

# **TRABAJO DE FIN DE MASTER**

## **MÁSTER OFICIAL EN PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y GESTIÓN AMBIENTAL**

### **ANÁLISIS Y SIMULACIÓN PARA EL AÑO 2030 DE LOS BOSQUES HÚMEDOS AMAZÓNICOS DE PERÚ PARA EL CAMBIO CLIMÁTICO**



**UNIVERSITAT DE  
BARCELONA**

**Autor: Eduardo Jesus Rojas Baez**

**Tutora: Montserrat Salvà i Catarineu**

**Barcelona, Junio de 2017**

---

### ***Dedicatoria***

*Dedicarle a dios por darme la oportunidad de hacer lo que me apasiona. A mis padres Severo y Victoria, por darme los mejores años de sus vidas. A mis hermanos Nicolas y Jackeline por el apoyo y complicidad. A Nailly por acompañarme en esta aventura y por qué sé que donde este siempre estará conmigo.*

### ***Agradecimiento***

*En primer lugar, agradecer al programa Reto Excelencia por la beca que me fue otorgada para realizar los estudios de maestría. Asimismo, mi mas sincero agradecimiento a la Dra. Montserrat Salvà i Catarineu por sus aportaciones y orientación en el desarrollo de este trabajo.*

## RESUMEN

Los bosques húmedos amazónicos de Perú se encuentran al este del territorio Peruano, estos cubren el 60,9% del territorio nacional y se encuentran en 15 de las 25 regiones del Perú. Estos bosques son una de las zonas con mayor biodiversidad del planeta, con un 20% de las especies de flora a nivel mundial. Sin embargo la falta de planificación territorial forestal, tanto a nivel nacional como regional, con respecto a la pérdida de los bosques húmedos amazónicos por la deforestación ha generado un impacto considerable en sus ecosistemas naturales. El estado actual de los bosques húmedos amazónicos implica que se considere aplicar herramientas de análisis espacial, que permitan estimar el impacto futuro en un mediano y largo plazo de la pérdida de los bosques húmedos amazónicos, ya que esto repercute de manera directa en el total de emisiones de gases de efecto invernadero que reporta el Perú y a su vez, esto contribuyen al calentamiento global.

Tomando como base la pérdida de los bosques húmedos amazónicos del Perú proporcionada por el Programa Nacional de Conservación de Bosques del Ministerio del Ambiente en Perú para el periodo 2000 – 2015, en este trabajo se elaboró tres simulaciones para el año 2030, en donde se incluyeron variables estáticas y dinámicas, las cuales han intervenido como factores que facilitan o frenan una posible pérdida de bosques húmedos amazónicos. Hay que mencionar que para una correcta simulación, primero fue validado para el año 2015, después se realizaron las simulaciones de manera anual hasta el año 2030. Estas simulaciones se calcularon bajo los tres escenarios A (15 años), B (10 años) y C (5 años) en donde se consideró la dinámica de años más recientes. Basado en estos resultados se concluyó que las variables correspondientes a zonas ya deforestadas y proximidad a carreteras fueron los factores impulsores de una posible pérdida de los bosques húmedos para el año 2030. Caso contrario ocurre con las Áreas Naturales Protegidas, que en sus cercanías se frenaría la pérdida de los bosques húmedos amazónicos.

De acuerdo a los resultados de los tres escenarios aplicados, se observa que para el escenario tendencial A, la tasa de pérdida de bosques húmedos amazónicos era de 1.088,9 km<sup>2</sup> al año, ello suponía una pérdida para el año 2030 de 16.334,5 km<sup>2</sup>, esto refleja una disminución de 0.23 % con respecto al periodo 2000 - 2015, para el escenario tendencial B, presenta una tasa anual de 1.212,1 km<sup>2</sup> haciendo un acumulativo de 18.180,9 km<sup>2</sup>, por tanto la pérdida de los bosques se incrementa en 0.01% con respecto al periodo 2000 - 2015. Para el último

escenario tendencial C, se calculó una tasa anual de 1.387,9 km<sup>2</sup>, haciendo un acumulado de 20.819,5 km<sup>2</sup> para el año 2030 y representa un aumento de 0,34%. Hay que mencionar que según estas tendencias para el año 2030, las coberturas vegetales más vulnerables son en primer lugar los bosques húmedos de colina baja lomada con 57% de incremento máximo de pérdida de bosque, segundo los bosques húmedos de terrazas bajas y medias con un incremento máximo de 56%, en tercer lugar están los bosques húmedos de terrazas altas con un incremento máximo de 51% de pérdida, en cuarto lugar los bosques húmedos de colina alta presentan un incremento de 13% respectivamente y por último los bosques húmedos de montaña con un máximo de pérdida de 7%. La cobertura de sabanas hidrofíticas se puede considerar dentro de “no bosque” ya que no presenta cobertura arbórea, además en este estudio no se ha observado un incremento o modificación en su área.

## ABSTRACT

The Peruvian Amazon rainforest is located at east of the country, it covers 60,9% of the national territory, and is present in 15 out of the 25 regions comprising Peru. These forests are one of the zones with greater biodiversity on the planet, encompassing 20% of the worldwide flora species. However, lack of forest territorial planning, at both national and regional levels, regarding to the loss of Amazon rainforest by deforestation, have generated a considerable impact on its natural ecosystems. The current state of Amazon rainforest implies that should be considered the application of special analysis tools in order to estimate the future impact, at medium and long term, of the loss of Amazon rainforest, due that this rebound directly on the greenhouse gases total emissions reported by Peru, and thus contributes to global warming.

Based on the loss of the Peruvian Amazon rainforest provided by the National Forest Conservation Program of the Ministry of the Environment for period 2000-2015, in this work were developed three simulations to the year 2030, where were included static and dynamic variables that have intervened as factors that facilitate or curb potential losses of Amazon rainforest. In order to ensure an accurate simulation, first the model applied was validated using the governments' data for 2015, then annual simulations were elaborated up to the year 2030. These simulations were calculated for the three scenarios A (15 years), B (10 years) and C (5 years), each in reference to the 2000-2015 annual data, as it is identified that annual rates increase in the most recent years. Considering these results, it is concluded that variables corresponding to already deforested areas and proximity to highways are the drivers of a projected loss of rainforest by 2030. The opposite result occurs in the surroundings of Natural Protected Areas, where Amazon rainforest loss would be halted.

According to results of the applied three scenarios: in the trend scenario A, the loss rate of Amazon rainforest amount 1.088,9 km<sup>2</sup> per year, this suppose a loss of 16.334,5 km<sup>2</sup> for the year 2030, which represents a decrease of 0,23% in the loss compared to the period 2000 – 2015. For the trend scenario B, it presents an annual rate of 1.212,1 km<sup>2</sup> loss, summing up to a total 18.180,9 km<sup>2</sup>, hence the rainforest loss would increase in 0,01% compared to the period 2000 - 2015. For the last trend scenario C, an annual rate of 1,387.9 km<sup>2</sup> was identified, totalizing 20.819,5 km<sup>2</sup> for 2030 and an increase of 0,34% to the same period 2000-2015.

According to these trends for the year 2030, the most vulnerable vegetable covers are firstly low knoll rainforest (bosques húmedos de colina baja lomada) with a maximum increased of cover loss amounting 57%; followed by low and medium terrace rainforest (bosques húmedos de terrazas bajas y medias), with a maximum increase of 56%; in third place is high high terrace rainforest (bosques húmedos de terrazas altas) with a maximum increased loss of 51%; fourthly, high knoll rainforest (bosques húmedos de colina alta) present a maximum increase of 13%; and finally mountain rainforest (bosques húmedos de montaña) with a maximum loss increase of 7%. The cover of hydrophilic savannas can be considered as "no forest", since it does not present tree cover; besides in this study no increase or modification of its loss rate has been observed in this area.

## **LISTA DE SIGLAS**

<b>ANP</b>	Área Natural Protegida
<b>CCNN</b>	Comunidades Nativas
<b>DEM</b>	Modelo de Elevación Digital
<b>DHN</b>	Dirección de Hidrografía y Navegación
<b>ENBCC</b>	Estrategia Nacional de Bosques y Cambio Climático
<b>FAO</b>	Food and Agriculture Organization of the United Nations
<b>IBC</b>	Instituto del Bien Común
<b>INEI</b>	Instituto Nacional de Estadística e Informática
<b>INGEI</b>	Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero
<b>INIPA</b>	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias
<b>LCM</b>	Land Change Modeler
<b>MINAM</b>	Ministerio del Ambiente
<b>MLP</b>	Red Neuronal de Percepción Multicapa
<b>NREF</b>	Nivel de Referencia de Emisiones forestales
<b>OTCA</b>	Oficina de Tratado de Cooperación Amazónica
<b>PIB</b>	Producto Bruto Interno
<b>SENAMHI</b>	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
<b>USCUSS</b>	Cambio de Uso De Suelo y Silvicultura
<b>USGS</b>	United States Geological Survey



1	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	13
2	<b>OBJETIVO DEL ESTUDIO</b> .....	15
2.1	Objetivo General .....	15
2.2	Objetivo Especifico .....	15
3	<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	16
3.1	Factores que promueven la deforestación en los bosques según Geist y Lambin. ....	16
3.2	La pérdida de los bosques húmedos amazónicos en Perú según MINAM. ....	19
3.3	Factores que promueven la pérdida en los bosques húmedos amazónicos en Perú según MINAM. ....	20
3.4	Simulación de la pérdida de los bosques húmedos amazónicos en Perú. ....	22
3.4.1	Presentación de Perú de un nivel de referencia de emisiones forestales .....	22
3.4.2	Estrategia nacional sobre bosques y cambio climático .....	24
4	<b>MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	25
4.1	Área de estudio .....	25
4.1.1	Bosques húmedos amazónicos .....	26
4.1.2	Clima .....	29
4.1.3	Hidrografía .....	29
4.1.4	Geología .....	30
4.1.5	Suelos .....	30
4.1.6	Topografía .....	31
4.1.7	Población .....	31
4.1.8	Infraestructura vial .....	31
4.2	Datos para el estudio .....	32
4.2.1	Formato .....	32
4.2.2	Software .....	32
4.3	Mapas .....	32
4.4	Base de datos geográfica .....	34
4.4.1	Selección de variables independientes para el modelo. ....	37
4.5	Modelización de la pérdida de los bosques húmedos amazónicos. ....	43
4.5.1	Fase I. Entrenamiento y proyección de escenario .....	44
4.5.1.1	Análisis de Cambio .....	44
4.5.1.2	Modelador potencial de transición .....	46

4.5.1.3	Submodelos de transición -----	46
4.5.1.4	Panel de prueba y selección de variables -----	47
4.5.1.5	Activación del submodelo de transición -----	47
4.5.1.6	Predicción de Cambio -----	48
4.5.2	Fase2. Validación del modelo -----	48
4.5.1	Fase 3. Proyección de escenarios -----	50
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b> -----	<b>54</b>
5.1	Validación del modelo.....	54
5.1.1	Diseño de la muestra -----	54
5.1.2	Distribución de la muestra -----	55
5.1.3	Matriz de Error -----	56
5.2	Simulación de la pérdida de los bosques húmedos amazónicos en Perú.....	58
5.2.1	Simulación para el año 2030, tendencial A.-----	58
5.2.2	Simulación para el año 2030, tendencial B. -----	62
5.2.3	Simulación al 2030, tendencial C. -----	65
5.2.4	Comparación de los tres escenarios propuestos -----	68
5.3	Coberturas vegetales más vulnerables a la simulación de la pérdida de los Bosques Húmedos en Perú al 2030. ....	71
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES</b> -----	<b>80</b>
<b>7</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> -----	<b>82</b>

## **CONTENIDO DE TABLAS**

---

Tabla 1.	Patrones y agentes causantes de la deforestación en Perú.....	21
Tabla 2	Dinámicas de usos del suelo en la Amazonia como agente de la pérdida de bosques.....	21
Tabla 3.	Simulación estadística tendencial de la pérdida de los bosques húmedos amazónicos 2015 - 2030 presentado en la Estrategia Nacional sobre Bosques y Cambio Climático. ....	24
Tabla 4.	Mapas base recopilado .....	33
Tabla 5.	Información base convertida a formato raster de Idrisi Selva. ....	36
Tabla 6.	Diseño de la muestra.....	54
Tabla 7.	Numero de muestra para la Validación.....	55
Tabla 8.	Distribución de puntos para la validación. ....	55
Tabla 9.	Matriz de puntos de validación. ....	57
Tabla 10.	Exactitud del mapa simulado para el año al 2015 .....	57
Tabla 11.	Resumen de la simulación para el año 2030 en base a la “tendencia A” con respecto al periodo 2001 – 2015. ....	60

Tabla 12. Resumen de la simulación para el año 2030 en base a la “tendencial B” con respecto al periodo 2000 – 2015. ....	63
Tabla 13. Resumen de la simulación para el año 2030 en base a la tendencia C con respecto al periodo 2000 – 2015. ....	66
Tabla 14. Análisis tendencial de le pérdida de los bosques húmedos amazónicos para las tres tendencias .....	70
Tabla 15. Cobertura vegetal con respecto al “bosque/ no bosque 2015” y simulación tendencial A para el año 2030.....	72
Tabla 16. Cobertura vegetal con respecto al “bosque/ no bosque 2015” y simulación tendencial B para el año 2030.....	74
Tabla 17. Cobertura vegetal con respecto al “bosque/ no bosque 2015” y simulación tendencial C para el año 2030.....	76

## CONTENIDO DE FIGURAS

---

Figura 1. Distribución de grupos y subgrupos impulsores de la pérdida de bosques (Ramírez, 2011) modificado de (Geist & Lambin, 2002) .....	17
Figura 2. Pérdida de los bosques húmedos amazónicos (MINAM, 2015b).....	20
Figura 3.- Gráfico de simulación estadística tendencial de la pérdida de los bosques húmedos amazónicos 2015 -2020 presentada por el Perú en el 2015 (MINAM, 2015c) .....	23
Figura 4. Mapa de ubicación del área de estudio, en base a datos de USGS, MINAM 2017. ....	25
Figura 5. Proceso de transformación de datos.....	34
Figura 6. Mapa base de “bosque/no bosque” 2000, 2005, 2010 y 2015.....	38
Figura 7. Variables dinámicas en los bosques húmedos.....	40
Figura 8. Variables estáticas en la amazonia.....	42
Figura 9. Proceso de transformación de datos.....	44
Figura 10. Análisis de cambio – LCM. ....	45
Figura 11. Áreas de cambio 2000 – 2010 – LCM.....	46
Figura 12. Áreas de Transición 2000 al 2010.....	47
Figura 13. Mapas simulado y referencial para el año 2015 .....	49
Figura 14. Análisis tendencial de la pérdida de los bosques húmedos amazónicos.....	52
Figura 15. Mapa de puntos distribuidos y validados en base al mapa simulado para el año 2015... 56	
Figura 16. Mapa de simulación para el año 2030 y mapa de vulnerabilidad en base a tendencia A. 59	
Figura 17. Mapa de pérdidas de los bosques húmedos para los años 2015, 2020, 2025 y 2030, tendencia A.....	61
Figura 18. Mapa de simulación para el año 2030 y mapa de vulnerabilidad en base a la tendencia B .....	62

Figura 19. Mapa de pérdidas de los bosques húmedos para los años 2015, 2020, 2025 y 2030, tendencia B .....	64
Figura 20. Mapa de simulación para el año 2030 y mapa de vulnerabilidad en base a la tendencia C .....	65
Figura 21. Mapa de pérdidas de los bosques húmedos para los años 2015, 2020, 2025 y 2030, tendencia B .....	67
Figura 22. Mapas simulados y de vulnerabilidad al año 2030, en base a las tendencias A, B y C...	69
Figura 23. Comparación en porcentaje del estado de la cobertura vegetal al año 2015 con las tres simulaciones tendenciales desarrolladas en este estudio. ....	77
Figura 24. Mapa de cobertura vegetal con las tres simulaciones para el año 2030.....	78

## 1 INTRODUCCIÓN

---

Los bosques húmedos amazónicos en Perú representan el 60,9% del territorio nacional. (MINAM, 2015b). Estos bosques son de gran importancia para el clima y son significativos en la economía del Perú. Son 693.807 km<sup>2</sup> de bosques maduros, con un contenido de 32.281.231.580 toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO<sub>2</sub>-e) solamente en sus árboles vivos según reporte al año 2014 (MINAM, 2015c).

Los cambios en la cobertura de bosque se pueden describir como un proceso de ganancias por expansión del bosque y pérdidas a causa de la deforestación. Estas pérdidas de bosques húmedos proporciona un indicador dinámico de la variación del hábitat natural y de biodiversidad (FAO, 2015).

La pérdida constante de los bosques húmedos amazónicos tendrá un afecto sobre la diversidad de especies de flora y fauna como también a la química en la atmosfera, debido a que la Amazonía alberga la mitad de las especies del mundo en donde existe una intensa y compleja interacción entre animal y planta (Shukla, Nobre, & Sellers, 1990).

Las emisiones de gases de efecto invernadero que el Perú ha reportado a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) el 2016, se basó en su último inventario nacional de gases de efecto invernadero (INGEI) para el año 2012, en donde indica que el 51% de gases liberados corresponde al sector USCUS, mientras que el porcentaje restante de emisiones de GEI corresponde a los procesos industriales con un 5%, seguido de agricultura con un 26%, luego energía con 15% y finalmente desechos con 3% (MINAM, 2015a). Esta información demuestra que el sector USCUS es el que emite mayor cantidad de gases de efecto invernadero a la atmosfera que a su vez esta es superior al 50% de total reportado por el Perú, por ello se debe considerar de interés político, ambiental y social la planificación territorial forestal de los bosques húmedos amazónicos, en un mediano y largo plazo y esto se debería ver reflejado en la disminución de los gases de efecto invernadero emitidas por el Perú.

De acuerdo al documento sobre estrategia nacional de bosque y cambio climático (ENBCC), la agricultura a pequeña escala que se practica en los bosques húmedos amazónicos es la principal causa de la pérdida de los bosques, esta agricultura es considerada como agricultura migratoria que a su vez es menor a 5 ha. Según el Programa Nacional de Conservación de

Bosques del Ministerio del Ambiente, este tipo de agricultura se viene practicando en zonas de protección, también hace mención que esta agricultura presenta un deterioro rápido de las tierras, esto se debe a las características propias de los suelos, lo cual viene originando la rápida necesidad de obtener nuevas áreas para cultivo (MINAM, 2015a).

De acuerdo al IV censo nacional agropecuario llevado a cabo el 2012, los usos que se le dan a las áreas deforestadas en los bosques húmedos amazónicos en Perú es de un 38% agricultura que es de tipo industrial o de exportación en ella está la producción de café, cacao y en poca proporción la palma aceitera, luego están los pastos con un 25% distribuidos en la zona centro y sur de los bosques húmedos amazónicos en Perú, los cereales representan el 14% mientras que las frutas el 13%. Cabe mencionar que estos resultados pertenecen a una muestra pequeña (INEI, 2012).

Considerando la dimensión de los bosques húmedos amazónicos y su impacto en el calentamiento global, no solo resulta primordial el monitoreo de la pérdida de los bosques sino que también es necesaria una planificación territorial forestal a mediano y largo plazo. Es por ello que cuantificar de manera precisa los posibles cambios a causa de la pérdida en los bosques húmedos amazónicos, y determinar las coberturas vegetales con mayor vulnerabilidad para el año 2030 permitirá establecer estrategias de manejo, priorización y conservación de los recursos forestales que existen en el Perú.

## **2 OBJETIVO DEL ESTUDIO**

---

### **2.1 Objetivo General**

- Analizar la pérdida de los bosques húmedos amazónicos en Perú del periodo 2000 – 2015 y simular distintos escenarios para el año 2030.

### **2.2 Objetivo Especifico**

- Estudiar las causas de la pérdida de los bosques húmedos entre 2000 – 2015 de Perú.
- Calcular las tendencias anuales de la pérdida de los bosques húmedos amazónicos de Perú para el año 2030.
- Simular la pérdida de los bosques húmedos amazónicos para el año 2030.
- Cartografiar la pérdida de los bosques húmedos amazónicos en Perú para el año 2030.
- Determinar las coberturas vegetales más vulnerables a causa de la deforestación.

### **3 Marco Teórico**

---

La Amazonía representa el 6% de la superficie del planeta y ocupa el 40% del territorio de Sudamérica y el Caribe. Tiene una superficie de 5,1 – 8,1 millones de km<sup>2</sup> y 40.000 especies de plantas han sido identificadas. De ese total, 2.000 han sido clasificadas por su utilidad como alimentos, medicinas y para otros fines. La diversidad cultural es una de las principales características de la región. Viven en la Amazonía 420 diferentes pueblos indígenas y tribales que hablan 86 lenguas y 650 dialectos. Al menos 60 pueblos viven en condiciones totales de aislamiento (OTCA, 2014)

Los bosques primarios que se encuentran dentro de los bosques húmedos amazónicos, comprenden la más grande riqueza de especies, diversidad de hábitat y ecosistemas terrestres. Estos están distribuidas en Brasil, Colombia, Ecuador, México, Perú y Venezuela. Así mismo estos países están considerados dentro de los 17 países megadiversos del planeta (Cordero, 2011).

El Perú ocupa el noveno puesto de los principales países con área de bosque reportada en el periodo 2010 -2015, que a su vez representa el 2% del bosque mundial (FAO, 2015).

#### **3.1 Factores que promueven la deforestación en los bosques según Geist y Lambin.**

Existen diferentes factores que vienen promoviendo la pérdida de los bosques, estas han sido dividida en causas próximas y fuerzas impulsadoras subyacentes. Estas dos causas están conectadas de manera directa o indirecta a la deforestación (Geist & Lambin, 2002).

