionado procesos de cambio de uso de suelo, alteración del ciclo hidrológico y pérdida de la biodiversidad (Restrepo y González, 2007).

De otro lado, los bosques son considerados como una fuente de diversos productos que hoy en día se encuentran amenazados debido a la deforestación y la degradación de los bosques. Además de reducir los bienes y servicios que los bosques proporcionan, la pérdida de superficie también contribuye a acelerar el cambio climático debido a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero generadas en su tala y quema para su conversión a otros usos (agricultura y ganadería) (Tarazona et al., 2018).

Por su parte, Iriarte (2019) mencionó que la evolución de los bosques se da en una primera etapa en donde existe una alta cobertura boscosa y una tasa de deforestación baja, después la tasa de deforestación tiende a aumentar y la cobertura boscosa disminuye, y en última etapa la tasa de deforestación disminuye y la cobertura de bosque comienza a recuperarse.

2.2.2. Deforestación

Según Williams, como se citó en Amaya y Morales (2018), la deforestación se define como un proceso que es causado por actividades humanas y que provocan la destrucción de la superficie forestal. Esto se relaciona con quemas o talas de árboles, al igual que acciones de agricultura, ganadería y minería.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2010) define a la deforestación como “la conversión de los bosques a otro tipo de uso de la tierra o la reducción de la cobertura de copa, a menos del límite del 10 %” (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], s.f., párr. 12). Ressources Naturelles Canada (2014) precisa que deforestación es la eliminación permanente de la cobertura forestal de un área y la conversión de estas tierras forestales a otros tipos de usos como consecuencia directa de las actividades humanas (FAO, s.f.). Quiere decir que integra zonas que son transformadas a la agricultura, zonas urbanas y reservas de agua (FAO, s.f., párr. 13).

Por su parte, siguiendo los Acuerdos de Marrakech (Naciones Unidas, 2002), precisa que deforestación es la transformación de zonas boscosas en tierras que no son forestales por actividad humana directa. Además, indica que los principales factores causantes de la rápida deforestación son los siguientes:

- La agricultura industrial, por ejemplo, la producción de soya y de aceite de palma, así como la ganadería;
- La explotación forestal industrial causada por la demanda internacional de maderas,
- La pobreza y presión demográfica debido a que las personas van buscando tierras agrícolas, leña y materiales de construcción;
- El desarrollo de infraestructura, especialmente carreteras, actividades mineras y represas.

Además, Berau (2018) manifiesta que, la deforestación se da mayormente en lugares donde la actividad agropecuaria es la principal actividad económica de la población. Carranza (2017) manifestó que la cercanía a los ríos es el factor principal que explica la selección de sitios para la actividad agrícola. Ramírez et al. (2017) estimaron que la deforestación ocurre dentro de distancias próximas a un camino. Cervera et al. (2019) señalaron que uno de los promotores de la deforestación son las modificaciones o la implementación de políticas públicas.

Por su parte, Opdam et al. (2018) indicaron que la transición de recuperación de la cobertura boscosa es un proceso ligado al desarrollo económico, que se produce de manera prácticamente automática a partir de un determinado nivel de modernización, además también de factores sociales y ambientales muy complejos, y prácticamente imposibles de modelizar.

2.2.2.1. Deforestación en el Perú

El Perú es el segundo país con mayor extensión de bosques húmedos amazónicos, al 2019 contaba con 68 274 160 ha (Ministerio del Ambiente de Perú, s.f.). En los últimos 18 años (2001-2019), el Perú ha perdido 2 433 314 hectáreas de bosque y, en promedio, 128 069 ha anuales de bosque (Ministerio del Ambiente de Perú, 2021; Minam, 2020). Durante el 2019, la pérdida de bosque húmedo amazónico en el Perú fue de 148 426 hectáreas, que representó el 4.1 % menos en comparación con lo reportado en el 2018 (154 766 ha) (Redacción Perú21, 2020).

2.2.2.2. Deforestación en Ucayali

Algunas de las normativas que el gobierno de Ucayali ha emitido, las cuales han contribuido a la toma de decisiones para los procesos de deforestación, son la Ordenanza Regional N.º 012-2015-GRU/CR y Ordenanza Regional N.º 010-2018-GRU-CR (Servindi, 2019; Kené. Instituto de Estudios Forestales y Ambientales, 2020).

En el 2019, Ucayali presentó el nivel incrementado de pérdida de bosque; lo siguió Loreto y Madre de Dios (Minam, 2021, p. 17). Al año 2019, Ucayali registró una pérdida de bosque húmedo amazónico de 38 377 ha. Esto es 47.6 % más de lo reportado en el 2018 (25 991 ha) (Minam, 2021). Podría decirse que, en un rango aproximado, la pérdida anual fue de 22 255 ha entre el 2001-2009. Sobre todo, se concentró en las siguientes provincias: “Coronel Portillo (17 869 ha), Padre Abad (10 365 ha) y Atalaya (10 063 ha)” (Minam, 2021, p. 91).

Según el nivel de alertas tempranas de deforestación, desde el 4 de enero al 16 de septiembre del 2020, se determinó un total de 28 284.57 ha deforestadas en el departamento de Ucayali, donde la mayor deforestación se encuentra en concesiones (forestales fines maderables, conservación, ecoturismo) con 9225.28 ha y en bosque de producción permanente con 6533.13 ha, representando un 55.72 % del área deforestada. En tercer lugar, se encuentran las comunidades nativas con 5499.56 ha deforestadas (Gerencia Regional Forestal y de Fauna Silvestre [GERFFS], 2020).

De acuerdo con la Estrategia Nacional sobre Bosques y Cambio Climático (ENBCC, 2016), el departamento de Ucayali experimentará una pérdida de bosque con un total de 727 601 ha.

2.2.2.3. Deforestación en Nueva Requena

En el distrito de Nueva Requena, durante los años 2011 y 2012, se han “deforestado 12 188 ha en dos proyectos de plantaciones de palma aceitera, un total de 9 040 ha (el 77 %) correspondieron a zonas donde existía bosque primario antes de la instalación del proyecto” (InfoAmazonía, 2015, párr. 7) (LTAS, 2014).

Entre 2012 y 2013 se deforestaron 10 926 ha, con la finalidad de dedicar ilegalmente dichos bosques a actividades agroindustriales (InfoAmazonía, 2015b).

Además, durante el mes de septiembre a noviembre del 2013 hubo una pérdida de bosques de 2000 ha en Nueva Requena, debido a habilitación de plantaciones de palma aceitera a gran escala (Monitoring of the Andean Amazon Project [MAAP], 2017).

Por su parte, Minam (2017) reportó que en el distrito de Nueva Requena el área total de bosque para el año 2005 fue de 168 346 ha, y el área total de bosque para el año 2013 fue de 155 5544 ha. Durante el periodo 2001-2018, se produjo una pérdida de bosques de 29 494 ha en el distrito de Nueva Requena.

2.2.3. Preprocesamiento de imágenes satelitales

Las imágenes satelitales se han convertido en un instrumento esencial para la construcción de inventarios de la utilización del suelo; estas se encargan de ofrecer información básica en pro de planificar, ordenar y gestionar el territorio (Zerda, 2002, como se citó en RStudio, s.f.). Para el caso del Programa Landsat, las imágenes que están disponibles para el usuario poseen una georreferenciación. También cuentan con “corrección al primer factor de error (corrección geométrica), la corrección radiométrica y atmosférica se delega a las habilidades y conveniencias del usuario” (Bowen, 2018, p. 19).

2.2.4. Clasificación de imágenes

La categorización consiste en un proceso que busca ordenar los píxeles en clases. Esta distribución se realiza a través de valores digitales, según los atributos que el pixel satisfaga (Ruíz y Salcedo, 2005, como se citó en Quispe, 2019).

2.2.4.1. Clasificación supervisada

Una clasificación semiautomática (también conocida como clasificación supervisada) es una estrategia de procesamiento de imágenes, la cual ayuda a identificar recursos a partir de firmas espectrales (Jiménez, 2019, p. 7). Claro está, según las resoluciones del sensor, la cantidad y la clase de cobertura del suelo puede variar de forma relevante (Breve Introducción a la Teledetección, s.f.). En la actualidad, hay varias clases de algoritmos de clasificación; el fin general se fundamenta en construir un mapa temático que represente la cobertura del suelo” (Congedo, 2016, como se citó en Jiménez, 2019, p. 7).

2.2.5. Índice Kappa

El índice Kappa es otra forma de medir la exactitud de un mapa, puesto que incluye dentro del cálculo todos los valores de la matriz y no solamente de los extremos (Sánchez, 2010).

A continuación, según Sánchez (2010), se muestra cómo se calcula el índice Kappa:

$$K = \frac{n \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}}{N - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}} \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

r : número de filas en la matriz.

n : número total de observaciones (áreas de verificación).

x_{ii} : número de observaciones en la fila i y columna i .

x_{i+} y x_{+i} : total de marginal de fila i y columna i , respectivamente.

Tabla 1. Valoración del índice Kappa

Valor K	Fuerza de concordancia
< 0,20	Pobre
0,21 – 0,40	Débil
0,41 – 0,60	Moderada
0,61 – 0,80	Buena
0,81 – 1,00	Muy buena

Fuente: (Fernández, 2018)

Siguiendo a Zamora et al., (2016), se presentan los siguientes conceptos:

- Error de Comisión: es el error que resulta de la clasificación, en la cual un pixel corresponde a una categoría de cobertura que no se clasifica de esa manera (Infante y Martínez, 2017, p. 31).

- Error de Omisión: es el error que resulta de la clasificación, en la cual un pixel es categorizado como un tipo de cobertura a la que no es parecida.
- Exactitud: es el nivel de concordancia entre el valor real y el resultado de las observaciones o estimaciones de una característica.
- Precisión: es el nivel de concordancia entre medidas repetidas de la misma característica. Se representa como una estrecha agrupación de resultados de los puntos de muestreo o parcelas. La precisión es inversamente proporcional al error.

2.2.6. Simulación de cambios de cobertura

En temas de simulación, se llevan a cabo iteraciones que reflejan el transcurso del tiempo según la variable (Reyna et al., 2017, como se citó en Arellano y Castro, 2019). Por su parte, Dinámica EGO utiliza dos funciones de autómatas celulares locales complementarios para la simulación. La primera hace referencia al Patcher, la cual es construida para asociar la formación de nuevos parches. Otra se conoce como Expander, puesto que simula las transformaciones que son llevadas por expansión en clases. Cabe mencionar que es fundamental delimitar el porcentaje de transiciones que se van a ejecutar en cada función y, al mismo tiempo, describir los parámetros reflejados por la medida, tamaños, varianza e isometría (Godoy y Soares-Filho, 2008; Mas y Quiroz, 2008, como se citó en Leija, 2013).

La isometría varía de 0 a 2, cuanto mayor es este número las formas es más isométrica (Ramírez-Mejía et al., 2017). El 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 (Sahagún 2012, como se citó en Leija, 2013).

2.2.6.1. Matriz de transición

Una matriz de transición ayuda a describir la cantidad de cambio, que se refleja en un periodo de tiempo. Esto permite al prototipo identificar el número de celdas que deberían llevar el cambio de un estado a otro. Dichas matrices pueden alterarse según la zona y lo que se quiere producir (Soares-Filho et al., 2009, como se citó en Arellano y Castro, 2019).

La matriz representada en la ecuación 6 muestra cómo el valor de una variable es igual a la sumatoria de porcentajes fijos de las variables según el periodo previo. “ P_{ij} se entiende como el porcentaje de celdas que cambiaron de i a j . La suma de los elementos (P_{ij}) a lo largo de la columna de la matriz es igual a uno (1)” (Vallejo, 2020, p. 28).

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ \vdots \\ j \end{bmatrix}_{t=v} = \begin{bmatrix} P_{11} & \dots & P_{i1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{1j} & \dots & P_{ij} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ \vdots \\ j \end{bmatrix}_{t=0} \dots\dots\dots(2)$$

$$\sum_{i=1}^n P_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, n \dots\dots\dots(3)$$

La matriz de transición se calcula para un lapso y se deriva de la siguiente forma: (Vallejo, 2020):

$$P^t = H * V^t * H^{-1} \dots\dots\dots(4)$$

“H y V son matrices de Valores y Vectores propios” (p. 28).

2.2.6.2. Rangos de peso de evidencia

Esto es un método geoestadístico (estadística Bayesiana) que ayuda a describir el impacto de cada variable explicativa sobre la transición. Claro está, no se tiene en cuenta el resto de las variables (Reyna et al., 2017, como se citó en Arellano y Castro, 2019).

Este método, adaptado de Agterberg y Bonham-Carter (2005), calcula rangos de acuerdo con la estructura de datos estableciendo primero un delta mínimo (Dx) para una variable x de tono gris continuo que se usa “para construir n búfers incrementales (Nx) que comprenden intervalos de ($X_{min}, X_{min} + nDx$)” (Arellano y Castro, 2019, p. 22). Cada n define un umbral que divide el mapa en dos clases: (Nx) y (\overline{Nx}). A_n es el número de celdas para un buffer (Nx) múltiplo de n y d_n es el número de ocurrencias para el evento modelado

(D) dentro de este búfer. Las cantidades A_n y D_n se obtienen para una secuencia ordenada de almacenamientos intermedios N ($X_{min} + nDx$).

2.2.6.3. Coeficientes de peso de evidencia

El método de los pesos de evidencia se basa en las probabilidades condicionales. La probabilidad condicional alude a un suceso que se cumple luego de que otro ya se haya satisfecho (Gaitán, 2015).

La probabilidad de ocurrencia de un evento (D), como un cambio en la cobertura terrestre, dado un mapa binario que define la presencia o ausencia de un patrón geográfico (B), como un tipo de suelo, puede expresarse mediante el condicional o probabilidad posterior ecuación (9). (Vallejo, 2020, p. 32):

$$P\{D \cap B\} = \frac{(D \cap B)}{D} \dots\dots\dots(5)$$

Por su parte, la fracción de área ocupada por (B) según el total del área de estudio (A)” (Vallejo, 2020, p. 32):

$$P\{B\} = \frac{B}{A} \dots\dots\dots(6)$$

Según Vallejo (2020), se debe reemplazar los radios de probabilidad de la siguiente manera (p. 32):

$$P \frac{\{D|B\}}{1 - P\{D|B\}} \dots\dots\dots(7)$$

Así pues, se deduce que la post-probabilidad de transición i a j surge por la mezcla de patrones para una localización fija (x,y) (Kürzl y Merriam 2013, como se citó en Vallejo, 2020, p. 33):

$$P\{i \rightarrow j|B \cap C \cap D \cap \dots \cap N\} = \frac{e^{\Sigma W^+}}{1+e^{\Sigma W^+}} \dots\dots\dots(8)$$

La ecuación provoca que la utilización del análisis de superposición resulte conveniente para crear “mapas de favorabilidad para una transición de i a j” (Vallejo, 2020, p. 33).

2.2.6.4. Análisis de correlación

Los pesos de evidencia en los mapas, al emplearse como insumos, suelen ser independientes. Esto alude a una serie de medidas, las cuales pueden implementarse para fijar la validez de ese supuesto según el test de Cramer (Bonham-Carter, 1994). En este sentido, las variables correlaciones tienen que desecharse o combinarse para que surja otra dentro del modelo. De este modo, el modelo lleva a cabo evaluaciones pareadas para mapas categóricos, con el objetivo de sustentar el supuesto de independencia (Leija, 2013).

- Coeficiente de correlación V Cramer.

V de Cramer apunta a ser una medida simétrica, la cual se orienta en la intensidad del vínculo entre dos o más variables que pertenecen a la escala nominal. Una de las dos variables posee dos formas posibles (Bonham, 1994, como se citó en Vallejo, 2020, p. 36). El cálculo de dicho coeficiente se relaciona con:

$$V = \sqrt{\frac{X^2}{n(\min[r, c] - 1)}} \dots\dots\dots(9)$$

De acuerdo con la ecuación, “n corresponde al total de casos (volumen de la muestra), determinando adicionalmente el valor mínimo entre r (número de filas) y c (número de columnas)” (Vallejo, 2020, p. 36).

El estadístico de Cramer funciona en un rango entre 0 y 1 con un valor próximo a 1; lo cual señala un alto grado de correlación y, por tanto, una de las variables se elimina. No hay un límite de tolerancia que sea delimitado, pero se comprende que el valor es 0.5 (Espinoza, 2016, como se citó en Arellano y Castro, 2019).

2.2.6.5. Mapa de probabilidad basado en pesos de evidencia

Este modelo refleja la probabilidad de que una celda en la posición (x, y) se transforme de la posición i al estado j. “Las probabilidades de transición espacial se calculan para cada celda en el mapa raster de paisaje y para cada transición especificada” (Vallejo, 2020, p. 40).

$$\log\{D|B\} = \log\{D\} + W \dots\dots\dots(10)$$

Dinámica EGO utiliza el método de pesos de evidencia. Así pues, se emplea una ecuación logística polimórfica general para escoger las zonas que resultan favorables para cada transición. Los cálculos se ejecutan a partir de “las variables espaciales de entrada” (GUO, 2015, como se citó en Vallejo, 2020, p. 40) así,

$$P\{i \rightarrow j|B \cap C \cap D \cap \dots \cap N\} = \frac{e^{\sum W^+}}{1+e^{\sum W^+}} \dots\dots\dots(11)$$

Donde:

W^+ es el Peso de Evidencia de ocurrencia del evento D, dado un patrón espacial B. La post-probabilidad espacial de una transición $i \rightarrow j$, dado un conjunto de datos espacial (A, B, C, ... N) en el que cada una representa los valores de k variables espaciales medidos en la localización (x, y) y W_N^+ representa sus pesos. (GUO, 2015, como se citó en Vallejo, 2020, p. 40)

Al tomar “un solo patrón predictor, el peso positivo W^+ y el peso negativo W^- ” que son empleados como una distinción entre el logaritmo de la probabilidad anterior y posterior de D (GUO, 2015, como se citó en Vallejo, 2020, p. 41):

$$W^+ = \ln P(D|E) - \ln P(D) = \ln \left[\frac{P(D|E)}{P(D)} \right] \dots\dots\dots(12)$$

$$W^- = \ln P(D|\bar{E}) - \ln P(D) = \ln \left[\frac{P(D|\bar{E})}{P(D)} \right] \dots\dots\dots(13)$$

El método de pesos de evidencia utiliza el logaritmo natural de la probabilidad; dicha escala se centra en 0 y un rango de probabilidad de 0,5 con niveles negativos menor a 1 y positivo si es mayor a 1 (Vallejo, 2020). Luego de calcular, el logaritmo puede resultarse de las siguientes ecuaciones:

$$\ln P(D|E) = \ln P(D) + W^+ \dots\dots\dots(14)$$

$$\ln P(D|\bar{E}) = \ln P(D) + W^- \dots\dots\dots(15)$$

Al utilizarse más variables, estas pueden llegar a relacionarse bajo la siguiente ecuación (Vallejo, 2020):

$$\text{Ln}P(D|E_1^K \cap E_2^K \cap \dots E_n^K) = \text{Ln}P(D) + \sum_{j=1}^n W_{E_j}^K \dots\dots\dots(16)$$

“Donde el superíndice W es positivo (+) o negativo (-) dependiendo de si la variable explicativa está presente o ausente, respectivamente” (Vallejo, 2020, p. 42).

2.2.7. Validación del modelo de simulación

Para validar el modelo de simulación en Dinámica EGO se utiliza dos tipos de función de decaimiento: la primera es la prueba de la función de decaimiento exponencial, donde se realiza la comparación entre el mapa real observado (mapa inicial), el mapa real observado (mapa final) y el mapa simulado (Rodrigues et al., 2007).

En temas de la segunda prueba de validación, se puede emplear la función de decaimiento como ventana diversa. Este examen funciona, de forma semejante al ya realizado, pero produce comparaciones “desde una ventana de tamaño de un pixel incrementando de dos en dos hasta 11 pixeles” (Anahua, 2020, p. 44).

En cuanto al resultado, se logran obtener dos valores de similitud que surgen de la “comparación de 1 con 2 y viceversa” (Leija et al., 2016, como se citó en Arellano y Castro, 2019, p. 27). Cabe mencionar que se trabaja con un nivel mínimo de porcentaje de coincidencia, con el fin de prevenir #resultados sobredimensionados de un ajuste artificialmente alto” (p. 27). Espinoza (2016), como se citó en Arellano y Castro (2019), afirmó que cuando los valores de similitud sobrepasan el 50 %, entonces se puede decir que es un éxito la validación (p. 27). Hagen (2003), como se citó en Anahua (2020), concuyó que un valor superior a 50 % se interpreta como bastante similar (p. 43).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción de la zona de estudio

3.1.1. Ubicación de la zona de estudio

El Distrito de Nueva Requena forma parte de la Región Natural Selva Baja u Omagua, ubicado a 138 m s. n. m., se encuentra al Oeste de la Provincia de Coronel Portillo y al Noroeste del Departamento de Ucayali, precisamente en la zona Sur de la cuenca del río Aguaytía. (Condori, 2018, p. 61)

Asimismo, cuenta con un área de 2 059,98 Km². Las coordenadas UTM del distrito son 501 800 Este (m) y 9087000 Norte (m).

