



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE**

**“Evaluación de la deforestación y fragmentación en el Parque Nacional  
Yasuní: área Limoncocha”**

Tesis de grado previa a la obtención  
del título de **INGENIERA EN  
MANEJO Y CONSERVACIÓN  
DEL MEDIO AMBIENTE**

**Autora:** Nicole Elizabeth López Sánchez

**Director:** Ing. Juan Armando Maita Chamba Mg. Sc.

**Co-Director:** Pablo Rodrigo Cuenca Capa Ph. D.

**Loja – Ecuador**

**2019**

## CERTIFICACIÓN

Juan Maita Chamba, Mg. Sc. Geomática  
**DIRECTOR DE TESIS**

En calidad de director de tesis certifico que la señorita **Nicole Elizabeth López Sánchez**, egresada de la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, de la Universidad Nacional de Loja, culminó el proyecto de investigación denominado **Evaluación de la deforestación y fragmentación en el Parque Nacional Yasuní: área Limoncocha**, el mismo que ha sido debidamente revisado y corregido, cumpliendo con las normas reglamentarias vigentes, dentro del cronograma establecido.

Por lo tanto, autorizo que se continúe con los trámites correspondientes.

Loja, 13 de agosto de 2019

Atentamente,



Juan Maita Chamba, Mg. Sc. Geomática.  
**DOCENTE - INVESTIGADOR DE LA FACULTAD AGROPECUARIA  
Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES, UNL**  
Cc. Archivo personal

CERTIFICADO: Que la presente copia es fiel al original al cual remito en caso de ser necesario.  
Loja, 13 de agosto de 2019



SECRETARÍA GENERAL DE LA FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



## CERTIFICACION DEL TRIBUNAL

En calidad de tribunal calificador de la tesis titulada **Evaluación de la deforestación y fragmentación en el Parque Nacional Yasuní: área Limoncocha**, de autoría de la señorita Nicole Elizabeth López Sánchez, egresada de la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, certificamos que se han incorporado todas las sugerencias efectuadas por sus miembros.

Por lo tanto, autorizamos a la señorita egresada, su publicación y difusión

Loja, 06 de septiembre de 2019

Atentamente,

Ing. Erasmo Vinicio Alvarado Jaramillo, Mg. Sc.

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

Ing. Santiago Rafael García Matailo, Mg. Sc.

**VOCAL DEL TRIBUNAL**

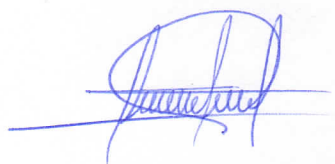
Ing. Carlos Guillermo Chuncho Morocho, Mg. Sc.

**VOCAL DEL TRIBUNAL**

## AUTORÍA

Yo, Nicole Elizabeth López Sánchez, declaro ser autora de la presente tesis titulada **Evaluación de la deforestación y fragmentación en el Parque Nacional Yasuní: área Limoncocha.**, y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.



---

Nicole Elizabeth López Sánchez

**C.I.** 1150028403

**Correo electrónico:** nelopezs@unl.edu.ec

Loja, 29 de agosto de 2019

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DE LA AUTORA PARA  
LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN  
ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Yo, Nicole Elizabeth López Sánchez, declaro ser autora de la tesis titulada **Evaluación de la deforestación y fragmentación en el Parque Nacional Yasuní: área Limoncocha**, como requisito para optar al grado de: Ingeniera en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional (RDI).

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 29 días del mes de agosto de dos mil diecinueve, firma la autora.

**Firma:** \_\_\_\_\_



**Autora:** Nicole Elizabeth López Sánchez

**C.I.:** 1150028403

**Correo electrónico:** nelopez@unl.edu.ec

**Director de tesis:** Ing. Juan Armando Maita Chamba Mg. Sc.

**Co-Director:** Pablo Rodrigo Cuenca Capa Ph. D.

## **AGRADECIMIENTOS**

Infinitas gracias a Dios, por acompañarme y caminar conmigo en el transcurso de mi vida, gracias Padre Celestial.

A mi madre Dolores Elizabeth Sánchez Fuertes, gracias por confiar en mí.

Agradezco también a mi Director de tesis Ing. Juan Armando Maita Chamba Mg. Sc., por su apoyo, dirección y sugerencias, gracias.

De manera especial expreso mi agradecimiento a mi Co-Director Pablo Rodrigo Cuenca Capa Ph. D. Docente-Investigador de la Universidad Regional Amazónica Ikiam, quien con su dirección, conocimiento, experiencia, paciencia y colaboración me ayudaron a afianzar y culminar la presente investigación, gracias.