Las causas próximas se han dividido en grandes grupos como la expansión agrícola, la extracción de madera, la expansión de infraestructura, y otros factores. De la misma forma las fuerzas impulsadoras subyacentes se dividieron en otros grandes grupos como la demográfica, económica, tecnológica, política e institucional, y los factores culturales (Geist & Lambin, 2002). Según la distribución de grupos y subgrupos que se han desprendido de las causas próximas y fuerzas impulsadoras subyacentes se realizó la siguiente figura descriptiva:



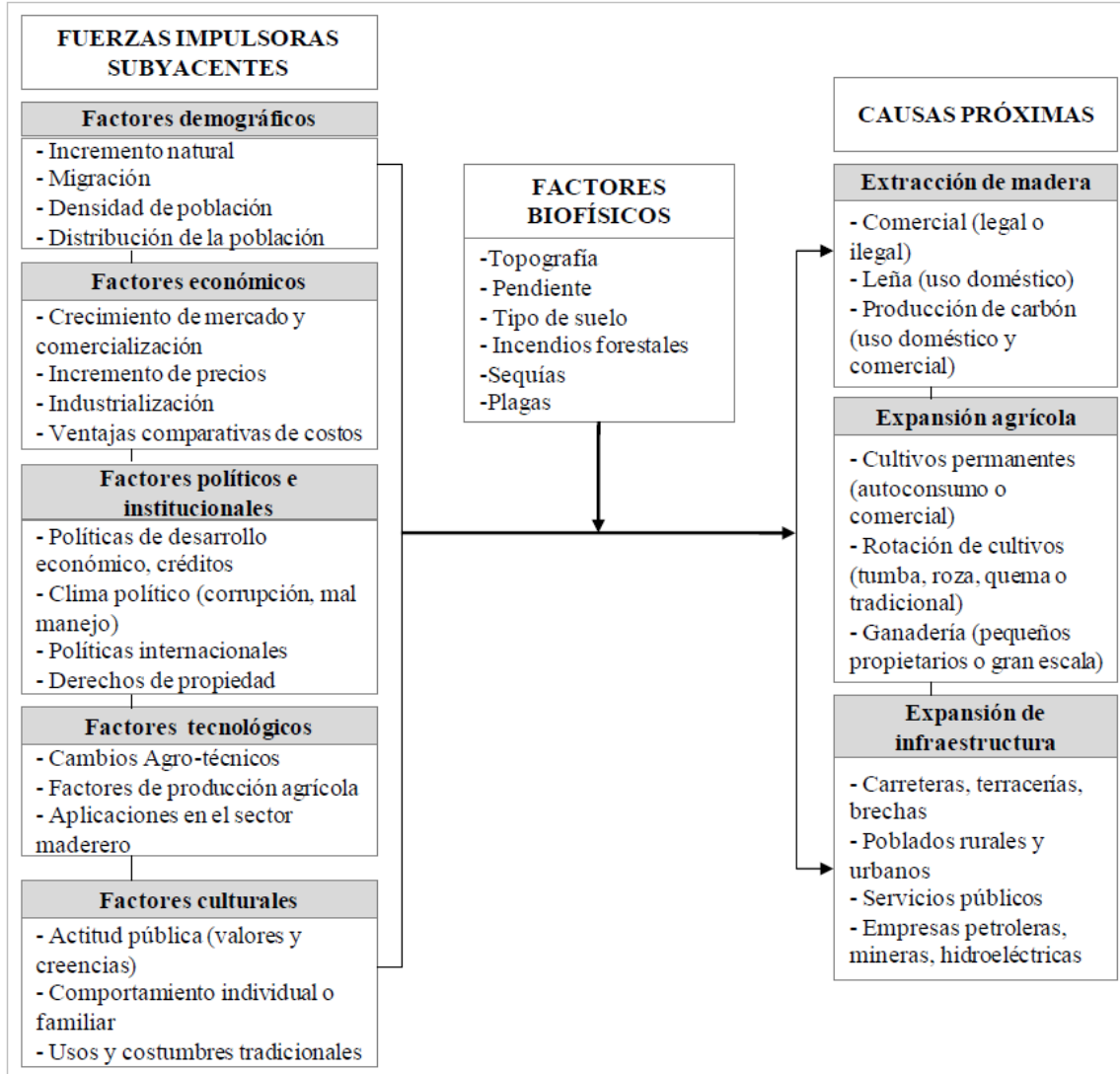


Figura 1. Distribución de grupos y subgrupos impulsores de la pérdida de bosques (Ramírez, 2011) modificado de (Geist & Lambin, 2002)

De acuerdo a la Figura 1, la organización de los grupos y subgrupos que se han incluido tanto las causas próximas y fuerzas impulsadoras subyacentes han de describir los factores que están impulsando a la pérdida de los bosques húmedos amazónicos en Perú, estos factores se describen de la siguiente manera:

- **Causas próximas.**- Se describe como la combinación entre la expansión agrícola, la extracción de la madera y la expansión de infraestructura. La expansión agrícola es el principal cambio de uso de la tierra asociado en casi todos los casos a la

deforestación con un 96%, esta incluye la conversión del bosque para cultivo permanente, cría de ganado, agricultura migratoria y la agricultura de colonización. El cultivo permanente, la expansión del cultivo de alimentos para la subsistencia es tres veces más frecuente que la expansión de la agricultura comercial. En la agricultura migratoria la deforestación impulsada por tala y quema es más extensa en las tierras altas, mientras que cuando se practica la colonización de migrantes en América latina, se limita principalmente a las zonas de tierras bajas. La creación de pastos para la ganadería es una de las causas de la deforestación casi exclusiva para las tierras bajas húmedas de América del sur. La construcción de carreteras se está dando con mucha mayor frecuencia, sobre todo en tierras bajas y montañas de América latina.

Factores ambientales tales como características de la tierra (la calidad suelo, topografía) o eventos biofísicos (sequías, inundaciones) o social (principalmente las guerras), se reportan para influir en la deforestación solo en un tercio de los casos. Entre las categorías detalladas como causas próximas para todas las regiones, la extensión de la infraestructura de transporte por tierra, seguido de la extracción comercial de madera, el cultivo permanente y la cría de ganado, son las causas próximas de la deforestación. Contrariamente a las opiniones ampliamente sostenidas, los estudios de casos sugieren que la agricultura migratoria no es la causa principal de la deforestación (Geist & Lambin, 2002)

- **Fuerzas impulsadoras subyacentes.**- Se describe como conductores que actúan de forma sinérgica de múltiples factores impulsados por derechos económicos, institucionales, tecnológicos, culturales y demográfico. El factor económico debido a la comercialización y el crecimiento de los mercados madereros son frecuentemente reportadas como impulsor de la deforestación, otras variables económicas como bajo costos de tierra, mano de obra, combustible o madera también son consideradas como impulsores de la deforestación. Los factores institucionales también provocan casos de deforestación, estos factores promueven la deforestación de manera política, promoviendo el uso de tierras, la colonización, el transporte o subsidios para las actividades en los bosques, estos regímenes de tenencia de tierras y fracasos políticos

(como la corrupción o la mala gestión forestal) son también importantes impulsores de la deforestación. Los factores tecnológicos impulsan la deforestación con cambios agrotecnológicos el cual intensifica la agricultura, la escasez tecnológica aplicada en el sector de la madera (lo que conduce a malas prácticas) también es considerado un impulsor de deforestación.

Y por último los factores culturales o sociopolíticos son subyacentes principalmente fuerzas económicas y políticas en forma de actitudes de la indiferencia pública hacia los entornos forestales. Estos factores también influyen en el comportamiento de agentes causantes de deforestación. Entre los factores demográficos, sólo la migración de colonizadores en zonas forestales escasamente pobladas causan deforestación, por consecuencia del aumento de la densidad de población allí, muestra una notable influencia en la deforestación (Geist & Lambin, 2002).

### **3.2 La pérdida de los bosques húmedos amazónicos en Perú según MINAM.**

Siendo Perú un país con gran diversidad de recursos naturales forestales y sus derivados, estos recursos vienen siendo alterados a causa de la pérdida de los bosques húmedos amazónicos. Según datos estadísticos proporcionados por el Programa Nacional de Conservación de Bosques del Ministerio del Ambiente para el periodo 2000 - 2015, ha existido una pérdida de los bosques húmedos acumulado de 1.809.607 ha, con una tasa de pérdida promedio de 120.640 ha/año (MINAM, 2015b). En la figura dos, se observa una tendencia creciente a la deforestación en los últimos diez años, también se muestra que existe un pico en el 2005 para los primeros ocho años reportados. Para esa pérdida existen diferentes teorías, una de ellas indica que pudo ser debido a la intensa sequía en la amazonia del año 2005 en donde se registró un caudal por debajo de lo normal desde febrero, tanto en los afluentes del sur y del norte del Amazonas peruano (Espinoza, JC; Ronchail, J; Lavado, W; Santini, W; Vauchel, P; Pombosa, R; Villacís, 2011), el cual pudo favorecer a la propagación de incendios y por consecuencia al incremento de la pérdida de los bosques húmedos amazónicos.

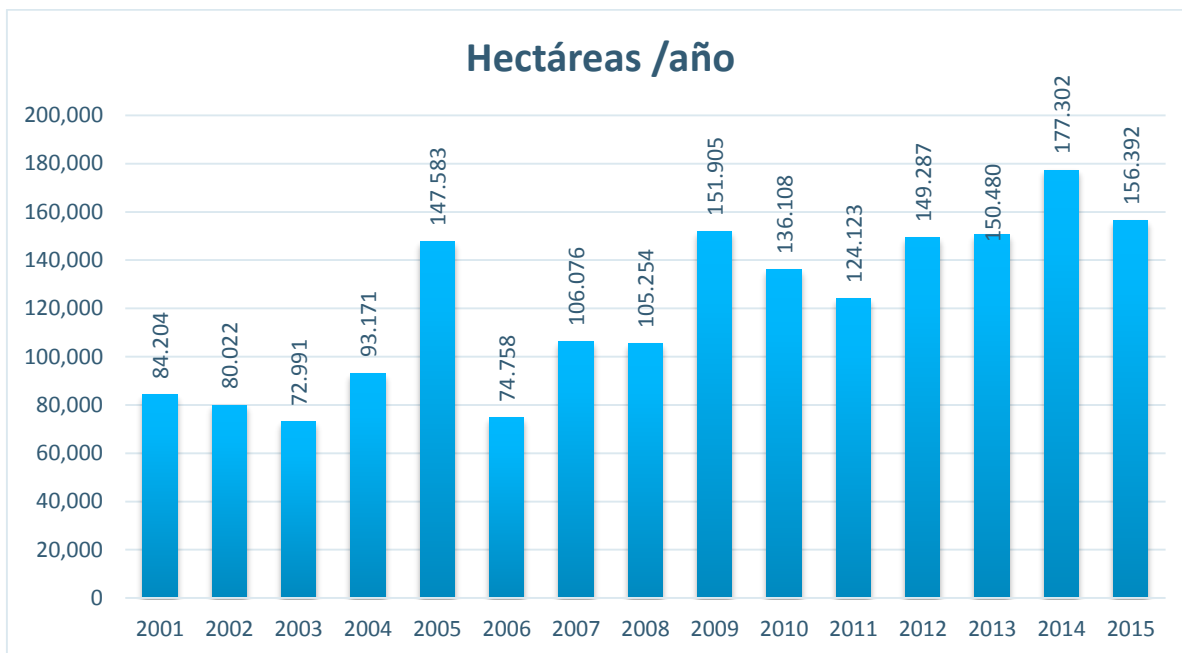


Figura 2. Pérdida de los bosques húmedos amazónicos (MINAM, 2015b)

### 3.3 Factores que promueven la pérdida en los bosques húmedos amazónicos en Perú según MINAM

Según el nivel de referencia presentado por el Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas Para el Cambio Climático (CMNUCC), hace mención que los factores que promueven la pérdida de los bosques húmedos amazónicos en Perú como causas directas son las áreas agrícolas con 32,8%, áreas artificiasdas con 0,2%, vegetación secundaria con 38,4%, pastizales y herbazales con 24,3%, áreas mineras con 3,6%, suelos desnudos con 0,4%, otras tierras 0,4%. Cabe mencionar que estos datos son reportados como la primera versión de usos de la tierra en los bosques húmedos amazónicos para el año 2011. Otros patrones causantes de la pérdida de los bosques húmedos amazónicos en Perú se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Patrones y agentes causantes de la deforestación en Perú.

<b>Patrones espaciales (creciente fragmentación de la Amazonía Peruana)</b>	<b>Agentes de la deforestación (la deforestación tipo “hormiga”)</b>	<b>Causas indirectas (la apropiación de tierras como denominador común de la deforestación)</b>
<p>La pérdida de los bosques son representados espacialmente en áreas consolidadas, esto quiere decir que estas áreas de pérdida van desde 3.000 hasta 300.000 ha de pérdida de bosques, los cuales están asociadas con ejes carreteros y algunos casos con ejes fluviales, también hace mención que existen focos de deforestación disperso hasta con 5.000 ha al año, en ello se encuentra el cultivo de coca, cultivos agroindustriales y aperturas de nuevas vías.</p>	<p>La deforestación en los bosques húmedos amazónicos ha venido siendo fragmentado, en donde predomina los pequeños productores agropecuarios, estos productores generan una deforestación que llega hasta 3 ha.</p> <p>Cabe mencionar que estos productores han sido causantes de 88% de la pérdida de los bosques húmedos.</p>	<p>Se describe como causa indirecta que la pérdida de los bosques húmedos amazónicos esta estadísticamente correlacionada con el crecimiento poblacional y el producto bruto interno (PIB). Basado solo en el análisis de la pérdida de los bosques húmedos para el periodo 2001 – 2013, el aumento de la población en 1% repercutió en 0,54% la pérdida de los bosques, mientras que el aumento de 1% en el PIB implicó un aumento de 0.22% en la pérdida de bosques.</p>

Fuente: Elaboración propia con datos recopilados del nivel de referencia presentado por Perú en el año 2015 (MINAM, 2015c).

Con respecto a la relación de la pérdida de los bosques húmedos en Perú con una visión a futuro describen lo siguiente:

Tabla 2 Dinámicas de usos del suelo en la Amazonia como agente de la pérdida de bosques

<b>Dinámica de los patrones espaciales (apertura de la Selva Baja):</b>	<p>Históricamente la deforestación estuvo concentrada en la Selva alta (bosque húmedo de montaña), con la creación de nuevos ejes viales se amplió el acceso a la Selva baja superando las dificultades que se presentaban en el transporte fluvial, con ello también se incrementó paulatinamente la pérdida de los bosques en la Selva Baja en el periodo 2000- 2015.</p>
<b>Dinámica del uso ganadero, para cash crops y minería</b>	<p>Como consecuencia de la subida de precios en Perú en el año 2006 y en particular el precio de la carne, las áreas de pastos para la crianza de ganado generó una alza en su demanda y con ello la pérdida de bosques húmedos,</p>

	<p>originando una pérdida de 8.435 ha al año 2006 y 136.839 ha para el año 2013.</p> <p>De igual forma a partir del 2008 se refleja un aumento en cash crops, en particular al cultivo de café cacao y palma aceitera. A raíz de la alza de precios en el oro la minería aluvial ha presentado una dinámica de alza.</p>
<b>Dinámica de la gobernanza:</b>	<p>Desde el gobierno central se vienen tomando acciones para una descentralización hacia los gobiernos regionales y locales, entre ellos está la competencia forestal, como también la mejora de la capacidad de gobernanza. Por lo que ha resultado aún más compleja la coordinación entre sectores, gobiernos y programas para una planificación forestal en donde se pueda balancear el crecimiento económico con la preservación del medio natural.</p>
<b>Dinámica de la migración doméstica (la gasolina para los motores de la deforestación)</b>	<p>El flujo migratorio de la amazonia ha sido desde tiempos históricos constante, en particular tiene una gran influencia de población de la zona de los andes de Perú, el cual ha impulsado la pérdida de bosques.</p>

Fuente: Elaboración propia, en base a los datos recopilados del Nivel de referencia Perú 2015 (MINAM, 2015c).

### **3.4 Simulación de la pérdida de los bosques húmedos amazónicos en Perú.**

Existen diferentes documentos elaborados por el Ministerio del Ambiente en Perú, en donde describen simulaciones de la pérdida en los bosques húmedos amazónicos, cabe mencionar que estas simulaciones fueron elaboradas de forma estadística y solo se basó en datos del primer reporte de pérdida de los bosques húmedos en el periodo 2001 al 2014.

#### **3.4.1 Presentación de Perú de un nivel de referencia de emisiones forestales**

De acuerdo al Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (NREF) presentado por Perú para el periodo 2015 – 2020, el cual busca reducir las emisiones de gases de efecto invernadero derivado de la pérdida de bosques húmedos en la amazonia peruana, se utilizó las tendencias históricas derivadas del periodo 2001 -2014. La proyección que presenta el nivel de referencia, se hizo por cada departamento de manera individual y luego esas proyecciones se sumaron para obtener el NREF propuesto para la Amazonía Peruana (bosques húmedos

amazónicos en Perú). Cabe mencionar que el método de proyección a nivel regional ofrece el mismo resultado que si hubiera sido utilizada en toda la Amazonía Peruana. (MINAM, 2015c).

El Perú consideró que lo más apropiado al establecer su NREF es que refleje la tendencia histórica reportada del 2001 al 2014, debido a que aún existen grandes extensiones de bosques y las tasas históricas de deforestación son relativamente bajas (MINAM, 2015c).

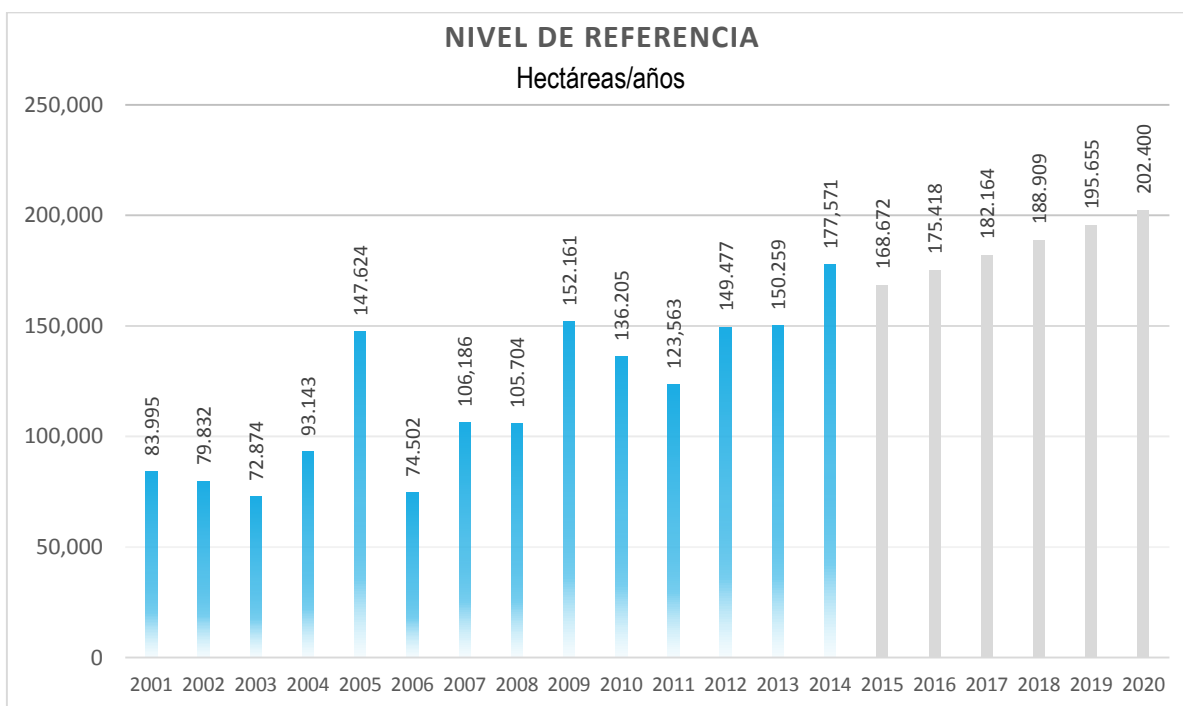


Figura 3.- Gráfico de simulación estadística tendencial de la pérdida de los bosques húmedos amazónicos 2015 -2020 presentada por el Perú en el 2015 (MINAM, 2015c)

Como se observa en la Figura 3, el nivel de referencia presentado por Perú solo presenta una simulación tendencial de seis años (2015 – 2020). En donde se puede observar que el primer año simulado (2015) presenta una disminución con respecto al 2014, esto se debe a que se utilizó la tendencia de 2001 al 2014, posterior al primer año simulado la tendencia de la deforestación (pérdida de los bosques húmedos amazónicos) fue de manera creciente hasta el 2020. Con un aumento de 6.745 ha/año.

### 3.4.2 Estrategia nacional sobre bosques y cambio climático

El documento menciona que la metodología utilizada para la proyección de la pérdida de bosques húmedos en Perú es la misma a la utilizada en la elaboración del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (NREF), presentada por Perú ante la CMNUCC en el 2015. Cabe mencionar que esta proyección lineal de pérdida en base a una tendencia de los bosques se extendió hasta el año 2030.

Bajo el contexto de esta simulación el Perú aspira a reducir sus emisiones procedentes de la pérdida de bosques hasta el año 2030. Asimismo indica que todos los departamentos con bosque húmedo amazónico presentan una tendencia creciente de pérdida de bosques (MINAM, 2015c).

Tabla 3. Simulación estadística tendencial de la pérdida de los bosques húmedos amazónicos 2015 -2030 presentado en la Estrategia Nacional sobre Bosques y Cambio Climático.

Periodo	Pérdida Acumulada (ha)
<b>2000 - 2014</b>	1.653.120
<b>2015 - 2030</b>	3.508.223

Fuente: Elaboración propia, en base a los datos recopilados de ENBCC

Como se observa en la tabla 3, se realizó una proyección de la pérdida de los bosques húmedos en base a la línea de tendencia observada en el periodo 2001- 2014. Con la misma tasa estimada en el nivel de referencia de 6.745 ha, hay que mencionar que esta simulación al igual que el nivel de referencia presentado por Perú, no está espacialmente explícita y se basa en un análisis de tendencia.



## 4 MATERIAL Y MÉTODOS

### 4.1 Área de estudio

La extensión geográfica del Perú es 1.285.215 km<sup>2</sup>. La Amazonía peruana abarca una superficie de 783.140 km<sup>2</sup>, es decir el 60,9% del territorio nacional (MINAM, 2015b). Comprende los departamentos de Loreto, Ucayali y Madre de Dios, y parte de los departamentos de Amazonas, Cajamarca, Huancavelica, La Libertad, Pasco, Piura, Puno, Ayacucho, Junín, Cusco, San Martín y Huánuco (Potapov, 2014)

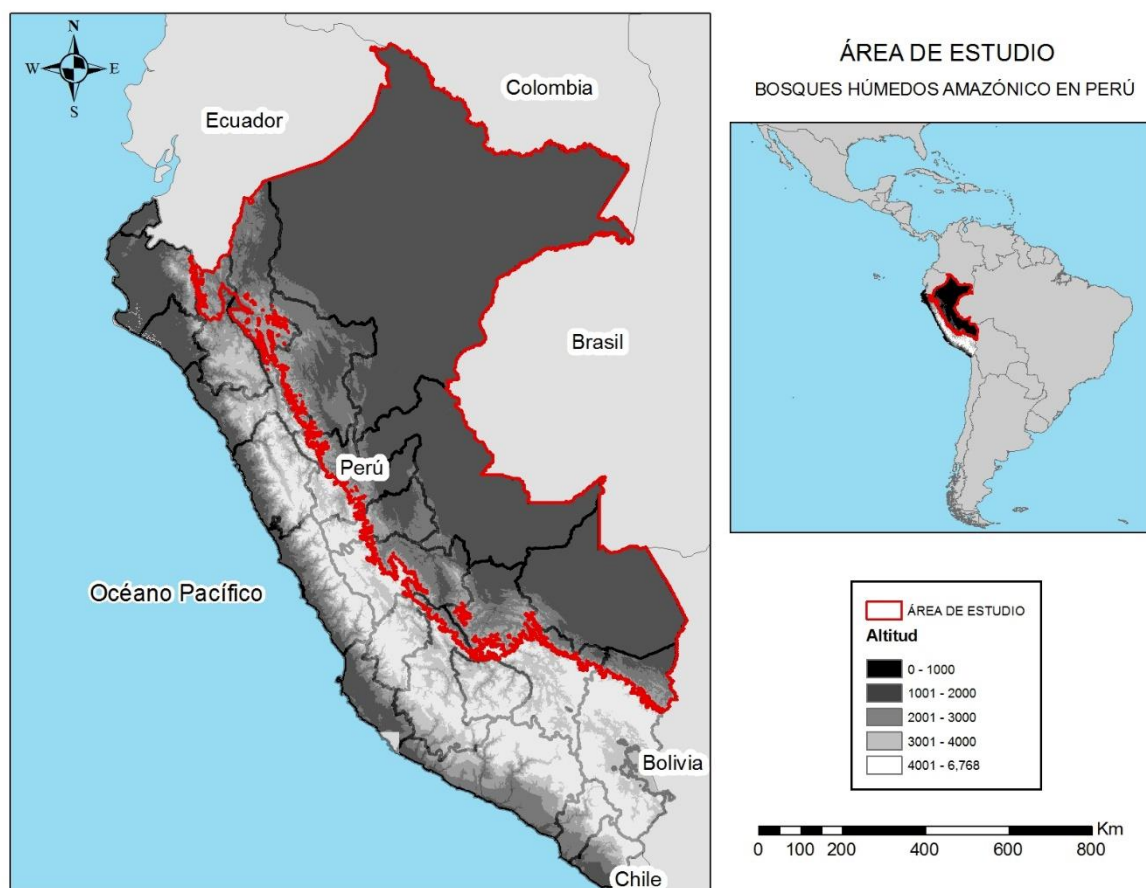


Figura 4. Mapa de ubicación del área de estudio, en base a datos de USGS, MINAM 2017.