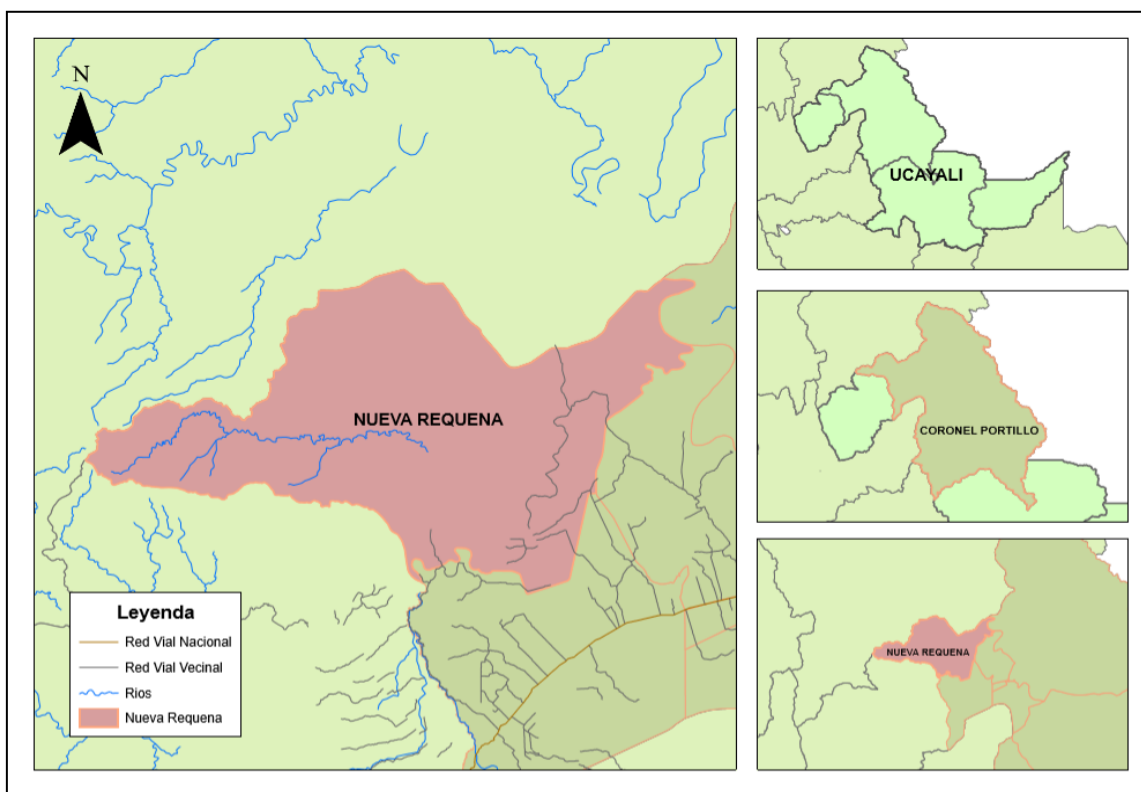


Figura 1. Ubicación política

3.1.2. Clima y ecología

En relación con el clima, predomina el clima cálido y húmedo con abundantes precipitaciones, con una temperatura máxima de 32.5 °C y mínima de 19.30 °C.

Los meses con mayor precipitación comprenden el periodo noviembre-marzo. La humedad relativa es de 89 % y su variación está de acuerdo con las lluvias (SENAMHI, 2017).

Con respecto a su ecología, de acuerdo con la clasificación de zonas de vida o formaciones vegetales del mundo, la zona de estudio se encuentra dentro de la zona ecológica bosque húmedo-premontano subtropical (bh-PST) (SENAMHI, 2017).

3.1.3. Fisiografía

El distrito de Nueva Requena “Presenta las unidades fisiográficas de colinas bajas (de ligera a moderadamente disectada y lomada), terrazas bajas inundables y terrazas bajas no inundables” (Escobedo, 2005, p. 16) (PDC, 2015).

3.1.4. Vegetación

La abundante vegetación arbórea se ve favorecida por la frecuencia y excesiva precipitación, donde predomina capirona, bolaina y copaiba (PDC, 2015). En concordancia con el Plan Operativo Anual (POA), entre las especies forestales que sobresalen se encuentra las siguientes (ver Tabla 2):

Tabla 2. Especies forestales dentro del distrito

N	Nombre Científico	Nombre común
1	<i>Paramachaerium schunkei</i>	Aguano Masha
2	<i>Apuleia leiocarpa</i>	Anacaspi
3	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	Azucar Huayo
4	<i>Cariniana decandra</i>	Cachimbo
5	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Capirona
6	<i>Hura crepitans</i>	Catahua
7	<i>Copaifera paupera</i>	Copaiba
8	<i>Myroxylon balsamum</i>	Estoraque
9	<i>Ormosia schunkei</i>	Huayruro
10	<i>Ceiba samauma</i>	Huimba
11	<i>Amburana cearensis</i>	Ishpingo
12	<i>Ceiba pentandra</i>	Lupuna
13	<i>Eschweilera coriacea</i>	Machimango
14	<i>Brosimum alicastrum</i>	Manchinga

15	<i>Clarisia racemosa</i>	Mashonaste
16	<i>Pterocarpus rohrii</i>	Palisangre
17	<i>Parkia nitida</i>	Pashaco
18	<i>Aspidosperma parvifolium</i>	Quillobordon
19	<i>Manilkara bidentata</i>	Quinilla
20	<i>Dipteryx odorata</i>	Shihuahuaco
21	<i>Handroanthus serratifolius</i>	Tahuari
22	<i>Terminalia oblonga</i>	Yacushapana

3.1.5. Hidrología

El río Aguaytía es un río navegable y uno de sus tributarios es la quebrada Zanja Seca, que es afluente del río Negro (PDC, 2015).

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales

Imágenes satelitales Landsat 5 sensor TM con resoluciones de 30 m con Path_Row: 6_66, 7_65 y 7_66 del año 2005, imagen satelital Landsat 8 sensor OLI/TIRS con resolución de 30m con Path_Row: 6_66, 7_65 y 7_66 del año 2013 y 2020, imágenes satelitales ASTER GDEM (Aster Global Digital Elevation Model) SW8W75, SW8W76, SW9W75 y SW9W76 con resolución de 30m, Imagen satelital PERUSAT con resolución de 0,7 m, imagen satelital PLANETSCOPE con resolución de 4 m, software DINAMICA EGO, Software R 4.0.0, Software QGIS 3.4.10, Google Earth, Software Microsoft Word y Excel, cuaderno de campo y útiles de escritorio en general.

3.2.2. Equipos

“Laptop Toshiba Intel(R) Core(TM) i5, GPS GARMIN eTrex Vista® HCx y cámara digital Sony Cybershot W730”

3.3. Metodología

3.3.1. Determinación de las coberturas de suelo para los años 2005, 2013, 2020 en el distrito de Nueva Requena

- Adquisición de las imágenes satelitales

La adquisición de las imágenes satelitales, Landsat 5 con sensor TM y Landsat 8 con sensor OLI/TIRS, se realizó por la Web Earth Explorer de la institución United States Geological Survey (USGS), a través de la cual se descargaron las imágenes satelitales de los años 2005, 2013 y 2020.

El criterio de selección de las imágenes fue el siguiente: imágenes con menor porcentaje de nubes en el área de estudio, cuya distribución temporal sea equidistante. En ese orden de ideas, se llevó a cabo el corte de la imagen satelital con el área del distrito de Nueva Requena; y, posteriormente, se realizó la proyección cartográfica a proyección universal transversal de Mercator (UTM), zona 18 sur, Datum World Geodetic System 1984 (WGS 84).

Tabla 3. Selección de imágenes satelitales Landsat 5 y 8

Orden	Path/Row	Fecha	Formato	Resolución	Satélite
1	006/066	29/08/2005	Geo Tiff	30m	LandSat 5 TM
2	007/065	29/08/2005	Geo Tiff	30m	LandSat 5 TM
3	007/066	29/08/2005	Geo Tiff	30m	LandSat 5 OLI
4	006/066	04/08/2013	Geo Tiff	30m	LandSat 8 OLI
5	007/065	04/08/2013	Geo Tiff	30m	LandSat 8 OLI
6	007/066	04/08/2013	Geo Tiff	30m	LandSat 8 OLI
7	006/066	06/08/2020	Geo Tiff	30m	LandSat 8 OLI
8	007/065	06/08/2020	Geo Tiff	30m	LandSat 8 OLI
9	007/066	06/08/2020	Geo Tiff	30m	LandSat 8 OLI

- Preprocesamiento de imágenes satelitales

El preprocesamiento se realizó a través del software R, por medio del cual se cargaron las imágenes. Asimismo, se realizó la conversión de números digitales a

reflectancia en el techo de la atmósfera (TOA), y de reflectancia a TOA a reflectancia de superficie, teniendo en cuenta las bandas.

- Clasificación digital

Para la clasificación digital se tomaron puntos de muestreo en campo con sistema de posicionamiento digital (GPS), con el fin de determinar las áreas de entrenamiento.

En ese sentido, el proceso de clasificación se realizó con el software R, se crearon áreas de entrenamiento para cada una de las imágenes que fueron asignadas por datos registrados en campo, teniendo como apoyo imágenes de PeruSat-1 y PlanetScope. Las clases que presentaron características similares de respuesta espectral se consideraron como una misma cobertura del suelo.

Tabla 4. Cobertura y uso de suelo

Nº	Descripción
1	Bosque
2	Otros cultivos transitorios
3	Arroz
4	Palma Aceitera
5	Cacao
6	Pastos
7	Zonas urbanizadas
8	Suelo sin cobertura
9	Vegetación secundaria
10	Superficies de Agua

Una vez definidas las clases, se procedió a realizar la clasificación supervisada mediante el algoritmo de clasificación de Support Vector Machine (SVM), agrupando píxeles con características similares y en la misma categoría.

- Validación de la clasificación

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 del distrito de Nueva Requena, a través de la verificación in situ mediante del uso de GPS (Garmin Map 62s). (Córdova y Sánchez, 2020, p. 48)

Adicionalmente, se contó con el apoyo de las imágenes de PeruSat-1y PlanetScope. Posteriormente, se llevó a cabo la validación a través de una matriz de confusión “(cuya exactitud será medida mediante el índice de Kappa)” (Chillihuani, 2018, p. 51).

3.3.2. Determinación de la tasa de deforestación desde el 2005 hasta el 2020 en el distrito de Nueva Requena

Para este proceso se calculó la tasa de deforestación que hubo entre los periodos objeto de estudio, según la fórmula establecida por la FAO (1996):

$$S_n = \left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 * 100 \dots\dots\dots(17)$$

Donde:

S: tasa de cambio anual.

S_1 : superficie en la fecha 1.

S_2 : superficie en la fecha 2.

n: número de años entre las dos fechas.

3.3.3. Simulación de la deforestación al año 2030

Para la simulación de la deforestación del distrito de Nueva Requena, se utilizó el software Dinámica EGO 4.0.

Las variables que se consideraron en la investigación fueron las siguientes:

Variable dependiente:

- Deforestación

Variables independientes:

- Concesiones forestales.

- Distancia a áreas ya deforestadas.
- Distancia a vías.
- Distancia a lugares poblados.
- Distancia a superficies de agua.
- Altitud.
- Pendiente porcentual.
- Precipitación.

Se emplearon “estas variables debido a que han sido identificadas como causas próximas de la deforestación” (Carr et al., 2008, como se citó en Espinoza, 2016, p. 39)

- Matriz de transición

Las dos matrices de probabilidad de cambio se calcularon mediante el software Dinámica Ego. Se escogió una tasa para todo el periodo de análisis (15 años) y otra tasa de probabilidad de transición anualizada (López et al., s.f.).

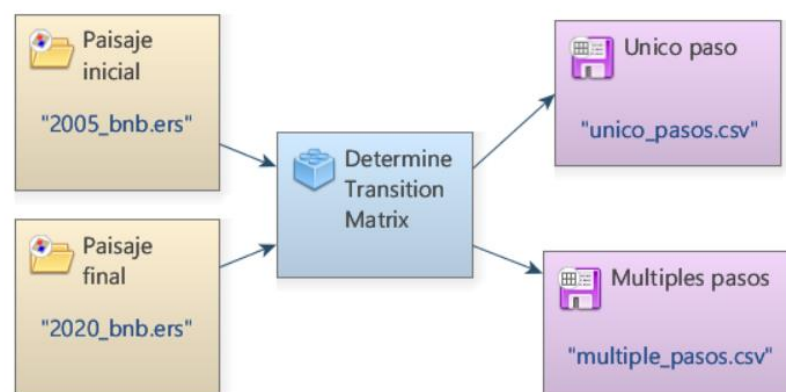


Figura 2. Diagrama modelo de cálculo de las matrices de transición

Fuente: elaboración propia basada en Dinámica EGO

- Rangos y pesos de evidencia

Para este procedimiento se empleó el software Dinámica Ego, con el fin de determinar el nivel de influencia de cada una de las variables en los procesos de

deforestación. Dinámica Ego utiliza el método geoestadístico de pesos de evidencia, que “solo es aplicable a variables categóricas, fue necesario categorizar aquellas variables continuas (datos cuantitativos, tales como mapas de distancias, altitud, pendiente)” (Anahua, 2020, p. 72).

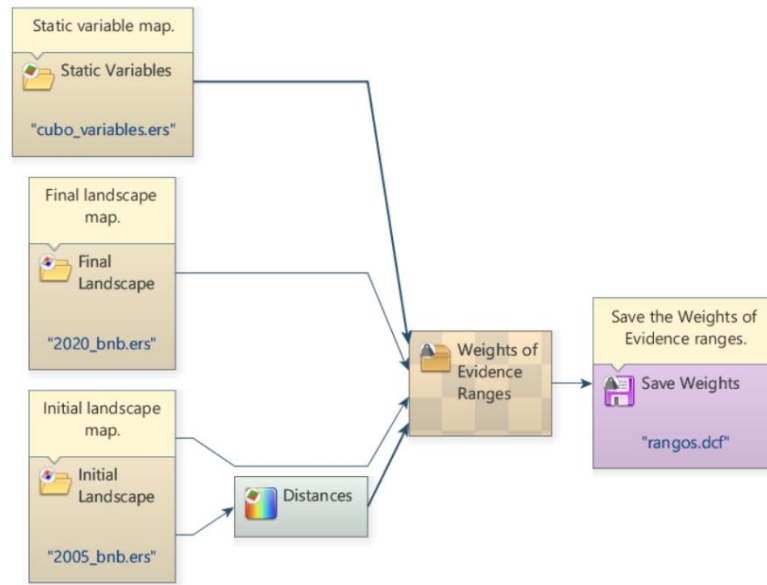


Figura 3. Diagrama modelo fijación de rangos de pesos de evidencia

Fuente: elaboración propia basada en Dinámica EGO

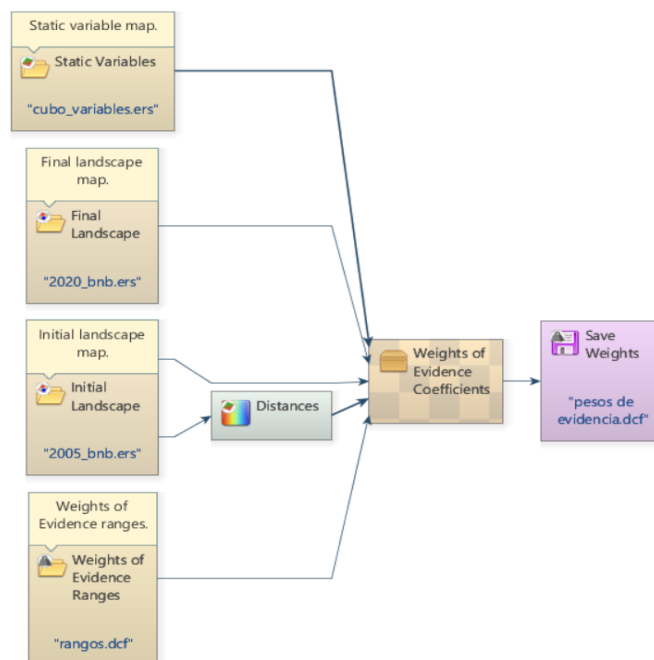


Figura 4. Diagrama modelo de cálculo de los pesos de evidencia

Fuente: elaboración propia basa en Dinámica EGO

- Cálculo de correlación

Una vez calculados los coeficientes de pesos de evidencia, se procedió a realizar el cálculo de correlación, con la finalidad de comprobar el supuesto de independencia de las variables. “Era necesario que las variables insumo incluidas en el modelo sean independientes espacialmente, para lo cual Dinámica EGO incluye en el modelo el índice de Cramer” (Bonham-Carter, 1994; Soares et al., 2009) para verificar su independencia” (Espinoza-Mendoza, 2016, p. 9).

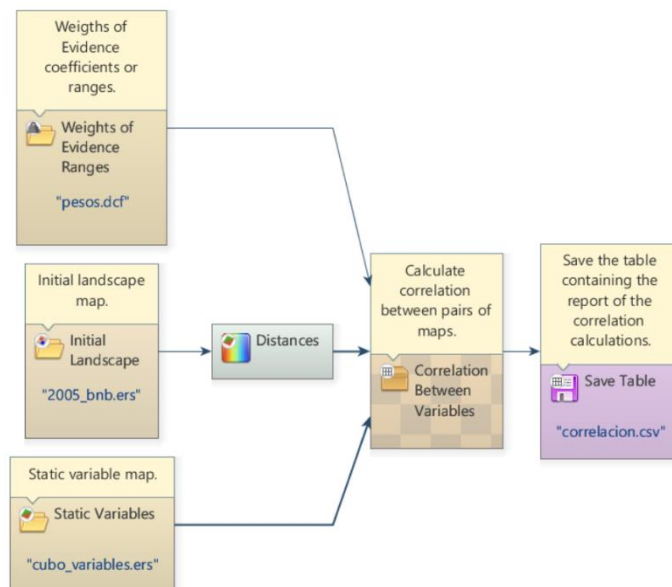


Figura 5. Diagrama modelo de análisis de correlación de variables

Fuente: elaboración propia basada en Dinámica EGO

- Simulación de la deforestación al 2020

“Para la construcción de la modelación se ingresaron el paisaje inicial (bosque/no bosque 2005) [...] las variables, la matriz de transición de múltiples pasos y los coeficientes de pesos de evidencia” (Vallejo, 2020, p. 71). “El modelo permite fijar el número de iteraciones que se correrá que para el caso corresponde a 15, es decir, la cantidad de años transcurrida entre el periodo inicial y final” (Vallejo, 2020, p. 71).

“Los modelos de deforestación futura en Dinámica responden a dos comportamientos fundamentales de formación de hotspots (puntos calientes de deforestación)”

(Vallejo, 2020, p. 71). Igualmente, “se pueden generar nuevos parches que se conoce como patcher y también se puede incrementar su tamaño de los parches existentes denominado expandir” (p. 71). La simulación de la deforestación requiere de tres parámetros de entrada para la generación de nuevos parches, a saber, la media, la varianza y la isometría (Vallejo, 2020).

