




## Simulación geoespacial y temporal de la deforestación en el distrito de Nueva Requena, Ucayali

## Geospatial and temporal simulation of deforestation in the district of Nueva Requena, Ucayali

## Simulação geoespacial e temporal de desmatamento no distrito de Nueva Requena, Ucayali


 ORÉ CIERTO, Luis Eduardo

Universidad Nacional Agraria de la Selva


 QUISPE TRINIDAD, Miguel Ángel

Universidad Nacional Agraria de la Selva


 LOARTE ALIAGA, Wendy Caroline  
Universidad de Huánuco

 DÍAZ QUINTANA, Edilberto

Universidad Nacional Agraria de la Selva

 AGUIRRE ESCALANTE, Casiano

Universidad Nacional Agraria de la Selva

 ORÉ CIERTO, Juan Daniel

Universidad Nacional Agraria de la Selva

### 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 determinó 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 main objective of this research is to determine the deforestation rate in the Nueva Requena district (Peru), through the EGO Dynamics geospatial simulation model by cellular automata; taking into account the following variables: distance to populated places, distance to roads, distance to water surfaces, forest concessions, percentage slope, and digital elevation model. For this purpose, in the first place, we proceeded to calculate the ranges to categorize continuous variables through the geostatistical method of the evidence weights, in order to obtain the transition probabilities and, later, the weights of the variables that have greater influence on changes. Second, the correlation calculation of the variables was performed, in order to verify that the variables entered into the model are spatially independent. Third, a simulation prior to 2020 was carried out to compare it with the real map of 2020, in order to show whether the model can predict changes. The latter, obtaining an accuracy of 75%. Fourth, a simulation of deforestation in 2030 in the Nueva Requena district (Peru) was carried out. Finally, it was determined that for the period 2020 to 2030, 35 112.24 ha were deforested with a deforestation rate of 3.08% / year.

**Keywords:** deforestation, EGO dynamics, cellular automata, evidence weights, validation.

## RESUMO

O objetivo principal desta pesquisa é determinar a taxa de desmatamento no distrito de Nueva Requena (Peru), através do modelo de simulação geoespacial EGO Dynamics por autômatos celulares; levando em consideração as seguintes variáveis: distância a locais povoados, distância a estradas, distância a superfícies de água, concessões florestais, declive percentual e modelo digital de elevação. Para tanto, em primeiro lugar, procedeu-se ao cálculo dos intervalos para categorizar as variáveis contínuas através do método geoestatístico dos pesos das evidências, a fim de obter as probabilidades de transição e, posteriormente, os pesos das variáveis que têm maior influência nas mudanças. . Em segundo lugar, foi realizado o cálculo da correlação das variáveis, a fim de verificar se as variáveis inseridas no modelo são espacialmente independentes. Terceiro, uma simulação antes de 2020 foi realizada para compará-lo com o mapa real de 2020, a fim de mostrar se o modelo pode prever mudanças. Este último, obtendo uma precisão de 75%. Quarto, foi realizada uma simulação de desmatamento em 2030 no distrito de Nueva Requena (Peru). Por fim, foi determinado que para o período de 2020 a 2030 foram desmatados 35 112,24 ha com taxa de desmatamento de 3,08% / ano.

**Palavras-chave:** desmatamento, dinâmica de EGO, autômatos celulares, pesos de evidência, validação.



## 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” (Chuvienco 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. Se consideró como objetivo, simular geoespacialmente la tasa de deforestación para el año 2030 del distrito de Nueva Requena.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Lugar de ejecución

El Distrito de Nueva Requena forma parte de la Región Natural Selva Baja u Omagua, ubicado a 138 msnm, 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). Cuenta con un área de 2 059,98 Km<sup>2</sup>. Las coordenadas UTM del distrito son 501 800 Este (m) y 9087000 Norte (m). Presenta un 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). 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). La abundante vegetación arbórea se ve favorecida por la frecuencia y excesiva precipitación, donde predomina capirona, bolaina y copaiba (PDC, 2015).

### Materiales y equipos

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.