#### 4.1.1 Bosques húmedos amazónicos

A continuación se describirán los tipos de coberturas vegetales que se encuentran distribuidos dentro de los bosques húmedos amazónicos en Perú:

- **Aguajal.-** Los aguajales son un tipo de cobertura que está dominado por palmeras, esta cobertura se encuentra distribuida en varias regiones políticas en Perú pero su concentración mayor está en la región Loreto, específicamente en la zona llamada el “Abanico del Pastaza”. Esta cobertura vegetal es típica de áreas pantanosas con presencia de agua todos los meses del año, en algunos casos con presencia de herbáceas y/o arbustos. La especie vegetal más representativa y del cual proviene el nombre es la *Mauritia flexuosa* “Aguaje”, otras especies asociadas a este tipo de cobertura son: *Mauritiella sp.* “aguajillo”, *Euterpe precatória* “huasaí”, *Jessenia bataua* “ungurahui”, *Oenocarpus mapora*, *Socratea exorrhiza* “huacrapona”, *Astrocaryum huicungo* “huicungo”, *Scheelea cephalotes* “shapaja”, *Bactris sp.* “ñejía”, *Phytelephas sp.* “puma yarina” (MINAM, 2012).
- **Bosque húmedo de colina baja y lomada.-** Como su título lo menciona, estos bosques comprenden la asociación entre la cobertura de bosques de colina baja que tienen una pendiente y altura máxima de 15% y 20 m respectivamente y los bosques de lomadas que presentan una pendiente máxima de 75% con una elevación por debajo de los 80 m de altura. En esta asociación, las especies más comunes son: *Tapiria*, *Oxandra*, *Unonopsis*, *Xilopia*, *Couma*, *Nealchornea*, *Croton*, *Cedrelinga*, *Protium*, *Hirtella*, *Esclerolobium*, *Ormosia*, *Inga*, *Endicheria*, *Licaria*, *Nectandra*, *Ocotea*, *Eschweilera*, *Grias*, *Batocarpus*, *Brosimum*, *Perebea*, *Pseudolmedia*, *Comsoneura*, *Otova*, *Virola*, *Pouteria*, *Sterculia*, *Chimarrhis*, *Theobroma*, *Apeiba*, *Crysohyllum*, *Leonia*, *Cybianthus*, entre otras. Cabe mencionar que en los bosques de colinas bajas existe la presencia de “cañas” silvestres con diferentes grados de cobertura (MINAM, 2012).

- Bosque húmedo de colina alta.-** Este tipo de cobertura presenta alta densidad con árboles de hasta 30 m, posee una pendiente media superior al 50% y con una altura máxima de 300 m desde su base. Siendo las especies más representativas la *Cedrelinga cateniformis* “tornillo”, *Cariniana sp.*, *Parkia sp.*, *Platymiscium sp.*, *Cedrela odorata*, “cedro” *Perebea sp.*, *Protium sp.*, *Guarea sp.*, *Guatteria sp.*, *Spondias mombin* “ubos”, *Duguetia sp.* “tortuga caspi”, *Matisia cordata* “sapote”, *Cordia sp.*, *Ficus sp.*, *Terminalia amazonica*, *Hura crepitans* “catahua”, *Mabea sp.*, *Eritrina sp.*, *Oxandra xilopioides*, *Unonopsis sp.*, *Protium fimbriatum*, *Licania*, *Hevea guanensis* “shiringa”, *Pithecelobium basijugum*, *Ocotea sp.*, *Perebea guianensis*, *Otoba parvifolia*, *Pouteria sp.* “caimito”, *Apeiba áspera* “peine de mono”, *Tapiria obtusa*, *Xilopia sp.*, entre otras. existen tipos de cañas silvestres de gran representación como es el caso de *Guadua sarcocarpa* “paca” que hacen casi impenetrable el acceso (MINAM, 2012).
- Bosque húmedo de montaña.-** Esta cobertura boscosa se encuentra ubicada a una altura máxima de 3.800 m, es una de las coberturas más representativas dentro de los bosques húmedos en Perú y también es la cobertura con mayor impacto antropogénico a su estado natural, posee montañas superiores a los 300 metros de altura y con pendientes por encima al 50%. Estas condiciones han ocasionado que se formen áreas con permanente neblina las cuales son llamadas “Bosques Nublados”. Debido a su extensión y pisos altitudinales permiten la existencia de diversas especies forestales densas con árboles de hasta 35 m de altura. Entre las especies arbóreas más representativas por debajo de los 1.500 m son: *Unonopsis*, *Couma*, *Protium*, *Inga*, *Eschweilera*, *Miconia*, *Batocarpus*, *Mouriri*, *Virola*, *Chimmarris*, *Pouteria*, *Tapiria*, *Rollina*, *Xilopia*, *Aspidosperma*, *Protium*, *Hirtella*, *Licania*, *Tovomita*, *Croton*, *Nalchornea*, *Drypetis*, *Hevea*, *Macrolobium*, *Senefeldera*. Las especies ubicadas entre los 1,500 – 2,800 msnm que conforman los bosques de neblina son: Lauraceae (*Aniba*, *Beilshmiedia*, *Endlicheria*, *Licania* y *Nectandra*), Rubiaceae (*Cinchona micrantha* “casarilla”, *C. officinalis* y *C. Pubescens*), Podocarpaceae (*Podocarpus* con 7 especies, *Prumnopitys* con 2 especies y *Retrophyllum o Nageia*), Juglandaceae (*Juglans*), Meliaceae (*Cedrela*, *Ruagea*), Moraceae (*Ficus*). Mientras que las especies

más representativas por encima de los 2,500 m son: Myricaceae (*Myrica*), Myrsinaceae (*Myrsine*), Melastomataceae (*Miconia*), Clethraceae (*Clethra*), Rosaceae (*Polylepis*, *Hesperomeles*), Bignoniaceae (*Delostoma*), Grossulariaceae (*Escallonia*), Araliaceae (*Aralia*, *Sheflera*, *Oreopanax*) entre otras (MINAM, 2012).

- **Bosque húmedo de superficie plana inclinada.-** Esta cobertura se encuentra distribuida en 7 de las 15 regiones que comprenden los bosques húmedos amazónicos en Perú. Posee una pendiente entre 25 al 50% y una densa cobertura arbórea. Debido a su singularidad, ubicación y extensión reducida, es poco accesible la obtención de datos de especies (MINAM, 2012).
- **Bosque húmedo de terraza alta.-** Este tipo de cobertura presenta una pendiente de hasta 15%, con una altura sobre los 10 m respecto al caudal de los ríos. Algunas de estas terrazas vienen siendo degradadas por factores antrópicos debido a su fácil acceso, entre los géneros arbóreos más representativos están las: *Eschweilera*, *Dipterix*, *Nectandra*, *Ocotea*, *Brosimum*, *Apeiba*, *Hymenaea*, *Cedrela*, *Perebea*, *Hevea*, *Yacushapana*, *Guatteria*, *Manilkara*, *Trichilia*, *Guatteria*, *Heisteria*, *Dipterix*, *Pseudolmedia*, *Anaxagorea*, *Licania*, *Apeiba*. Este tipo de bosque presenta gran potencial de recursos forestales, por lo que es altamente afectado por actividad humana debido a su fácil acceso (MINAM, 2012).
- **Bosque húmedo de terraza baja y media.-** Este tipo de bosque comprende asociaciones entre la cobertura de terrazas bajas con pendiente de hasta 2% con una altura máxima de 5 m, respecto al curso del agua y terraza media con pendiente máximo de 8% con una altura máxima de 10 m, respecto al curso del agua. Entre las especies más representativas de los bosques húmedos e terrazas bajas podemos mencionar a los: *Gynerium sagittatum* “caña brava”, *Tessaria integrifolia* “pájaro bobo”, *Adenaria floribunda* “puca varilla”, *Cecropia membranacea* “cetico”, *Pseudobombax munguba* “punga colorada”, entre otras. Mientras que en la cobertura de terraza media podemos mencionar que los géneros más comunes son: *Hura*, *Calophyllum*, *Chorisia*, *Caryodendron*, *Drypetes*, *Sapium*, *Virola*, *Inga*, *Guatteria*,

*Clarisia, Iryanthera, Ficus, Otoba, Agonandra, Triplaris, Pouteria, Parkia, entre otras* (MINAM, 2012).

#### **4.1.2 Clima**

El clima en Perú es afectado por tres factores, el primero por estar en la zona intertropical, segundo por las diferencias altitudinales y tercero por la corriente del Humboldt (Senamhi, 2016). Los bosques húmedos amazónicos presentan características climáticas peculiares en donde destaca la Selva Tropical muy Húmeda que tiene un promedio anual de 27° C y en periodo de friaje la temperatura desciende hasta los 10° y la Selva Tropical Húmeda con una temperatura promedio anual de 30° C y una temperatura mínima de 18° C . Cabe mencionar que estos índices climáticos está sustentado por información meteorológica de aproximadamente 20 años (1965 – 1984) y fue realizado de acuerdo a la clasificación propuesta por Werren Thornthwaite en 1948.

#### **4.1.3 Hidrografía**

En los bosques húmedos amazónicos en Perú existen numerosos ríos, entre los ríos más grandes destacan Amazonas, Marañón, Napo, Ucayali, y Madre de Dios, cabe mencionar que estos ríos nacen de diferentes áreas climáticas, por lo que la fluctuación del nivel de agua sigue diferentes regímenes (Peñaherrera, 1986). Cabe mencionar que los ríos Amazonas y Marañón presentan una crecida significativa de sus aguas en los meses Marzo a Mayo, mientras que el río Ucayali de Febrero a Abril, siendo el río Napo el que presenta de manera más tardía su crecida de aguas que van desde Mayo a Julio (DHN, 2005).

También se puede decir que estos ríos pueden clasificarse de acuerdo al patrón de su curso, en ríos de curso directo, meandrónico, trezado y anastomoso (Morisawa, 1985). Los ríos con curso directo y meandrónico presentan un solo cauce, mientras que los ríos, trezado y anastomosados contienen divisiones sucesivas de los canales alrededor de las islas aluviales (Kalliola, Puhakka, & Danjoy, 1993).

#### **4.1.4 Geología**

Las características geológicas en los bosques húmedos amazónicos en Perú son el resultado de diversos factores que han venido ocurriendo a lo largo del tiempo, simultáneamente o sucesivamente a diversas escalas tanto de tiempo y de espacio (Almeida & Sourdat, 1982). Presenta dos zonas morfoestructurales, la primera subandina o piedemonte (Selva Alta) y la segunda el llano Amazónico (Selva Baja).

Dando una descripción más detallada sobre la geología en los bosques húmedos amazónicos, se puede decir que la zona norte presenta formaciones de Pebas, formación Nauta, distribución de los depósitos del Abanico de Pastaza y la depresión de Ucamara. En el centro presenta afloramientos de las unidades de Kummel, nivel de tobas al tope de Chambira y ocurrencia de rocas ígneas per-alcálicas. Al sur gran distribución de rocas Neógenas, potentes depósitos de piedemonte y evidencia de un nivel marino equivalente a pozo (Nuñez del Prado & Jaime, 2012).

#### **4.1.5 Suelos**

Las características de los suelos en los bosques húmedos amazónicos han sido influenciadas por diferentes factores, entre ellos la altitud, en donde se describen tres áreas diferenciadas: el primero de nombre Ceja de Selva con una altitud entre los 1.500 a 3.500 m en donde presenta pendientes fuertes, valles estrechos y ríos ondulados, seguido de la selva alta con una altitud entre 500 y 1.500 m con presencia de valles longitudinales y el tercero con nombre selva Baja con relieves ondulados de colinas, terrazas inundables (Rodríguez, 1995).

Según el Instituto Nacional de Investigación y Promoción Agropecuaria (INIPA) desde el punto de vista taxonómico, los bosques húmedos amazónicos en Perú presentan siete suelos dominantes, donde los más representativos son los suelos Ultisoles que ocupan el 65%, segundo los Entisoles con un 17%, tercero los Inceptisoles con un 14%, cuarto los Alfisoles con un 3% y quinto, sexto y séptimo los Vertisoles, Molisoles y Espodosoles respectivamente con menos del 1%.

#### **4.1.6 Topografía**

En base al modelo de elevación digital, se puede decir que los bosques húmedos amazónicos presentan una topografía abrupta en la zona oeste, llegando a una altura máxima de 4.048 m, cabe mencionar que esta zona es limítrofe con la zona andina y está dentro de la cobertura de bosque de montaña. En toda la zona este, presenta una pendiente moderada con una elevación máxima de 530 m y una mínima de 60 m, esta zona también llamada como Selva baja concentra mayor extensión y ríos dentro de los bosques húmedos.

#### **4.1.7 Población**

La densidad poblacional en el Perú ha sido registrada hasta el año 2007, en donde registra como el octavo país con mayor población a nivel América. El 2007 fue el año del último censo nacional, en donde sus resultados ascendían a 27.412.157 habitantes, sin embargo para el 2016 se estima que la población nacional sea de 31.488.625 habitantes, de los cuales 50,1 % serían hombres y 49,9% mujeres (MINAM, 2015a). En el censo mencionado se indica que la Costa es la región geográfica con mayor densidad demográfica (100,4 hab. / km<sup>2</sup>), seguida por la Sierra (27,2 hab. / km<sup>2</sup>) y la Amazonía (3,3 hab. / km<sup>2</sup>) (INEI, 2016).

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática describe que la población dentro de los bosques húmedos amazónicos para el año 2015 ascenderá a 4.326.450 habitantes (INEI, 2010).

#### **4.1.8 Infraestructura vial**

Según el mapa de deforestación al año 2009 indica que las principales vías de acceso que recorren a la región amazónica (bosques húmedos Amazónicos) peruana son: la carretera Central, la Marginal de la Selva, la carretera Federico Basadre, la carretera Iquitos – Nauta, la carretera Tarapoto – Moyobamba, Tarapoto – Yurimaguas y la carretera Interoceánica, principalmente (MINAM, 2009).

## **4.2 Datos para el estudio**

### **4.2.1 Formato**

Los datos utilizados para este trabajo son básicamente de tipo geográfico en sus diferentes formatos “vectorial” y “raster”. Los mapas para el estudio se refieren a la de pérdida de bosques húmedos amazónicos en Perú periodo 2000 al 2015, estos datos han sido proporcionados por el Programa Nacional de Conservación de bosques del Ministerio del Ambiente. Seguido de la información de límites administrativos correspondiente a los bosques húmedos amazónicos en Perú. También se incluyó el modelo de elevación digital (DEM) descargado de la USGS en su formato raster, el cual permitió obtener mapas de altitud y pendiente que han servido como factores impulsores de la pérdida de los bosques húmedos.

### **4.2.2 Software**

Los softwares utilizados, en el modelamiento y análisis de la simulación, son los siguientes:

- ArcMap 10.5 de ArcGIS, utilizado para elaborar los mapas y estadísticas de las mismas.
- QGis 2.8.3.- Versión Libre, utilizado para cambiar los distintos tipos de formato a las capas.
- Idrisi Selva 17.0 con su extensión *Land Change Modeler*, utilizado para predecir la pérdida de los bosques húmedos para el año 2030.

## **4.3 Mapas**

Todos los datos utilizados en el estudio fueron recopilados en sus diferentes formatos, que se muestran en:



Tabla 4. Mapas base recopilado

Nombre	Institución Generadora	Formato	Año	Resolución /Escala
Mapa de “bosque/no bosque 2000”	Ministerio del Ambiente	Raster	2017	30 m
Mapa de pérdida de bosques húmedos amazónicos del Perú	Ministerio del Ambiente	Raster	2017	30 m
Mapa de carreteras de la amazonia (trochas, principal)	Ministerio de Transporte	Vectorial	2005	1: 100.000
Modelo de elevación digital	USGS	Raster	2017	90 m
Mapa de pendientes	USGS (derivado del DEM)	Raster	2017	90 m
Mapa de centros poblados.	Instituto Nacional de Estadísticas -2009	Vectorial	2009	milímetros
Mapa de áreas naturales protegidas	SERNAMP - 2017	Vectorial	2017	1:100.000
Mapa de zonas de amortiguamiento	SERNAMP – 2017	Vectorial	2017	1:100.000
Mapa de ríos	Ministerio del Ambiente - 2017	Vectorial	2017	30 m
Mapa de áreas de Conservación regional	SERNAMP – 2017	Vectorial	2017	1:100.000
Mapa de cobertura vegetal	Ministerio del Ambiente - 2015	Vectorial	2015	1:100.000
Mapa de suelos	Ministerio de Agricultura - Datos de ONERM	Vectorial	anterior a 1990	1:250.000
Mapa ecológico	Ministerio de Agricultura - Datos de ONERM	Vectorial	1976	1:250.000
Mapa de capacidad de uso mayor	Ministerio de Agricultura - Datos de ONERM	Vectorial	1981	1:250.000
Mapa de comunidades nativas	IBC - 2016	Vectorial	2016	1:250.000

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla 4, la información base recopilada proviene de diferentes fuentes, años y escalas. Para el uso apropiado de esta información en el estudio, esta información se tiene que estandarizar y debe ser comparable y equivalente.

#### 4.4 Base de datos geográfica

Según la base recopilada y descrita en la tabla 3, para que los datos puedan ser utilizados, dentro del módulo *Land Change Modeler* del software Idrisi, tienen que cumplir una serie de criterios técnicos básicos, estos criterios van desde su extensión geográfica, tipo de archivo, formato, entre otras. Para ello se realizó el siguiente proceso:

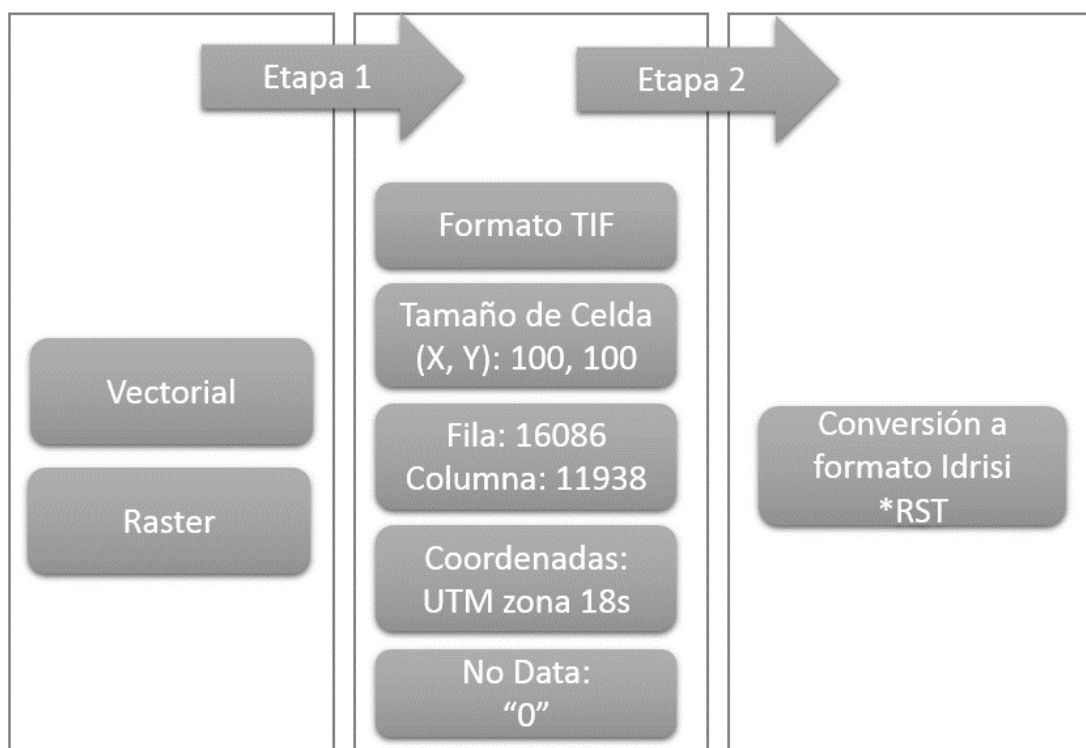


Figura 5. Proceso de transformación de datos.

- **Etapa 1.-** En esta etapa toda la información recopilada en la tabla 3, se homogenizo considerando en primer lugar el tipo de formato cartográfico, seguido del tamaño,

luego dimensiones y coordenadas, tal y como indica la figura 5. Este procesamiento se realizó en el módulo ArcMap del software ARGIS 10.5.

- **Etapa 2.-** La información que resulto de la etapa 1, y antes de su utilización dentro del módulo LCM de Idrisi fue convertido al tipo de formato permitido dentro del Módulo *Land Change Modeler* de Idrisi Selva, este formato es el \*RST, para ello se ha del software Qgis 2.8.3.

Habiendo aplicado la etapa 1 y 2 de la Figura 5 a las coberturas descritas en la tabla 4, las coberturas finales y listas para el uso en el Modulo de *Land Change Modeler* de Idrisi, son los siguientes:

Tabla 5. Información base convertida a formato raster de Idrisi Selva.