Asimismo, agradezco al Ing. José Merino y Fabián Sotomayor, personal del Centro Integrado de Geomática Ambiental (CINFA), por compartir sus conocimientos y por las indicaciones brindadas, gracias.

*La Autora*

## **DEDICATORIA**

A mi madre Dolores Elizabeth Sánchez Fuertes, a ella dedico todos mis logros, gracias por siempre estar ahí.

A mis tíos Marco Vinicio Sánchez Fuertes y Jorge Eduardo Samaniego Fuertes, gracias por su amor, ejemplo y compañía.

A mis amigos Francisco Gabriel Cartuche Soto (Carcus) y Guido Geovanny López Merchán, por apoyarme a lo largo de mi vida estudiantil y vida personal, gracias.

*La Autora*

## ÍNDICE GENERAL

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
2.1. Áreas protegidas en el Ecuador.....	3
2.2. Parque Nacional Yasuní .....	3
2.3. Cambio de uso del suelo a nivel mundial .....	5
2.4. Deforestación en el Ecuador .....	5
2.5. Tasa de deforestación en el Ecuador .....	6
2.6. Fragmentación de bosques.....	6
2.7. Ecología del paisaje.....	9
2.8. Métricas para cuantificar la fragmentación .....	10
2.9. Teledetección y SIG .....	11
2.10. Sensores remotos.....	12
<b>III. METODOLOGÍA.....</b>	<b>15</b>
3.1. Área de estudio .....	15
3.2. Base de datos .....	17
3.3. Métodos .....	17
3.3.1. Procesamiento de imágenes satelitales .....	17
3.4. Metodología para identificar los cambios en la cobertura vegetal y uso del suelo..	18
3.4.1. Validación de la Clasificación .....	19
3.5. Metodología para analizar la dinámica de fragmentación.....	20
<b>IV. RESULTADOS .....</b>	<b>22</b>
4.1. Cobertura y uso del suelo período 1987 – 2018 .....	22
4.2. Cambios espacio temporal en la cobertura de uso del suelo entre el año 1987 – 2018 .....	23



4.2.1. Ganancias y Pérdidas del uso y cobertura del suelo entre el año 1987 y 2018 en el Parque Nacional Yasuní: área Limoncocha .....	24
4.2.2. Cambio neto del uso y cobertura del suelo entre el año 1987 y 2018 en el Parque Nacional Yasuní: área Limoncocha .....	25
4.2.3. Contribución al cambio neto del Bosque.....	26
4.3. Patrones de deforestación .....	27
4.4. Análisis de fragmentación .....	28
<b>V. DISCUSIÓN .....</b>	<b>34</b>
<b>VI. CONCLUSIONES.....</b>	<b>41</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>42</b>
<b>VIII. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>43</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación del área de estudio .....	16
<b>Figura 2.</b> Cobertura y Uso de Suelo del Parque Nacional Yasuní área Limoncocha año 1987.....	22
<b>Figura 3.</b> Cobertura y Uso de Suelo del Parque Nacional Yasuní área Limoncocha año 2018.....	23
<b>Figura 4.</b> Usos y coberturas del suelo en el Parque Nacional Yasuní: área Limoncocha en los años 1987 y 2018 (porcentaje y hectáreas) .....	24
<b>Figura 5.</b> Ganancias y pérdidas registradas para cada uno de los usos y coberturas del suelo entre el año 1987 y 2018 en el Parque Nacional Yasuní: área Limoncocha.....	25
<b>Figura 6.</b> Cambio neto del uso y cobertura del suelo entre el año 1987 y 2018 en el Parque Nacional Yasuní: área Limoncocha.....	26
<b>Figura 7.</b> Contribuciones al cambio neto del Bosque entre el año 1987 y 2018 en el Parque Nacional Yasuní: área Limoncocha. ....	27
<b>Figura 8.</b> Deforestación en Parque Nacional Yasuní, Socio Bosque y Paisaje Circundante periodo 1987-2018.....	28
<b>Figura 9.</b> Comparación de resultados de métrica de Número de Parches para el año 1987 – 2018.....	30
<b>Figura 10.</b> Comparación de resultados de métrica de Número de Parches para el año 1987 – 2018.....	30
<b>Figura 11.</b> Comparación de resultados de métrica de Densidad de Parches para el año 1987 – 2018.....	31
<b>Figura 12.</b> Comparación de resultados de métrica de Densidad de Borde para el año 1987 – 2018.....	31
<b>Figura 13.</b> Comparación de resultados de métrica de Densidad de Borde para el año 1987 – 2018.....	32
<b>Figura 14.</b> Comparación de resultados de métrica Índice del vecino más cercano para el año 1987 – 2018.....	32
<b>Figura 15.</b> Comparación de resultados de métrica Índice de forma para el año 1987 – 2018.....	33