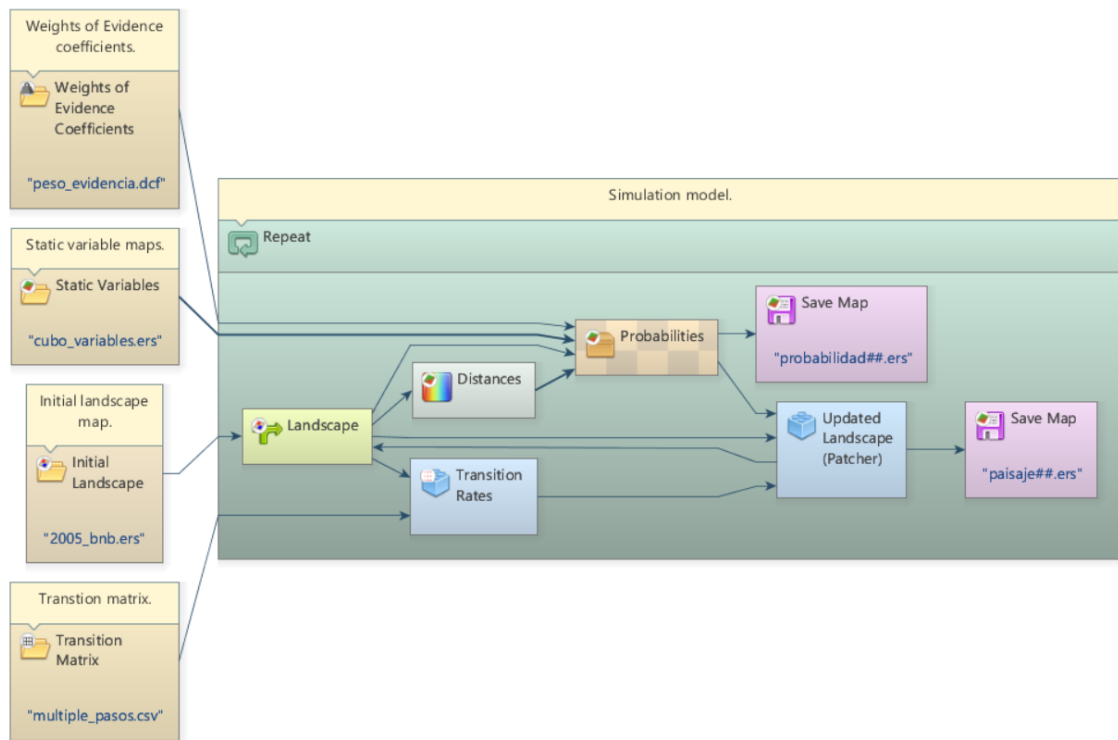


Figura 6. Diagrama modelo de simulación del paisaje del año 2020

Fuente: elaboración propia basada en Dinámica EGO

- Validación del mapa simulado

El mapa real observado se comparó con el mapa simulado, con la finalidad de analizar si el modelo puede o no predecir los cambios lo más similar posible a la realidad. Para ello, se utilizó el método de decaimiento exponencial y el método de decaimiento de ventanas múltiples.

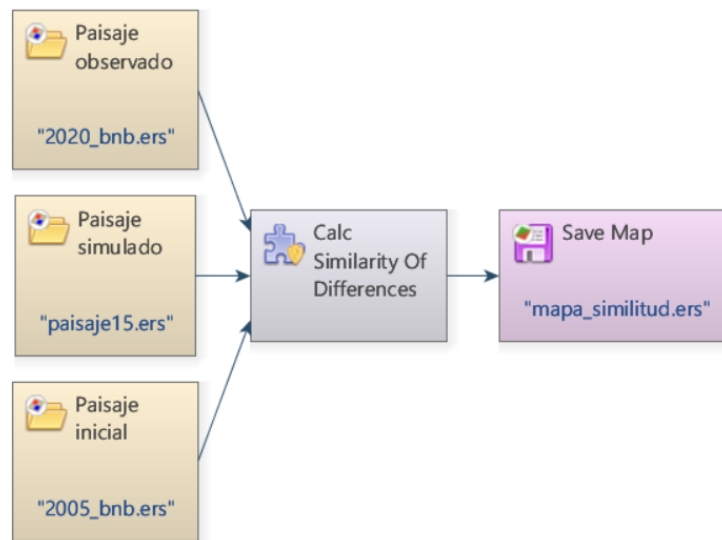


Figura 7. Diagrama modelo validación por función exponencial de decaimiento

Fuente: elaboración propia basada en Dinámica EGO

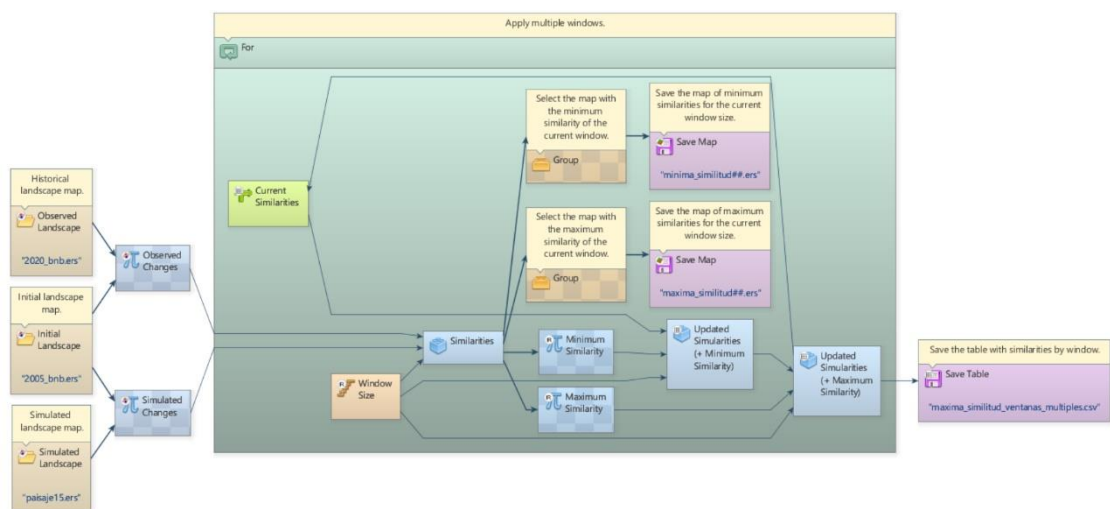


Figura 8. Diagrama modelo validación por función de decaimiento constante con ventanas múltiples

Fuente: elaboración propia basada en Dinámica EGO

- Simulación de la deforestación al 2030

Una vez verificado el modelo en cuanto a insumos y características de entrada, se fijó el parámetro que corresponde al porcentaje de cambio a la expansión y a la generación de nuevos parches.

Por otra parte, los insumos requeridos para el modelo correspondieron al paisaje inicial (2020), las variables, la “matriz de transición de múltiples pasos” y los coeficientes de pesos de evidencia (Vallejo, 2020).

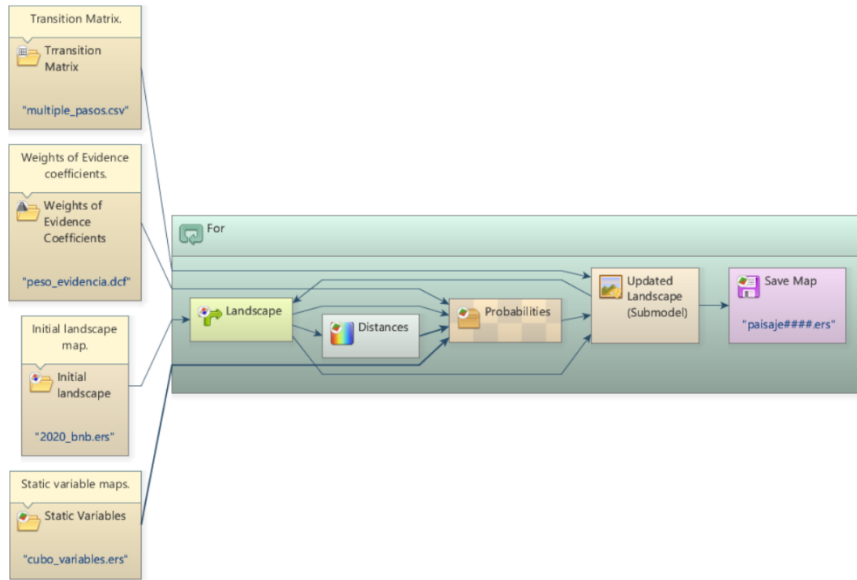


Figura 9. Diagrama modelo definitivo de simulación de paisaje 2020-2030

Fuente: elaboración propia basada en Dinámica EGO

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación de las coberturas del suelo para los años 2005, 2013, 2020 en el distrito de Nueva Requena

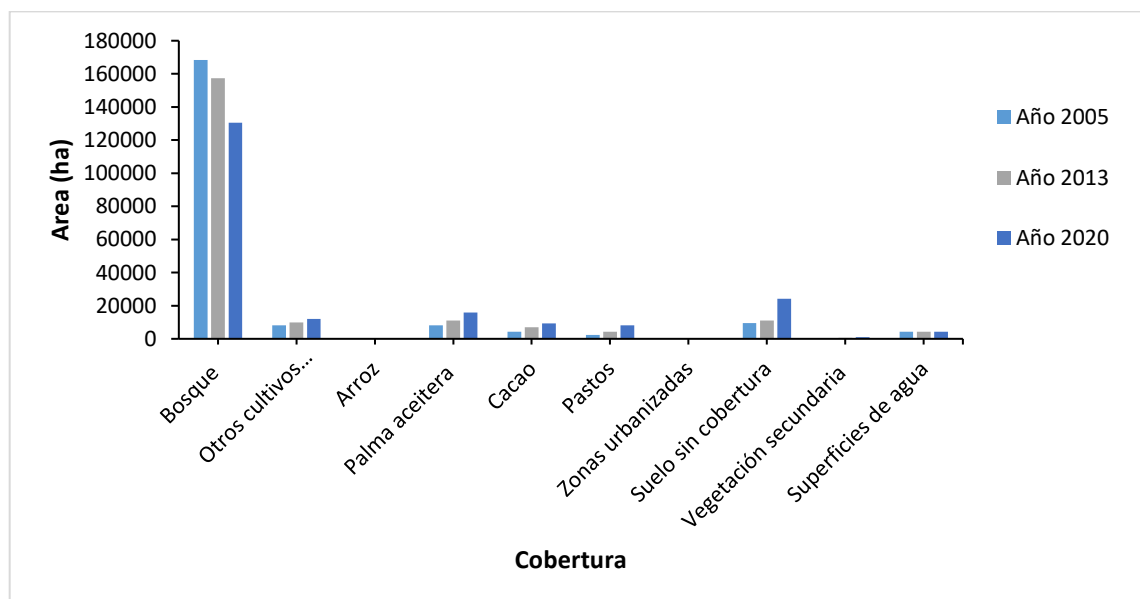
La clasificación de las imágenes satelitales dio como resultado los mapas de cobertura de suelo (ver Figura 11, 12 y 13). Para evaluar su exactitud se realizó la matriz de confusión para la clasificación del año 2020 (ver Tabla 16, Anexo 1). El porcentaje de exactitud global arrojó un valor de 0.99 y el índice Kappa un valor de 0.98. Según Fernández (2018), se encuentra en el rango de fuerza de concordancia muy bueno. Es decir, el mapa tiene un alto grado de correlación con la realidad. Algunos autores, como Achicanoy et al. (2018), han hecho referencia a que una precisión del 80 % es aceptable y es el mínimo necesario para un análisis efectivo y fiable de cobertura de suelo y sus proyecciones.

En la Tabla 5 y Figura 10 se exponen las áreas en ha y el porcentaje de las coberturas en el distrito de Nueva Requena para los años 2005, 2013 y 2020. El área que predominó en los tres años fue la cobertura de bosque, seguida de las zonas agrícolas y suelo en descanso. Asimismo, la cobertura que se encontró en menor porcentaje fueron las zonas artificiales. Se destaca la disminución de la cobertura de bosque durante el periodo 2005-2020 en 37 791.63 ha; mientras que la cobertura que aumentó en mayor superficie durante el mismo periodo fue la zona agrícola con 37 129.77 ha.

Al respecto, Minam (2017) reportó que en el distrito de Nueva Requena el área total de bosque para el año 2005 fue de 168 346 ha, y el área total de bosque para el año 2013 fue de 155 5544 ha. Este dato, comparado con las 168 365.43 ha de bosque para el 2005 y 157 377.33 ha de bosque para el 2013 que se calcularon en el presente estudio, muestra diferencias cuantitativas que se pueden atribuir a las metodologías empleadas. La diferencia de áreas en el año 2013 puede deberse, además, a los procesos de cambio que ocurrieron durante las fechas de adquisición de las imágenes. Tal como detectó Monitoring of the Andean Amazon Project – (MAAP, 2017), durante los meses de septiembre y diciembre del 2013 se instalaron parcelas agrícolas en lugares que anteriormente eran bosques en el distrito de Nueva Requena.

Tabla 5. Cobertura del suelo año 2005, 2013 y 2020

N°	Descripción	Año 2005		Año 2013		Año 2020	
		Área(ha)	%	Área(ha)	%	Área(ha)	%
1	Bosque	168 365,43	81,73	157 377,33	76,4	130 573,8	63,39
2	Otros cultivos transitorios	8 218,90	3,99	9 833,10	4,77	12 095,67	5,87
3	Arroz	246,42	0,12	345,63	0,17	494,74	0,24
4	Palma aceitera	8 081,91	3,92	10 988,07	5,33	15 798,26	7,67
5	Cacao	4 266,33	2,07	7 017,75	3,41	9 282,27	4,51
6	Pastos	2 342,56	1,14	4 274,62	2,08	8 187,65	3,97
7	Zonas urbanizadas	106,86	0,05	134,88	0,07	175,13	0,09
8	Suelo sin cobertura	9 592,75	4,66	11 046,20	5,36	24 109,38	11,70
9	Vegetación secundaria	501,34	0,24	705,27	0,34	1 005,40	0,49
10	Superficies de agua	4 276,08	2,08	4 275,72	2,08	4 276,26	2,08
Superficie total		205 998,57	100	205 998,57	100	205 998,57	100