<b>Información Base</b>	<b>Variable seleccionada para el Modelo</b>
Mapa de “bosque/no bosque 2000”	Raster de “bosque/no bosque 2000” (*RST)
Mapa de “bosque/no bosque 2005”	Raster de “bosque/no bosque 2005” (*RST)
Mapa de “bosque/no bosque 2010”	Raster de “bosque/no bosque 2010” (*RST)
Mapa de “bosque/no bosque 2015”	Raster de “bosque/no bosque 2015” (*RST)
Mapa de carreteras de la amazonia (trochas, principal)	Raster de carreteras amazónicas (*RST)
Modelo de elevación digital	Raster de modelo de elevación digital (*RST)
Mapa de pendientes.	Raster de Pendientes (*RST)
Mapa de centros poblados.	Distancia euclidiana a centros poblados (*RST)
Mapa de no bosque acumulado al 2015	Distancia euclidiana a no bosque acumulado al 2015 (*RST)
Mapa de no bosque acumulado al 2010	Distancia euclidiana a no bosque acumulado al 2010 (*RST)
Mapa de carreteras.	Distancia euclidiana a carreteras
Mapa de áreas naturales protegidas	Mapa de áreas naturales protegidas (*RST)
Mapa de zonas de amortiguamiento	Mapa de áreas de a zonas de amortiguamiento (*RST)
Mapa de ríos.	Distancia euclidiana a ríos (*RST)
Mapa de áreas de Conservación Regional.	Mapa de áreas de conservación regional (*RST)
Mapa de cobertura vegetal	Mapa de cobertura vegetal (*RST)
Mapa de suelos.	Mapa de suelo RST)
Mapa ecológico.	Mapa ecológico (*RST)
Mapa de capacidad de uso mayor.	Mapa de capacidad de uso mayor (*RST)

Fuente: Elaboración propia. 2017.

Cabe destacar, que las imágenes raster son el tipo de dato más importante y fundamental para el uso correcto del Módulo *Land Change Modeler* de Idrisi Selva. Las capas tipo raster son simples en estructura y regulares en su organización, esto permite una extraordinaria gama de operaciones analíticas (Eastman, 2012).

#### **4.4.1 Selección de variables independientes para el modelo.**

Las variables seleccionadas para el modelo han sido subdivididas de acuerdo a su participación, estas pueden ser información base, motor u agente causante de la pérdida en los bosques húmedos amazónico en Perú o de validación del modelo. Cabe recalcar que la información utilizada en el estudio ha sido generada por distintas instituciones del Perú. Existe además mayor información que hubiese sido importante incorporar al modelo y con ello mejorar las variables de agente de la pérdida de los bosques, pero aquellas informaciones no se encuentran disponibles al público.

Asimismo, el *Land change modeler* proporciona un análisis donde las variables pueden ser modificables en función de los cambios en el contexto biofísico o socioeconómico (Bax, Francesconi, & Quintero, 2016)

Se ha considerado que las variables derivadas de factores antrópicos como la distancia a la deforestación, distancia a centros poblados y distancia a carreteras influyen de forma directa a la pérdida de los bosques, ya que estas variables favorecen de manera directa a la accesibilidad de los bosques, lo cual puede ocasionar un posible cambio en la cobertura amazónica.

La información base de pérdida de los bosques húmedos amazónicos en Perú del 2000 al 2015, se dividió en cuatro mapas finales: “bosque/no bosque” 2000, 2005, 2010 y 2015, los cuales han de contener las mismas coberturas para que puedan ser comparables, además que la unidad mínima sea de 1 hectárea equivalente a un pixel de 100 x 100 m. Estos cuatro mapas base, se pueden visualizar de la siguiente manera:

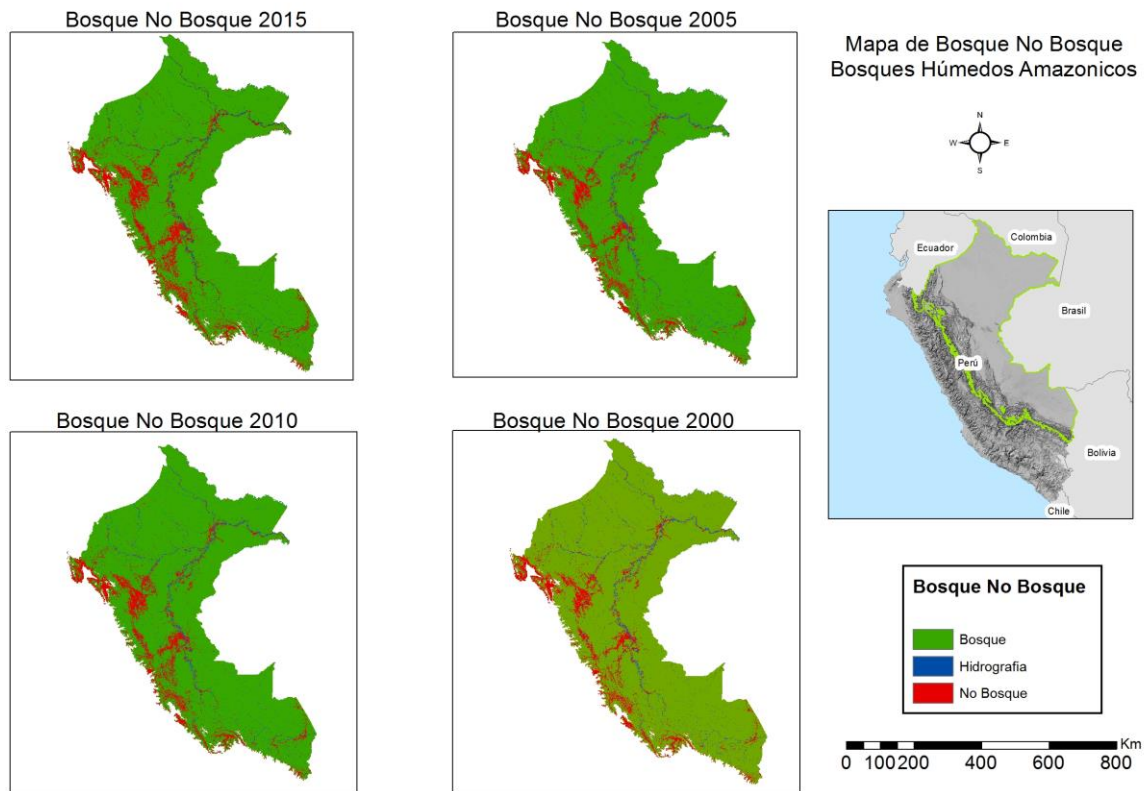


Figura 6. Mapa base de “bosque/no bosque” 2000, 2005, 2010 y 2015.

Otras variables consideradas para el modelo, son aquellas que se han derivado de las distancias euclidianas y del modelo de elevación digital, entre los más importantes según bibliografía es la distancia a ríos, esta cobertura ofrece de manera indirecta el acceso a los bosques húmedos y proporciona además un medio de transporte navegable para la extracción de madera y otros derivados que posee el bosque. Otra variable importante es la distancia a carreteras, ya que facilita el transporte de los productos derivados de la pérdida de bosques (madera) y agricultura. De igual importancia esta la variable distancia a centros poblados, debido a que la ocupación humana por el crecimiento poblacional viene empujando el incremento de la pérdida de los bosques ya sea para su uso agrícola, comercial o subsistencia. Otra variable importante es la distancia a la pérdida de los bosques húmedos en Perú, esta variable presenta una actividad de ocurrencia, indica la posibilidad de pérdida en las zonas próximas a donde ya existió pérdida de bosques. Adicional a estas variables, se consideró un

modelo de elevación digital y de pendiente en donde puedan funcionar como barrera para los lugares de difícil acceso debido a su pendiente extrema o como factor impulsor de pérdida de bosques en las zonas con menos pendiente, facilitando agricultura migratoria y comercial. La caracterización de estas variables incluye también la posibilidad de considerar algunas de ellas como variables dinámicas, es decir, que pueden evolucionar durante la simulación (cercanía a alguna categoría de usos del suelo, distancia a infraestructuras, etc.) (Camacho Olmedo, Molero Melgarejo, & Paegelow, 2010).

La siguiente figura muestra los mapas correspondientes a estas variables:



## Variables Dinámicas

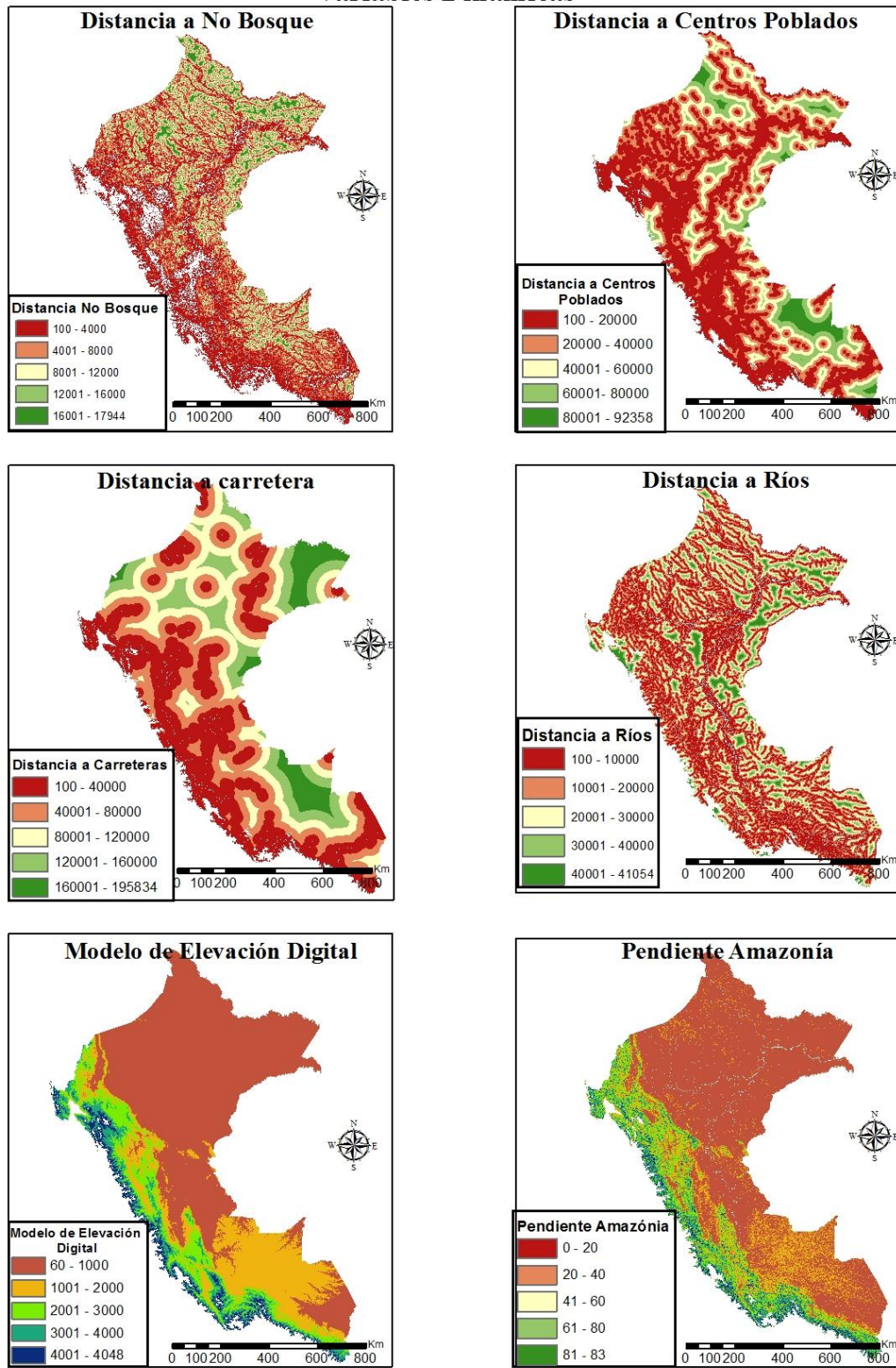


Figura 7. Variables dinámicas en los bosques húmedos.



Adicional a estas variables, se utilizaron otras variables de forma estática como son el tipo de suelo que fue elaborado años antes de 1990 y que cuenta con una escala de 1:250.000, el cual ha permitido observar cómo se desarrolla la pérdida de bosques húmedos según el tipo de suelo. La variable de zonas ecológicas de la amazonia que fue elaborado en 1976, esta variable al igual que el de suelos posee una escala de 1:250.000 y permite observar las condiciones ambientales en las que están distribuidas los bosques húmedos. La variable de mapa de áreas naturales protegidas el cual incluye las áreas naturales protegidas por el estado, sus zonas de amortiguamiento, áreas de conservación regional y áreas de conservación privadas. La variable de mapa de comunidades nativas que están distribuidas en todas las regiones políticas amazónicas y por último la variable el mapa de capacidad de uso mayor. La siguiente figura muestra los mapas correspondiente a estas estáticas:

## Variables Estáticas

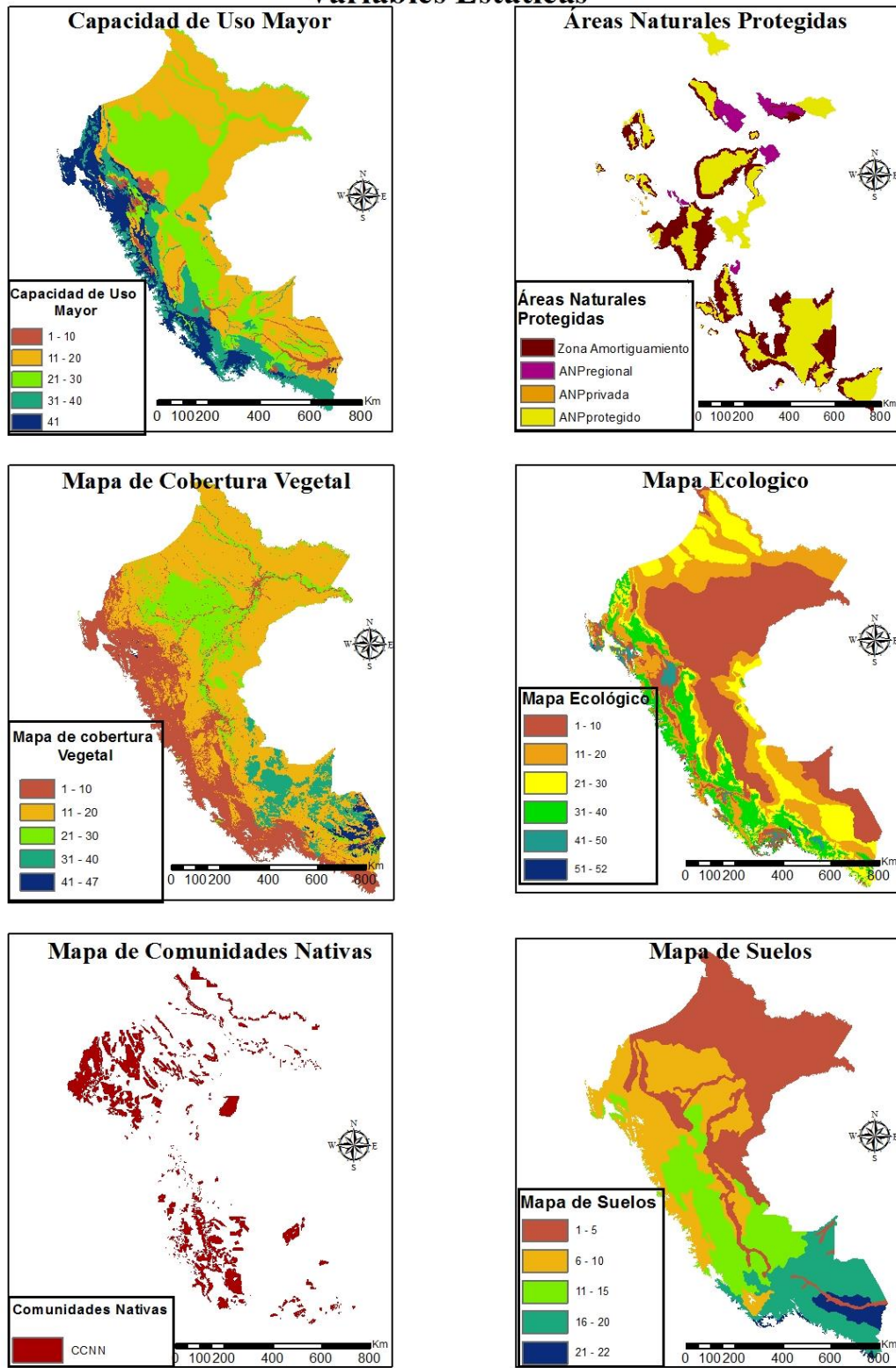


Figura 8. Variables estáticas en la amazonia.

Se ha nombrado tanto a las variables dinámicas y estáticas como “drivers”, estas pueden ser controladas según su nivel de impacto y transformadas según varias opciones disponibles en el módulo de *Land Change Modeler*.

Camacho, en el 2010, describe que los drivers son controlados por el usuario según el nivel de impacto, y que estos puedan actuar como agentes impulsores o controladores del cambio de uso del suelo (pérdida de los bosques húmedos), cabe mencionar que estos pueden cambiar según la evaluación que apliquemos a cada transición. Existe la posibilidad de que se consideren que las variables tanto dinámicas como estáticas puedan variar en el tiempo

#### **4.5 Modelización de la pérdida de los bosques húmedos amazónicos.**

Para la simulación de la pérdida de los bosques húmedos amazónicos al año 2030, como se ha descrito anteriormente se ha considerado utilizar el módulo *Land Change Modeler* (LCM) que está disponible dentro del software Idrisi, ya que este módulo está diseñado para el análisis de cambio de usos del suelo, no solo estadísticamente sino espacialmente explícita. La simulación de la pérdida de los bosques húmedos amazónicos en Perú para el año 2030, ha permitido comprender e identificar las posibles áreas de bosque con mayor riesgo a ser deforestadas en un corto y mediano plazo, esto permitirá obtener una herramienta para una posible toma de decisiones.

Una de las ventajas de usar el módulo *Land Change Modeler* de Idrisi Selva, es su interfaz sencilla y que esta pueda ser utilizada como una herramienta de apoyo para la evaluación del impacto de la pérdida de los bosques húmedos. Adicional al mapa de simulación al año 2030, este módulo permite obtener un mapa de vulnerabilidad, el cual es un mapa con potencial de cambio (Henriquez, 2012).

Cabe hacer mención que dentro del módulo de *Land Change Modeler* existe la opción de validación de la simulación, pero he considerado para esta etapa hacer la validación según lo propuesto por Pontus Olofsson en el 2014 en base a la guía “Buenas prácticas para la estimación de área y evaluación de la precisión de cambios de suelo”.

La figura 6, presenta de manera esquemática, el flujo de procesos y datos que se utilizaron para la modelización de los bosques húmedos amazónicos al 2030.



Figura 9. Proceso de transformación de datos.

#### 4.5.1 Fase1. Entrenamiento y proyección de escenario

Para la fase 1 “entrenamiento y proyección de escenarios”, se consideró como base las coberturas correspondientes al “bosque/no bosque 2000” y “bosque/no bosque 2010”, con ellos se analizó el cambio ocurrido en ese periodo de 10 años, se evaluaron las transiciones de cambio (pérdida de bosques húmedos amazónicos) y simuló una primera proyección al año 2015. Cabe indicar que el de simulación asume de manera explícita que las áreas vecinas influyen en la probabilidad de transición (Hurtado, 2014).

Los resultados de esta primera simulación, nos ha permitido hacer una análisis estadístico comparativo entre el mapa simulado al año 2015 y el mapa referencial correspondiente al “bosque/ no bosque 2015”. Cabe resaltar que este último mapa es proporcionado por el Ministerio del Ambiente en Perú.

##### 4.5.1.1 Análisis de Cambio

El panel de análisis de cambios nos ha proporcionado una evaluación cuantitativa rápida de los cambios con respecto a las dos capas ingresadas (“bosque/no bosque 2000” y “bosque/no bosque 2010”), esto ha permitido generar la evaluación de las pérdida de bosque como cambios netos en el periodo de 10 años, según nuestros tipos de coberturas. También

proporciona un medio para generalizar el patrón de tendencia entre las transiciones de coberturas dentro de los mapas analizados (R. Eastman, 2012).

Una de las facilidades que presenta esta evaluación de la pérdida de los bosques húmedos, es cuantificar mediante un proceso estadístico las áreas que han sufrido cambios, el cual permite establecer cuadros comparativos (Arévalo, 2015)

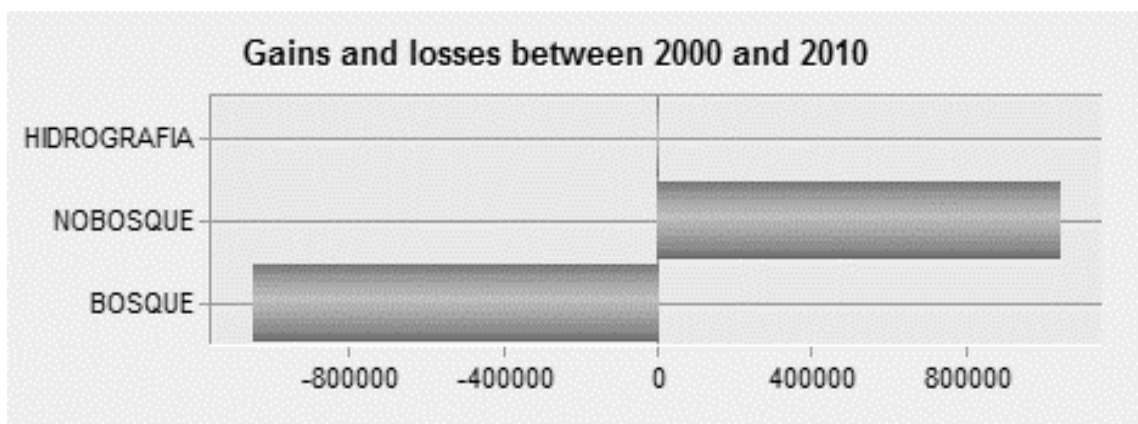


Figura 10. Análisis de cambio – LCM.

De acuerdo a la figura 10, en el análisis de cambio (pérdida de bosques húmedos amazónicos) llevado a cabo entre el periodo 2000 al 2010, se analizaron estadísticamente todas las transiciones de la pérdida a otras coberturas dentro de los bosques húmedos Amazónicos, estos cambios se pueden extraer estadísticamente y a la vez se considera tenerlo espacialmente, como se muestra en la figura 11.

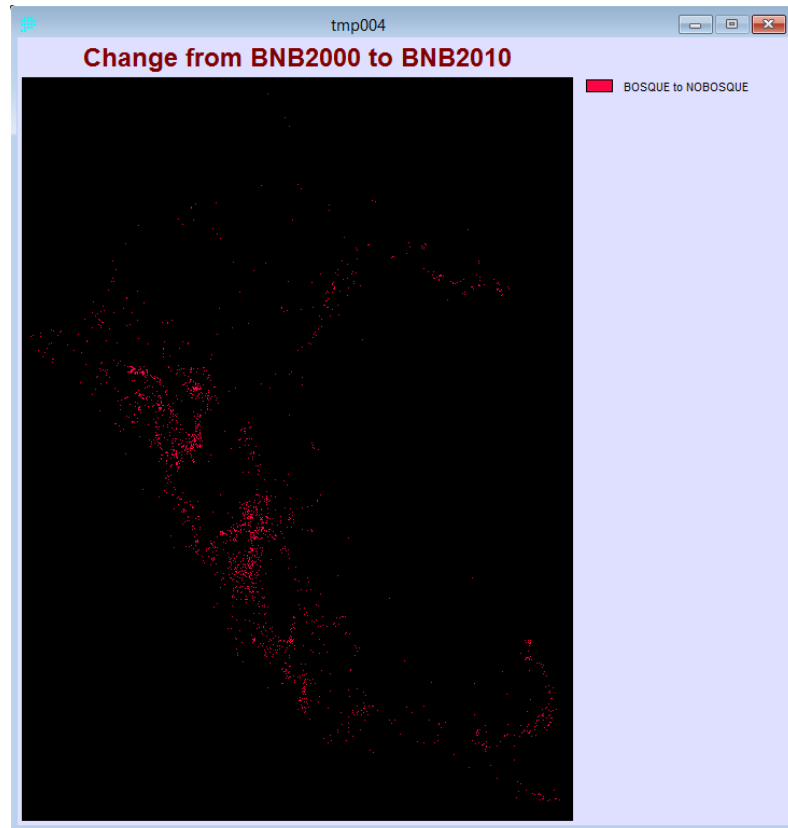


Figura 11. Áreas de cambio 2000 – 2010 – LCM.