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Categoría y color áreas de entrenamiento.....	18
<b>Tabla 2.</b> Valoración del coeficiente kappa .....	20
<b>Tabla 3.</b> Reclasificación de uso del suelo.....	21
<b>Tabla 4.</b> Hectáreas de Bosque deforestadas entre el año 1987 y 2018 en el Parque Nacional Yasuní: área Limoncocha.....	27
<b>Tabla 5.</b> Métricas de fragmentación de las zonas establecidas en los años 1987 y 2018 .....	29
<b>Tabla 6.</b> Diferencia en cambios porcentuales de los valores de las métricas para las zonas establecidas entre los años 1987 y 2018 .....	29

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Cambio porcentual de la cobertura del suelo a través del tiempo .....	50
<b>Anexo 2.</b> Evaluación de exactitud para la clasificación año 1987 .....	51
<b>Anexo 3.</b> Evaluación de exactitud para la clasificación año 2018 .....	52
<b>Anexo 4.</b> Matriz de Transición periodo 1987-2018 .....	53

## RESUMEN

Las actividades antrópicas como la ganadería, agricultura, expansión poblacional, desarrollo y crecimiento industrial son los principales precursores del cambio de cobertura y uso del suelo, lo que sobrelleva a la alteración de ecosistemas, degradación de bosques, daños en la estructura del suelo como compactación y degradación, contaminación de fuentes de agua y pérdida de biodiversidad. En áreas de bosque tropical se intenta limitar la tala de bosques mediante limitaciones de uso y acceso, principalmente en áreas donde las comunidades conviven con los bosques y dependen de sus recursos. Por lo tanto, alcanzar una protección completa o segura de los bosques es casi imposible. La presente investigación fue aplicada en el Parque Nacional Yasuní: área Limoncocha, donde se utilizó Sistemas de Información Geográfica y la Teledetección para el desarrollo metodológico aplicado; mediante el uso de ArcGis, QGis, TerrSet y Erdas Imagine 2015, se determinó el cambio de cobertura y uso del suelo entre los años 1987 y 2018, así como el uso de FRAGSTATS que permitió establecer el estado de fragmentación de la zona de estudio. En el Parque Nacional Yasuní: área Limoncocha la cobertura de bosque perdió 22,231 ha de extensión, mientras que las zonas antrópicas y áreas agropecuarias incrementaron 2,993 ha y 19,777 ha de área respectivamente. Para la fragmentación del bosque se trabajó a nivel de clase, cinco métricas: número de parches, densidad de parches, densidad de borde, índice del vecino más cercano e índice de forma. El número de parches sumado con otras métricas indican que el área de estudio existe una alta fragmentación. Por ejemplo, desde el año 1987 al 2018 el bosque presentó una tendencia a aumentar la fragmentación y perder sus bosques en las tres zonas analizadas (PNY, SB y PC), lo que demuestra un alto índice de fragmentación.

**Palabras clave:** Cambio de uso del suelo – Deforestación – Fragmentación – Parque Nacional Yasuní – Áreas Protegidas.

## ABSTRACT

Anthropic activities such as livestock, agriculture, population, expansion, development and industrial growth are the main precursors of land cover change, which alters ecosystems, forest degradation, damage to soil structure as compactation and degradation, and contamination of water sources and loss of biodiversity. However, attempts are being made to limit forest clearing in tropical forest areas by setting limits of land use and access to local communities who depend on natural resources, but trying to reach a safe protection of the forest seems a challenging task to achieve. This led us to work on this research Project carried out in the Yasuni National Park in the Limoncocha area where geographic information systems and Remote Sensing was applied. Additionally, the use of Softwares such as *ArcGis*, *QGis*, *TerrSet* and *Erdas Imagine* 2015 determined the change of the land cover and its use during the years 1987 and 2018, besides of the use of *Fragstats* which allowed to establish the state of fragmentation of the study area by giving the following results: in Yasuni National Park, the Limoncocha area, forest cover lost 22,231 ha, while anthropic area and agricultural areas increased up to 2,992 ha and 19,777 ha respectively. On the other hand, for forest fragmentation five metrics were worked at the class level: number of patches, patch density, nearest neighbor index and shape index. The number of patches added with other metrics shows that the study area is highly fragmented. This tendency increased from 1987 to 2018, the fragmentation of the forest is rising and its loss as well. Calculations have shown that the forest will lose three analyzed areas (PNY, SB and PC), which demonstrates a high rate of fragmentation..