### Metodología

#### Determinación de las coberturas de suelo para los años 2005, 2013, 2020

Se procedió a adquirir las imágenes satelitales, Landsat 5 con sensor TM y Landsat 8 con sensor OLI/TIRS, las imágenes satelitales

correspondieron a los años 2005, 2013 y 2020; luego se realizó el preprocesamiento de imágenes satelitales a través del software R, por medio del cual se cargaron las imágenes. Seguidamente se realizó la clasificación digital creando 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. 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.

La validación de la clasificación 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 (Córdova y Sánchez, 2020, p. 48), luego, se validó a través de una matriz de confusión (Chillihuani, 2018, p. 51).

### **Determinación de la tasa de deforestación desde el 2005 hasta el 2020**

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).

### **Simulación de la deforestación al año 2030**

Se utilizó el software Dinámica EGO 4.0; las variables independientes que se consideraron en la investigación fueron las siguientes: Concesiones forestales, distancia a áreas ya deforestadas, distancia a vías, distancia a lugares poblados, distancia a superficies de agua, altitud, pendiente porcentual y precipitación, dichas variables se consideró por ser las causas de la deforestación (Carr et al., 2008, como se citó en Espinoza, 2016, p. 39)

Seguidamente, 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.); posteriormente se otorgó rangos y pesos de evidencia, con el mismo software Dinámica Ego, se determinó el nivel de influencia de cada una de las variables en los procesos de deforestación, para esto, el software utiliza el método geoestadístico de pesos de evidencia, que “solo es aplicable a variables categóricas, fue necesario recategorizar aquellas variables continuas (datos cuantitativos, tales como mapas de distancias, altitud, pendiente) prosiguiendo lo

considerado por Anahua (2020, p. 72). Una vez calculados los coeficientes de pesos de evidencia, se procedió a calcular la correlación, con la finalidad de comprobar el supuesto de independencia de las variables, debido a que, las variables consideradas en el modelo posean independencia espacial, ejecutado por el modelo índice de Cramer (Bonham-Carter, 1994; Soares et al., 2009) para dicha verificación (Espinoza-Mendoza, 2016, p. 9).

Otra actividad secuencial ejecutada fue la simulación de la deforestación al año 2020, se tuvo que ingresar 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 modelamiento estaba basado en dos comportamientos fundamentales de formación de hotspots o puntos calientes de deforestación (Vallejo, 2020, p. 71). De manera similar, se generó nuevos parches denominados patcher y se incrementó su

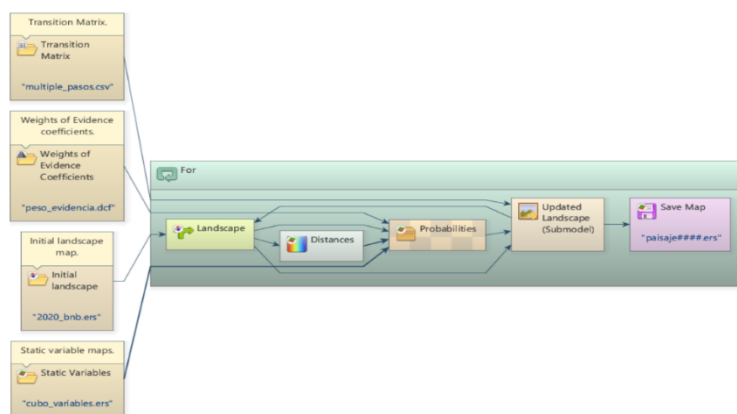
tamaño denominado expander (p. 71). La simulación de la deforestación requirió de tres parámetros de entrada para la generación de nuevos parches, a saber, la media, la varianza y la isometría (Vallejo, 2020).

Para la validación del mapa simulado, se tuvo que comparar el mapa real observado con el mapa simulado, con fines de analizar si el modelo puede o no predecir los cambios muy similares posibles a la realidad, actividad realizada con el método de decaimiento exponencial y el método de decaimiento de ventanas múltiples.