#### 4.5.1.2 Modelador potencial de transición

Luego de haber detectado las áreas de cambio, el siguiente proceso consistió en la identificación de áreas con potencial a un posible cambio. Para este estudio debido a que se está analizando la pérdida de los bosques húmedos en Perú solo se ha generado un solo submodelo de transición, este submodelo de pérdida que va desde la cobertura bosque a no bosque utilizara las variables estáticas y dinámicas descritas en el figura 7 y 8 y es modelada con la función de la red neuronal de perceptrones multicapas (MLP) (R. Eastman, 2012).

#### 4.5.1.3 Submodelos de transición

Para esta primera simulación de pérdida de los bosques húmedos amazónicos en Perú al 2015 existe solo una categoría de cambio, el cual fue de bosque a no bosque. También se ha considerado utilizar todos los pixeles que se han detectado como cambio (pérdida de bosques

húmedos amazónicos) entre el periodo 2000 y 2010, estos pixeles tienen una dimensión 100 x 100 m.

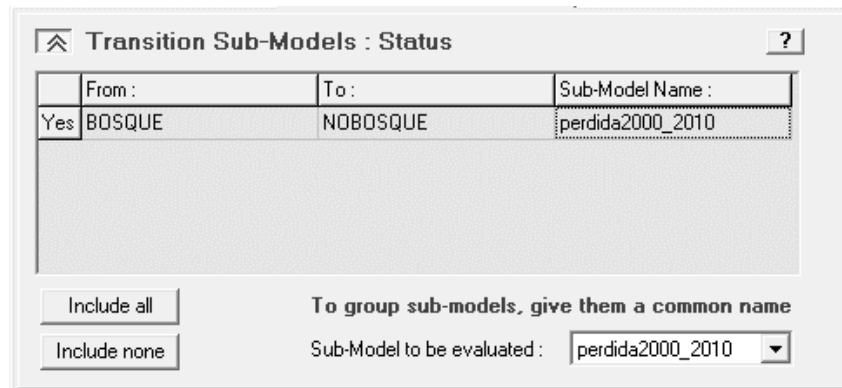


Figura 12. Áreas de transición 2000 al año 2010.

Tal y como se muestra en la figura 13, se ha propuesto colocar de nombre “perdida2000\_2010” al sub modelo de transición de pérdida de los bosques húmedos en Perú periodo 2000 al 2010.

#### 4.5.1.4 Panel de prueba y selección de variables

Este panel nos ha permitido medir de manera rápida el potencial de cada variable, ya sea estática o dinámica. Las variables utilizadas en esta fase son las descritas en la figura 7 y 8. Cabe mencionar que para esta fase se incluyó la totalidad de variables, con la salvedad que la variable distancia a “no bosque2015” fue modificada por la variable de distancia a “no bosque 2010”, debido a que el periodo analizado para esta primera simulación fue al año 2015.

#### 4.5.1.5 Activación del submodelo de transición

En esta parte de la simulación es en donde se implementó el modelador del submodelo de transición “perdida2000\_2010” para ello se consideró dejar por defecto el modelo y con ello utilizar la metodología de perceptrón multicapas (MLP), el cual ha permitido modelar varias transiciones al mismo tiempo (Eastman, 2012).

El MLP requiere entrenar y validar una selección de pixeles para cada transición que desea modelarse, en donde la selección de estos pixeles se hace de manera aleatoria (Gallardo,

2014). Para esta fase de entrenamiento el software extrajo muestras de los mapas de “bosque/no bosque 2000” y “bosque/no bosque 2010” con un total de 1.052.072 de píxeles en donde el 50% fue utilizada como fase de entrenamiento y el otro 50% de prueba, al igual que las muestras, se dejó por defecto el número de iteraciones que fue de 10.000. Finalizadas estas iteraciones, se generan mapas de potenciales de transición que a su vez fueron base para predecir los mapas a futuro (pérdida de bosques húmedos amazónicos en Perú), primero para el año 2015 y posterior al año 2030.

#### **4.5.1.6 Predicción de cambio**

En este paso se considera realizar una primera simulación para el año 2015, en base a los datos históricos de pérdida en el periodo 2000 – 2010 de los bosques húmedos amazónicos en Perú y en donde se han incluido las variables descritas en la figura 7 y 8, todo ello se realizó mediante un análisis de cadena de Markov. La cadena de Markov permite describir diversas situaciones, probabilidades de que ocurran o no ciertos eventos cuya condición actual dependerá del escenario anterior para simular el próximo (Pesantez, 2015). En esta primera simulación, el *Land Change Modeler* nos proporcionó dos modelos básicos de predicción: la primera fue una predicción proporcionando un mapa de vulnerabilidad con una escala de 0 al 1 y la segunda un mapa espacial del estado de los bosques al año 2015.

#### **4.5.2 Fase2. Validación del modelo**

En esta parte del proceso consiste en hacer una validación de la primera simulación (simulación de los bosques húmedos amazónicos en Perú para el año 2015) con una fuente externa que es el mapa de “bosque/ no bosque 2015” proporcionado por el Programa Nacional de Conservación de Bosques para el cambio Climático del Ministerio del Ambiente, en donde se aplicaron técnicas de muestreo que ha permitido estimar con mayor precisión el error de la simulación (Chuvienco, 2010).



**Validación de Modelo**  
Mapa Proyectado VS Mapa Real

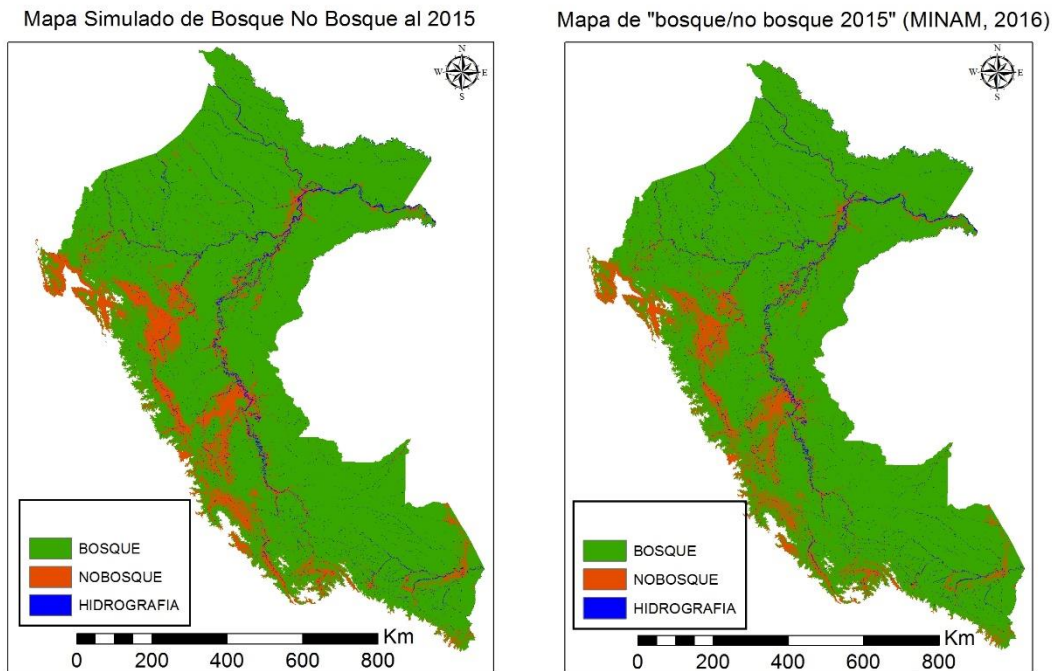


Figura 13. Mapas simulado y referencial para el año 2015

Olofsson (2014) en el artículo “Buenas prácticas para estimar el área y evaluar la exactitud del cambio de tierras” describe protocolos que son necesarios para el diseño de la muestra, estimación de la exactitud y ajuste de área.

La elección de un diseño de muestreo requiere considerar los objetivos específicos de la evaluación de la precisión y la priorización de criterios de diseño deseables. La principal recomendación es considerar un diseño de muestreo probabilístico (Olofsson, 2014). Un elemento esencial del muestreo probabilístico es que la aleatorización se incorpora en el protocolo de selección de muestra. Las dos condiciones que definen el muestreo probabilístico son a) la probabilidad de inclusión debe ser conocida para cada unidad seleccionada en la muestra y b) la probabilidad de inclusión debe ser mayor que 0 para toda la región de interés (Stehman, 2013).

El impacto de elegir estratos se verá reflejado en la estimación de los errores estándar. De acuerdo con Oloffson (2014) la distribución del tamaño de muestra entre los estratos

definidos por el mapa consiste en incrementar el número de muestras para las clases raras (pequeñas), haciendo más equitativo que distribuyéndolo de manera proporcional pero no al grado de una distribución uniforme. La razón de esta recomendación es que la precisión de usuario es frecuentemente un objetivo prioritario y por ello podemos controlar la precisión de usuario a través de la elección del método de distribución de muestra (Olofsson, Foody, Stehman, & Woodcock, 2013)

En base a los resultados de la exactitud global, a efectos de este trabajo se considera que si se obtiene un nivel aceptable, entonces se procederá a la simulación al año 2030, caso contrario si la validación no alcanza una exactitud global aceptable, se considera no utilizar el modelo.

#### **4.5.1 Fase 3. Proyección de escenarios**

De acuerdo a los resultados que uno desee alcanzar, se pueden definir diferentes escenarios de futuro, estos resultados van a depender de las variables estáticas o dinámicas que uno considere necesarias para la simulación y que estén en concordancia a las trayectorias de cambio. Cabe mencionar que la simulación va a depender de la estrategia de planificación que se desee implementar (Gallardo, 2014). La escala de trabajo junto a las variables dinámicas y estáticas juegan un papel fundamental en el desarrollo del modelo y por consiguiente en los resultados de las simulaciones.

Analizar los cambios de cobertura y sus simulaciones en base a la pérdida de los bosques húmedos es importante, en especial si los recursos forestales son limitados y a su vez estos recursos vienen siendo degradados por factores biofísicos y antropogénicos (Getu, 2014).

Se debe comenzar explicando que las simulaciones de la pérdida de los bosques húmedos, a partir de un análisis de las tendencias históricas de pérdidas de bosque, pueden proveer posibles datos de actividad en un corto y mediano plazo. Las tendencias en cantidad de bosque, así como los patrones de localización de la deforestación, son claves para entender la dinámica histórica de la transformación de los bosques, y permitirán generar los principales supuestos que sustentan la simulación de la deforestación (IDEAM, 2014).

Cabe resaltar que los resultados de las simulaciones dependen directamente de los datos históricos. A partir de las tasas que originan estos datos históricos, las simulaciones pueden variar (Tope-ajayi, Adedeji, Adeofun, & Awokola, 2013). Para este estudio se utilizaron tres tendencias históricas, las cuales son:

1. **Tendencial A 2000 – 2015.-** Basado en el promedio de las tasas de pérdida en los bosques húmedos amazónicos en el periodo de los 15 años observados (2000 – 2015).
2. **Tendencial B 2005 – 2015.-** Basado en el promedio de la tasas de pérdida de los bosques húmedos amazónicos observado en los 10 años (2005 – 2015).
3. **Tendencial C 2010 – 2015.-** Basado en el promedio de la tasas de pérdida de los bosques húmedos amazónicos observado en los 5 años (2010 – 2015).

Como se observa en la figura 14, el comportamiento de cada tendencia depende directamente del periodo observado. La tendencia A al tener los quince años reportados presenta una tendencia menor, esto se debe a que siete de los quince años presentan una pérdida por debajo de los 110.000 ha/año. En la tendencia B en los diez años reportados se observa que cuatro de ellos están por debajo de los 125.000 ha/año, por lo que presenta una tendencia ascendente moderada debido a los años bajos reportados en sus inicios. En la tendencia C el cual tiene cinco años reportado, tres de ellos están por encima de los 150.000 ha/año y presenta una tendencia ascendente por encima de la tendencia A y B, cabe mencionar que periodo es el más reciente y por lo tanto se ajusta más a situación actual.

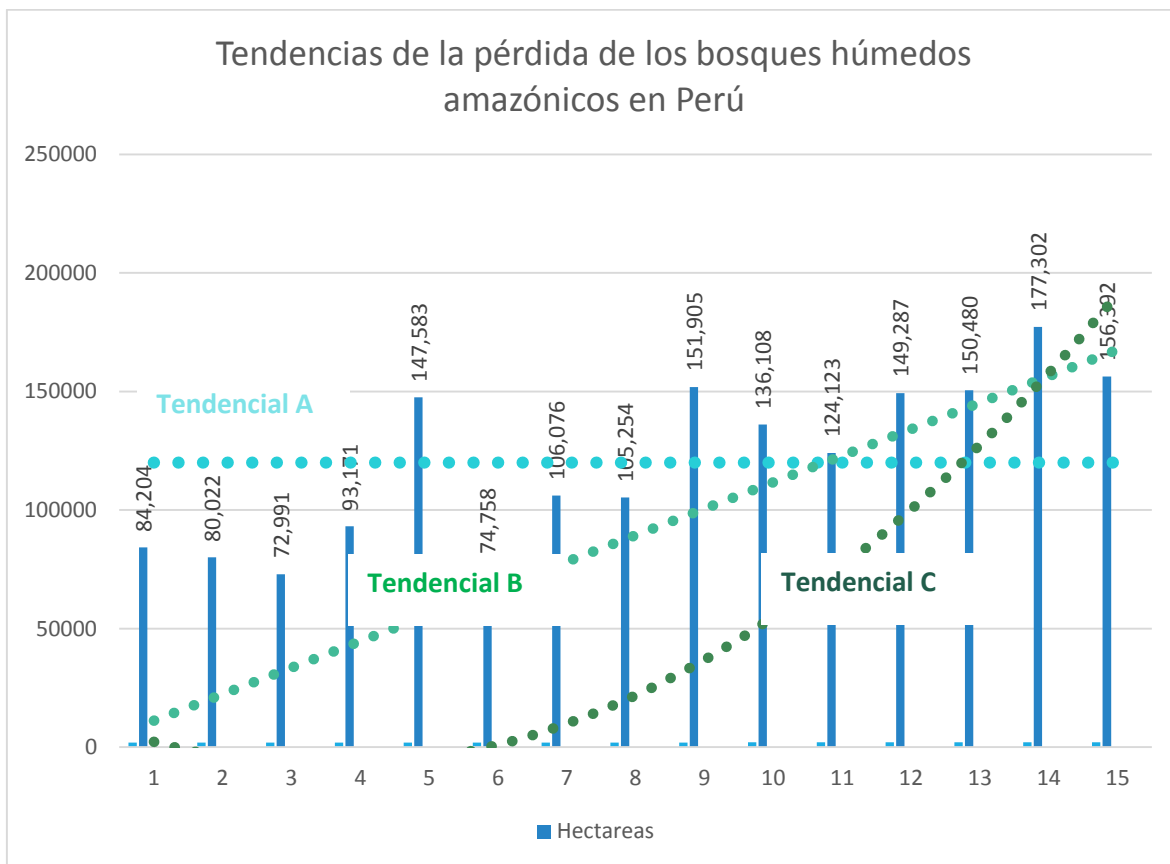


Figura 14. Análisis tendencial de la pérdida de los bosques húmedos amazónicos.

Por las razones expuestas la simulación de la pérdida de los bosques húmedos amazónicos en Perú se realizó para el periodo 2015 - 2030 (15 años). Se puede mencionar que estos periodos pueden ser modificables y/o mejorables, esto quiere decir que al incorporar factores como: tamaño mínimo de la muestra, impulsores de la pérdida de bosques y/o datos actualizados, los resultados pueden cambiar.

Los resultados de la simulación de los bosques húmedos amazónicos en Perú para el año 2030, al ser espacial, son útiles no solo para determinar tendencia de pérdida de bosques sino para la priorización de posibles áreas más vulnerables a la pérdida de bosques húmedos amazónicos en Perú.

Para una buena simulación, es importante disponer de datos recientes, ya que los usos del suelo actuales juegan un papel clave en la localización de los usos del suelo en el futuro próximo; esto se debe a que la probabilidad de que un cambio de uso del suelo ocurra en una localización determinada depende de la existencia previa de ese uso del suelo (Gallardo, 2014).

Basado en las tendencias A, B y C que ya han sido descritas y tomando de base la información de pérdida de los bosques húmedos amazónicos en Perú periodo 2000 – 2015 con los que se obtuvieron, los mapas de “bosque/ no bosque” de los años 2000, 2005, 2010 y 2015, se han simulado diferentes tendencias de acuerdo al año base utilizado. Cabe mencionar que para que estas simulaciones sean consistentes y comparables para el año 2030, se utilizaron las mismas variables dinámicas y estáticas descritas en la figura 7 y 8.

El objetivo de usar estas tres tendencias es poder mostrar estadísticamente y espacial explícito los posibles cambios en los bosques húmedos amazónicos en Perú en un futuro cercano a causa de pérdida de los bosques húmedos en Perú, hay que resaltar que la simulación no trata de predecir el futuro, se trata de mostrar datos espacial explícito más hipotética, con el fin de solo aproximarse a una posible realidad.

## 5 RESULTADOS

---

### 5.1 Validación del modelo

Un paso previo e importante antes de realizar las simulaciones es conocer la fiabilidad del modelo, esto se realizó a través de una validación en donde se interpretaron los puntos distribuidos en los bosques húmedos Amazónicos en Perú, como se muestra en la figura 15. Concluida esta interpretación de puntos en base al mapa simulado y al mapa de referencia, se juntaron las tablas de atributos para determinar la matriz de error.

#### 5.1.1 Diseño de la muestra

El diseño de la muestra se basa en una comparación entre el mapa simulado para el año 2015 y un mapa referencial “bosque/no bosque 2015”, para ello se utiliza un muestreo aleatorio estratificado el cual proporciona una precisión total del mapa y de cada cobertura simulada. Por lo se ha considerado los ejercicios desarrollados por (Olofsson, 2014)

Tabla 6. Diseño de la muestra

Estrato	Área km <sup>2</sup>	Wi	Ui	Si	WiSi
Hidrografía	18.190,92	0,023	0,5	0,5	0,0116
No Bosque	74.665,03	0,095	0,5	0,5	0,0477
Bosque	690.267,79	0,881	0,5	0,5	0,4407
<b>Total</b>	<b>783.123,74</b>				0,5

Fuente: Elaboración propia.

En donde:

- **Wi.-** Es la representación de la cobertura con respecto a la Amazonia total. (Cobertura/ área total).
- **Ui.-** Precisión que considera el usuario a las capas temáticas (0,5)
- **Si.-** Es la desviación estándar de la precisión del usuario puesta para cada estrato (Ui)
- **WiSi.-** Es el resultado de la representación de la cobertura por la desviación estándar (WiSi \* Si)

Finalmente, es necesario fijar la confiabilidad del muestreo al 95% ( $\alpha = 0,95$ ) y a la precisión total de omisión ( $S(O)$ ) permitiendo un error de estimación del 0,01%.

Tabla 7. Numero de muestra para la Validación

S(o)	0,01
n	2.500

Fuente: Elaboración propia.

- En donde número de puntos para la validación es  $n = (w_i S_i / S(O))$  elevado al cuadrado.

### 5.1.2 Distribución de la muestra

Determinado el tamaño de la muestra a validar, el siguiente paso consistió en distribuir los puntos en los estratos, cabe mencionar que la forma ideal es hacerlo de manera proporcional, pero en este caso se ha considerado que el estrato hidrografía al permanecer constante en el tiempo se incluya menos proporción de muestras. De esta manera se distribuye mayor cantidad de muestras en los estratos más representativos.

Tabla 8. Distribución de puntos para la validación.

Estrato	Área km <sup>2</sup>	W <sub>i</sub>	U <sub>i</sub>	S <sub>i</sub>	Distribución
Hidrografía	18.190,92	0,023	0,5	0,5	500
No Bosque	74.665,03	0,095	0,5	0,5	1.000
Bosque	690.267,79	0,881	0,5	0,5	1.000
					<b>2.500</b>

Fuente: Elaboración propia.

La distribución de la muestra se realizó en el software ArcMap.- en particular con la herramienta Random point. Esto permite obtener la distribución aleatoria.

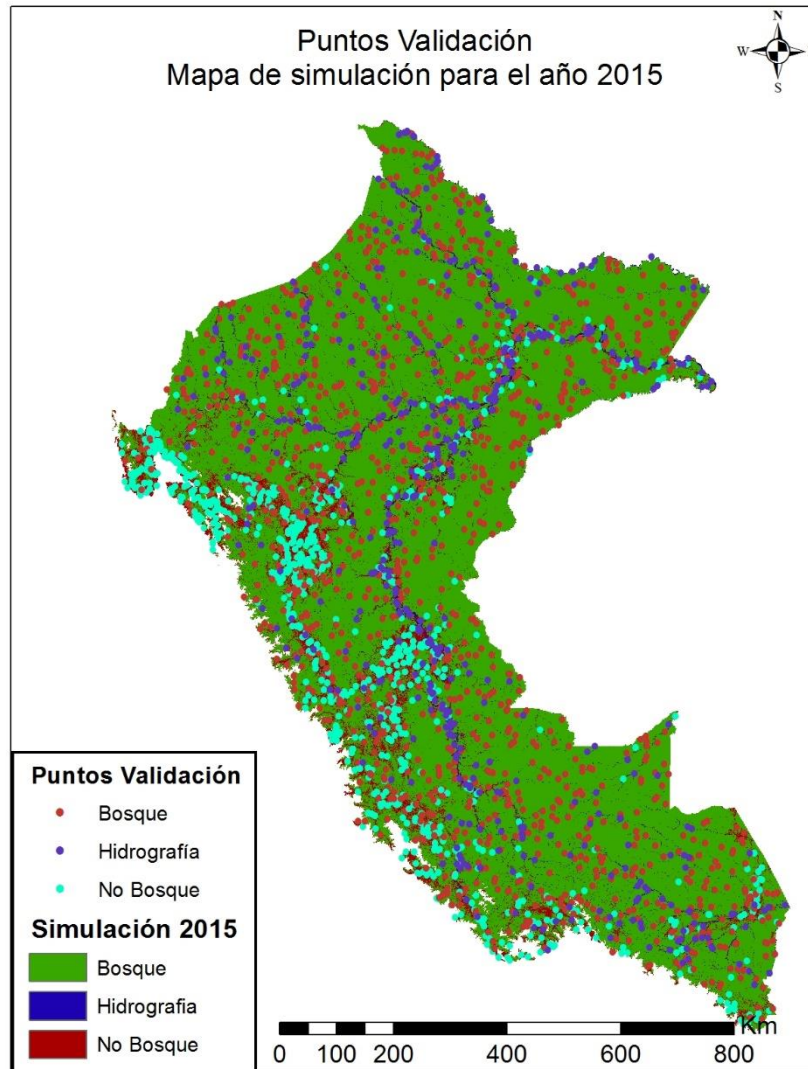


Figura 15. Mapa de puntos distribuidos y validados en base al mapa simulado para el año 2015.