**Keywords:** Land-use change – Deforestation – Fragmentation – Yasuni National Park – Protected area.

## I. INTRODUCCIÓN

Los bosques tropicales a nivel global son los más antiguos, diversos y ecológicamente complejos (Whitmore , 1997), proporcionan servicios ecosistémicos como la captación de agua, el mantenimiento del suelo, la fijación de CO<sub>2</sub>, proporcionar refugio y hogar a pueblos indígenas (Ceccon, Olmsted, y Alves, 2002); y además albergan la mayor biodiversidad del planeta (Wilson, 1988).

El aumento en la atención que han recibido estos bosques se debe principalmente a un fuerte proceso en la deforestación (Brown y Lugo, 1994) promovido por un conjunto de aspectos biofísicos (condiciones ambientales) aspectos socio-económicos y demográficos (ej. extracción de madera y petróleo, expansión agropecuaria y de infraestructura) (Grau y Aide, 2008). A nivel regional esto genera la pérdida del uso forestal, deterioro físico y químico del suelo, alteración del balance hídrico, desestabilización de cuencas. A nivel global altera el albedo y el balance de agua atmosférica, pudiendo afectar los patrones climáticos y contribuir al cambio climático (Meli, 2003).

La deforestación y fragmentación son elementos importantes de los radicales cambios globales, puesto que contribuyen a la pérdida de bosque tropical con importantes implicaciones para el normal funcionamiento del ecosistema y la conservación de la biodiversidad, eliminan la biomasa, cambian el bosque, aturden los suelos, y pueden llegar a modificar el balance de agua, energía y carbono de la superficie de la tierra, lo que en última instancia puede afectar el clima (Li *et al.*, 2016 ;Smith *et al.*, 2016; Tapia *et al.*, 2015).

Adicional a la deforestación, la degradación (Myers, 1993) y fragmentación del hábitat también son los responsables de cambiar la estructura y función de estos ecosistemas (Saunders, Hobbs, y Margules, 1991; Debinski y Holt, 2000). Por un lado, la fragmentación provoca una rebaja del tamaño de los parches de bosque y los aísla, además es responsable del aumento del llamado efecto “borde” (separación). Por otra parte, la degradación del hábitat cambia la composición y funciones biológicas del medio por la intervención humana (Cayuela, 2006), además por la tala selectiva, los incendios forestales (Budiharta *et al.*, 2014; Souza, Jr *et al.*, 2013) y los efectos de borde en relación con la fragmentación del bosque (Tarrasón *et al.*, 2010).

En América Latina la superficie terrestre de bosque disminuyó del 51.3% en 1990 al 46.4% en el año 2015 (FAO, 2018). En el Ecuador, el Ministerio del Ambiente Ecuatoriano (MAE) ha generado información histórica sobre la deforestación en el territorio ecuatoriano a partir del año 1990 hasta el año 2016 (FAO, 2018). En este país tropical la cobertura de bosque disminuyó del 69.6% de la superficie forestal potencial del país en 1990 al 60.7% en el año 2008 (Sierra, 2013).

En cuanto a la Región Amazónica Ecuatoriana ha sido objeto de estudios socioeconómicos, de investigaciones científicas sobre aspectos físicos y bióticos que han permitido conocer este complejo ecosistema selvático, ecológicamente sensible y culturalmente vulnerable (Narváz Quiñónez, 2009).

Considerando que los bosques tropicales albergan alta biodiversidad como el Parque Nacional Yasuní y a pesar que existen estudios de deforestación, son escasos los estudios de paisaje que reportan la fragmentación del bosque a una escala temporal de más de 30 años. Por lo tanto el presente trabajo de investigación tiene como propósito identificar la dinámica de cambios en la cobertura vegetal y uso del suelo (USCUSS), además analizar la dinámica de fragmentación entre los años 1987 y 2018 en el Parque Nacional Yasuní: área Limoncocha.

Este estudio pretende generar información válida que sirva de marco de referencia en proyectos orientados a aplicar los resultados de investigación en la toma de decisiones sobre el manejo y estudio de problemas vinculados al manejo y restauración de bosques tropicales, así como su conservación y protección.

El trabajo investigativo tiene los siguientes objetivos:

Analizar la dinámica de cambios de la cobertura vegetal por medio de Sistemas de Información Geográfica y técnicas de Teledetección en el Parque Nacional Yasuní: área Limoncocha.