Finalmente se realizó la simulación de la deforestación al 2030 (Figura 1), se fijó el parámetro que corresponde al porcentaje de cambio a la expansión y a la generación de nuevos parches; 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 1**

*Diagrama modelo definitivo de simulación de paisaje 2020-2030*



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 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. Para evaluar su exactitud se realizó la matriz de confusión para la clasificación del año 2020. 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 1 se expone 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, el 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 1**  
*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



### Determinación de la tasa de deforestación periodo 2005-2020

Como se expone en la Tabla 2, 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 en el ámbito de estudio puede atribuirse al crecimiento o expansión de la frontera agrícola y al establecimiento de nuevos espacios para la actividad pecuaria en zonas de bosque, esto es concordante con lo señalado por la institución 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 año 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 2**  
*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

## Simulación de la deforestación al 2030

### Cálculo de rangos y peso de evidencia

En Tabla 3 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 nominada distancia a lugares poblados, en la categoría 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 3**  
*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
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

**Cálculo de correlación**

En la Tabla 4 se describen los valores de correlación espacial por el estadístico de Cramer para las 28 relaciones entre las siete (07) variables, con el fin de poder explicar la deforestación. Los mayores valores obtenidos por el índice de Cramer

fueron de 0,53 y 0,64 para “concesiones forestales” respecto a la cantidad de “precipitación” y del “modelo de elevación digital” con el volumen de “precipitación”, respectivamente. Dado que estos valores son mayores que 0,50, se asumió la existencia de una correlación entre las variables, de acuerdo a este criterio y lo remitido por el autor



Anahua (2020) que se demostró la existencia de dicha correlación, por lo que se excluyó a 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 4**  
*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	

**Simulación de la deforestación al 2020**

En la Tabla 5 se muestra los distintos parámetros de entrada para la simulación de la deforestación de una zona que son el promedio aritmético, la varianza y la isometría de los parches que tras la ejecución de este se observan mejoría de los resultados en la simulación (Vallejo, 2020, p. 72), esto fue evidente en el presente estudio.

Al variar los parámetros, estas funciones posibilitan la formación de parches con distintos tamaños y formas. La isometría registró variaciones entre 0 hasta 2. Los parches asumen una forma más circular cuanto más se acerca del valor de 2 como lo reportan Ramírez-Mejía et al. (2017). Para el presente estudio, se trabajó con una isometría cuyo valor fue 1, el promedio aritmético fue 1,0 ha y la varianza de 0,5 ha, generando el

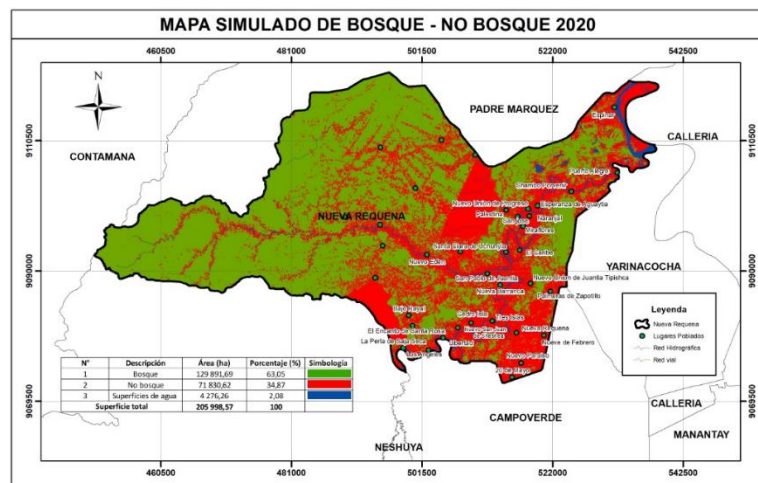


mapa simulado para el año 2020 (Figura 2) y dando un resultado máximo de similitud de 0.928 por ventanas múltiples de 11\*11 píxeles.