**Figura 10.** Área de las coberturas para el año 2005, 2013 y 2020

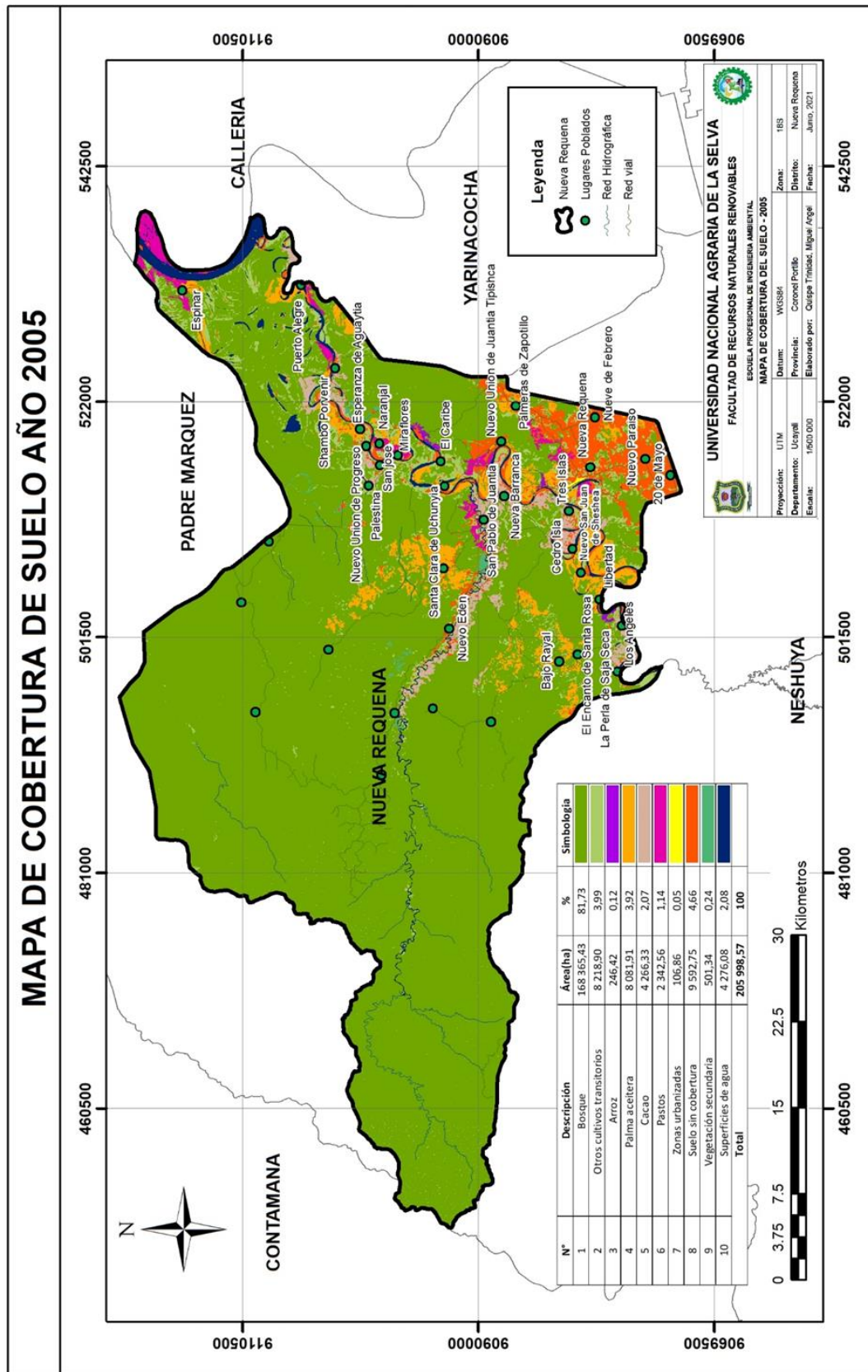


Figura 11. Coberturas 2005

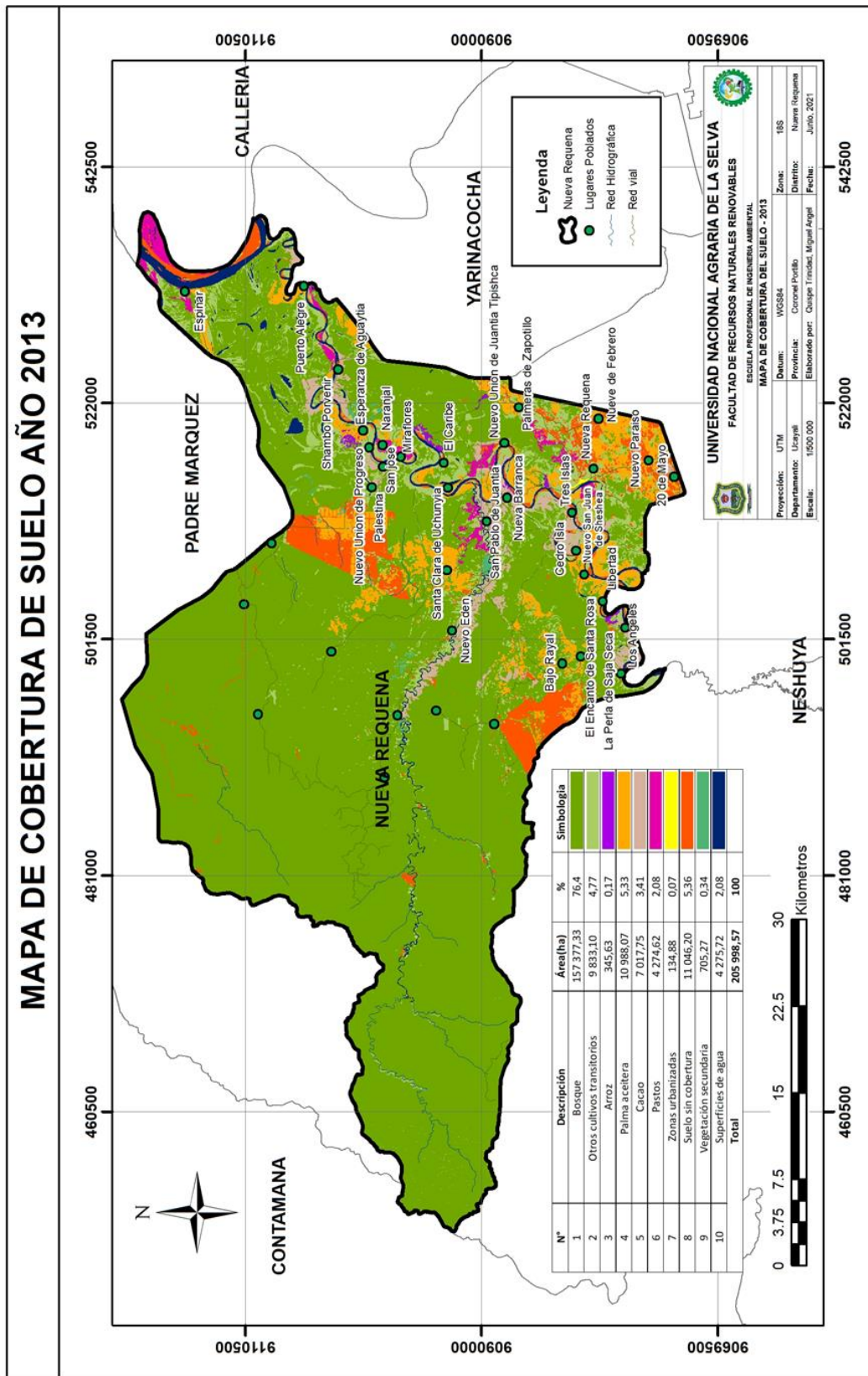


Figura 12. Coberturas 2013

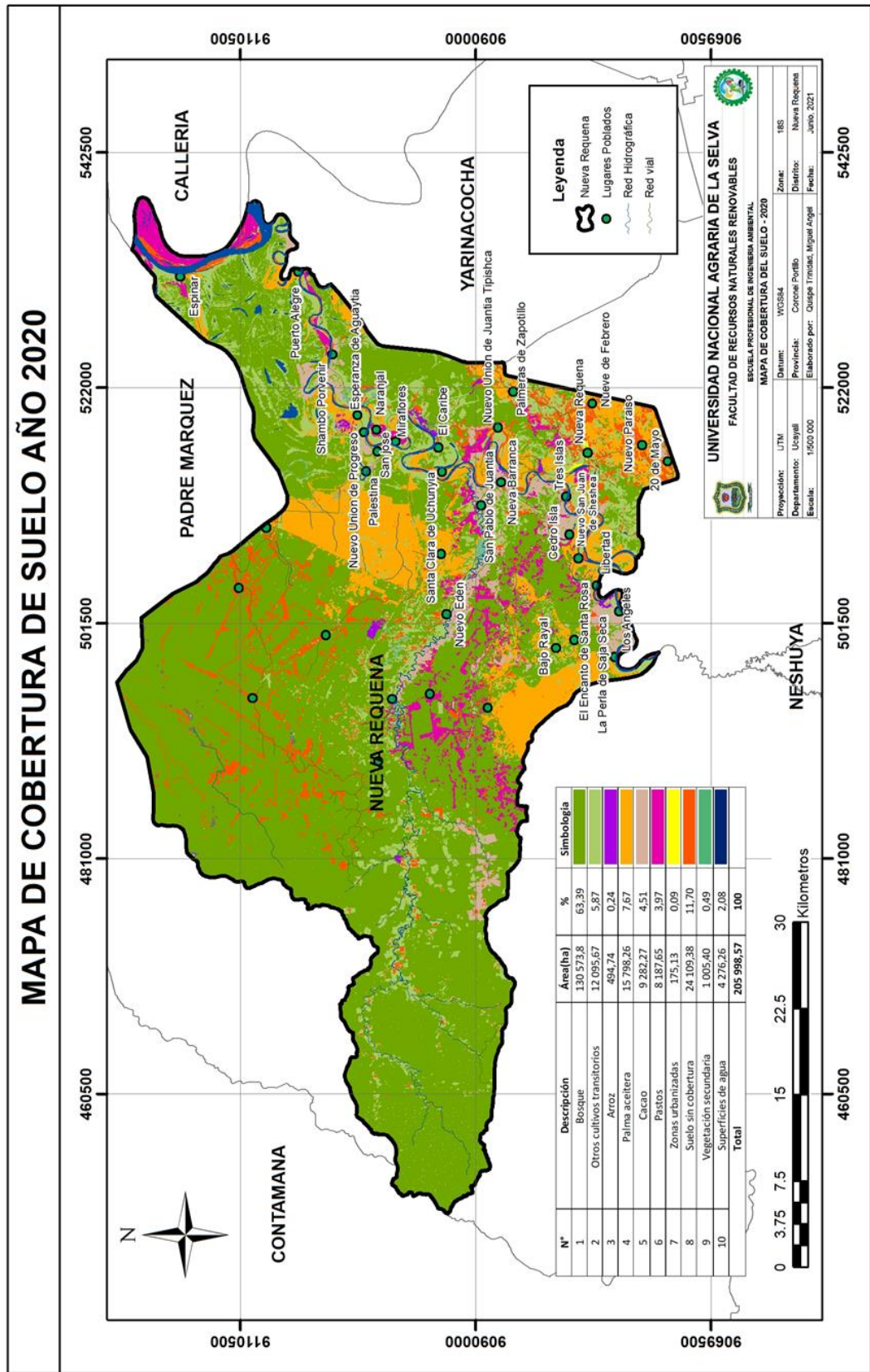


Figura 13. Coberturas 2020

4.2. Determinación de la tasa de deforestación periodo 2005-2020

Como se expone en la Tabla 6 y las figuras 14 y 15, durante el periodo 2005-2013, la deforestación fue de 10 988.10 ha con una tasa anual de 0.84 %; mientras que en el periodo 2013-2020, la deforestación fue de 26 803.53 ha con una tasa anual de 2.63 %. En ese sentido, la suma de los dos periodos permite conocer la deforestación acumulada para el periodo 2005-2020, esto es, 37 791.63 ha con una tasa anual de 1.68 %.

El aumento de la tasa de deforestación puede atribuirse al crecimiento o expansión de la frontera agrícola y al establecimiento de nuevos espacios para la actividad pecuaria en zonas de bosque. Tal como señaló Mongobay (2017), la empresa Plantaciones de Pucallpa S.A.C, realizó plantaciones de palma aceitera a gran escala en el distrito de Nueva Requena durante el 2011 y 2015 en bosques primarios, cubriendo un área de 12 200 ha.

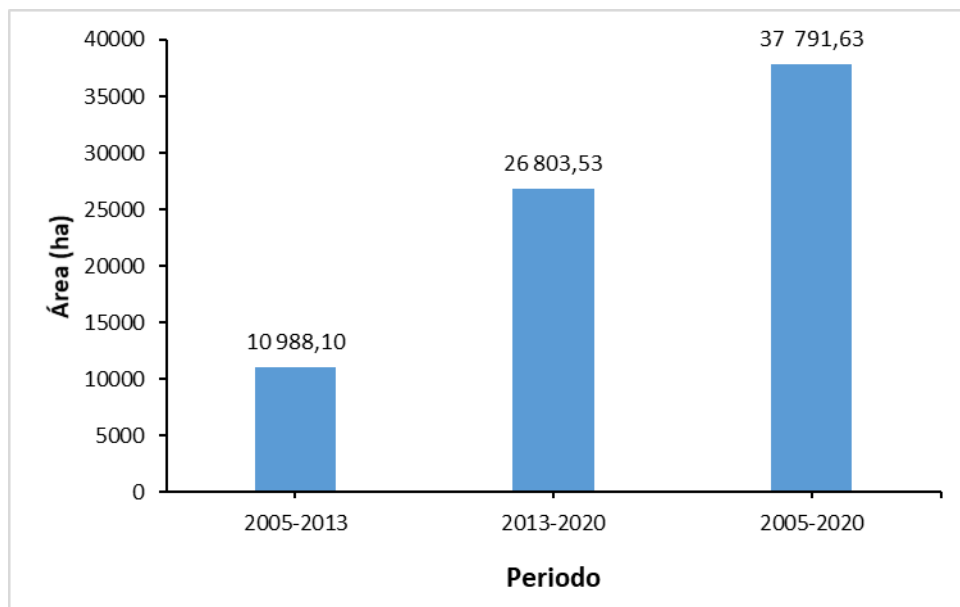
Al respecto, Cervera et al. (2019) señalaron que uno de los promotores de la deforestación son las modificaciones o la implementación de políticas públicas. En la región Ucayali se han emitido diversas ordenanzas que han contribuido al proceso de deforestación. Asimismo, Servindi (2019) indicó que, en el 2015, el gobierno regional de Ucayali emitió la Ordenanza Regional N.º 012-2015-GRU/CR, mediante la cual la Directiva aprueba “Procedimientos para la venta directa de predios revertidos y de dominio privado del Gobierno Regional de Ucayali de libre disponibilidad”, con “el objetivo de transferir y otorgar áreas dentro del BPP Ucayali a favor de presuntos traficantes de tierras a precios irrisorios, quienes a su vez fraudulentamente vendían dichas tierras a terceros que vienen deforestando y traficando maderas impunemente” (Servindi, 2019, párr. 18).

Sumado a lo anterior, Kené (2020) mencionó que, en el 2018, el gobierno regional de Ucayali desarrolló políticas en la ordenanza regional 010-2018-GRU-CR, donde “se declara de interés público regional el procedimiento de exclusión y formalización de predios superpuestos por Bosques de Producción Permanente, áreas de conservación regional y concesiones forestales con fines maderables, concesiones de conservación y concesiones de ecoturismo en la Región Ucayali”.

Tabla 6. Tasa de deforestación

Periodo	Deforestación (ha)	Tasa anual (%/año)
2005-2013	10 988,1	0,84
2013-2020	26 803,53	2,63
2005-2020	37 791,63	1,68

La Figura 16 muestra la deforestación del distrito de Nueva Requena durante el periodo 2005-2013. Asimismo, la Figura 17 expone la deforestación durante el periodo 2013-2020, y la Figura 18 permite evidenciar la deforestación durante el periodo 2005-2020.

**Figura 14.** Deforestación periodo 2005-2013, 2013-2020 y 2005-2020

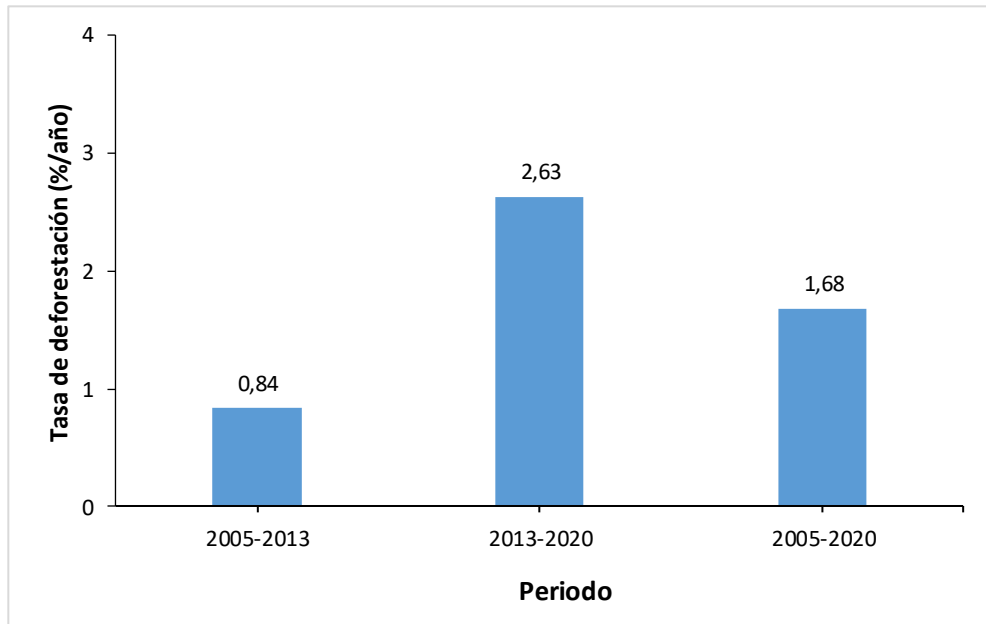


Figura 15. Tasa de deforestación periodo 2005-2013, 2013-2020 y 2005-2020

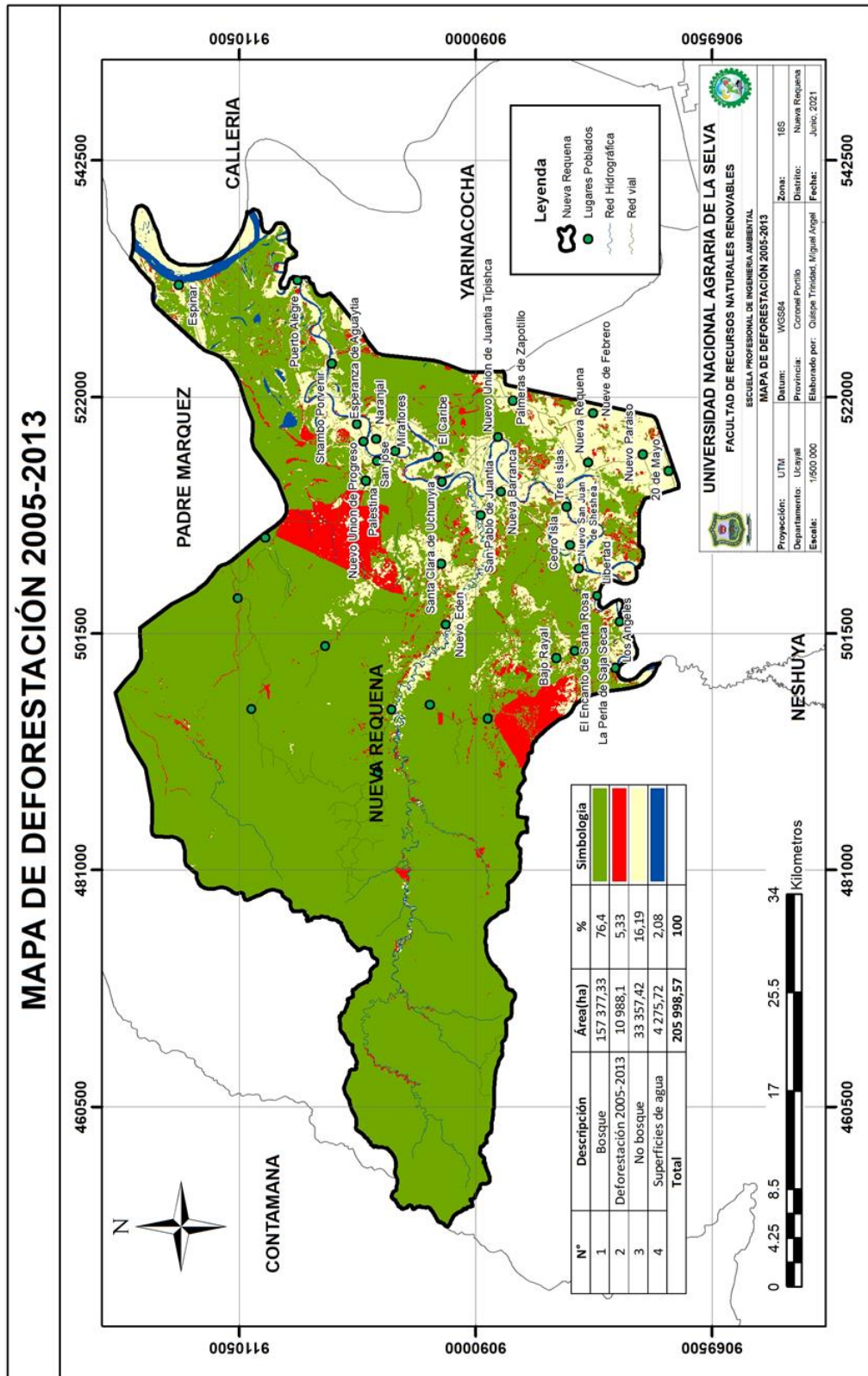


Figura 16. Deforestación periodo 2005-2013

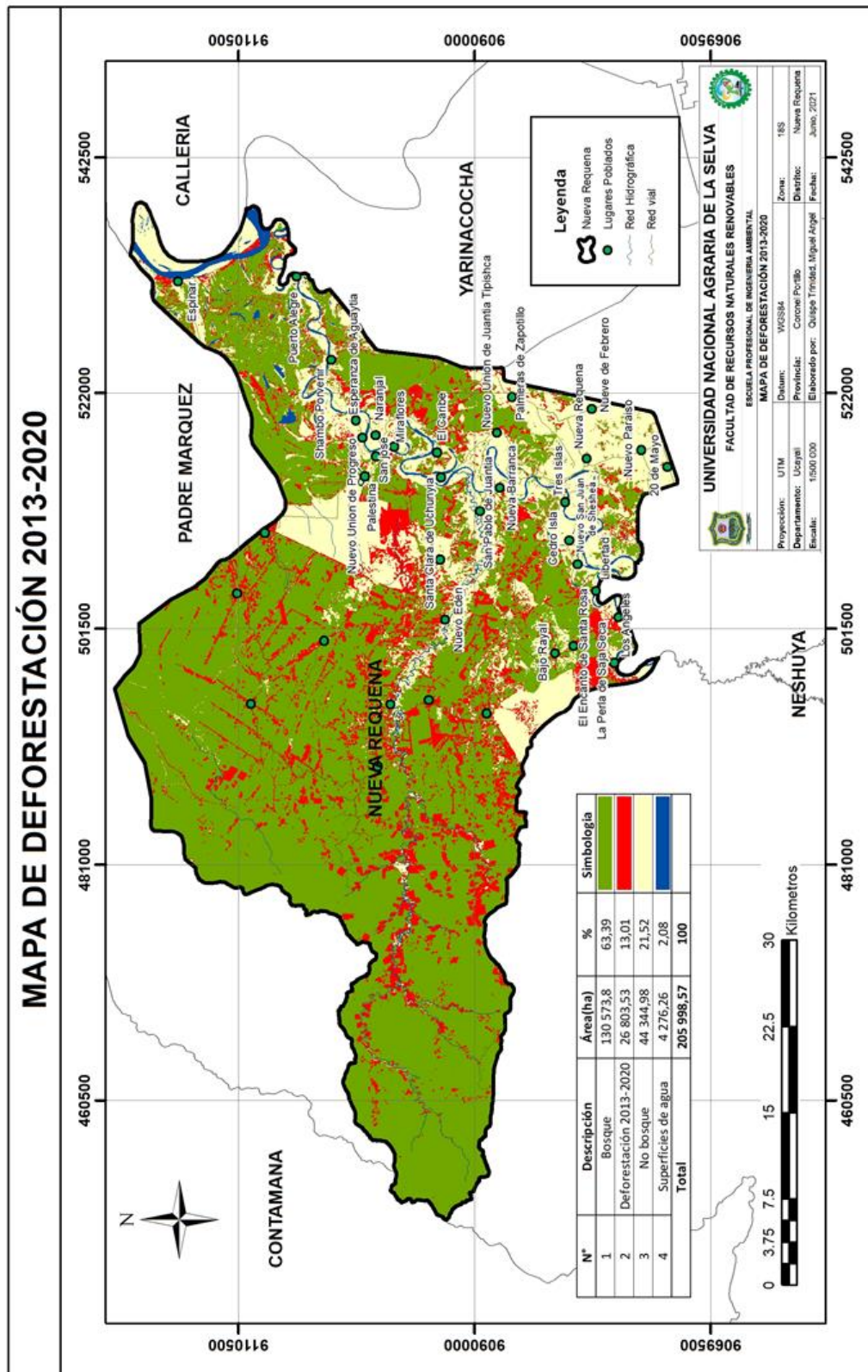


Figura 17. Deforestación periodo 2013-2020

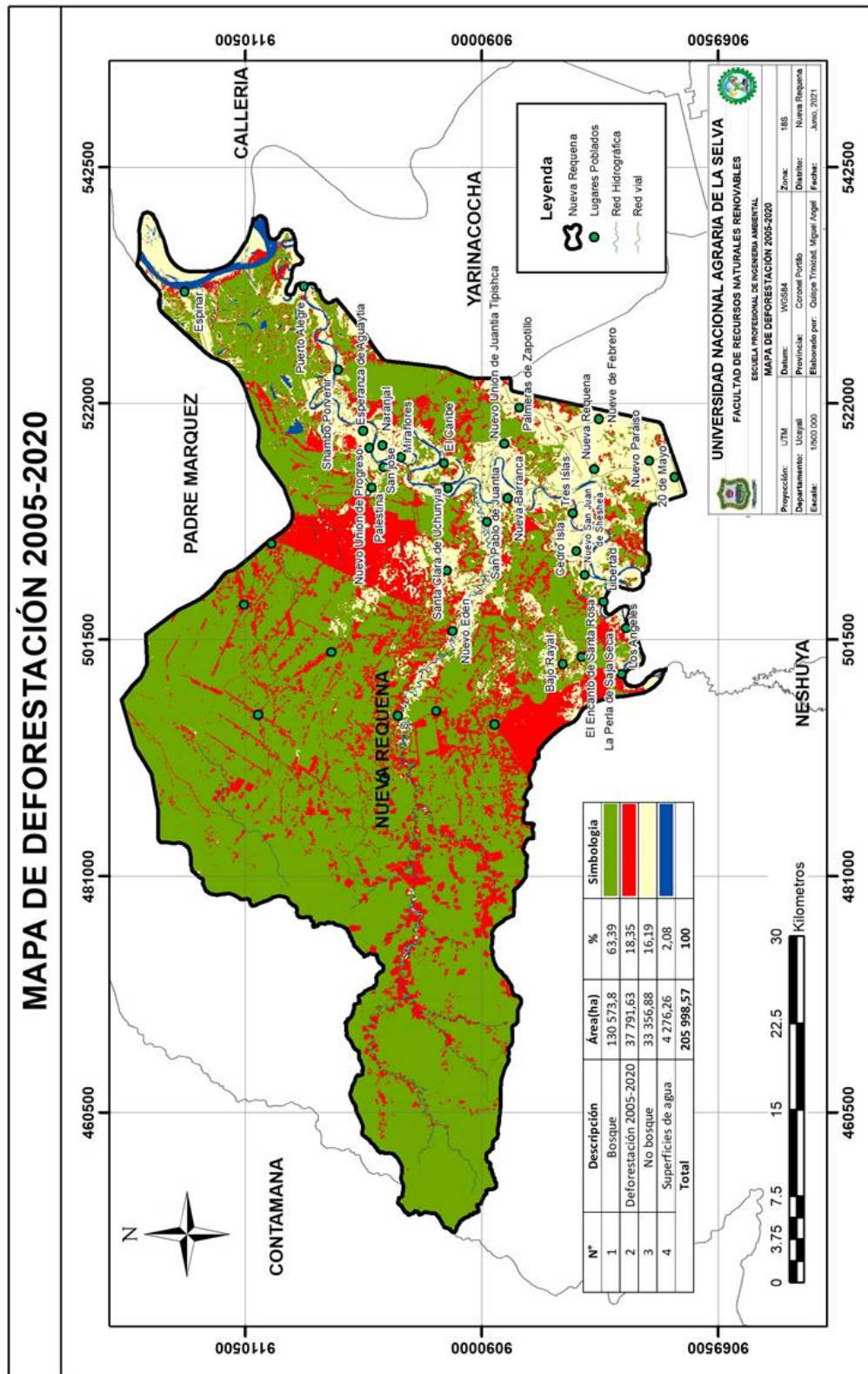


Figura 18. Deforestación periodo 2005-2020

4.3. Simulación de la deforestación al 2030

4.3.1. Cálculo de rangos y peso de evidencia

En Tabla 7 se expone cada una de las variables, en las que, de acuerdo con los rangos establecidos, se determinó el nivel de significancia de cada intervalo.