### 5.1.3 Matriz de Error

Cabe la posibilidad de que el mapa simulado contenga errores. Es responsabilidad del investigador poder determinar el grado de fiabilidad de los resultados. Para determinar la incertidumbre nos ayudaremos de una evaluación entre un mapa de referencia y un mapa simulado al año 2015, para ello se genera una matriz de error. Esta matriz de error se construye en base a la tabla de atributos haciendo una tabla dinámica.



Tabla 9. Matriz de puntos de validación.

		Mapa "bosque/nobosque2015" MINAM 2015						
		Estrato	Bosque	Hidrografía	No Bosque	TOTAL	Área (km <sup>2</sup> )	Wi Representación de la cobertura respecto al área total
Datos simulación al 2015	Bosque		995	0	5	1.000	690.267,79	0,881
	Hidrografía		0	500	0	500	18.190,92	0,023
	No Bosque		194	0	806	1.000	74.665,03	0,095
	TOTAL		1.189	500	811	2.500	783.123,74	1,00

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla 9 de los 1.000 puntos distribuidos en la cobertura de bosque 995 fueron simulados correctamente para el año 2015. De los 500 distribuidos en la cobertura de hidrografía, los 500 coincidieron correctamente en los 2 mapas. Y de los 1.000 puntos distribuidos en la cobertura de no bosque 806 fueron simulados como no bosque para el año 2015.

También se calculó la exactitud tanto del usuario como del productor. Con estos datos se procedió a obtener la incertidumbre global del mapa simulado (tabla 9).

Tabla 10. Exactitud del mapa simulado para el año al 2015

		Mapa "bosque/nobosque2015" MINAM 2015											
		Estrato	Bosque	Hidrografía	No Bosque	TOTAL	User's	Var_User's	EE_User's	IC_User's	Producer's	$Wi^2 * Ui * (Ui - 1) / (ni - 1)$	Overall
Datos simulación al 2015	Bosque		0,877	0,000	0,004	0,88	1,00	0,00000	0,002	0,004374	0,979408	0,000004	0,976
	Hidrografía		0,000	0,023	0,000	0,02	1,00	0,00000	0,000	0	1	0	
	No Bosque		0,018	0,000	0,077	0,10	0,81	0,00016	0,013	0,024521	0,945600	0,000001	
	TOTAL		0,90	0,02	0,08	1,00							

Fuente: Elaboración propia.

Basándonos en la tabla 10, la exactitud del mapa simulado para el año 2015, nos brinda una fiabilidad total de 97%. También se aprecia que la fiabilidad del usuario para la cobertura de no bosque simulado para el año 2015 tiene una confianza de 81%.

## **5.2 Simulación de la pérdida de los bosques húmedos amazónicos en Perú**

Tal y como se describió en el capítulo de metodología, para la simulación de la pérdida de los bosques húmedos amazónicos se ha utilizado el módulo *Land Change Modeler* (LCM) de Idrisi. Es cual permite analizar el cambio y la predicción al año 2030. Cabe mencionar que para esta simulación se han utilizado diferentes variables estáticas y dinámicas descritas en la figura 7 y 9 respectivamente. Estas se aplicaron para los tres escenarios tendenciales A, B y C el cual permite que las simulaciones sean coherentes, consistentes y comparables. Cabe mencionar que este módulo de LCM como resultado ofrece dos mapas, en primer lugar un mapa con índices de vulnerabilidad con un rango de 0 a 1 y en segundo lugar un escenario específico espacialmente. La descripción de las simulaciones de estas tres variables son las siguientes:

### **5.2.1 Simulación para el año 2030, tendencial A.**

Para la primera simulación “tendencial A” para el año 2030 (ver figura 17), se utilizó los mapas de “bosque/ no bosque” 2000 y 2015, basado en el análisis de pérdida de los bosques húmedos en Perú ocurrido en este periodo de 15 años (2000 – 2015), y sumado a esto, las variables estáticas y dinámicas descritas en la figura 8 y 9 respectivamente. Se procedió a calcular las dos clases de predicción. En primer lugar un escenario con índices de vulnerabilidad de cambio fijado en una escala de 0 a 1 y en segundo lugar un mapa espacial explícito al año 2030, adicional a ello se obtuvieron mapas anuales, el cual permitió obtener estadísticas del comportamiento futuro de las coberturas.

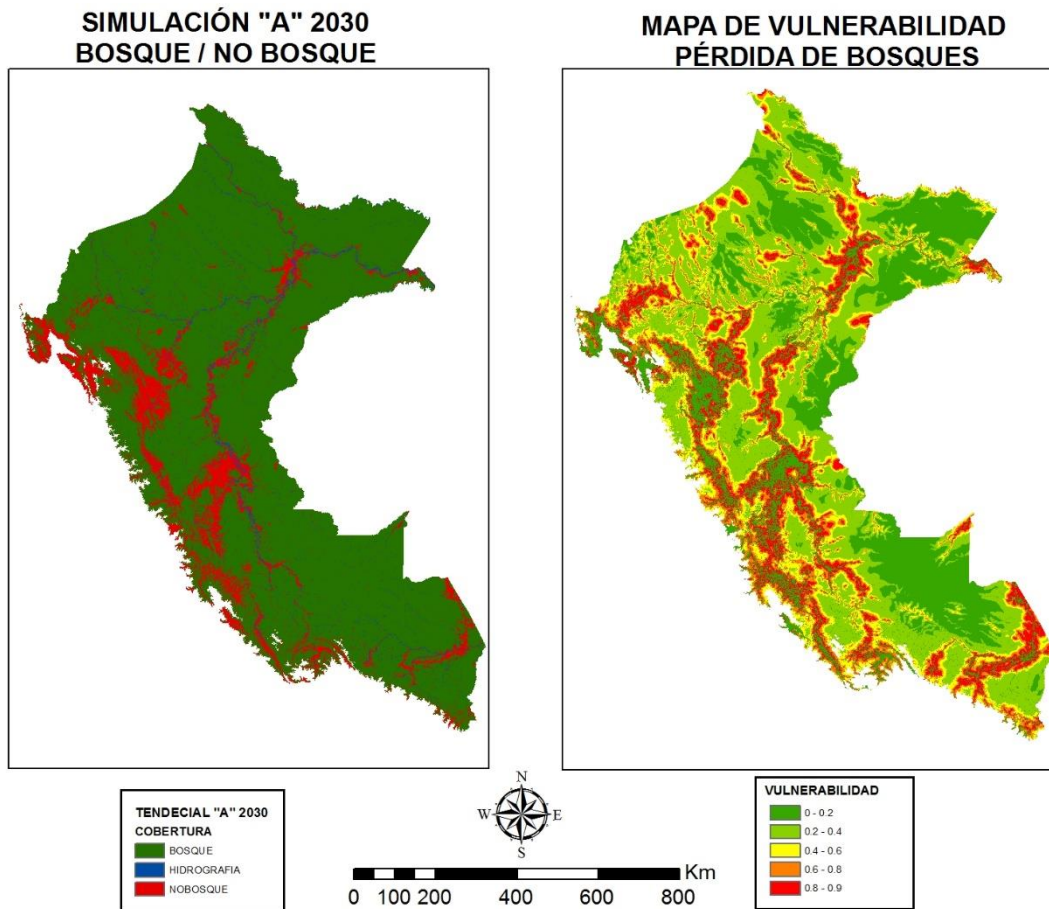


Figura 16. Mapa de simulación para el año 2030 y mapa de vulnerabilidad en base a tendencia A.

Según el mapa de vulnerabilidad generada en base a la tendencia A, afecta de manera considerable la zona centro de los bosques húmedos amazónicos en Perú, también la zona sur, la cual viene siendo degradada por la minería ilegal, con mucho menor énfasis las zonas de las periferias de los bosques húmedos.

En la siguiente tabla se muestra el incremento de “no bosque” al 2030 en el periodo simulado para la tendencia A:

Tabla 11. Resumen de la simulación para el año 2030 en base a la “tendencia A” con respecto al periodo 2001 – 2015.

<b>Periodo</b>	<b>Pérdida acumulada km<sup>2</sup></b>	<b>Porcentaje con respecto a los bosques húmedos</b>
<b>2000 - 2015</b>	18.096,1	2,31
<b>2016 - 2030</b>	16.334,6	2,08

Fuente: Elaboración propia.

Para la simulación de pérdida al 2030 se configuro el *Land Change Modeler* para que los resultados sean proporcionados de manera anual desde el año 2016 al 2030, con esto se pudo obtener una tasa constante de 1.088,9 km<sup>2</sup> para cada año simulado, quedando un total acumulado para el 2030 de 16.334,6 km<sup>2</sup> de pérdida de bosque húmedos amazónicos en Perú que representa el 90,26% con respecto a lo ocurrido en el periodo 2001 - 2015.

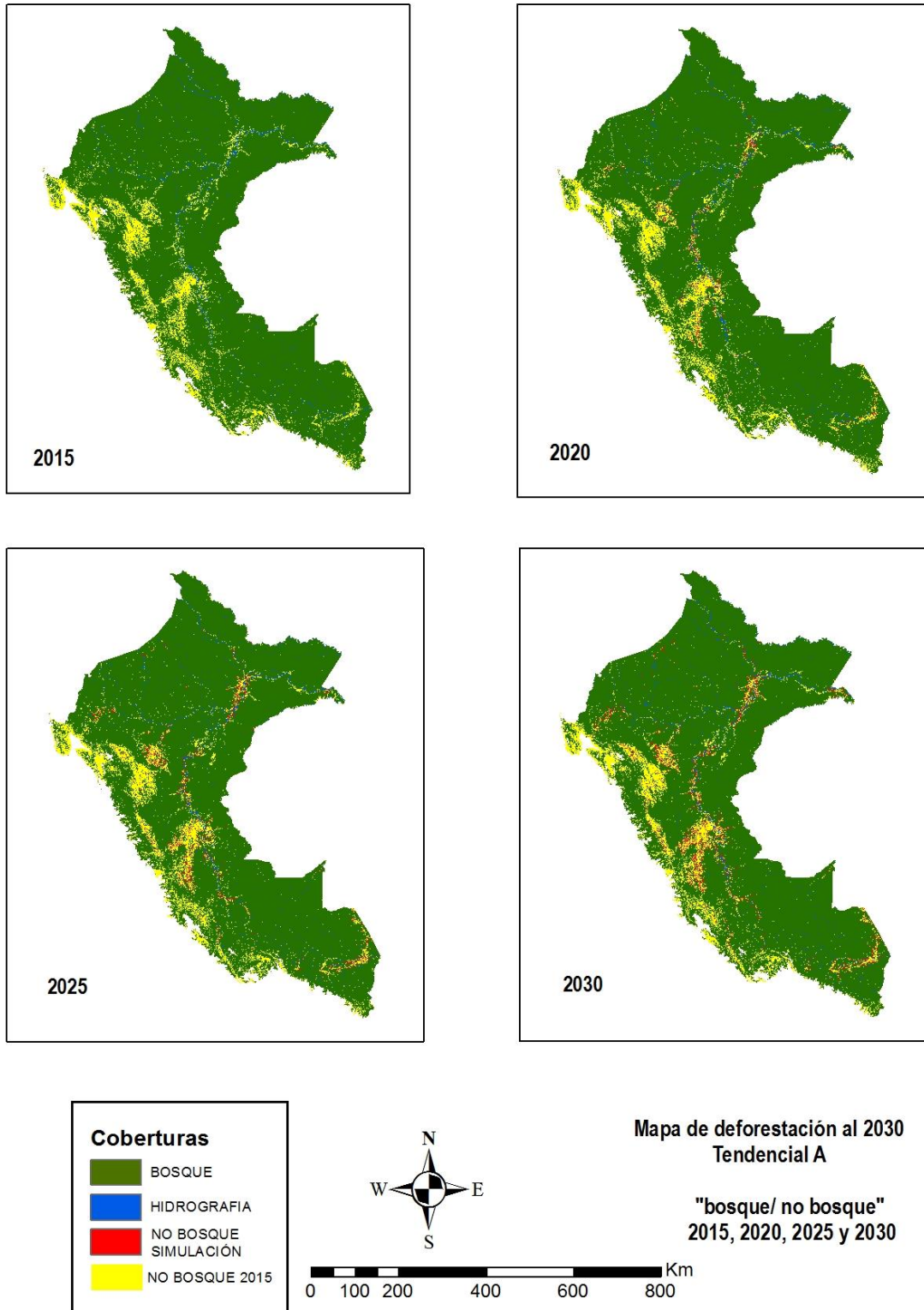


Figura 17. Mapa de pérdidas de los bosques húmedos para los años 2015, 2020, 2025 y 2030, tendencia A

### 5.2.2 Simulación para el año 2030, tendencial B.

Para la segunda simulación “tendencial B” para el año 2030 se utilizaron los mapas de “bosque/no bosque” 2005 y 2015, este periodo se basa en 10 años la pérdida de los bosques húmedos amazónicos en Perú. La pérdida de bosque se incrementó después del 2005 tal y como se muestra en la figura 2, de igual forma que para el análisis “tendencial A” se utilizaron como variables impulsadoras o barrera de deforestación las variables estáticas y dinámicas descritas en las figuras 8 y 9 respectivamente. Después se procedió a calcular las dos clases de predicción, un primer escenario con índices de vulnerabilidad de cambio fijado en una escala de 0 a 1

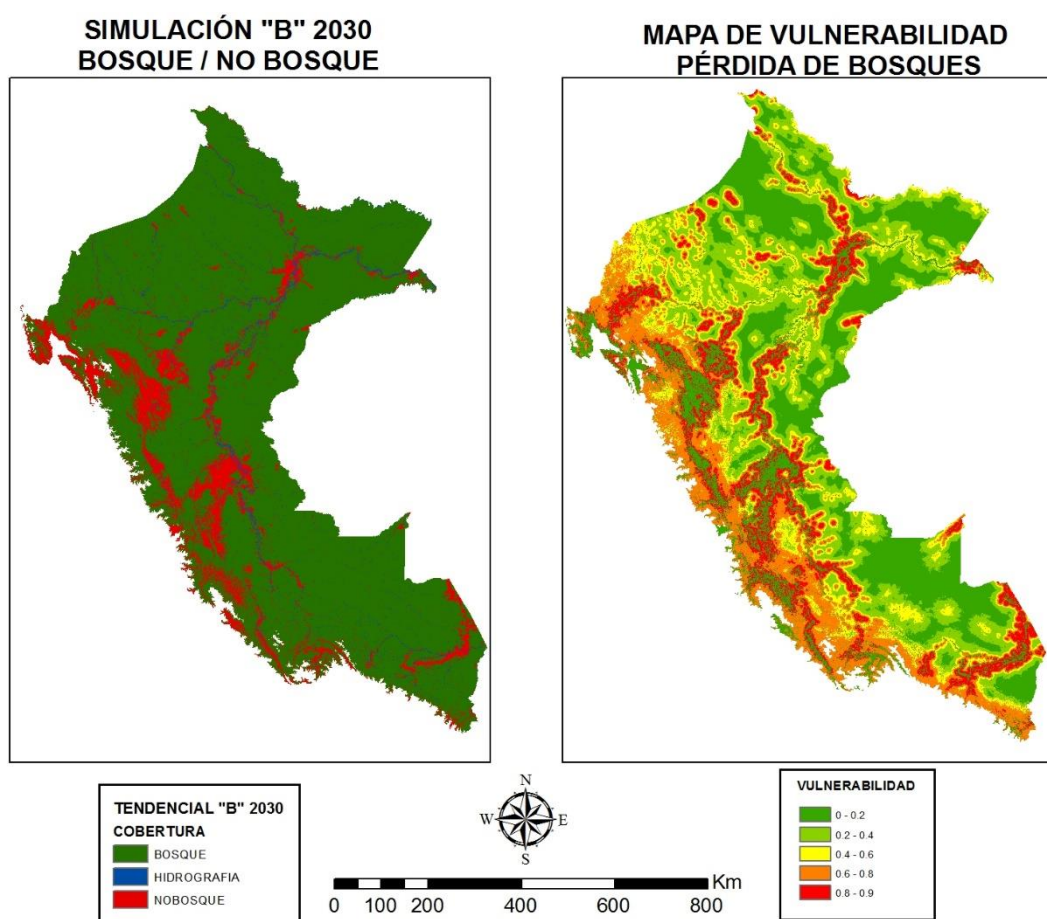


Figura 18. Mapa de simulación para el año 2030 y mapa de vulnerabilidad en base a la tendencia B

Cabe mencionar que según el mapa de vulnerabilidad en base a la tendencia B, la simulación puede afectar de manera considerable toda la zona oeste de los bosques húmedos Amazónicos en Perú, de la misma manera que la primera simulación (tendencia A) afectara a la zona

centro y sur. Este escenario desde mi punto de vista es conservador. En la siguiente figura muestra el incremento de la cobertura de “no bosque” para el año 2030 en el periodo simulado para la tendencia B:

Tabla 12. Resumen de la simulación para el año 2030 en base a la “tendencial B” con respecto al periodo 2000 – 2015.

<b>Periodo</b>	<b>Pérdida acumulada km<sup>2</sup></b>	<b>Porcentaje con respecto a los bosques húmedos</b>
<b>2000 - 2015</b>	18.096,1	2,31
<b>2016 - 2030</b>	18.180,9	2,32

Fuente: Elaboración propia.

Para la simulación “Tendencial B” de los bosques húmedos amazónicos en Perú al año 2030 se configuró de igual forma que en la simulación tendencial A, para que los resultados sean proporcionados anualmente desde el 2016 al 2030. Con ello se calculó que existe una tasa constante de 1.212,1 km<sup>2</sup> para cada año simulado (2016 – 2030), quedando un total acumulado para el año 2030 de 18.180,9 km<sup>2</sup> de pérdida de bosque húmedos amazónicos en Perú, que representa el 100,47% con respecto a lo ocurrido en el periodo 2001 – 2015.



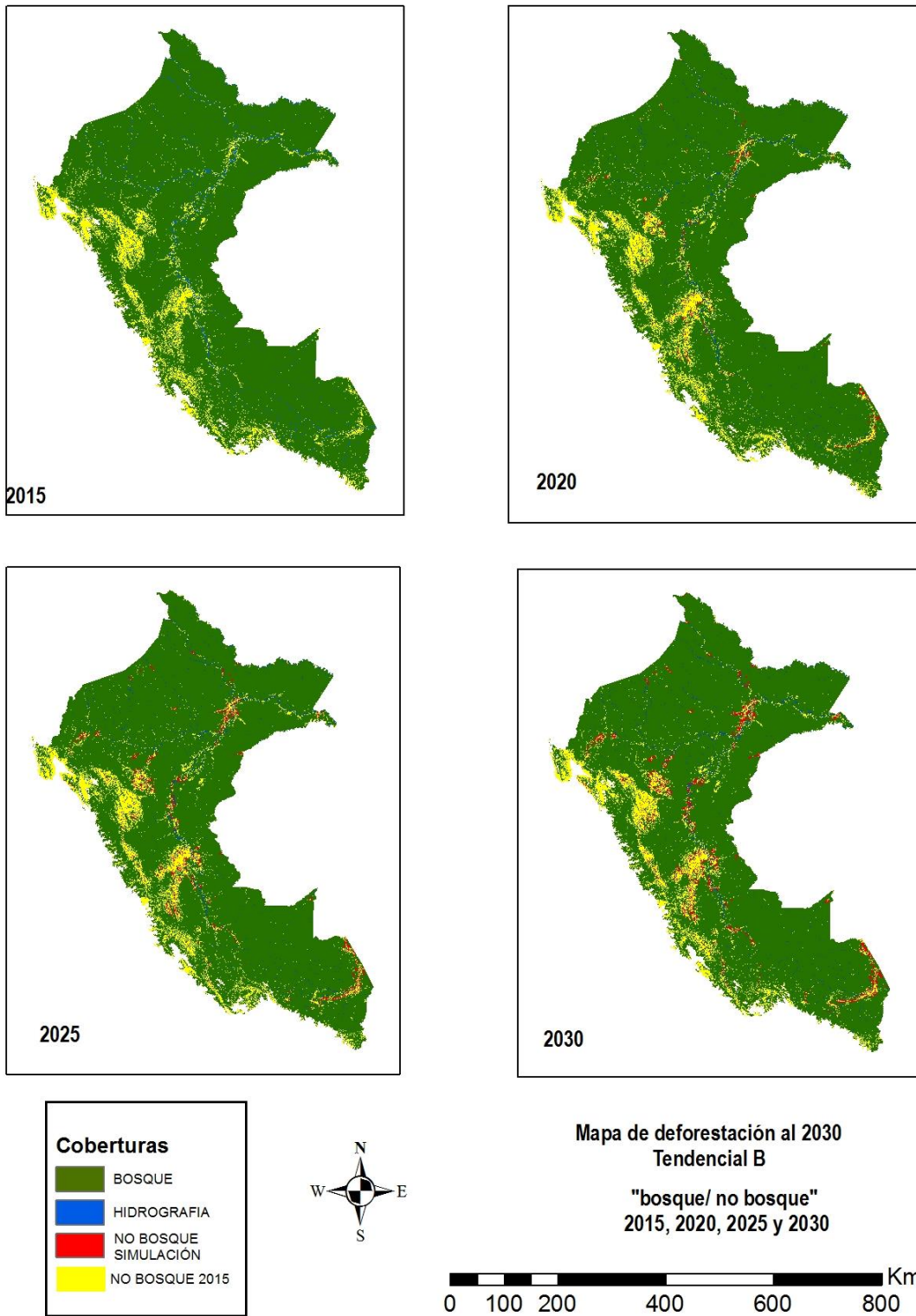


Figura 19. Mapa de pérdidas de los bosques húmedos para los años 2015, 2020, 2025 y 2030, tendencia B



### 5.2.3 Simulación al 2030, tendencial C.

Para la tercera y última simulación “tendencial C” al año 2030 se utilizó los mapas de “bosque/no bosque” 2010 y 2015, en este periodo de 5 años la pérdida de los bosques húmedos amazónicos tiene una tendencia por encima del periodo 2001 - 2010 como se muestra en la figura 2. De la misma forma que para el análisis “tendencia A y B” se han utilizado las variables estáticas y dinámicas descritas en la figura 8 y 9 respectivamente. Después de incorporar las variables, se procedió a calcular las dos clases de predicción, en primer lugar un escenario con índices de vulnerabilidad de cambio fijado en una escala de 0 a 1, y segundo lugar un mapa espacial explícito al año 2030 (ver figura 20).