### **Objetivos específicos**

- Identificar los cambios de cobertura vegetal y uso del suelo, mediante técnicas de Teledetección y SIG.
- Analizar la dinámica de fragmentación del área en estudio, a través de parámetros morfométricos de fragmentación.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Áreas protegidas en el Ecuador

En Ecuador, las áreas protegidas representan aproximadamente el 20% del territorio nacional conservado (MAE, 2016). En la máxima categoría de protección de acuerdo con la legislación ambiental nacional, por Constitución de la República son parte de uno de los subsistemas del gran Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) conocido como Patrimonio de Áreas Naturales del Estado (PANE), distribuidas en todo el territorio continental e insular, albergan una importante riqueza biológica, servicios ecosistémicos de los cuales se benefician tanto las poblaciones urbanas como rurales, una riqueza paisajística que permite el turismo y la recreación en parte de ellas, y por su importancia ecológica trascienden fronteras que son reconocidas a nivel internacional (MAE, 2015).

### 2.2. Parque Nacional Yasuní

Fue creado en el año 1979, cubre 9,820 km<sup>2</sup> y la Reserva Étnica Huaorani contigua con un área de 7,650 km<sup>2</sup> (Bryja, 2009). Es el área protegida más grande del Ecuador y uno de los hotspots más biodiversos en la región amazónica y el mundo (Warnars, 2010). Al sur del parque nacional se encuentra la Zona Intangible Tagaeri-Taromenane creada en el año 1999 con el fin de prohibir las actividades extractivas en esta área de alta sensibilidad biológica y cultural (Narváez, I.; Massivo de Marchi; Salvatore, 2013).

Globalmente se destaca por su enorme riqueza biológica en grupos taxonómicos, tanto en escala de paisaje como en la local (Bass *et al.*, 2010) y protege un número considerable de especies amenazadas y endémicas regionales listadas según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2013) en las categorías de Críticamente en Peligro, En Peligro y Vulnerables (Pitman *et al.*, 2002).

Además, el Parque Nacional Yasuní ha sido reconocido como el territorio de mayor diversidad del hemisferio occidental (Bass *et al.*, 2010), y poseen una excepcional resiliencia frente al cambio climático (Hoorn, 2006). Sin embargo, el parque enfrenta una multiplicidad de amenazas, entre las que se destacan la tala ilegal de madera, la caza comercial y la explotación petrolera que se inició en el año 1986, con la concesión del Bloque 16 y la posterior apertura de la ruta Maxus al inter del parque, en el año 2012 Petroamazonas inició la actividad petrolera en el Bloque 31, también al interior del PNY, y desde el año 2016 se extrae petróleo en el campo Tiputini (Bloque ITT), yacimientos



que se encuentran en el norte del parque. A futuro, la empresa Petroamazonas planea expandir la explotación a los campos Ishpingo y Tambococha, ubicados en la profundidad del Parque Nacional Yasuní (Larrea, 2017).

Petroamazonas, recientemente construyó una carretera de más de 19 km al interior del parque en el Bloque 31, contiguo al ITT (Wallace, 2013), lo que representa amenazas graves a la biodiversidad, facilitan la tala ilegal de madera, la cacería y la colonización que conlleva a la tenencia de tierras.

El Ecuador enfrenta un enorme reto: equilibrar el crecimiento económico frente a la conservación de los bosques amazónicos, Butler (2007) menciona algunas medidas para reducir la pérdida de los bosques amazónicos que se detallan a continuación:

**Agricultura:** Es necesario incorporar las técnicas de las tribus amazónicas a los proyectos agrícolas de la región, buscando incrementar la productividad de los terrenos degradados y promoviendo el uso sustentable de los recursos forestales mediante prácticas agroforestales, al mismo tiempo que se mejora la eficiencia económica y de genera una fuente de ingreso para la población rural.

**Ganadería:** El desmonte para crear tierras de pastoreo para ganado son la principal causa de pérdida del bosque, especialmente en Latinoamérica, como acción a esto se debería reformar las políticas agrarias que fomenten la conversión de bosques a pastizales e incrementar la productividad de los pastizales existentes mediante la introducción de técnicas agroforestales.

**Tala:** Se necesita restringir el comercio de ciertas especies arbóreas del bosque amazónico y establecer plantaciones forestales en terrenos degradados con el propósito de proveer una fuente específica de recursos maderables.

**Expansión de las áreas protegidas:** Es una pieza fundamental para perfeccionar la subsistencia de la biodiversidad, algunos aspectos importantes para los esfuerzos de conservación son:

- Asegurar el apoyo de suficientes agencias ambientales y el financiamiento adecuado para el mantenimiento de las áreas protegidas.
- Priorizar áreas para su protección (concentración de puntos con alta biodiversidad).
- Involucrar a los pueblos indígenas en la administración de los parques, puesto que aquellos conocen el bosque mejor que nadie y están altamente interesados en

salvaguardarlo como un ecosistema productivo que les proporciona refugio, alimento y agua, investigaciones aseguran que las reservas indígenas pueden llegar a ser más eficientes que los parques nacionales en la protección y conservación del bosque.