Para el caso de “distancia a áreas sin bosque”, las distancias menores a 661 metros presentaron un peso positivo, siendo el más alto 1.19 para la distancia entre 0 y 31 metros; es decir, la cercanía a áreas de no bosque favorece la deforestación a una distancia menor a 661 metros. Las distancias superiores inhiben la deforestación.

Para la variable “distancia a lugares poblados”, valores menores a 5000 metros obtuvieron pesos positivos que favorecen la deforestación. El peso más alto fue de 0.85 para la distancia de 0 a 1000 metros. En relación con lo anterior, Beraud (2018) manifestó que la deforestación se da mayormente en lugares donde la actividad agropecuaria es la principal actividad económica de la población, estas condiciones particularmente se dan en zonas rurales lo cual se relaciona con el tiempo de que la población se dedicada a la ganadería y a la agricultura.

La variable de “concesiones forestales” presentó un peso positivo no tan alto comparado con las demás variables; sin embargo, esto no permite evidenciar la relación que guarda la variable con la transición bosque a no bosque, dado que una gran parte de la deforestación se encuentra en la concesión forestal ECOSAT. El peso de evidencia para esta categoría se vio afectado, debido a que las mayores áreas de bosque se ubican en esta categoría.

Para el caso de variable “modelo de elevación digital”, elevaciones menores a 250 m s. n. m. favorecieron la deforestación. Estos resultados guardan relación con lo obtenido por Vallejo (2020), quien encontró que en elevaciones menores a 300 m s. n. m se dio en mayor magnitud el proceso de deforestación. De la misma manera, encontró relación con la variable de “pendencia porcentual”, en cuyas pendientes menores al 20 % existe una mayor deforestación. Los resultados en pendientes menores a 11 % favorecieron la deforestación.

Para el caso de “distancia a superficies de agua”, se obtuvo que las distancias menores a 800 metros favorecen la deforestación. Al respecto, Carranza (2017)

estimó que la distancia a ríos presenta valores positivos hasta los 1 000 m de distancia, dado que estos sirven de apoyo para las actividades agropecuarias.

Por último, en cuanto a la variable “distancias a vías”, las distancias menores a 2400 metros favorecen la deforestación. Estos resultados guardan relación con lo que sostuvieron Ramírez-Mejía et al. (2017), quienes estimaron que la proximidad a vías menores a 3 500 metros tiene un peso positivo, es decir cuanto más este cerca un camino es mayor la probabilidad de que ocurra la deforestación, ya que la pérdida boscosa tiende a propagarse de manera más rápida alrededor de caminos recién construidos, debido a la implementación de redes de caminos secundarios.

Tabla 7. Rangos y valores de los pesos de evidencia

Variable	Intervalo		Peso
	Rango		
Distancia a áreas sin bosque (m)	0	31	1,19
	31	61	0,89
	61	202	0,66
	202	343	0,47
	343	552	0,31
	552	661	0,16
	661	20241	0
Distancia a lugares poblados (m)	0	1000	0,85
	1000	2000	0,49
	2000	3000	0,51
	3000	4000	0,39
	4000	5000	0,38
	5000	40000	0
Concesiones forestales	1		0,16

	2	0	
Modelo de elevación digital (msnm)	0	150	0,24
	150	200	0,25
	200	250	0,23
	250	500	0
Pendiente (porcentual)	0	4	0,09
	4	8	0,11
	8	84	0
Precipitación (mm)	0	150	0,49
	150	200	0,15
	200	250	0
Distancia a superficies de agua (m)	0	200	0,96
	200	400	0,55
	400	600	0,27
	600	800	0,21
	800	11200	0
Distancia a vías (m)	0	800	0,55
	800	1600	0,27
	1600	2400	0,23
	2400	12800	0

4.3.2. Cálculo de correlación

En la Tabla 8 se describen los valores de correlación espacial por el estadístico de Cramer para las 28 relaciones entre las 7 variables, con el fin de explicar la

deforestación. Los mayores valores del índice de Cramer fueron de 0.53 y 0.64 para “concesiones forestales” con “precipitación” y de “modelo de elevación digital” con “precipitación”, respectivamente. Dado que estos valores son mayores que 0.50, se asume que existe una correlación de las variables, según Anahua (2020), por lo que se excluyó la variable de precipitación. El resto de las variables presentaron un índice de correlación menor a 0.50, comprobando así la independencia de las variables y conservándolas dentro del modelo.

Tabla 8. Correlación por el índice de Cramer.

Transición	1° Variable	2° Variable	Cramer
Bosque a No bosque	Distancia a áreas sin bosque	Distancia a centros poblados	0,22
	Distancia a áreas sin bosque	Concesiones forestales	0,23
	Distancia a áreas sin bosque	DEM	0,35
	Distancia a áreas sin bosque	Pendiente	0,17
	Distancia a áreas sin bosque	Precipitación	0,31
	Distancia a áreas sin bosque	Distancia a cuerpos de agua	0,16
	Distancia a áreas sin bosque	Distancia a vías	0,17
	Distancia a centros poblados	Concesiones forestales	0,31
	Distancia a centros poblados	DEM	0,39
	Distancia a centros poblados	Pendiente	0,2
	Distancia a centros poblados	Precipitación	0,41
	Distancia a centros poblados	Distancia a cuerpos de agua	0,08
	Distancia a centros poblados	Distancia a vías	0,41
	Concesiones forestales	DEM	0,44
	Concesiones forestales	Pendiente	0,22
	Concesiones forestales	Precipitación	0,53
	Concesiones forestales	Distancia a cuerpos de agua	0,11
	Concesiones forestales	Distancia a vías	0,23
	DEM	Pendiente	0,27
	DEM	Precipitación	0,64
DEM	Distancia a cuerpos de agua	0,18	

DEM	Distancia a vías	0,24
Pendiente	Precipitación	0,22
Pendiente	Distancia a cuerpos de agua	0,02
Pendiente	Distancia a vías	0,12
Precipitación	Distancia a cuerpos de agua	0,21
Precipitación	Distancia a vías	0,35
Distancia a cuerpos de agua	Distancia a vías	0,04

4.3.3. Simulación de la deforestación al 2020

En la Tabla 9 se muestra los “parámetros de entrada para la simulación de la deforestación que son la media, la varianza y la isometría de los parches que tras la ejecución de este mejoran los resultados de la simulación como se evidencia” (Vallejo, 2020, p. 72).

Al variar los parámetros, estas funciones posibilitan la formación de parches con distintos tamaños y formas. La isometría varía de 0 a 2. Los parches asumen una forma más circular cuanto más se acerca del valor de 2 (Ramírez-Mejía et al., 2017). Para este estudio se trabajó con una isometría de 1, la media de 1 ha y la varianza de 0.5 ha, generando el mapa simulado 2020 (ver Figura 19) y dando un resultado máximo de similitud de 0.928 por ventanas múltiples de 11*11 píxeles.

Tabla 9. Pruebas de simulación

N°	Cuadro de prueba de simulación			Resultados de similitud
	Media	Varianza	Isometría	
1	200	100	0,5	0,801
2	200	100	1	0,762
3	200	100	1,5	0,553
4	100	50	0,5	0,828

5	30	60	0,1	0,857
6	20	10	0,5	0,864
7	15	30	1	0,851
8	15	30	0,5	0,863
9	15	30	2	0,741
10	10	5,5	0,5	0,879
11	10	10	2	0,789
12	5	2	0,5	0,899
13	4	2	0,5	0,899
14	3	2,5	1	0,906
15	3	1	1	0,902
16	2	1	1	0,914
17	1,5	1	1	0,921
18	1	1	0,5	0,926
19	1	1	2	0,916
20	1	1	1	0,924
21	1	0,5	2	0,915
23	1	0,5	1	0,928

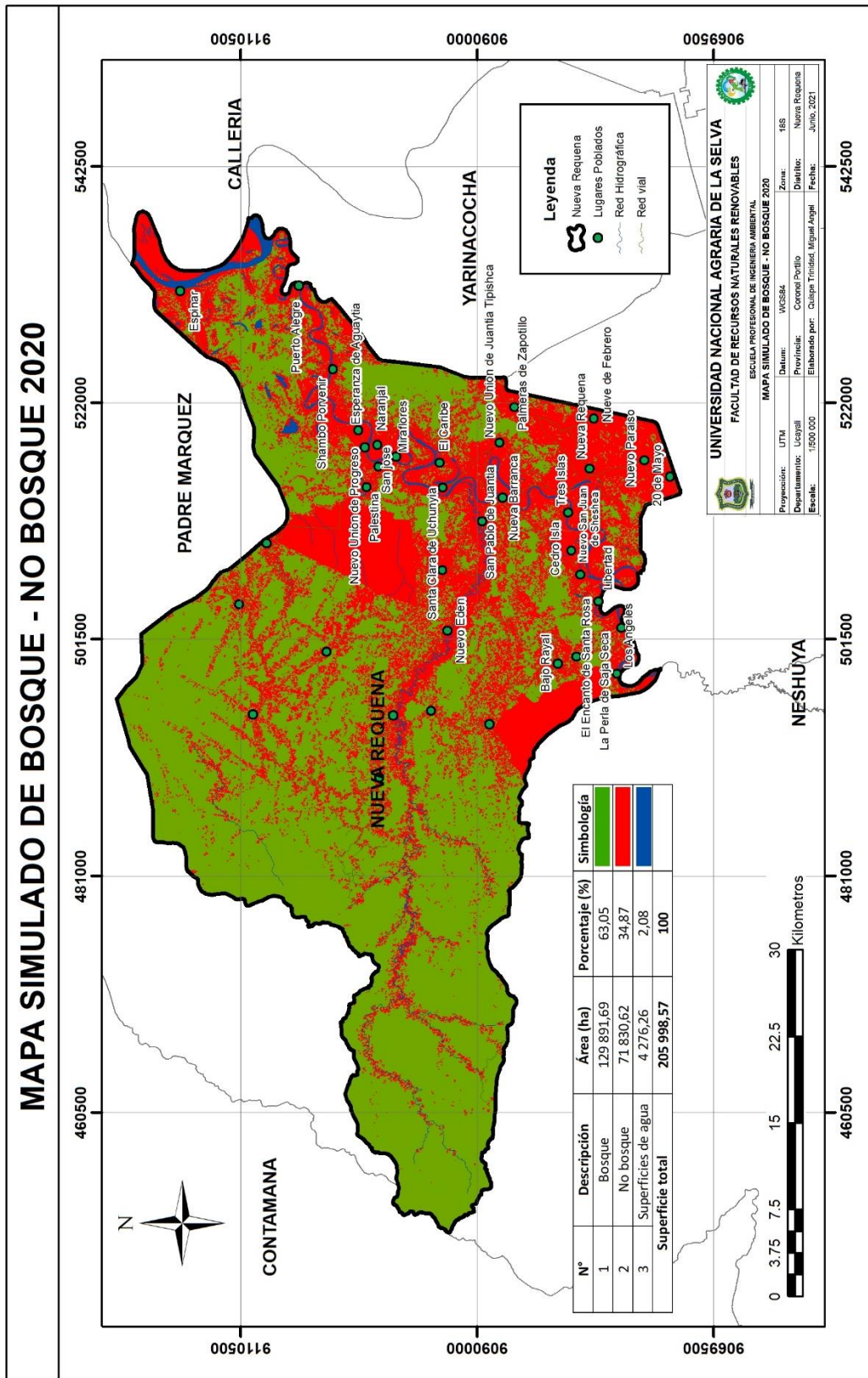


Figura 19. Mapa simulado 2020

4.3.4. Validación

La validación se llevó a cabo a través de la función exponencial de decaimiento, del mapa simulado del año 2020 con el mapa real observado del mismo año (mapa de la clasificación del 2020), dando como resultado un valor de similitud de 74.84 %.

En la Figura 20 se muestra el ajuste espacial mediante el método de función exponencial de decaimiento constante y del mapa simulado del año 2020. “Los colores rojos y amarillo evidencian un ajuste alto y moderado respectivamente, mientras que el color azul indica un ajuste bajo. Respecto a este resultado se establece que la simulación presenta un comportamiento muy similar al paisaje real” (Vallejo, 2020, p. 77).



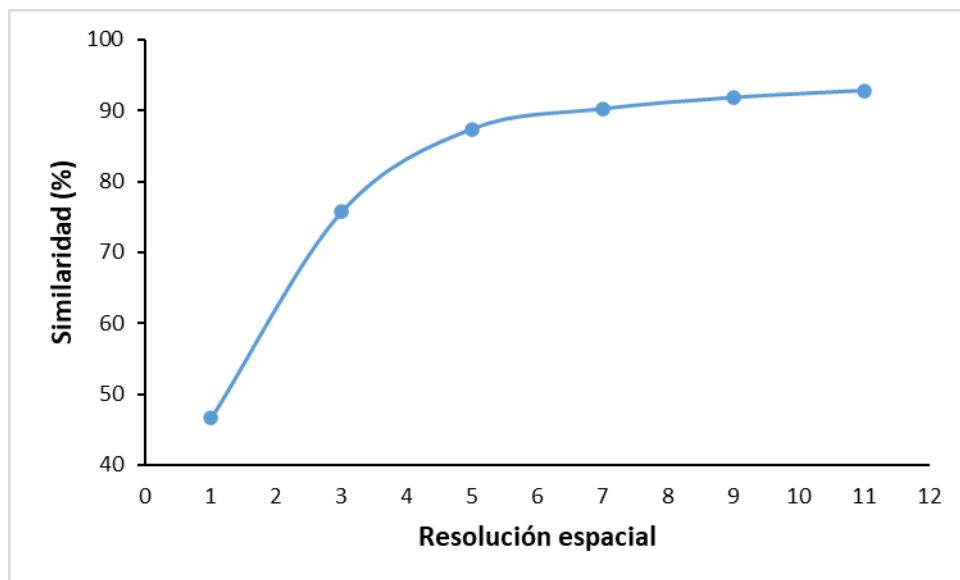
Figura 20. Salida gráfica de similitudes entre simulación y paisaje observado

En la Tabla 10 es posible observar el resultado de la validación del mapa simulado del año 2020, mediante función de decaimiento constante con ventanas múltiples, donde se evidencia “el hecho de que a mayor tamaño de ventana existe un mayor ajuste espacial entre el paisaje simulado y el paisaje real” (Vallejo, 2020, p. 78).

Tabla 10. Pruebas de simulación

Tamaño de la ventana	Similitud (%)
1	46,59
3	75,69
5	87,40
7	90,23
9	91,82
11	92,80

La Figura 21 permite constatar que “el modelo de la simulación alcanza un valor de similitud mayor del 50 % con una ventana de aproximadamente” (López et al., s.f., p. 133) tres píxeles. Puesto que cada píxel es de 30 metros, el modelo es capaz de asignar correctamente los sitios de deforestación dentro de una ratio de 90 m².

**Figura 21.** Validación de similaridad del mapa simulado 2020

Los resultados obtenidos por el método de decaimiento exponencial y por el método de ventanas múltiples fueron positivos. De acuerdo con Turpo (2018), la similitud espacial dentro de una vecindad de celdas tiene un buen desarrollo para generar escenarios

futuros cuando el resultado da valores mayores al 50 %, como consecuencia nuestro modelo es fiable para realizar la simulación al 2030. Por otro lado, Hagen (2003), como se citó en Anahua (2020), “indica que un valor mayor del 50 % debe interpretarse como considerablemente similar” (p. 43).

4.3.5. Simulación 2030

Las tasas de deforestación (Tabla 11 y Figura 23) en el distrito de Nueva Requena, para el periodo de 2005-2013 fue de 0.84 %/año; para el periodo 2013-2020 de 2.63 %/año; y para el periodo 2020-2030 de 3.08 %/año. Este patrón corresponde a lo sugerido por Ramírez-Mejía (2017) con la teoría de transición de bosques, por medio de la cual se indica que en la primera etapa existe una alta cobertura boscosa y baja tasa de deforestación. Posteriormente, las tasas de deforestación aumentan y la cobertura boscosa se ve reducida; y, en última etapa, la tasa de deforestación se ve reducida y la cobertura de bosque comienza a recuperarse.

La transición de recuperación de la cobertura boscosa es un proceso ligado al desarrollo económico, que se produce de manera prácticamente automática a partir de un determinado nivel de modernización, además también de factores sociales y ambientales muy complejos, y prácticamente imposibles de modelizar, como lo señaló Opdam et al. (2018). Para frenar la deforestación se debe implementar la modernización de la agricultura, además de políticas agrarias y de un establecimiento correcto de los derechos de propiedad, especialmente en las zonas periféricas de agricultura pobre que pueden seguir siendo objeto de fuerte presión por parte de los cultivadores.

Tabla 11. Tasa anual

Periodo	Deforestación	Tasa anual (%/año)
2005-2013	10 988,1	0,84
2013-2020	26 803,53	2,63
2020-2030	35 112,24	3,08

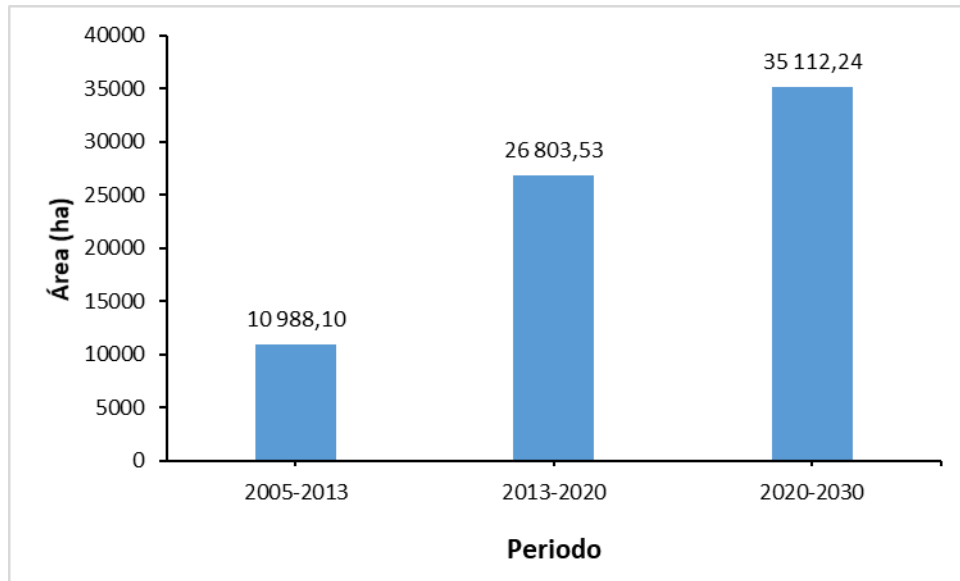


Figura 22. Deforestación periodo 2005-2013, 2013-2020 y 2020-2030

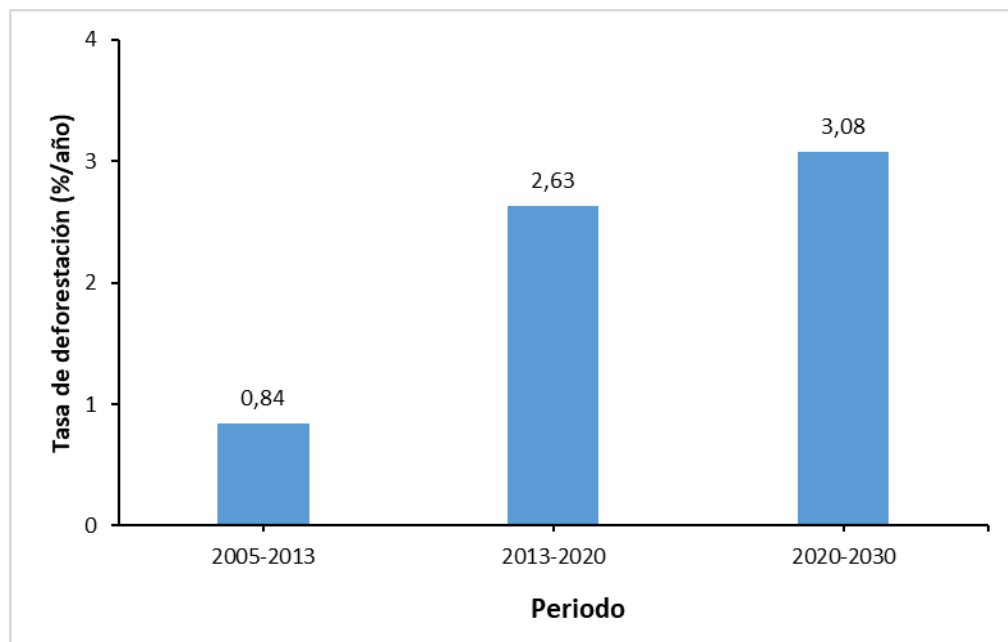


Figura 23. Tasa de deforestación periodo 2005-2013, 2013-2020 y 2020-2030

De acuerdo con la Tabla 11 y figuras 22 y 24, la deforestación estimada entre el periodo 2020-2030 abarcaría el 17.04 % de la superficie del distrito con 35 112.24 ha. Según la ENBCC (2016), se detalla los escenarios de deforestación desde el 2015 hasta el 2030, el cual indica que el departamento de Ucayali experimentará una pérdida de bosque en un 7.12 % de su superficie, con un total de 727 601 ha. En consecuencia, para el año 2030, el distrito de Nueva Requena se vería afectado con el 4,83% de la deforestación de Ucayali.