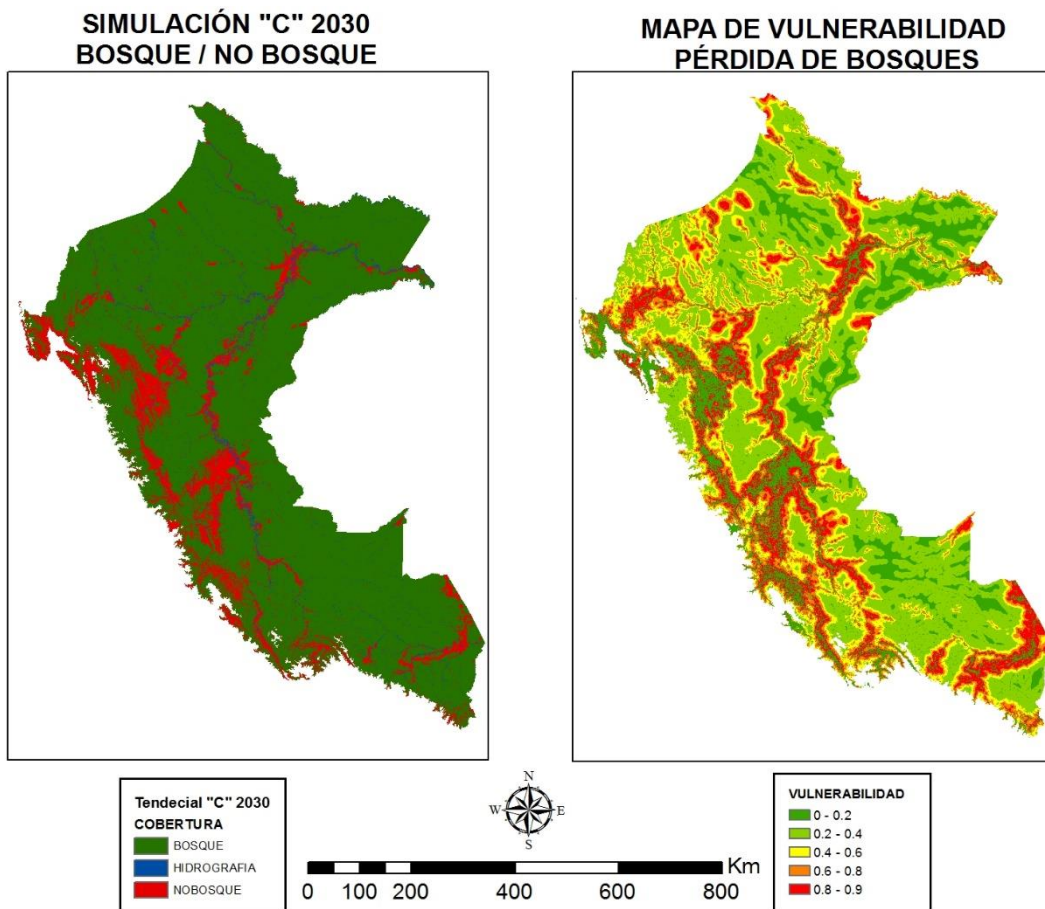


Figura 20. Mapa de simulación para el año 2030 y mapa de vulnerabilidad en base a la tendencia C

Cabe mencionar que según el mapa de vulnerabilidad esta simulación afecta a toda la zona nordeste de los bosques húmedos amazónicos en Perú, de la misma manera que en las primeras simulaciones, la zona centro y sur posee una vulnerabilidad elevada. Este escenario aún lo considero como conservador puesto que está por debajo de la tasa promedio para este periodo (2010 - 2015).

Tabla 13. Resumen de la simulación para el año 2030 en base a la tendencia C con respecto al periodo 2000 – 2015.

<b>Periodo</b>	<b>Pérdida acumulada km<sup>2</sup></b>	<b>Porcentaje con respecto a los bosques húmedos</b>
<b>2000 - 2015</b>	18.096,1	2,31
<b>2016 - 2030</b>	20.819,6	2,65

Fuente: Elaboración propia.

Para esta última simulación “Tendencial C” de pérdida de bosques húmedos amazónicos para el año 2030, se configuró de igual forma que para la simulación tendencial A y B, con ello se pudo obtener una tasa constante de 1.387,9 km<sup>2</sup> para cada año simulado, quedando un total acumulado para el año 2030 de 20.819,6 km<sup>2</sup> que representa 115,05% con respecto a lo ocurrido 2001 – 2015.

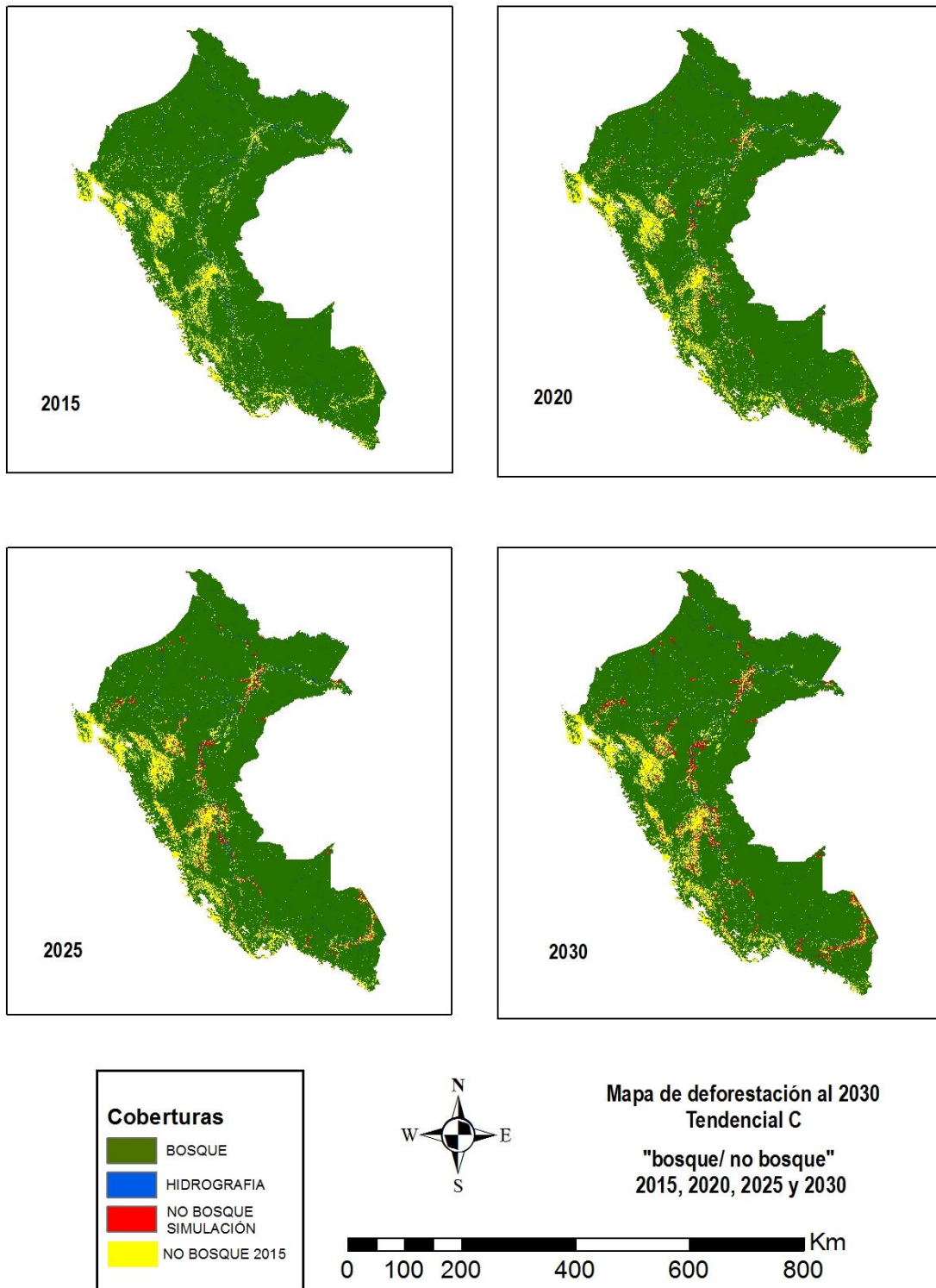


Figura 21. Mapa de pérdidas de los bosques húmedos para los años 2015, 2020, 2025 y 2030, tendencia C

#### **5.2.4 Comparación de los tres escenarios propuestos**

Se ha simulado la pérdida de los bosques húmedos amazónicos en Perú para el año 2030 bajo los tres escenarios tendenciales propuestos en este estudio, se observa que para el escenario los valores la tasa de pérdida son diferentes, estos valores para cada tendencia son:

- Tendencia A.- con 1.088,9 km<sup>2</sup>
- Tendencia B.- con 1.212,1 km<sup>2</sup>
- Tendencia C.- con 1.387,9 km<sup>2</sup>

Cabe mencionar que estas tasas de pérdida anuales son acumulativas a la cobertura de No bosque, y estas simulaciones han servido como una posibilidad de lo que podría suceder en el futuro a corto plazo de 15 años. Hay que recalcar que estas simulaciones no buscan predecir el futuro, sino que brindan herramientas de posibles escenarios que puedan enmarcarse de acuerdo a lo sucedido con anterioridad. Estos tres valores se muestran en el siguiente mapa:

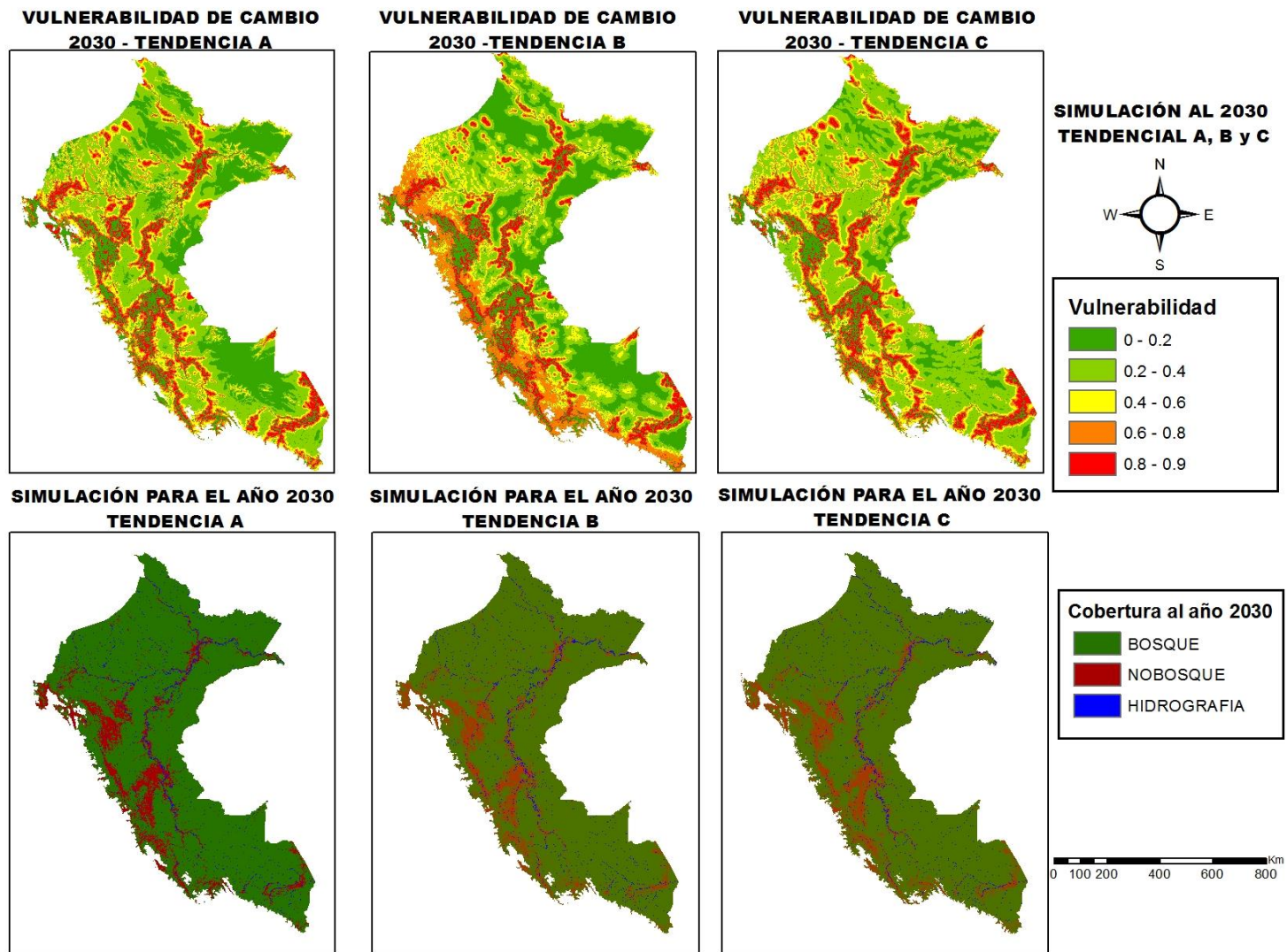


Figura 22. Mapas de simulación y de vulnerabilidad al año 2030, en base a las tendencias A, B y C

Obteniendo los mapas simulados al año 2030 de las tres tendencias de manera anual, se procedió hacer los gráficos comparativos el cual se muestra de la siguiente manera:

Tabla 14. Análisis tendencial de le pérdida de los bosques húmedos amazónicos para las tres tendencias

<b>Periodo</b>	<b>Pérdida acumulada km<sup>2</sup></b>	<b>Porcentaje con respecto a los bosques húmedos</b>
<b>2000 - 2015</b>	18.096,1	2,31
<b>2016 – 2030 Tendencial A</b>	16.334,6	2,08
<b>2016 – 2030 Tendencial B</b>	18.180,9	2,32
<b>2016 – 2030 Tendencial C</b>	20.819,6	2,65

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al análisis comparativo de las simulaciones tendenciales A, B y C se observa que el escenario “tendencial A”, que a su vez utiliza como datos de cambio lo ocurrido en el periodo 2000 al 2015, presenta la tasa más baja con 1.088,9 km<sup>2</sup>. Parte de los resultados refleja que el programa, al utilizar valores estadísticos de 15 años, puede asumir que en un futuro cercano las tasas de cambio puedan ser bajas como los primeros años reportados. Para el segundo escenario “tendencial B” con una tasa constante de 1.212,1 km<sup>2</sup> de pérdida de bosques húmedos, superior en 175,9 km<sup>2</sup> al primer escenario, a su vez equivale a 11,3% por encima del primer escenario. El último escenario “Tendencial C” presenta una tasa constante de 1.387,9 km<sup>2</sup> de pérdida de bosques húmedos amazónicos, superior en 175,9 km<sup>2</sup> al primer escenario y en 299 km<sup>2</sup> al segundo escenario. Este escenario tienen un incremento del 27% con respecto al escenario tendencial A, esto se debe a que los años utilizados de base presenta tasas mucho mayores que los otros dos escenarios.

### **5.3 Coberturas vegetales más vulnerables a la simulación de la pérdida de los Bosques Húmedos en Perú al 2030.**

Después de haber simulado y comparado las tres tendencias A, B y C, se ha realizado un análisis de impacto del posible cambio al año 2030 sobre las coberturas de vegetación dentro de los bosques húmedos amazónicos.

Este análisis se realizó para evaluar el impacto posible que sufrirá las coberturas vegetales a consecuencia de la pérdida de los bosques húmedos amazónicos en Perú al año 2030. En esta primera comparación se observó que el área de pérdida de bosque dentro de la cobertura de bosques húmedos de terrazas bajas y media aumento en un 0,91% y esto representa 6.960,7 km<sup>2</sup>, seguido a esto la cobertura de los bosques húmedos de terrazas altas y los bosques húmedos de colina baja y lomada ha incrementado en un 0,27% que equivale un aumento de 2.050,3 km<sup>2</sup> y 0,40% que equivale a 3.078,6 km<sup>2</sup> respectivamente. Mientras que la cobertura de bosque húmedo de montaña aumento solo un 0,36% que equivale a 2.770,8 km<sup>2</sup>. Para un mayor análisis del estado de las coberturas vegetales con respecto a la pérdida reportada en el periodo 2000 – 2015 y la simulada para el año 2030 en base a la tendencia A, se muestra en la tabla 15.



Tabla 15. Cobertura vegetal con respecto al “bosque/ no bosque 2015” y simulación tendencial A para el año 2030

Bosques húmedos amazónicos	Bosque 2015				Tendencial A			
	Bosque km <sup>2</sup>	%	Pérdida de Bosque 2000 - 2015 km <sup>2</sup>	%	Bosque km <sup>2</sup>	%	Pérdida de Bosque 2015 - 2030 km <sup>2</sup>	%
<b>Bosque Húmedo de terraza baja y media</b>	105.952,8	13,87	16.610,6	2,17	98.992,1	12,96	23.571,3	3,09
<b>Bosque Húmedo de Montaña</b>	159.384,1	20,87	37.288,5	4,88	156.613,4	20,50	40.059,3	5,24
<b>Bosque Húmedo de terraza alta</b>	49.138,9	6,43	5.802,9	0,76	47.088,1	6,17	7.853,2	1,03
<b>Bosque Húmedo de colina baja y lomada</b>	281.124,2	36,81	8.739,6	1,14	278.045,8	36,40	11.818,2	1,55
<b>Bosque Húmedo de Colina Alta</b>	31.196,0	4,08	3.404,9	0,45	30.394,8	3,98	4.206,1	0,55
<b>Aguajal</b>	910,5	8,01	479,4	0,21	60.717,1	7,95	2.055,2	0,27
<b>Herbazal Hidrofítica</b>	761,5	0,12	155,1	0,06	840,4	0,11	549,6	0,07
<b>Bosque Húmedo de superficie plana Inclínada</b>	105.952,8	0,10	16.610,6	0,02	717,1	0,09	199,6	0,03
<b>Sabana Hidrofítica</b>	159.384,1	0,00	37.288,5	0,00	31,5	0,00	31,5	0,00
<b>Total de bosques</b>	<b>763.784,5</b>							

Fuente: Elaboración propia



Para el segundo análisis del posible estado las coberturas vegetales dentro de los bosques húmedos amazónicos al año 2030 debido a la pérdida de los bosques húmedos amazónicos en Perú, según la tendencia B, indica que la cobertura de bosque húmedo de colina baja y lomada tiene un incremento de 0,86% equivalente a 6.573,3 km<sup>2</sup>, seguido del bosque húmedo de terraza alta con un incremento de 0,40% equivale a 3.018,3 km<sup>2</sup>, luego están los Agujales al con un incremento del 0,11% que equivale a 806 km<sup>2</sup>, mientras que la cobertura de bosques húmedos de montaña aumento en 0,23%, esto equivale a 1.729,3 km<sup>2</sup>. Cabe mencionar que estos resultados difieren en área y porcentaje a lo mostrado en la primera simulación (tendencial A), esto puede a que las áreas y tasas de cambio son diferentes. Para un mayor análisis del estado de las coberturas vegetales con respecto a la pérdida reportada en el periodo 2000 – 2015 y la simulada para el año 2030 en base a la tendencia B, se muestra en la tabla 16.

Tabla 16. Cobertura vegetal con respecto al “bosque/ no bosque 2015” y simulación tendencial B para el año 2030.

Bosques húmedos amazónicos	Bosque 2015				Tendencial B			
	Bosque km <sup>2</sup>	%	Pérdida de bosque 2000 - 2015 km <sup>2</sup>	%	Bosque km <sup>2</sup>	%	Pérdida de bosque 2015 - 2030 km <sup>2</sup>	%
<b>Bosque Húmedo de terraza baja y media</b>	105.952,8	13,87	16.610,6	2,17	99.379,5	13,01	23.183,9	3,04
<b>Bosque Húmedo de Montaña</b>	159.384,1	20,87	37.288,5	4,88	157.654,8	20,64	39.017,8	5,11
<b>Bosque Húmedo de terraza alta</b>	49.138,9	6,43	5.802,9	0,76	46.120,6	6,04	8.820,5	1,15
<b>Bosque Húmedo de colina baja y lomada</b>	281.124,2	36,81	8.739,6	1,14	276.226,9	36,17	13.637	1,79
<b>Bosque Húmedo de Colina Alta</b>	31.196,0	4,08	3.404,9	0,45	30.239,1	3,96	4.361,8	0,57
<b>Aguajal</b>	910,5	8,01	479,4	0,21	60.389,1	7,91	2.383,2	0,31
<b>Herbazal Hidrofítica</b>	761,5	0,12	155,1	0,06	838,8	0,11	551,1	0,07
<b>Bosque Húmedo de superficie plana Inclínada</b>	105.952,8	0,10	16.610,6	0,02	684,0	0,09	232,6	0,03
<b>Sabana Hidrofítica</b>	159.384,1	0,00	37.288,5	0,00	31,5	0,00	31,5	0,00
<b>Total de bosques</b>	<b>763.784,5</b>							

Fuente: Elaboración propia.

Para este último análisis del estado de las coberturas vegetales entre los resultados de la simulación tendencial C y el mapa de “bosque/ no bosque” al año 2015, indica que la cobertura vegetal de bosque húmedo de terraza baja y media presenta un incremento de 1,21% equivalente a 9.231,68 km<sup>2</sup>, seguido de los bosques húmedos de colina baja y lomada con un aumento de 0,51% que equivales 3.919,7 km<sup>2</sup>, luego están los bosques húmedos de terraza alta y los bosques húmedos de montaña ambos con un aumento de 0,35% equivalente a 2.663,66 km<sup>2</sup> y 2.707,9 km<sup>2</sup> respectivamente. Cabe mencionar que la Tendencia C solo Utilizo un periodo de pérdida de bosques de 5 años (2010-2015) en donde las áreas con cambio se concentraron en diferentes lugares a los observados en las otras tendencias, también se recalca que la tasa de cambio (pérdida de los bosques húmedos) se encuentra por encima de las otras dos tendencias. Para mayor análisis se puede observar la tabla 17.

Tabla 17. Cobertura vegetal con respecto al “bosque/ no bosque 2015” y simulación tendencial C para el año 2030.

<b>Bosques húmedos amazónicos</b>	<b>Bosque 2015</b>				<b>Tendencial C</b>			
	Bosque km <sup>2</sup>	%	Pérdida de bosque 2000 - 2015 km <sup>2</sup>	%	Bosque km <sup>2</sup>	%	Pérdida de bosque 2015 - 2030 km <sup>2</sup>	%
<b>Bosque Húmedo de terraza baja y media</b>	105.952,8	13,87	16.610,6	2,17	967,2	12,66	25.842,3	3,38
<b>Bosque Húmedo de Montaña</b>	159.384,1	20,87	37.288,5	4,88	1.566,7	20,51	39.996,5	5,24
<b>Bosque Húmedo de terraza alta</b>	49.138,9	6,43	5.802,9	0,76	46.475,3	6,08	8.465,9	1,11
<b>Bosque Húmedo de colina baja y lomada</b>	281.124,2	36,81	8.739,6	1,14	2.772,05	36,29	12.659,4	1,66
<b>Bosque Húmedo de Colina Alta</b>	31.196,0	4,08	3.404,9	0,45	300,36	3,93	4.565,3	0,60
<b>Aguajal</b>	910,5	8,01	479,4	0,21	603,30	7,90	2.442,3	0,32
<b>Herbazal Hidrofítica</b>	761,5	0,12	155,1	0,06	789,25	0,10	600,7	0,08
<b>Bosque Húmedo de superficie plana Inclínada</b>	105.952,8	0,10	16.610,6	0,02	697,07	0,09	219,6	0,03
<b>Sabana Hidrofítica</b>	159.384,1	0,00	37.288,5	0,00	31,55	0,00	31,6	0,00
<b>Total de bosques</b>	<b>763,784,5</b>							

Fuente: Elaboración propia.