- Estimular la participación de la población rural, puesto que el destino de las áreas protegidas se encuentran en manos de la población rural y solo mediante el mejoramiento de sus condiciones de vida podemos esperar que los esfuerzos de conservación tengan éxito.

### **2.3.Cambio de uso del suelo a nivel mundial**

La destrucción y alteración de hábitats por cambios en el uso de la tierra, el incremento en las invasiones biológicas debido al aumento de la movilidad de la biota relacionada a actividades humanas y el cambio climático son componentes del denominado “cambio global” (Vitousek, 1994; Chapin *et al.*, 1997). Esta serie de alteraciones ya ha causado la extinción del 5 al 20% de a las especies de aves, mamíferos, peces y plantas de la Tierra (Pimm, Russell, Gittleman, y Brooks, 1995). Un gran porcentaje de esta pérdida de biodiversidad puede ser atribuible al cambio de uso y cobertura del suelo (CUCS). De hecho, existe consenso respecto a que el CUCS es en la actualidad el componente más importante del cambio global (Vitousek, 1994), y que además potencia otros componentes del mismo, tales como el efecto invernadero y pérdida de biodiversidad (Lambin *et al.*, 2001).

Aproximadamente el 50% de la superficie terrestre ya ha sido modificada por el hombre, principalmente a través de la sustitución de sistemas naturales por agroecosistemas o emplazamientos urbanos (Sala *et al.*, 2000). Cabe destacar que a nivel mundial, la superficie cultivada y el área ganadera, se han incrementado en el período 1961-2000 en un 12 y un 10%, respectivamente. En este sentido, el aumento predicho de la población mundial y del consumo per cápita actual, presuponen que la demanda de alimentos se incremente al doble o el triple para el año 2050 (Green, Cornell, Scharlemann, y Balmford, 2005). En esta línea, (Sala *et al.*, 2000) prevén que el CUCS seguirá siendo el factor de mayor impacto en la pérdida de biodiversidad en el año 2100, debido a la pérdida y alteración de hábitats.

### **2.4. Deforestación en el Ecuador**

La deforestación en el Ecuador es de 65,880 ha anuales, de las cuales, 12,485 ha corresponden a Esmeraldas, sobrepasando el promedio por provincia, que registra

alrededor de 3,000 ha. El tema del control del aprovechamiento de los bosques nativos, manglares, ha llevado a tomar además de medidas como esta, una serie de operativos de decomiso de madera en todo el país, así como desalojos de infraestructura camaronera en algunos casos (FAO, 2013).

En el país se viene desarrollando desde el año 2008 el programa Socio Bosque, el mismo que consiste en la entrega de incentivos económicos a los campesinos o comunidades que voluntariamente se comprometen a cuidar los bosques nativos. Según el Atlas Geográfico Nacional 2013, actualmente se encuentran en conservación 1'114,761 ha de bosques. Las provincias con mayor ingreso de incentivos económicos del programa son Morona Santiago, Esmeraldas, Sucumbíos y Pastaza. En total se destinan cerca de 7,6 millones anuales para todo el país (FAO, 2013).

## **2.5. Tasa de deforestación en el Ecuador**

La tasa de deforestación nacional es de 65,880 ha anuales, de las cuales, 12,485 ha corresponden a Esmeraldas, sobrepasando el promedio por provincia, que registra alrededor de 3,000 ha. El tema del control del aprovechamiento de los bosques nativos, manglares, ha llevado a tomar además de medidas como esta, una serie de operativos de decomiso de madera en todo el país, así como desalojos de infraestructura camaronera en algunos casos (FAO, 2013).

## **2.6. Fragmentación de bosques**

La deforestación en los trópicos es uno de los problemas ambientales más importantes, con serias consecuencias económicas y sociales (Laurance, 1999). Los bosques tropicales albergan el 70% de las especies de animales y plantas del mundo, influyen en el clima local y regional, regulan el caudal de los ríos y proveen una amplia gama de productos maderables y no maderables (Cayuela, 2006). La pérdida de estos bosques se debe principalmente, en países en vías de desarrollo, al círculo vicioso del crecimiento poblacional y la pobreza persistente (Aide y Grau, 2004).