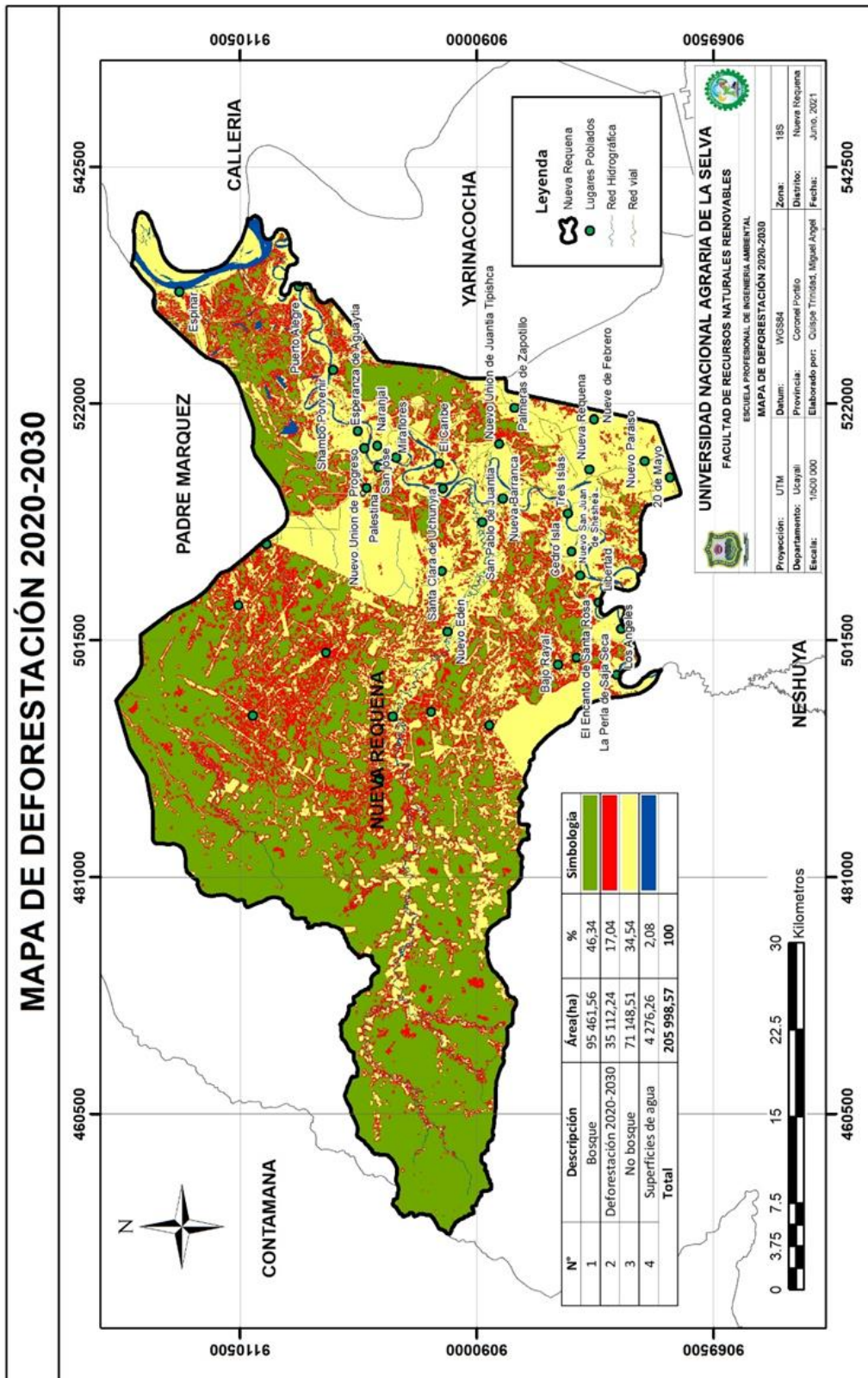


Figura 24. Deforestación 2020-2030

V. CONCLUSIONES

A través de lo expuesto a lo largo de la presente investigación, fue posible formular tres importantes conclusiones, las cuales se enumeran a continuación:

1. La cobertura de suelo del distrito de Nueva Requena durante los años 2005, 2013 y 2020 con mayor extensión fue la cobertura de bosque, seguida de zonas agrícolas, suelo desnudo y zonas artificiales
2. La tasa de deforestación más alta entre el 2005 y 2020 fue durante el periodo 2013-2020 con 2.63 %/año, debido que en ese periodo se incrementó la actividad agrícola, durante el periodo 2005-2013 fue menor con una tasa de 0,84 %/año
3. El modelo de simulación geoespacial al 2030 presento un porcentaje de similitud del 75% siendo considerado como fiable.
4. La tasa de deforestación del distrito de Nueva Requena, estimado mediante Simulación Geoespacial, para el año 2030 será mayor con respecto al 2020 con 3,08%/año con una pérdida de bosque de 35 112,24 ha.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a los estudiantes e investigadores que desean realizar detección de zonas deforestadas a utilizar imágenes de mejor resolución espacial como espectral, que las de la constelación Landsat.
2. Se recomienda al Gobierno Regional de Ucayali desarrollar estudios que establezcan relación entre la disminución de cobertura boscosa con las repercusiones económicas-sociales de la población de Nueva Requena.
3. Se recomienda al Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre mejorar las acciones de monitoreo, control y vigilancia en las concesiones forestales con fines maderables del distrito de Nueva Requena.
4. Se recomienda a la Municipalidad Distrital de Nueva Requena realizar proyectos de reforestación en las zonas deforestadas.
5. Se recomienda a la Gerencia Regional de Flora y Fauna Silvestre de Ucayali tomar decisiones en las zonas donde se estima que la deforestación está aumentando, en pro de la protección de los bosques de Nueva Requena.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achicanoy, J., Rojas-Robles, R., & Sánchez, J. (2018). Análisis y proyección de las coberturas vegetales mediante el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica en la localidad de Suba, Bogotá-Colombia. *Gestión y Ambiente*, 21(1). <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6687507.pdf>
- Agterberg, F., & Bonham-Carter, G. (2005). Measuring the Performance of Mineral-Potential Maps. *Natural Resources Research*, 1–17 .
- Amaya, E., & Morales, S. (2018). *Propuesta de un plan de manejo ambiental en zonas afectadas por el sobrepastoreo, finca el guauque en el Páramo de Sumapaz* [Tesis de grado]. Universidad El Bosque. https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/3316/Amaya_Hernandez_Eliana_Carolina_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- 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.
- Arellano, K., & Castro, B. (2019). *Modelamiento del crecimiento urbano en el Cantón Ibarra al año 2025 para la planificación del uso y ocupación del suelo* [Trabajo de grado]. Universidad de las Fuerzas Armadas. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/20346/T-ESPE-039144.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Armenteras, D., & Rodríguez, N. (2014). Dinámicas y causas de deforestación en bosques de latino américa: una revisión desde 1990. *Colombia Forestal*, 17(2), 233-246. <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v17n2/v17n2a08.pdf>
- Beraud, V. (2018). *Las políticas públicas y el paisaje rural: aporte para la conservación* [Tesis doctoral]. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/1407/1/beraud_v%20TESIS.pdf
- Bowen, C. (2018). *Análisis multitemporal del cambio de uso de suelo en la microcuenca del río Tabacay para el periodo 2005-2017*. Universidad de Cuenca.

<https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/31142/1/Trabajo%20de%20titulaci%C3%B3n.pdf>

Breve Introducción a la Teledetección. (s.f.). https://semiautomaticclassificationmanual-v5.readthedocs.io/es/latest/remote_sensing.html

Carranza, J. (2017). *Tasa de transformación del hábitat en el APFF Cañón del Usumacinta, Tabasco.* Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

Cervera, T., Pino, J., Marull, J. (2019). Understanding the long-term dynamics of forest transition: From deforestation to afforestation in a Mediterranean landscape (Catalonia, 1868-2005). *Land Use Policy*, 80, 318-331.

Chillihuani, W. (2018). *Cuantificación espacial de aguas residuales en el corredor minero de madre de dios al año 2017* [Tesis de grado]. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. <http://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/UNAMAD/483/004-2-3-092.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Chuvieco, E., Salas, J., & Meza, E. (2002). Empleo de la teledetección en el análisis de la deforestación tropical: el caso de la reserva forestal de Ticoporo (Venezuela). *Serie Geográfica*(10), 55-76. <https://core.ac.uk/download/pdf/58902383.pdf>

Condori, W. (2018). *Estimación de la pérdida de cobertura boscosa por actividades antrópicas en el distrito Nueva Requena, mediante análisis multitemporal de imágenes satelitales, 2018* [Tesis de grado]. Universidad César Vallejo. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/20512/CONDORI_AW.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Córdova, J., & 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. http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4318/UNU_AMBIENTAL_2020_T_JORGE-CORDOVA-REYES.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Defensoría del Pueblo. (2017). *Deforestación por cultivos agroindustriales de palma aceitera y coco.* <https://media.business->

humanrights.org/media/documents/files/documents/Informe-de-Adjuntia-001-2017-DP-AMASPPI.MA-P.pdf

Escobedo, R. (2005). *Zonificación Ecológica Económica de la Región San Martín*. Gobierno Regional de San Martín. http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/Archivos/Mapa/San_Martin/Memoria_Descriptiva_Fisiografia.pdf

Espinoza, V. (2016). *Impulsores de cambio en el uso de suelo y almacenamiento de carbono sobre un gradiente de modificación humana de Paisajes en Nicaragua*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8589/Impulsores_de_cambio_en_el_uso_de_suelo.pdf

Espinoza-Mendoza, V. (2016). *Dinámica EGO: una herramienta gratuita para modelar y brindar soporte en el análisis de CCUS*. Maimónides University. https://www.researchgate.net/publication/312118381_DINAMICA_EGO_UNA_HERRAMIENTA_GRATUITA_PARA_MODELAR_Y_BRINDAR_SOPORTE_EN_EL_ANALISIS_DE_CCUS

Fernández, R. (2018). *Evaluación de la superficie deforestada por efecto de los incendios forestales durante el periodo 2011 – 2016 en el distrito Las Piedras – Tambopata - Madre de Dios*. [Tesis de grado]. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. <https://repositorio.unamad.edu.pe/handle/UNAMAD/515>

Gaitán, M. (2015). *Teoría básica. Ejercicios y problemas resueltos*. <https://core.ac.uk/download/35292652.pdf>

Gerencia Regional Forestal y de Fauna Silvestre [GERFFS]. (2020). *Análisis de pérdida de cobertura boscosa en el departamento de Ucayali. Informe N0 255-2020-GRU-GRR-GERFFS-OBS/GMTL*.

Gobierno Regional de Ucayali. (2015). Ordenanza Regional N° 012-2015-GRU/CR. Perú.

Gobierno Regional de Ucayali. (2018). Ordenanza Regional N° 010-2018-GRU-CR. Perú.

- Hernández, H., & de la Tejera, B. (2016). Deforestación, género y estrategias familiares de vida en la comunidad de San Miguel Pomacuarán, Michoacán. *Revista de Geografía Agrícola*(56), 55-63. <https://www.redalyc.org/pdf/757/75749287007.pdf>
- 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 grado]. Universidad Agraria de la Selva. http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1413/AJIB_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Infante, P., & Martínez, J. (2017). *Análisis multitemporal de las coberturas vegetales en la cuenca del Río Pauto, departamento del Casanare* [Tesis de grado]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/5383/InfanteBetancourtPedro?sequence=1>
- InfoAmazonía. (2015). *12 mil hectáreas deforestadas entre 2010 y 2015 en Perú para palma aceitera*. <https://infoamazonia.org/es/2015/05/06/12-mil-hectareas-deforestadas-entre-2010-y-2015-en-peru-para-palma-aceitera/>
- Iriarte, I. (2019). Transición forestal y cambio económico. El caso de los bosques españoles a largo plazo (1860-2000). *Revista de Historia Industrial*, 28(75), 11-39. <https://revistes.ub.edu/index.php/HistoriaIndustrial/article/download/20284/29030>
- 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 grado]. Universidad Nacional de Loja. https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/21833/1/Tesis_Jim%C3%A9nez_B_Evelyn.pdf
- Kené. Instituto de Estudios Forestales y Ambientales. (2020). *Ucayali Región*. Poder Judicial dispone arresto domiciliario a investigado por tráfico de tierras e invasión de bosques en Nueva Requena – Ucayali: <https://keneamazon.net/ucayali-region/>
- 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. <http://comunidadpmpca.uaslp.mx/documento.aspx?idT=318>

- López, A., Ríos, M., Flamenco, A., & Farfán, M. (s.f.). *Análisis y modelación espacial de los patrones de deforestación (2005-2025) en la microcuenca La Unión del municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas*. <http://www.scielo.org.mx/pdf/sya/n18/2007-6576-sya-18-117.pdf>
- Ministerio del Ambiente de Perú [Minam] . (2020). *Monitoreo de la pérdida de bosques húmedos amazónicos en el año 2019*. Ministerio del Ambiente (MINAM). Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático (PNCBMCC). MINAM.
- Ministerio del Ambiente de Perú [Minam]. (2017). *Cobertura y deforestación en los bosques húmedos amazónicos*. Ministerio de Agricultura y Riego. http://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/descargas_geobosque/perdida/documentos/Cobertura_y_Deforestacion_en_los_Bosques_Humedos_Amazonicos_al_2017.pdf
- Ministerio del Ambiente de Perú [Minam]. (2021). *Monitoreo de la pérdida de bosques húmedos amazónicos en el año 2019*. MINAM. <http://www.bosques.gob.pe/archivo/Apuntes-del-bosque-3.pdf>
- Ministerio del Ambiente de Perú [Minam]. (s.f.). *Deforestación se reduce en diez regiones con bosques amazónicos*. Noticias: <http://www.bosques.gob.pe/notasdeprensa/deforestacion-se-reduce-en-diez-regiones-con-bosques-amazonicos>
- Mongobay. (2017). *La deforestación evoluciona en Ucayali*. <https://mongabay-latam.lamula.pe/2017/09/29/la-deforestacion-evolucion-a-en-ucayali/mongabaylatam/>
- Monitoring of the Andean Amazon Project [MAAP]. (2017). *Nuevos hotspots de deforestación al 2017 en la Amazonía peruana*. <https://maaproject.org/2017/hotspots-2017-2/>
- Naciones Unidas. (2002). *Convención Marco sobre el Cambio Climático*. ONU. <https://unfccc.int/resource/docs/spanish/cop7/cp713a01s.pdf>
- Opdam, P., Luque, J., Nassauer, P. (2018). How can landscape ecology contribute to sustainability science? *Landscape Ecology*. 33, 1-7. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10980-018-0610-7>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (1996). *Forest resources assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes* .
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2010). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010*. FAO. <http://www.fao.org/3/i1757s/i1757s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (s.f.). *Apéndice 2. Términos y definiciones*. <http://www.fao.org/3/y1997s/y1997s1q.htm>
- Pinos, N. (2015). *Prospectiva del uso del suelo y cobertura vegetal en el ordenamiento territorial-Caso cantón Cuenca* [Tesis de maestría]. Universidad de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23092?mode=full>
- Presidencia de la República del Perú. (2016). Decreto Supremo N.º 007-2016-MINAM del 21 de julio de 2016. Lima, Perú.
- Ramírez-Mejía, D., Cuevas, G., & 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
- Redacción Perú21. (2020). *Deforestación en la Amazonía peruana se redujo en 4.1 %, según el Minam*. <https://peru21.pe/peru/deforestacion-en-la-amazonia-peruana-se-redujo-en-41-segun-el-minam-nnpp-noticia/>
- Ressources Naturelles Canada. (2014). *Ressources Naturelles Canada*. <https://www.nrcan.gc.ca/home>
- Restrepo, B., & González, L. (2007). De Pearson a Spearman. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarías*, 20(2), 183-192. <https://www.redalyc.org/pdf/2950/295023034010.pdf>
- Reyna, A., Reyna, J., & Vinces, 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). <http://revista.sangregorio.edu.ec/index.php/REVISTASANGREGORIO/article/view/382/REYNA2pdf>

- Rodrigues, H., Soares-Filho, B., & de Souza, W. (2007). Dinámica EGO, una plataforma para modelagem de sistemas ambientais. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, (págs. 3089-3096).
- RStudio. (s.f.). *Clasificación supervisada para identificación de zonas de restauración de Sabal mauritiformis en la región de la baja Guajira*. <https://rpubs.com/rjperezv/603545>
- Sánchez, A. (2010). 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. *Revista Postgrados UNAH*, 2(4), 43-49. http://faces.unah.edu.hn/decanato/images/stories/PDF/Revista_Congreso_V2/analisis_multitemporal_cobertura.pdf
- Servindi. (2019). *Aplicación de Ordenanza 010 afectará 100 mil ha de bosques en Ucayali*. <https://www.servindi.org/04/07/2019/aplicacion-de-ordenanza-afectara-100-mil-ha-de-bosques-en-ucayali>
- Tarazona, J., Mantas, V., & Pereira, A. (2018). Improving tropical deforestation detection through using photosynthetic vegetation time series – (PVts- β). *Ecological indicators*, 367-379.
- Turpo, E. (2018). *Modelado de cambios espacio-temporales en ambientes con glaciares en los andes del sur - Perú*. [Tesis de maestría]. Universidad Estatal de Feira de Santana. <http://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/753383>
- Vallejo, W. (2020). *Generación de un modelo de predicción espacial de la deforestación en la jurisdicción de Corpochivor para el periodo 2017-2047 basado en mapas de cobertura y análisis de variables espaciales con Dinámica EGO* [Tesis de maestría]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/25661/VallejoArevaloWilmHarvey2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Zamora, S., López, T., Rodríguez, J., & Blanco, M. (2016). *Metodología de validación de los mapas de usos de la tierra de Nicaragua*. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales M: a. https://www.academia.edu/34600895/METODOLOGIA_DE_VALIDACION_DE_LOS_MAPAS_DE_USOS_DE_LA_TIERRA_DE_NICARAGUA

ANEXOS

Anexo 1. Tablas

Tabla 12. Cambio de cobertura del suelo 2005 - 2013.