## PORCENTAJE DE CAMBIO ENTRE SIMULACIONES A, B Y C CON RESPECTO AL AÑO 2015

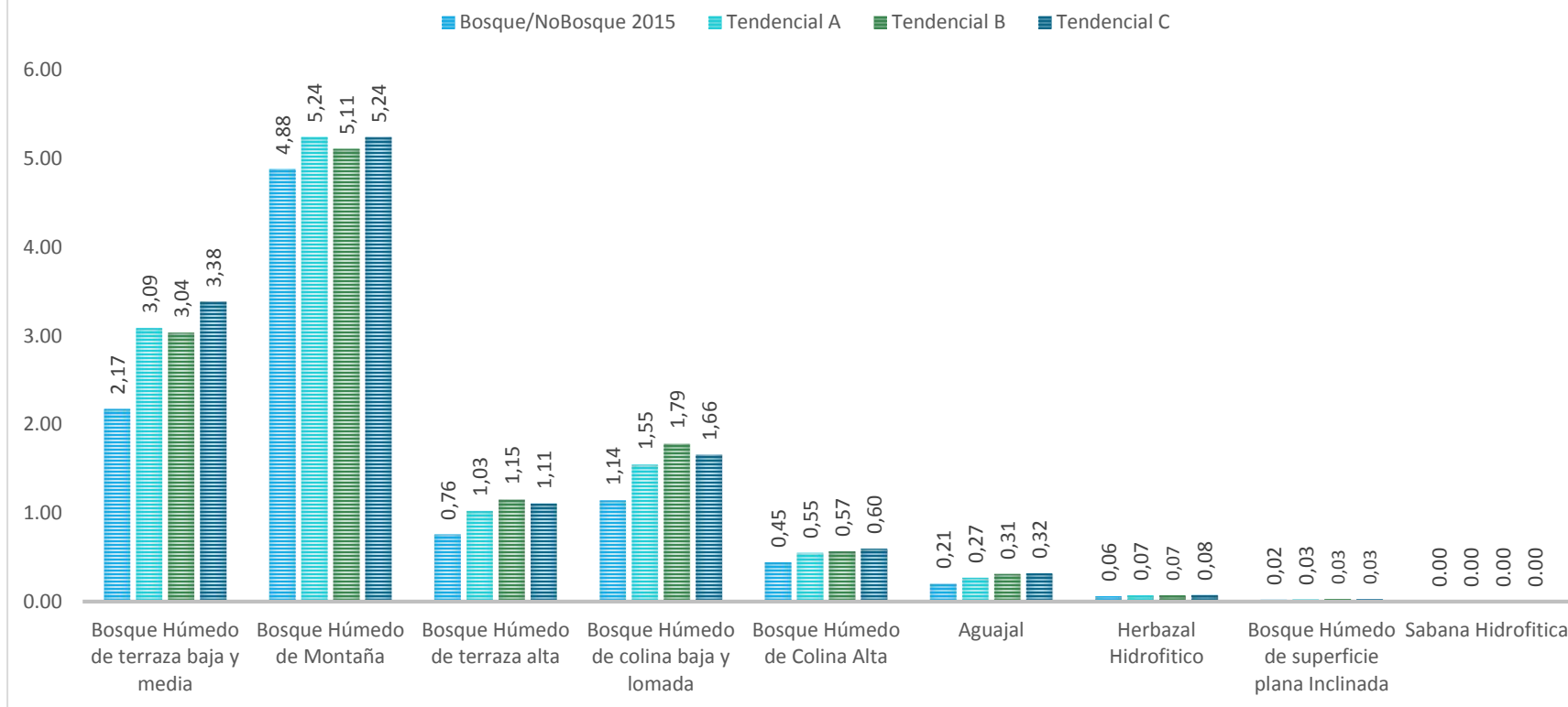
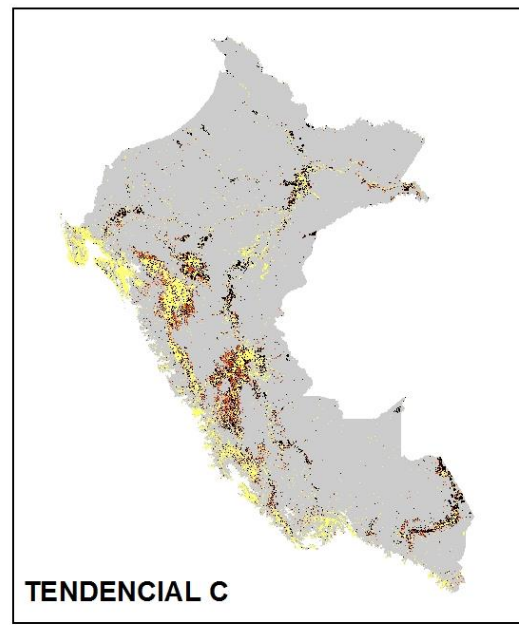
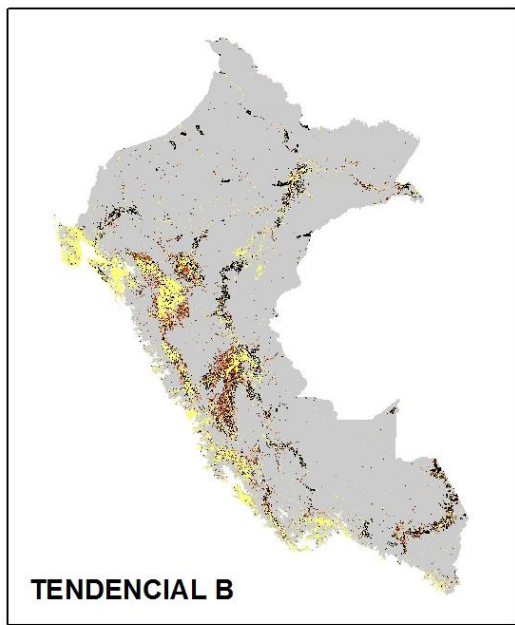
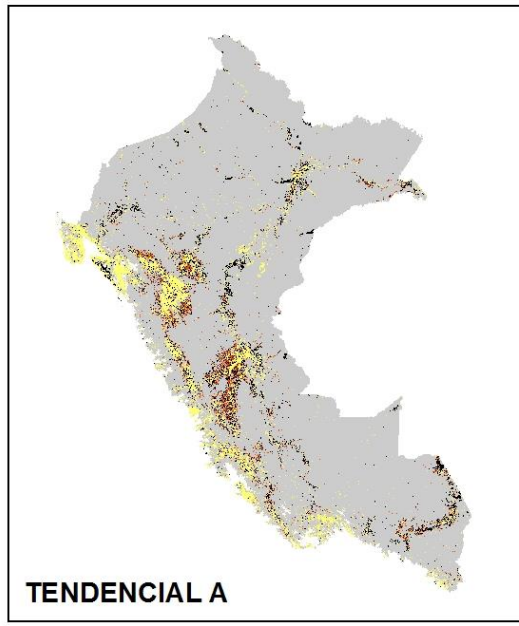
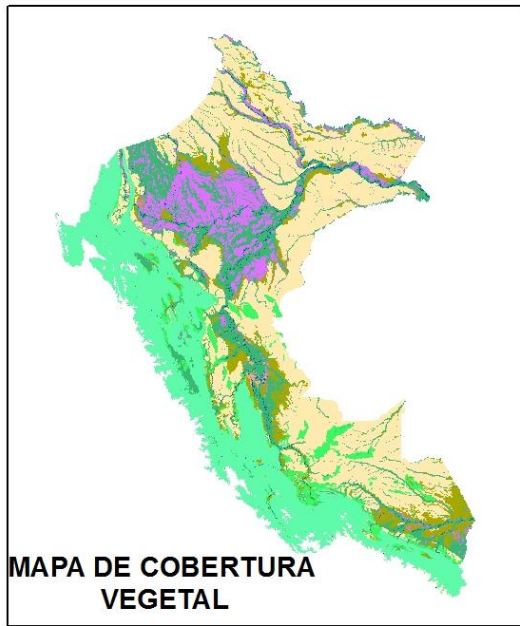


Figura 23. Comparación en porcentaje del estado de la cobertura vegetal al año 2015 con las tres simulaciones tendenciales desarrolladas en este estudio.



- Tipos de Cobertura**
- Aguajal
  - Bosque Húmedo de Colina Alta
  - Bosque Húmedo de Colina Baja y Lomada
  - Bosque Húmedo de Montaña
  - Bosque Húmedo de Superficie Plana inclinada
  - Bosque Húmedo de Terraza Alta
  - Bosque Húmedo de Terraza Baja y Media
  - Cocha
  - Herbazal Hidrofítico
  - Río
  - Sabana Hidrofítica
  - No Bosque al 2000
  - Pérdida 2001 - 2015
  - Simulación 2016 - 2030



**ESTADO DE LA COBERTURA VEGETAL  
AL AÑO 2030  
SIMULACIÓN A, B Y C**

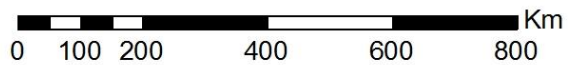


Figura 24. Mapa de cobertura vegetal con las tres simulaciones para el año 2030.

De acuerdo a la figura 23, se observa el estado de las coberturas vegetales para el año 2015 y el estado de las coberturas vegetales para las tres simulaciones A, B y C, con respecto a la pérdida de los bosques húmedos en Perú para el año 2030, se describe lo siguiente:

- Para los bosques húmedos de terraza baja y media existe un incremento en la simulación “tendencial A” del 0,91%, seguido de 0,86% de la simulación “tendencial B” y 1,21% de la simulación “tendencial C”, cabe mencionar que estos incrementos son en base a lo observado el año 2015.
- Para los bosques húmedos de montaña la simulación tendencial A y C muestra un incremento del 0,36% mientras que la tendencia B muestra un aumento del 0,23%, se observa que las tres simulaciones están por debajo del 10% de incremento con respecto a lo observado el año 2015.
- Los bosques húmedos de terraza alta presentan un incremento de 0,27% en la tendencia A, seguido de 0,40% en la tendencia B y finalmente de 0,35% en la tendencia C. Cabe recalcar que las tendencias están por encima del 35% de lo registrado en el 2015.
- Los bosques húmedos de colina baja y lomada primero presenta un incremento de 0,40% en la tendencia A, seguido de un 0,64% en la tendencia B y un 0,51% en la tendencia C con respecto a lo observado en el año 2015.
- Para el bosque húmedo de colina alta, primero presenta un incremento con respecto al año 2015 de 0,10% en la tendencia A, seguido 0,13% en la Tendencia B y por ultimo de 0,15% en la tendencia C. cabe mencionar que estos porcentajes muestran un incremento superior al 35% con respecto al año 2015.
- Los Aguajales presentan primero un incremento de 0,06% en la tendencia A, seguido de 0,11% en la tendencia B y C. cabe mencionar que este incremento es con respecto a lo observado el 2015.
- Los Herbazales Hidrofíticos, presentan un incremento de 0,01% en la tendencia A y B, seguido de otro 0,02% en la tendencia C.
- El bosque húmedo de superficie plana inclinada, presenta un incremento de 0,01 en las tres tendencias.
- Las Sabanas Hidrofíticas no representa ningún cambio en las 3 simulaciones. Cabe mencionar que esta cobertura no es de tipo boscosa.

## 6 CONCLUSIONES

---

- Los resultados de las tres simulaciones realizadas en este estudio, han demostrado que las causas que contribuyen a la pérdida de bosques húmedos de manera marcada en cada simulación son: la distancia a vías, a zonas deforestadas y a centros poblados. Ya que estas variables ofrecen un acceso a zonas aun cubiertas por áreas boscosas.
- Los resultados han demostrado que la tasa de pérdida de los bosques húmedos en cada simulación es distinta, esto se debe a que los periodos usados en cada tendencia presentan diferentes años de inicio. Por lo que se concluye, que la simulación del escenario tendencial C, al poseer la tasa anual más alta con 1.387,9 km<sup>2</sup> se asemeja más a la tasa reportada en los últimos cinco años.
- Las simulaciones tendenciales de la pérdida en los bosques húmedos amazónicos en Perú para el año 2030 realizadas en este estudio, con el módulo *Land Change Modeler* de Idrisi, no solo han permitido determinar áreas explícitas, sino también áreas con mayor y menor vulnerabilidad ante una posible pérdida de bosques húmedos.
- De acuerdo a los resultados cartográficos de las tres tendencias se puede afirmar que una desventaja encontrada al realizar simulaciones con este modelo, es que asume que los procesos que se han dado en el pasado van a seguir dándose en el futuro y no admite, por ejemplo la introducción de varias capas de entrada como dinámica real de cambio.
- Según las tres simulaciones realizadas en este estudio, se concluye que la cobertura vegetal de bosques húmedos, colinas bajas y lomadas y los bosques húmedos de terrazas baja y media presentan mayor impacto de pérdida de bosques para el año 2030, por lo que debe ser prioridad generar estrategias de conservación en estas coberturas vegetales.
- En definitiva, la generación de escenarios futuros en base a datos históricos de los bosques húmedos amazónicos con el módulo *Land Change Modeler* de Idrisi, es una alternativa eficaz para generar supuestos de manera espacial. Por lo que se recomienda que las instituciones del estado y ONG's encargadas de la planificación



y gestión de los recursos naturales forestales, apliquen la generación de estos escenarios.

- Para futuros trabajos se recomienda utilizar capas con un tamaño de celda de 30 m, e incorporar variables como proyectos futuros de carreteras, proyectos de expansión urbana entre otras, esto permitirá obtener resultados más detallados. Adicional, se sugiere replicar la metodología por regiones administrativas y comparar los resultados espaciales entre una dinámica nacional y otra regional, con respecto a sus simulaciones.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

---

### Páginas Web Consultadas:

- <http://www.minam.gob.pe/>
- <http://www.bosques.gob.pe/>
- <http://www.otca.info/portal/tratado-coop-amazonica.php?p=otca>
- <http://www.sernanp.gob.pe/>
- <http://www.ingemmet.gob.pe/>
- <http://www.iiap.org.pe/>
- <http://www.peruclima.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>
- <https://www.dhn.mil.pe>
- <https://www.inei.gob.pe/>

### Documentos y Publicaciones

Almeida, G., & Sourdat, M. (1982). Genesis Geologica Y Morfológica De La Amazonia, Sus Implicaciones Actuales Para El Desarrollo De La Region. *Conferencia Presentada En El "Curso de Capacitación Ecológica", Organizado Por El Programa de Apoyo a Las Comunidades Nativas de La Amazonia Peruana. Iquitos, Noviembre de 1982*, 11. Retrieved from [http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_7/carton03/22642.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/carton03/22642.pdf)

Arévalo, W. (2015). *Determinación de cambios de la cobertura arbórea usando imágenes satelitales Landsat 7ETM+ a través de redes neuronales artificiales en la parroquia achupallas, Cantón Alausí, provincia de Chimborazo*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Bax, V., Francesconi, W., & Quintero, M. (2016). Spatial modeling of deforestation processes in the Central Peruvian Amazon. *Journal for Nature Conservation*, 29, 79–88. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2015.12.002>

Camacho Olmedo, M. T., Molero Melgarejo, E., & Paegelow, M. (2010). Modelos Geomáticos Aplicados a La Simulación De Cambios De Usos Del Suelo. Evaluación Del Potencial De Cambio. *Tecnologías de La Información Geográfica La Información Geográfica Al Servicio de Los Ciudadanos.*, (9788447212941), 658–678. <https://doi.org/9788447212941>

Chuvieco, E. (2010). *Teledetección Ambiental*. (E. P. S.A., Ed.) (1.<sup>a</sup> edición). Barcelona -

España.

- Cordero, D. (2011). *Los bosques en América Latina. Fundación Friedrich Ebert, FES-ILDIS*. Quito - Ecuador. Retrieved from [http://www.portalces.org/sites/default/files/migrated/docs/los\\_bosques\\_en\\_america\\_latina\\_fes-ildis\\_2011.pdf](http://www.portalces.org/sites/default/files/migrated/docs/los_bosques_en_america_latina_fes-ildis_2011.pdf)
- DHN. (2005). *Conceptos de hidráulica fluvial de los ríos de la Amazonía*. DHN. Lima - Perú. Retrieved from <https://www.dhn.mil.pe/>
- Eastman, J. R. (2012). *IDRISI Selva Tutorial. Idrisi Production, Clark Labs-Clark University* (Vol. 45).
- Eastman, R. (2012). *IDRISI Selva. Guía para SIG y procesamiento de imágenes*. (IDRISI Production, Ed.), Clark University. USA: Clark University. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Espinoza, JC; Ronchail, J; Lavado, W; Santini, W; Vauchel, P; Pombosa, R; Villacís, M. (2011). Las recientes sequías en la cuenca amazónica peruana : Orígenes climáticos e impactos hidrológicos. *Geo-Atmosfera RPGA*, 72(3), 63–72.
- FAO, 2016. (2015). *Recursos Forestales Mundiales 2015*. (FAO, Ed.) (Primera ed). Roma - Italia. Retrieved from [www.fao.org/3/a-i4793s.pdf](http://www.fao.org/3/a-i4793s.pdf)
- Gallardo, M. (2014). *Cambios de usos del suelo y simulación de escenarios en la Comunidad de Madrid*. Universidad Complutense de Madrid.
- Geist, H. J., & Lambin, E. F. (2002). Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation. *BioScience*, 52(2), 143. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0143:PCAUDF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0143:PCAUDF]2.0.CO;2)
- Getu, A. (2014). *ANALYSIS OF URBAN LAND USE AND LAND COVER CHANGES. Pakistan Vision*. Universitat Jaume I. Retrieved from [http://pu.edu.pk/images/journal/studies/PDF-FILES/5 - Shirazi Geography Artical-7\\_v13No1.pdf](http://pu.edu.pk/images/journal/studies/PDF-FILES/5 - Shirazi Geography Artical-7_v13No1.pdf)
- Henriquer, L. E. (2012). *Escenarios futuros de uso de suelo para el análisis del efecto del cambio global en los recursos hídricos aplicado al acuífero de la mancha oriental*. Universidad Politécnica de Valencia. Universitat Politècnica de Valencia.
- Hurtado, J. (2014). *Análisis, modelamiento y simulación espacial del cambio de cobertura del suelo, entre las áreas Naturales y las de Origen antrópico en la provincia de Napo (Ecuador), para el período 1990 - 2020*. Universidad Nacional de la Plata.
- IDEAM. (2014). *Resultados de la simulación de la deforestación para el ajuste del nivel de referencia del área subnacional A8*. Bogota - Colombia. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- INEI. (2010). PERÚ: Estimaciones y Proyecciones de Población Departamental, por Años Calendario y Edades Simples 1995-2025. *Inei, Boletín Es*(La creciente demanda de

- información sobre población por edades simples y años calendario), 1950–2050. Retrieved from <https://www.inei.gob.pe/>
- INEI. (2012). *IV Censo Nacional Agropecuario*. Lima - Perú. Retrieved from <http://censos.inei.gob.pe/cenagro/tabulados/>
- INEI. (2016). *Estado de la población Peruana al 2015*. Lima - Perú. Retrieved from <https://www.inei.gob.pe/>
- Kalliola, R., Puhakka, M., & Danjoy, W. (1993). *Amazonía peruana. Vegetación húmeda tropical en el llano subandino* (Proyecto A). Universidad de Turku-ONERN.
- MINAM. (2009). *Mapa de Deforestación de la Amazonía Peruana 2000*. Lima - Perú.
- MINAM. (2012). *Memoria descriptiva - Mapa de Cobertura Vegetal*. *Journal of Chemical Information and Modeling*. Lima - Perú. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- MINAM. (2015a). *Estrategia Nacional sobre Bosques y Cambio Climático* (Vol. 1). Lima - Perú. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- MINAM. (2015b). *Memoria Descriptiva del Mapa de Bosque/No Bosque año 2000 y Mapa de pérdida de los Bosques Húmedos Amazonicos del Perú 2000 - 2011*. Lima - Perú.
- MINAM. (2015c). *Presentación de Perú de un Nivel de Referencia de Emisiones Forestales ( NREF ) para reducir las emisiones por deforestación en la Amazonía Peruana*. Lima - Perú.
- Morisawa, M. (1985). *Rivers. Form and process. Geomorphology* (Longman Gr). Hong Kong.
- Núñez del Prado, H., & Jaime, F. (2012). *Nuevo Mapa Geológico de la Amazonia Peruana*. Lima - Perú. Retrieved from <https://es.slideshare.net/ingemmet/nuevo-mapa-geologico-de-la-amazonia-peruana>
- Olofsson, P., Foody, G. M., Stehman, S. V., & Woodcock, C. E. (2013). Making better use of accuracy data in land change studies: Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation. *Remote Sensing of Environment*, 129, 122–131. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.031>
- Olofsson, P., Herold, M., Stehman, S. V, Wulder, M., Foody, G. M., Herold, M., Wulder, M. A. (2014). Good Practices for Assessing Accuracy and Estimating Area of Land Change Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*, 148(January 2013), 42–57. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015>
- OTCA. (2014). *Organizacion del Tratado de Cooperación Amazónica*. Brasilia - Brasil. Retrieved from [www.otca.info](http://www.otca.info)
- Peñaherrera, del A. (1986). *Gran Geografía del Perú, Hombre y naturaleza*.

- Pesantez, P. (2015). *Clasificación Y Predicción De Cambio De Cobertura De Suelo De La Cuenca Del Rio Paute Utilizando Herramientas Geoinformaticas*. UNIVERSIDAD ESTATAL DE CUENCA. Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21445/1/tesis.pdf>
- Potapov, P. V. (2014). National satellite-based humid tropical forest change assessment in Peru in support of REDD+ implementation. *Environmental Research Letters*, 9(12), 124012. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/12/124012>
- Ramírez, D. (2011). *Escenarios de cambios de coberturas del suelo en el corredor Biológico Mesoamericano - México*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Rodríguez, F. (1995). *El recurso del suelo en la Amazonia Peruana, diagnostico para su investigacion* (Vol. 14). Iquitos - Perú.
- Senamhi. (2016). Mapas Climatico del Perú. Retrieved from <http://www.peruclima.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>
- Shukla, J., Nobre, C., & Sellers, P. (1990). Amazon Deforestation and Climate Change. *Science*, 247(4948), 1322–1325. <https://doi.org/10.1126/science.247.4948.1322>
- Stehman, S. V. (2013). Estimating area from an accuracy assessment error matrix. *Remote Sensing of Environment*, 132, 202–211. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.01.016>
- Tope-ajayi, O. O., Adedeji, O. H., Adeofun, C. O., & Awokola, S. O. (2013). Land Use Change Assessment , Prediction Using Remote Sensing , and GIS Aided Markov Chain Modelling at Eleyele Wetland Area , Nigeria. *Journal of Settlements and Spatial Planning*, 7(1), 51–63. <https://doi.org/10.19188/06JSSP012016>