Como agravante de la deforestación, desde hace algunos años se reconoce el papel de la fragmentación y la degradación del hábitat como responsables de cambios en la estructura y función de los ecosistemas (Saunders, Hobbs, y Margules, 1991). La fragmentación provoca una disminución del tamaño medio de los parches de hábitat y los aísla. Otra de sus consecuencias es el aumento del llamado efecto 'borde'. La degradación

del hábitat, por el contrario, no implica un cambio en la utilización del terreno, pero es también un problema grave en los trópicos (FAO, 2005). Aunque el terreno sigue siendo de uso forestal, su composición y funciones biológicas quedan comprometidas por la intervención humana. La principal causa de la degradación forestal es la tala de explotación, con el corte selectivo de algunas especies. Todo ello aumenta la vulnerabilidad de muchas especies de animales y plantas a condiciones ambientales adversas, pero también ocasiona la creación de nuevos hábitats para otras especies más generalistas.

Saunders *et al.* (1991) y Bustamante y Grez (1995) señalan que la fragmentación, además de que puede ocasionar la extinción local o regional de especies, genera pérdida de los recursos genéticos, aumento en la ocurrencia de plagas, disminución en la polinización de cultivos, alteración de los procesos de formación y mantenimiento de suelos (erosión), disminución en la recarga de los mantos acuíferos y alteración de los ciclos biogeoquímicos, entre otros procesos que generan el deterioro ambiental.

La rotura o fragmentación es una de las formas de modificación de los hábitats que conlleva impactos demostrativos sobre la biodiversidad. Esta puede ser ocasionada por perturbaciones naturales como incendios, derrumbes, inundaciones etc., o por intrusiones antrópicas, como principal causante la deforestación y la desecación de humedales para ampliar la extensión de la frontera agropecuaria, y la construcción de carreteras. Los relictos de ecosistemas (de menor área), son rigurosamente afectados por la fragmentación debido a que ellos sólo pueden mantener mínimas poblaciones las cuales tienden a volverse más asequibles a la extinción o pérdida en la medida en que el tamaño de los relictos disminuye (Uribe Botero, 2015).

Entre las causas que provocan la fragmentación de hábitat tenemos procesos geológicos que lentamente alteran la configuración del medio ambiente físico, y actividades humanas, como, por ejemplo, la conversión de tierras, lo cual puede alterar el ambiente de una forma más rápida en la escala de tiempo (Navarro Rodríguez, González Guevara, Flores Vargas, y Amparán Salido, 2015).

Para (Gurrutxaga y Lozano Lurralde, 2010) las principales causas o procesos que fragmentan hábitats está la a) intensificación de la agricultura que afecta especialmente a zonas accesibles y fértiles como llanuras y fondos de valle; b) la intensificación del aprovechamiento forestal que inciden negativamente sobre las condiciones naturales del

hábitat; c) la urbanización y suburbanización del suelo es considerado uno de los mayores causantes de pérdida de biodiversidad y fragmentación territorial; d) infraestructuras de transporte como carreteras y aeropuertos; e) infraestructuras y captaciones en los cursos fluviales para la construcción de presas, embalses, trasvases entre cuencas y regadíos; f) actividades extractivas como la explotación de yacimientos mineros y petroleros, y g) finalmente incendios forestales.

Harris y Gallagher (en García, 2002) señalan cuatro consecuencias directas en la biodiversidad por la fragmentación del hábitat:

- Pérdida de especies que requieren grandes extensiones de terreno para su establecimiento (como en felinos).
- Pérdida de especies de gran movilidad (como en las aves).
- En los fragmentos con intervención humana se propician condiciones artificiales de abrigo y disponibilidad de alimento, lo cual por lo general favorece a las especies que se han adaptado al ambiente humano, en detrimento de las silvestres.
- La baja densidad de las poblaciones aisladas lleva al entrecruzamiento entre individuos emparentados y, subsecuentemente, a la extinción, como resultado negativo de la pérdida de diversidad genética.

La pérdida del hábitat es la razón más importante por la que muchos animales se encuentran en peligro de extinción o en alguna otra categoría de amenaza. La gran mayoría de las actividades humanas pueden causar la pérdida del hábitat. La construcción de complejos habitacionales, complejos turísticos, centros comerciales, carreteras, puentes, etc., a menudo obligan a los animales a abandonar su hábitat, con la consecuencia de invadir otros lugares y su forzosa adaptación, la cual, en ocasiones, afecta la población de la especie (Navarro Rodríguez *et al.*, 2015).

**Efectos y consecuencias de la deforestación:** La causa principal de la destrucción del bosque hoy en día se debe a actividades antrópicas que, a diferencia de los daños naturales, son implacables y devastadores (Calvo-Obado y Ortiz-Malavassi, 2012). Aunque gran parte de esta deforestación es conducida por fuerzas económicas nacionales e internacionales, la mayor parte no tiene un objetivo a largo plazo, sino que es el resultado de las actividades de subsistencia a nivel local (Butler, 2007).