N°	Descripción	Año 2005	Año 2013	Cambios	Observación
		Área (ha)	Área (ha)		
1	Bosque	168 365,43	157 377,33	-10 988,1	Disminuyo
2	Otros cultivos transitorios	8 218,90	9 833,10	1 614,20	Incremento
3	Arroz	246,42	345,63	99,21	Incremento
4	Palma aceitera	8 081,91	10 988,07	2 906,15	Incremento
5	Cacao	4 266,33	7 017,75	2 751,41	Incremento
6	Pastos	2 342,56	4 274,62	1 932,06	Incremento
7	Zonas urbanizadas	106,86	134,88	28,02	Incremento
8	Suelo sin cobertura	9 592,75	11 046,20	1 453,45	Incremento
9	Vegetación secundaria	501,34	705,27	203,94	Incremento
10	Superficies de agua	4 276,08	4 275,72	-0,36	Disminuyo
Superficie total		205998,57	205998,57		

Tabla 13. Cambio de cobertura del suelo 2013-2020

N°	Descripción	Año 2013	Año 2020	Cambios	Observación
		Área (ha)	Área (ha)		
1	Bosque	157 377,33	130 573,8	-26 803,53	Disminuyo
2	Otros cultivos transitorios	9 833,10	12 095,67	2 262,57	Incremento
3	Arroz	345,63	494,74	149,11	Incremento
4	Palma aceitera	10 988,07	15 798,26	4 810,20	Incremento
5	Cacao	7 017,75	9 282,27	2 264,52	Incremento
6	Pastos	4 274,62	8 187,65	3 913,03	Incremento
7	Zonas urbanizadas	134,88	175,13	40,30	Incremento
8	Suelo sin cobertura	11 046,20	24 109,38	13 063,18	Incremento
9	Vegetación secundaria	705,27	1 005,40	300,13	Incremento
10	Superficies de agua	4 275,72	4 276,26	0,54	Incremento
Superficie total		205998,57	205998,57		

Tabla 14. Cambio de cobertura del suelo 2005-2020

N°	Descripción	Año 2005	Año 2020	Cambios	Observación
		Área (ha)	Área (ha)		
1	Bosque	168 365,43	130 573,8	-37 791,63	Disminuyo
2	Otros cultivos transitorios	8 218,90	12 095,67	3 876,77	Incremento
3	Arroz	246,42	494,74	248,33	Incremento
4	Palma aceitera	8 081,91	15 798,26	7 716,35	Incremento
5	Cacao	4 266,33	9 282,27	5 015,94	Incremento
6	Pastos	2 342,56	8 187,65	5 845,09	Incremento
7	Zonas urbanizadas	106,86	175,13	68,28	Incremento
8	Suelo sin cobertura	9 592,75	24 109,38	14 516,63	Incremento
9	Vegetación secundaria	501,34	1 005,40	504,06	Incremento
10	Superficies de agua	4 276,08	4 276,26	0,18	Incremento
Superficie total		205998,57	205998,57		

Tabla 15. Tasa de cambio de cobertura de suelo

N°	Descripción	2005-2013		2013-2020		2005-2020	
		ha/año	%/año	ha/año	%/año	ha/año	%/año
1	Bosque	-1 373,51	-0,84	-3 829,1	-2,63	-2 519,4	-1,68
2	Otros cultivos transitorios	201,78	2,27	323,22	3,00	258,45	2,61
3	Arroz	12,40	4,32	21,30	5,26	16,56	4,77
4	Palma aceitera	363,27	3,91	687,17	5,32	514,42	4,57
5	Cacao	343,93	6,42	323,50	4,08	334,40	5,32
6	Pastos	241,51	7,81	559,00	9,73	389,67	8,70
7	Zonas urbanizadas	3,50	2,95	5,75	3,80	4,55	3,35
8	Suelo sin cobertura	181,68	1,78	1 866,17	11,80	967,78	6,34
9	Vegetación secundaria	25,49	4,36	42,88	5,20	33,60	4,75
10	Superficies de agua	-0,04	0	0,08	0	0,01	0

Tabla 16. Matriz de confusión

Clase en mapa	Clases en campo						Exactitud	Error de comisión
	1	2	3	4	5	Total		
1	171					171	100	0
2		80				80	100	0
3		3	10			13	76,92	23,08
4				1		1	100	0
5					6	6	100	0
Total	171	83	10	1	6	271		
Exactitud	100	96,39	100	100	100		Ex. Global	0,99
Error de comisión	0	3,61	0	0	0		Índice Kappa	0,98

Los números 1 a 5 hacen referencia a las clases de la clasificación: 1. Bosque; 2. Zonas agrícolas; 3. Suelo sin cobertura; 4. Zonas urbanizadas y 5. Superficies de agua.

Tabla 17. Correlación de variables

Transición	1° Variable	2° Variable	Chi 2	Cramer	Contingencia	Joint Entropy	Joint Uncertainty
Bosque a no bosque	Distancia a no bosque	Distancia a centros poblados	555088,3	0,22	0,48	3,08	0,1
	Distancia a no bosque	Concesiones forestales	34236,38	0,23	0,22	1,26	0,07
	Distancia a no bosque	DEM	680092,9	0,35	0,52	2,46	0,15
	Distancia a no bosque	Pendiente	153151,1	0,17	0,28	2,87	0,03
	Distancia a no bosque	Precipitación	359286,4	0,31	0,4	2,04	0,1

Distancia a no bosque	Distancia a cuerpos de agua	244222,9	0,16	0,34	2,6	0,04
Distancia a 2	Distancia a vías	217167,5	0,17	0,32	2,99	0,04
Distancia a centros poblados	Concesiones forestales	63356,67	0,31	0,3	1,54	0,09
Distancia a centros poblados	DEM	1038709	0,39	0,56	2,64	0,17
Distancia a centros poblados	Pendiente	256681,1	0,2	0,32	3,06	0,04
Distancia a centros poblados	Precipitación	787513,3	0,41	0,51	2,17	0,16
Distancia a centros poblados	Distancia a cuerpos de agua	65950,59	0,08	0,17	2,99	0,01
Distancia a centros poblados	Distancia a vías	1467266	0,41	0,63	2,91	0,22
Concesiones forestales	DEM	164026,5	0,44	0,45	1,37	0,21
Concesiones forestales	Pendiente	31478,32	0,22	0,22	1,79	0,03
Concesiones forestales	Precipitación	185082,6	0,53	0,47	0,97	0,31
Concesiones forestales	Distancia a cuerpos de agua	8361,71	0,11	0,11	1,54	0,01
Concesiones forestales	Distancia a vías	35638,27	0,23	0,23	1,82	0,03
DEM	Pendiente	497926,8	0,27	0,43	2,34	0,09
DEM	Precipitación	1862353,98	0,64	0,67	1,4	0,35
DEM	Distancia a cuerpos de agua	219177,8	0,18	0,3	2,29	0,04
DEM	Distancia a vías	405898,4	0,24	0,39	2,52	0,07
Pendiente	Precipitación	212230,2	0,22	0,3	1,88	0,05
Pendiente	Distancia a cuerpos de agua	1647,12	0,02	0,03	2,56	0
Pendiente	Distancia a vías	94713,29	0,12	0,2	2,83	0,01

Precipitación	Distancia a cuerpos de agua	200217	0,21	0,29	1,78	0,05
Precipitación	Distancia a vías	545859,1	0,35	0,44	1,97	0,11
Distancia a cuerpos de agua	Distancia a vías	14114,42	0,04	0,08	2,73	0

Tabla 18. Valores resultantes de los pesos de evidencia de la variable distancia lugares poblados

Transición	Variable	Valor mín.	Valor máx.	Posibles Transiciones	Transiciones Ejecutados	Coefficiente de Peso	Contraste
	Distancia a lugares poblados	0	1000	48328	20262	0,85	0,88
	Distancia a lugares poblados	1000	2000	172391	57985	0,49	0,55
	Distancia a lugares poblados	2000	3000	246557	83878	0,51	0,60
	Distancia a lugares poblados	3000	4000	256597	80330	0,39	0,46
	Distancia a lugares poblados	4000	5000	219627	68283	0,38	0,43
	Distancia a lugares poblados	5000	6000	143885	35650	0,06	0,07
	Distancia a lugares poblados	6000	7000	96011	21858	-0,05	-0,05
	Distancia a lugares poblados	7000	8000	73313	12360	-0,42	-0,44
	Distancia a lugares poblados	8000	9000	58822	7864	-0,69	-0,71
Bosque a	Distancia a lugares poblados	9000	10000	53797	7886	-0,59	-0,60
no bosque	Distancia a lugares poblados	10000	11000	51069	4122	-1,26	-1,28
	Distancia a lugares poblados	11000	12000	42620	4579	-0,94	-0,96
	Distancia a lugares poblados	12000	13000	39865	3744	-1,09	-1,11
	Distancia a lugares poblados	13000	14000	34402	4077	-0,83	-0,85
	Distancia a lugares poblados	14000	15000	25081	4463	-0,36	-0,36
	Distancia a lugares poblados	15000	18000	43570	7940	-0,33	-0,33
	Distancia a lugares poblados	18000	19000	12604	1867	-0,58	-0,58
	Distancia a lugares poblados	19000	20000	14058	1556	-0,91	-0,92
	Distancia a lugares poblados	20000	21000	15465	2394	-0,52	-0,53
	Distancia a lugares poblados	21000	22000	16590	1967	-0,83	-0,84

Distancia a lugares poblados	22000	23000	17272	1046	-1,57	-1,58
Distancia a lugares poblados	23000	24000	16349	1475	-1,14	-1,14
Distancia a lugares poblados	24000	25000	15296	921	-1,57	-1,58
Distancia a lugares poblados	25000	26000	14782	1322	-1,15	-1,15
Distancia a lugares poblados	26000	27000	15188	862	-1,64	-1,64
Distancia a lugares poblados	27000	30000	43263	2278	-1,72	-1,74
Distancia a lugares poblados	30000	32000	26199	716	-2,40	-2,41
Distancia a lugares poblados	32000	33000	10907	61	-4,01	-4,01
Distancia a lugares poblados	33000	38000	42611	65	-5,31	-5,34
Distancia a lugares poblados	38000	40000	4199	4	-5,78	-5,78

Tabla 19. Valores resultantes de los pesos de evidencia de la variable concesiones forestales

Transición	Variable	Valor min.	Valor máx.	Posibles Transiciones	Transiciones Ejecutados	Coefficiente de Peso	Contraste
Bosque a no bosque	Concesión forestal 1	1	2	530849	69539	0,16	1,52
	Concesión forestal 2	2	3	114775	3675	-1,35	-1,52

Tabla 20. Valores resultantes de los pesos de evidencia de la variable Modelo de elevación digital

Transición	Variable	Valor mínimo	Valor máximo	Posibles Transiciones	Transiciones Ejecutados	Coefficiente de Peso	Contraste
Bosque a no bosque	DEM	0	150	37027	10452	0,24	0,25
	DEM	150	200	969781	275753	0,25	0,56
	DEM	200	250	454457	127225	0,23	0,31
	DEM	250	300	329685	27837	-1,21	-1,38
	DEM	300	350	24882	411	-2,91	-2,93

DEM	350	400	33820	112	-4,53	-4,56
DEM	400	450	19542	30	-5,30	-5,32
DEM	450	500	1533	2	-5,47	-5,47

Tabla 21. Valores resultantes de los pesos de evidencia de la variable Pendiente porcentual

Transición	Variable	Valor mínimo	Valor máximo	Posibles Transiciones	Transiciones Ejecutados	Coefficiente de Peso	Contraste
Bosque a no bosque	Pendiente	0	4	455813	115474	0,10	0,13
	Pendiente	4	8	641941	164929	0,11	0,18
	Pendiente	8	12	342410	85137	0,07	0,09
	Pendiente	12	16	171094	36639	-0,12	-0,14
	Pendiente	16	20	94732	15772	-0,43	-0,46
	Pendiente	20	24	55787	7542	-0,68	-0,70
	Pendiente	24	28	30675	3424	-0,90	-0,91
	Pendiente	28	32	16524	1481	-1,14	-1,15
	Pendiente	32	36	9337	612	-1,48	-1,49
	Pendiente	36	40	5201	213	-1,98	-1,98
	Pendiente	40	44	2957	86	-2,33	-2,33
	Pendiente	44	48	1699	33	-2,75	-2,75
	Pendiente	48	52	954	11	-3,27	-3,28
Pendiente	52	56	503	6	-3,24	-3,24	
Pendiente	56	60	253	1	-4,35	-4,35	

Pendiente	60	64	113	0	-17,70	0,00
Pendiente	64	72	94	0	-17,52	0,00
Pendiente	72	84	21	0	-16,02	0,00

Tabla 22. Valores resultantes de los pesos de evidencia de la variable Pendiente porcentual

Transición	Variable	Valor mínimo	Valor máximo	Posibles Transiciones	Transiciones Ejecutados	Coefficiente de Peso	Contraste
Bosque a no bosque	Precipitación	0	150	38491	12891	0,49	0,50
	Precipitación	150	200	1484626	393406	0,15	0,92
	Precipitación	200	250	347609	35525	-1,00	-1,16

Tabla 23. Valores resultantes de los pesos de evidencia de la variable Distancia a vías

Transición	Variable	Valor mínimo	Valor máximo	Posibles Transiciones	Transiciones Ejecutados	Coefficiente de Peso	Contraste
Bosque a no bosque	Distancia a vías	0	800	424824	146509	0,55	0,74
	Distancia a vías	800	1600	339171	97039	0,27	0,34
	Distancia a vías	1600	2400	226732	63106	0,23	0,27
	Distancia a vías	2400	3200	166152	40994	0,07	0,08
	Distancia a vías	3200	4000	117825	25264	-0,11	-0,12
	Distancia a vías	4000	4800	91303	13660	-0,55	-0,57
	Distancia a vías	4800	5600	82248	8496	-0,97	-1,01
	Distancia a vías	5600	6400	73109	9696	-0,69	-0,71
	Distancia a vías	6400	7200	71480	5882	-1,22	-1,26
Distancia a vías	7200	8000	70035	6356	-1,12	-1,15	

Distancia a vías	8000	8800	68352	5468	-1,26	-1,29
<hr/>						
Distancia a vías	8800	9600	55844	6099	-0,91	-0,93
<hr/>						
Distancia a vías	9600	10400	42451	5017	-0,82	-0,84
<hr/>						
Distancia a vías	10400	11200	24685	1206	-1,78	-1,80
<hr/>						
Distancia a vías	11200	12000	5828	66	-3,28	-3,29
<hr/>						
Distancia a vías	12000	12800	10	0	-15,29	0,00

Anexo 2. Fotografías



Figura 25. Zona agrícola con cultivo de cacao



Figura 26. Zona agrícola con cultivo de palma



Figura 27. Zona agrícola con cultivo de plátano



Figura 28. Zona agrícola con cultivo de Papaya



Figura 29. Zonas de cultivo de arroz



Figura 30. Zona con cobertura de bosque



Figura 31. Zona con cobertura de pastizal



Figura 32. Zonas deforestadas



Figura 33. Superficie de agua



Figura 34. Municipalidad distrital de Nueva Requena



Figura 35. Visita a la Subgerencia de Catastro y Desarrollo Urbano

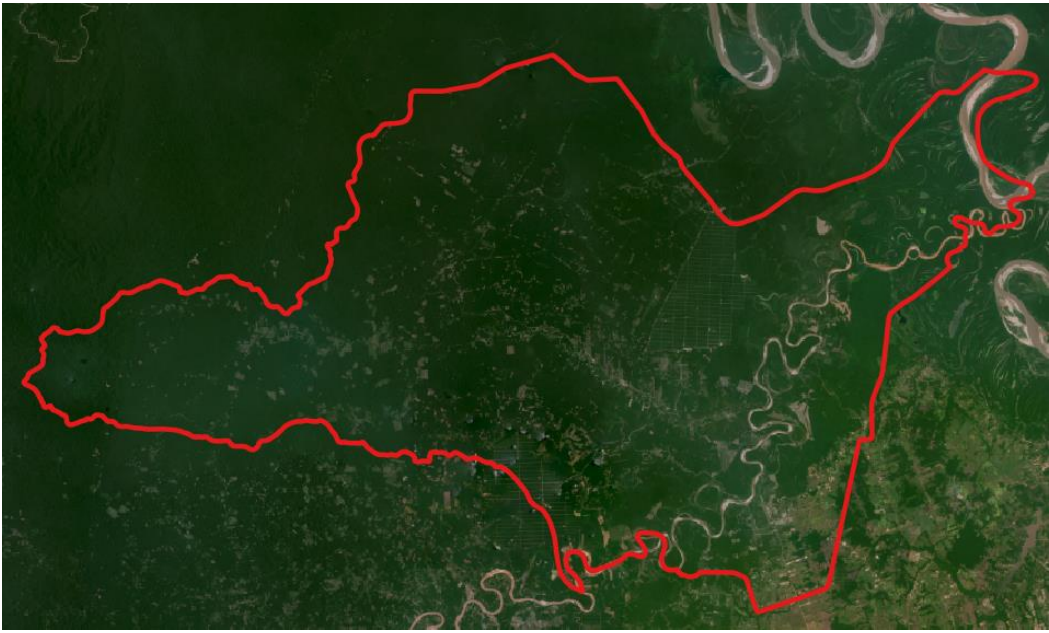


Figura 36. Imagen satelital PlanetScope



Figura 37. Imagen satelital PeruSat-1

Anexo 3. Distribución de puntos para la matriz de confusión**Tabla 1.** Ubicación de los puntos de validación en coordenadas UTM WGS 84 18 SUR.

N	Este (m)	Norte (m)	Clasificación en gabinete	Validación
1	516699	9107164	Bosque	Bosque
2	470006	9091967	Bosque	Bosque
3	484743	9105911	Bosque	Bosque
4	488596	9113502	Bosque	Bosque
5	461781	9095262	Bosque	Bosque
6	484035	9087128	Bosque	Bosque
7	455019	9091689	Bosque	Bosque
8	515966	9084510	Bosque	Bosque
9	496671	9117734	Bosque	Bosque
10	482877	9105498	Bosque	Bosque
11	479604	9100847	Bosque	Bosque
12	497859	9112588	Bosque	Bosque
13	497512	9116783	Bosque	Bosque
14	498477	9116586	Bosque	Bosque
15	513455	9091361	Bosque	Bosque
16	499661	9102778	Bosque	Bosque
17	514329	9091959	Bosque	Bosque
18	492315	9099782	Bosque	Bosque
19	503047	9095890	Bosque	Bosque
20	484355	9112813	Bosque	Bosque
21	452457	9094074	Bosque	Bosque

22	479362	9092865	Bosque	Bosque
23	503048	9114572	Bosque	Bosque
24	487321	9089627	Bosque	Bosque
25	488519	9099731	Bosque	Bosque
26	481497	9110664	Bosque	Bosque
27	459838	9096890	Bosque	Bosque
28	491028	9111910	Bosque	Bosque
29	460899	9094245	Bosque	Bosque
30	510003	9086551	Bosque	Bosque
31	466092	9096551	Bosque	Bosque
32	502926	9116206	Bosque	Bosque
33	467221	9091744	Bosque	Bosque
34	530005	9110100	Bosque	Bosque
35	507357	9103070	Bosque	Bosque
36	512900	9077036	Bosque	Bosque
37	497980	9103264	Bosque	Bosque
38	522598	9093620	Bosque	Bosque
39	491539	9091780	Bosque	Bosque
40	520949	9109547	Bosque	Bosque
41	500962	9088112	Bosque	Bosque
42	479971	9096261	Bosque	Bosque
43	521487	9094979	Bosque	Bosque
44	485408	9105775	Bosque	Bosque
45	485704	9094388	Bosque	Bosque

46	477266	9098165	Bosque	Bosque
47	516547	9103335	Bosque	Bosque
48	491599	9115676	Bosque	Bosque
49	487455	9100498	Bosque	Bosque
50	500493	9078317	Bosque	Bosque
51	496737	9101706	Bosque	Bosque
52	489585	9093108	Bosque	Bosque
53	458815	9095134	Bosque	Bosque
54	484224	9104198	Bosque	Bosque
55	502861	9090771	Bosque	Bosque
56	498486	9085420	Bosque	Bosque
57	494613	9120221	Bosque	Bosque
58	516430	9100881	Bosque	Bosque
59	524526	9107049	Bosque	Bosque
60	471749	9095749	Bosque	Bosque
61	484983	9100415	Bosque	Bosque
62	503615	9102029	Bosque	Bosque
63	493215	9107566	Bosque	Bosque
64	531234	9110663	Bosque	Bosque
65	507087	9088342	Bosque	Bosque
66	499312	9117596	Bosque	Bosque
67	478635	9105776	Bosque	Bosque
68	453272	9090425	Bosque	Bosque
69	478084	9102649	Bosque	Bosque