**Tabla 5**  
*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 2**  
*Mapa simulado 2020*



**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 3 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 3**

*Salida gráfica de similitudes entre simulación y paisaje observado*



En la Tabla 6 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 6**

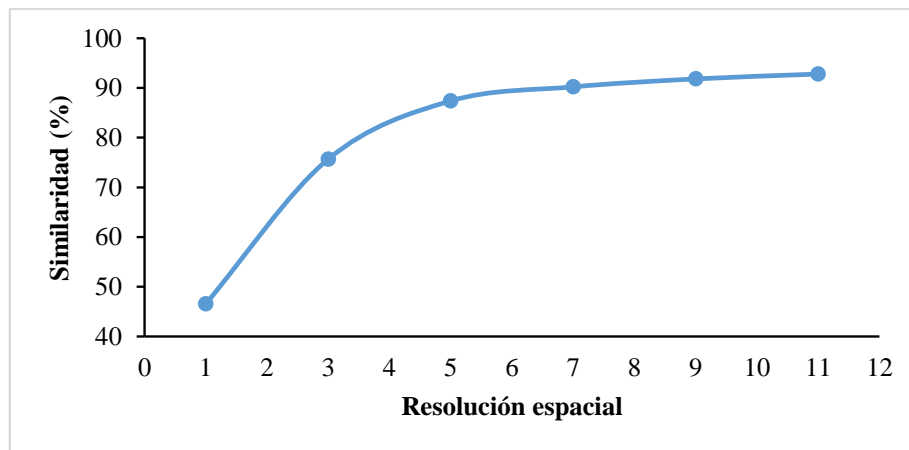
*Pruebas de simulación*

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 4 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

**Figura 4**

*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).

**Simulación 2030**

Las tasas de deforestación (Tabla 7 y Figura 5) en el distrito de Nueva Requena, para el periodo de 2005-2013 fue de 0.84 %/año; para el periodo

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 m<sup>2</sup>.

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.

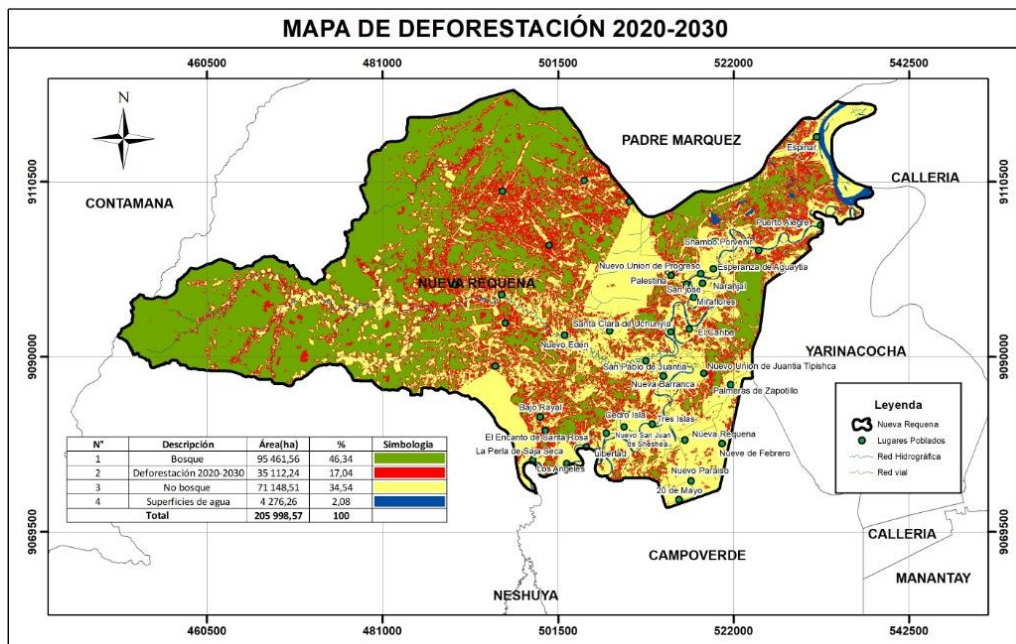
**Tabla 7**  
*Tasa anual*

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

De acuerdo con la Tabla 7 y figura 5, 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 detallan 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 5**  
*Deforestación 2020-2030*



## CONCLUSIONES

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.

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.

El modelo de simulación geoespacial al 2030 presento un porcentaje de similitud del 75% siendo considerado como fiable.

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.

## 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>

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*.

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](https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/1407/1/beraud_v%20TESIS.pdf)

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](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](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](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/Im>

pulsores\_de\_cambio\_en\_el\_uso\_de\_s  
uelo.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](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>

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.

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/>

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](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>
- 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/>
- 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 .
- 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
- 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>
- 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/sun-edu/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 Dinamica EGO [Tesis de maestría]. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/25661/VallejoArevaloWilmerHarvey2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**CORRESPONDENCIA:**

Luis Eduardo Oré Certo  
 luisore21793@gmail.com