70	508548	9107249	Bosque	Bosque
71	502350	9100536	Bosque	Bosque
72	496845	9117647	Bosque	Bosque
73	498248	9112019	Bosque	Bosque
74	488836	9087928	Bosque	Bosque
75	501671	9087773	Bosque	Bosque
76	469593	9096702	Bosque	Bosque
77	506142	9082538	Bosque	Bosque
78	460641	9096717	Bosque	Bosque
79	501949	9104038	Bosque	Bosque
80	499901	9082258	Bosque	Bosque
81	496653	9106922	Bosque	Bosque
82	523143	9100600	Bosque	Bosque
83	482339	9101966	Bosque	Bosque
84	508455	9106250	Bosque	Bosque
85	504413	9097722	Bosque	Bosque
86	464607	9091128	Bosque	Bosque
87	514474	9106620	Bosque	Bosque
88	508661	9106423	Bosque	Bosque
89	483647	9094419	Bosque	Bosque
90	515606	9098139	Bosque	Bosque
91	489281	9104307	Bosque	Bosque
92	488736	9102447	Bosque	Bosque
93	484593	9107865	Bosque	Bosque

94	530750	9117342	Bosque	Bosque
95	494020	9098957	Bosque	Bosque
96	488032	9102915	Bosque	Bosque
97	505942	9106907	Bosque	Bosque
98	479916	9108130	Bosque	Bosque
99	474826	9099932	Bosque	Bosque
100	461887	9094933	Bosque	Bosque
101	517953	9095271	Bosque	Bosque
102	456274	9090318	Bosque	Bosque
103	483418	9094298	Bosque	Bosque
104	480446	9102861	Bosque	Bosque
105	466897	9097097	Bosque	Bosque
106	505053	9104218	Bosque	Bosque
107	500703	9095503	Bosque	Bosque
108	501694	9110852	Bosque	Bosque
109	526728	9101999	Bosque	Bosque
110	454630	9094423	Bosque	Bosque
111	498753	9100445	Bosque	Bosque
112	488783	9117420	Bosque	Bosque
113	521827	9089785	Bosque	Bosque
114	501822	9082509	Bosque	Bosque
115	497498	9118266	Bosque	Bosque
116	503520	9089680	Bosque	Bosque
117	522357	9088441	Bosque	Bosque

118	483357	9106406	Bosque	Bosque
119	458822	9097048	Bosque	Bosque
120	514494	9097728	Bosque	Bosque
121	495626	9117391	Bosque	Bosque
122	524366	9094881	Bosque	Bosque
123	457213	9094652	Bosque	Bosque
124	518902	9095240	Bosque	Bosque
125	508790	9078252	Bosque	Bosque
126	486548	9111031	Bosque	Bosque
127	526866	9108243	Bosque	Bosque
128	522117	9107932	Bosque	Bosque
129	489808	9086755	Bosque	Bosque
130	511457	9092093	Bosque	Bosque
131	461853	9094886	Bosque	Bosque
132	526056	9106572	Bosque	Bosque
133	482667	9115071	Bosque	Bosque
134	495758	9113003	Bosque	Bosque
135	497074	9114799	Bosque	Bosque
136	489679	9092143	Bosque	Bosque
137	485377	9101614	Bosque	Bosque
138	502685	9113453	Bosque	Bosque
139	479923	9097701	Bosque	Bosque
140	508801	9078204	Bosque	Bosque
141	496033	9110232	Bosque	Bosque

142	501965	9113976	Bosque	Bosque
143	463452	9094476	Bosque	Bosque
144	461339	9094662	Bosque	Bosque
145	500915	9109742	Bosque	Bosque
146	503847	9088405	Bosque	Bosque
147	504842	9089107	Bosque	Bosque
148	516106	9085264	Bosque	Bosque
149	516425	9090702	Bosque	Bosque
150	517819	9090909	Bosque	Bosque
151	500316	9086376	Bosque	Bosque
152	499806	9085869	Bosque	Bosque
153	499179	9085055	Bosque	Bosque
154	498946	9084769	Bosque	Bosque
155	496352	9088489	Bosque	Bosque
156	494775	9088810	Bosque	Bosque
157	494318	9089813	Bosque	Bosque
158	494305	9089854	Bosque	Bosque
159	494320	9089783	Bosque	Bosque
160	496518	9088327	Bosque	Bosque
161	498406	9096381	Bosque	Bosque
162	497035	9096764	Bosque	Bosque
163	494945	9097266	Bosque	Bosque
164	489960	9098424	Bosque	Bosque
165	488968	9098455	Bosque	Bosque

166	488426	9098585	Bosque	Bosque
167	488431	9098587	Bosque	Bosque
168	488330	9098674	Bosque	Bosque
169	488632	9099495	Bosque	Bosque
170	485238	9100352	Bosque	Bosque
171	486270	9100414	Bosque	Bosque
172	520223	9081719	Zona agrícola	Zona agrícola
173	516019	9081503	Zona agrícola	Zona agrícola
174	516985	9082075	Zona agrícola	Zona agrícola
175	518090	9082786	Zona agrícola	Zona agrícola
176	518763	9083599	Zona agrícola	Zona agrícola
177	519728	9084386	Zona agrícola	Zona agrícola
178	520947	9084869	Zona agrícola	Zona agrícola
179	521404	9085846	Zona agrícola	Zona agrícola
180	521985	9087300	Zona agrícola	Zona agrícola
181	523472	9088363	Zona agrícola	Zona agrícola
182	522879	9089591	Zona agrícola	Zona agrícola
183	521188	9091183	Zona agrícola	Zona agrícola
184	519912	9092371	Zona agrícola	Zona agrícola
185	519085	9093256	Zona agrícola	Zona agrícola
186	525718	9102101	Zona agrícola	Zona agrícola
187	525863	9100434	Zona agrícola	Zona agrícola
188	525546	9098397	Zona agrícola	Zona agrícola
189	495026	9093590	Zona agrícola	Zona agrícola

190	494251	9092453	Zona agrícola	Zona agrícola
191	490523	9091586	Zona agrícola	Zona agrícola
192	492142	9091496	Zona agrícola	Zona agrícola
193	500766	9083320	Zona agrícola	Zona agrícola
194	501946	9083177	Zona agrícola	Zona agrícola
195	499327	9083727	Zona agrícola	Zona agrícola
196	499140	9082463	Zona agrícola	Zona agrícola
197	499219	9081489	Zona agrícola	Zona agrícola
198	500733	9079364	Zona agrícola	Zona agrícola
199	501567	9077550	Zona agrícola	Zona agrícola
200	523487	9102591	Zona agrícola	Zona agrícola
201	521926	9101519	Zona agrícola	Zona agrícola
202	521318	9098715	Zona agrícola	Zona agrícola
203	531738	9114354	Zona agrícola	Zona agrícola
204	511605	9106077	Zona agrícola	Zona agrícola
205	507931	9109452	Zona agrícola	Zona agrícola
206	508288	9107944	Zona agrícola	Zona agrícola
207	516426	9077535	Zona agrícola	Zona agrícola
208	514903	9079107	Zona agrícola	Zona agrícola
209	513758	9079871	Zona agrícola	Zona agrícola
210	512505	9082326	Zona agrícola	Zona agrícola
211	507276	9085415	Zona agrícola	Zona agrícola
212	506658	9090193	Zona agrícola	Zona agrícola
213	507088	9090672	Zona agrícola	Zona agrícola

214	507481	9094501	Zona agrícola	Zona agrícola
215	505216	9086422	Zona agrícola	Zona agrícola
216	513639	9080675	Zona agrícola	Zona agrícola
217	516984	9080923	Zona agrícola	Zona agrícola
218	507622	9099884	Zona agrícola	Zona agrícola
219	514360	9082839	Zona agrícola	Zona agrícola
220	515964	9087054	Zona agrícola	Zona agrícola
221	517040	9087038	Zona agrícola	Zona agrícola
222	518187	9087160	Zona agrícola	Zona agrícola
223	518532	9087619	Zona agrícola	Zona agrícola
224	517506	9089790	Zona agrícola	Zona agrícola
225	515134	9092045	Zona agrícola	Zona agrícola
226	518561	9091451	Zona agrícola	Zona agrícola
227	518528	9092238	Zona agrícola	Zona agrícola
228	517914	9093044	Zona agrícola	Zona agrícola
229	518990	9094317	Zona agrícola	Zona agrícola
230	520103	9096125	Zona agrícola	Zona agrícola
231	519563	9097441	Zona agrícola	Zona agrícola
232	519157	9097706	Zona agrícola	Zona agrícola
233	518077	9098398	Zona agrícola	Zona agrícola
234	519244	9099027	Zona agrícola	Zona agrícola
235	505005	9086469	Zona agrícola	Zona agrícola
236	498969	9084787	Zona agrícola	Zona agrícola
237	498809	9084588	Zona agrícola	Zona agrícola

238	498393	9084303	Zona agrícola	Zona agrícola
239	497795	9084118	Zona agrícola	Zona agrícola
240	497544	9083934	Zona agrícola	Zona agrícola
241	497539	9083933	Zona agrícola	Zona agrícola
242	497207	9083699	Zona agrícola	Zona agrícola
243	498135	9084757	Zona agrícola	Zona agrícola
244	497795	9086077	Zona agrícola	Zona agrícola
245	497677	9086377	Zona agrícola	Zona agrícola
246	494818	9088803	Zona agrícola	Zona agrícola
247	495646	9088642	Zona agrícola	Zona agrícola
248	498331	9086089	Zona agrícola	Zona agrícola
249	497943	9085946	Zona agrícola	Zona agrícola
250	505960	9090713	Zona agrícola	Zona agrícola
251	497344	9096717	Zona agrícola	Zona agrícola
252	505401	9086466	Suelo sin cobertura	Suelo sin cobertura
253	517583	9073657	Suelo sin cobertura	Suelo sin cobertura
254	517185	9074996	Suelo sin cobertura	Suelo sin cobertura
255	507544	9094032	Suelo sin cobertura	Zona agrícola
256	517448	9086861	Suelo sin cobertura	Zona agrícola
257	498012	9085403	Suelo sin cobertura	Zona agrícola
258	501080	9093617	Suelo sin cobertura	Suelo sin cobertura
259	492947	9097943	Suelo sin cobertura	Suelo sin cobertura
260	486897	9100189	Suelo sin cobertura	Suelo sin cobertura
261	493574	9097664	Suelo sin cobertura	Suelo sin cobertura

262	496612	9096975	Suelo sin cobertura	Suelo sin cobertura
263	499203	9095268	Suelo sin cobertura	Suelo sin cobertura
264	505307	9091179	Suelo sin cobertura	Suelo sin cobertura
265	515329	9080700	Zonas urbanizadas	Zonas urbanizadas
266	512822	9082058	Superficie de agua	Superficie de agua
267	506259	9090205	Superficie de agua	Superficie de agua
268	519851	9096657	Superficie de agua	Superficie de agua
269	519083	9099087	Superficie de agua	Superficie de agua
270	514977	9092723	Superficie de agua	Superficie de agua
271	515101	9079267	Superficie de agua	Superficie de agua

Anexo 4. Códigos para el preprocesamiento de las imágenes satelitales

Código para el cálculo de la reflectancia TOA

```

##PreProcesamiento Satelital =group
##B1 =raster
##B2 =raster
##B3 =raster
##B4 =raster
##B5 =raster
##B7 =raster
##dia_juliano =number 214
##SUN_ELEVATION =number 46.78097738
##RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1 =number
##RADIANCE_MINIMUM_BAND_1 =number
##RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2 =number
##RADIANCE_MINIMUM_BAND_2 =number
##RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3 =number
##RADIANCE_MINIMUM_BAND_3 =number
##RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4 =number
##RADIANCE_MINIMUM_BAND_4 =number
##RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5 =number
##RADIANCE_MINIMUM_BAND_5 =number
##RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7 =number
##RADIANCE_MINIMUM_BAND_7 =number
##output_B123457_TOA = output raster
# cargamos las librerías de los paquetes
library(sp)
library(raster)
# Conversión
SUN_ELEVATION_R <- SUN_ELEVATION*pi/180
d <- 1+0.0167*(sin((2*pi*(dia_juliano-93.5))/365))
# ESUN imagen Landsat 5 TM
ESUN1 <-1958
ESUN2 <-1827
ESUN3 <-1551
ESUN4 <-1036
ESUN5 <-214.9
ESUN7 <-80.65
# Elimar valores nulos
B1[B1==0] <- NA
B2[B2==0] <- NA
B3[B3==0] <- NA
B4[B4==0] <- NA

```

```

B5[B5==0] <- NA
B7[B7==0] <- NA
# Banda Radianca
L1 <- ((RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1 -
RADIANCE_MINIMUM_BAND_1)/254)*(B1-1)+RADIANCE_MINIMUM_BAND_1
L2 <- ((RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2 -
RADIANCE_MINIMUM_BAND_2)/254)*(B2-1)+RADIANCE_MINIMUM_BAND_2
L3 <- ((RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3 -
RADIANCE_MINIMUM_BAND_3)/254)*(B3-1)+RADIANCE_MINIMUM_BAND_3
L4 <- ((RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4 -
RADIANCE_MINIMUM_BAND_4)/254)*(B4-1)+RADIANCE_MINIMUM_BAND_4
L5 <- ((RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5 -
RADIANCE_MINIMUM_BAND_5)/254)*(B5-1)+RADIANCE_MINIMUM_BAND_5
L7 <- ((RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7 -
RADIANCE_MINIMUM_BAND_7)/254)*(B7-1)+RADIANCE_MINIMUM_BAND_7
# Banda Reflectancia TOA
TOA_b1 <- (pi*L1*(d)^2)/(ESUN1*sin(SUN_ELEVATION_R))
TOA_b2 <- (pi*L2*(d)^2)/(ESUN2*sin(SUN_ELEVATION_R))
TOA_b3 <- (pi*L3*(d)^2)/(ESUN3*sin(SUN_ELEVATION_R))
TOA_b4 <- (pi*L4*(d)^2)/(ESUN4*sin(SUN_ELEVATION_R))
TOA_b5 <- (pi*L5*(d)^2)/(ESUN5*sin(SUN_ELEVATION_R))
TOA_b7 <- (pi*L7*(d)^2)/(ESUN7*sin(SUN_ELEVATION_R))
# Combinación de bandas
output_B123457_TOA <- stack(TOA_b1,TOA_b2,TOA_b3,TOA_b4,TOA_b5,TOA_b7)

```

Código para el cálculo de la reflectancia de superficie

```

##PreProcesamiento Satelital =group
##B1 =raster
##B2 =raster
##B3 =raster
##B4 =raster
##B5 =raster
##B7 =raster
##dia_juliano =number
##SUN_ELEVATION =number
##RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1 =number
##RADIANCE_MINIMUM_BAND_1 =number
##RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2 =number
##RADIANCE_MINIMUM_BAND_2 =number
##RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3 =number
##RADIANCE_MINIMUM_BAND_3 =number
##RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4 =number
##RADIANCE_MINIMUM_BAND_4 =number
##RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5 =number
##RADIANCE_MINIMUM_BAND_5 =number
##RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7 =number
##RADIANCE_MINIMUM_BAND_7 =number

```

```

##Reflectancia_Superficie_B123457 = output raster
# cargamos las librerías de los paquetes
library(sp)
library(raster)
# Conversión
SUN_ELEVATION_R <- SUN_ELEVATION*pi/180
d <- 1+0.0167*(sin((2*pi*(dia_juliano-93.5))/365))
# ESUN imagen Landsat 5 TM
ESUN1 <-1958
ESUN2 <-1827
ESUN3 <-1551
ESUN4 <-1036
ESUN5 <-214.9
ESUN7 <-80.65
# Elimar valores nulos
B1[B1==0] <- NA
B2[B2==0] <- NA
B3[B3==0] <- NA
B4[B4==0] <- NA
B5[B5==0] <- NA
B7[B7==0] <- NA
# Determinación de Radianca
L1 <- ((RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1 -
RADIANCE_MINIMUM_BAND_1)/254)*(B1-1)+RADIANCE_MINIMUM_BAND_1
L2 <- ((RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2 -
RADIANCE_MINIMUM_BAND_2)/254)*(B2-1)+RADIANCE_MINIMUM_BAND_2
L3 <- ((RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3 -
RADIANCE_MINIMUM_BAND_3)/254)*(B3-1)+RADIANCE_MINIMUM_BAND_3
L4 <- ((RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4 -
RADIANCE_MINIMUM_BAND_4)/254)*(B4-1)+RADIANCE_MINIMUM_BAND_4
L5 <- ((RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5 -
RADIANCE_MINIMUM_BAND_5)/254)*(B5-1)+RADIANCE_MINIMUM_BAND_5
L7 <- ((RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7 -
RADIANCE_MINIMUM_BAND_7)/254)*(B7-1)+RADIANCE_MINIMUM_BAND_7
# Determinación Radiancia mínima
Lmin1 <- ((RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1 -
RADIANCE_MINIMUM_BAND_1)/254)*(min(getValues(B1), na.rm = TRUE)-
1)+RADIANCE_MINIMUM_BAND_1
Lmin2 <- ((RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2 -
RADIANCE_MINIMUM_BAND_2)/254)*(min(getValues(B2), na.rm = TRUE)-
1)+RADIANCE_MINIMUM_BAND_2
Lmin3 <- ((RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3 -
RADIANCE_MINIMUM_BAND_3)/254)*(min(getValues(B3), na.rm = TRUE)-
1)+RADIANCE_MINIMUM_BAND_3
Lmin4 <- ((RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4 -
RADIANCE_MINIMUM_BAND_4)/254)*(min(getValues(B4), na.rm = TRUE)-
1)+RADIANCE_MINIMUM_BAND_4

```

```

Lmin5 <- ((RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5 -
RADIANCE_MINIMUM_BAND_5)/254)*(min(getValues(B5), na.rm = TRUE)-
1)+RADIANCE_MINIMUM_BAND_5
Lmin7 <- ((RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7 -
RADIANCE_MINIMUM_BAND_7)/254)*(min(getValues(B7), na.rm = TRUE)-
1)+RADIANCE_MINIMUM_BAND_7
# Determinación de radiancia objeto oscuro
LDOS1 = 0.01*ESUN1*sin(SUN_ELEVATION_R)/pi*(d^2)
LDOS2 = 0.01*ESUN2*sin(SUN_ELEVATION_R)/pi*(d^2)
LDOS3 = 0.01*ESUN3*sin(SUN_ELEVATION_R)/pi*(d^2)
LDOS4 = 0.01*ESUN4*sin(SUN_ELEVATION_R)/pi*(d^2)
LDOS5 = 0.01*ESUN5*sin(SUN_ELEVATION_R)/pi*(d^2)
LDOS7 = 0.01*ESUN7*sin(SUN_ELEVATION_R)/pi*(d^2)
# Efecto Bruma
LP1 <- Lmin1-LDOS1
LP2 <- Lmin2-LDOS2
LP3 <- Lmin3-LDOS3
LP4 <- Lmin4-LDOS4
LP5 <- Lmin5-LDOS5
LP7 <- Lmin7-LDOS7
# Reflectancia de superficie DOS
RS_dos_B1 <- (pi*(L1-LP1)*(d)^2)/(ESUN1*sin(SUN_ELEVATION_R))
RS_dos_B2 <- (pi*(L2-LP2)*(d)^2)/(ESUN2*sin(SUN_ELEVATION_R))
RS_dos_B3 <- (pi*(L3-LP3)*(d)^2)/(ESUN3*sin(SUN_ELEVATION_R))
RS_dos_B4 <- (pi*(L4-LP4)*(d)^2)/(ESUN4*sin(SUN_ELEVATION_R))
RS_dos_B5 <- (pi*(L5-LP5)*(d)^2)/(ESUN5*sin(SUN_ELEVATION_R))
RS_dos_B7 <- (pi*(L7-LP7)*(d)^2)/(ESUN7*sin(SUN_ELEVATION_R))
# Combinación de bandas
Reflectancia_Superficie_B123457 <- stack(RS_dos_B1,RS_dos_B2,RS_dos_B3,RS_dos_B4,
RS_dos_B5,RS_dos_B7)

```

Anexo 5. Mapas temáticos del distrito de Nueva Requena

- Mapa de modelo digital de elevación (DEM).
- Mapa de pendiente porcentual.
- Mapa de distancia a vías.
- Mapa de distancia a superficies de agua.
- Mapa de distancia a lugares poblados.
- Mapa de concesiones forestales.
- Mapa de cobertura del suelo 2005.
- Mapa de cobertura de suelo 2013.
- Mapa de cobertura de suelo 2020.
- Mapa de bosque - no bosque 2005.
- Mapa de bosque - no bosque 2013.
- Mapa de bosque - no bosque 2020.
- Mapa de deforestación 2005-2013.
- Mapa de deforestación 2013-2020.
- Mapa de deforestación 2005-2020.
- Mapa simulado bosque-no bosque 2020.
- Mapa de bosque - no bosque 2030.
- Mapa de deforestación 2020-2030.