El impacto más inmediato de la deforestación ocurre a nivel local, con la pérdida de servicios ecológicos que nos brindan los bosques. Estos tipos de hábitats le brindan a los humanos servicios valiosos, como la prevención de la erosión, asegurar el flujo regular del agua, control de inundaciones y sequía, tratamiento de agua, también disminuye la disponibilidad de recursos renovables, como madera, plantas medicinales, semillas, frutas, entre otras (Butler, 2007).

Además, los bosques juegan un papel vital en el funcionamiento de los sistemas naturales del planeta, los bosques regulan el clima local y global, mediante la absorción, creación de precipitación, intercambio de gases atmosféricos (Gaveau, Epting, Lyne, Linkie, Kumara, Kanninen, y Leader, 2009), cambio en los patrones del viento y las corrientes oceánicas, además de cambiar la distribución de la precipitación; si los bosques continúan siendo destruidos, los patrones globales del clima pueden volverse más inestables y extremos (Uribe, 2015).

## **2.7.Ecología del paisaje**

Según (Forman, 1983), la ecología del paisaje es el “estudio de las interacciones entre los aspectos temporales y espaciales del paisaje y sus componentes de flora, fauna y culturales”. Este estudio se explica en tres tipos de análisis:

- Estudio de las propiedades espaciales de las unidades del paisaje y sus relaciones. Estas unidades forman sombras sobre todo el paisaje, y la forma en que estas se reparten sobre el terreno condiciona los aspectos del paisaje cuyo análisis es altamente notable, así como las características espaciales de cada una, tales como su forma o el espacio que ocupan.
- Análisis del intercambio entre las componentes. Cada componente no es un elemento aislado, puesto que producen flujos entre ellas que también son de interés para su caracterización y la del paisaje como entidad integra.
- Análisis de la dinámica transitoria del paisaje. Esto se explica como la evolución de ese conjunto de componentes a lo largo del tiempo y los cambios que se producen en su estructura.

La ecología del paisaje se denomina como una disciplina que analiza no solamente la estructura del paisaje, sino además el funcionamiento del mismo. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la ecología del paisaje están intrínsecamente fusionadas

desde los inicios de ambas disciplinas, y del conjunto de métodos que se utilizan para el estudio del panorama (Olaya, 2011).

## **2.8. Métricas para cuantificar la fragmentación**

La fragmentación del paisaje se puede cuantificar a través de un conjunto de métricas de patrones espaciales que indican sobre la cantidad y configuración de los parches, la distribución de los tamaños de parches y los efectos de borde (Hermosilla *et al.*, 2019).

Las métricas de fragmentación pueden definirse como un conjunto de medidas cuantitativas agregadas, derivadas del análisis digital de mapas temáticos, estas métricas pueden aportar información que por sí solas consisten en un conjunto de valores numéricos, no obstante, desde el punto de vista de su valor comparativos, los resultados pueden aportar una información bastante valiosa acerca de la evolución y cambios de un lugar en específico (Aguilera, 2010).

La selección de métricas se realizará en función de su capacidad para caracterizar diversos aspectos de la fragmentación tales como: tamaño de parche, configuración espacial, forma del parche, entre otros (McGarigal, 2015), además el mismo autor describe tres niveles que permiten determinar la fragmentación como es:

- a) A nivel de fragmento o parche (patch level): los cálculos se aplican a cada fragmento individualmente.
- b) A nivel de clase (class level): los cálculos se aplican a cada conjunto de fragmentos de la misma clase, es decir, a aquéllos que tienen el mismo valor o que representan el mismo tipo de cobertura.
- c) A nivel de paisaje (landscape level): los cálculos se aplican al conjunto del paisaje, es decir, a todos los fragmentos y clases a la vez.

A continuación, se presenta una breve descripción de las métricas a nivel de clase que se analizaran en este estudio:

**Número de parches (NP):** Número de parches totales. Es indicador de varios procesos ecológicos. Adicionalmente se emplea como índice de heterogeneidad del paisaje y como base para el cálculo de otras métricas (McGarigal, 2015).

**Densidad de parches (PD):** La densidad de parches es un aspecto limitado, pero fundamental, del patrón de paisaje. La densidad de parches tiene la misma utilidad básica que el número de parches como índice, excepto que expresa el número de parches por

unidad de área que facilita la comparación entre paisajes de diferentes tamaños. Por supuesto, si el área total del paisaje se mantiene constante, entonces la densidad del parche y el número de parches transmiten la misma información (McGarigal, 2015).

**Densidad de borde (ED):** Es igual a la suma de las longitudes (m) de todos los segmentos de borde en el paisaje, dividido por el área total del paisaje (m) (McGarigal, 2015).

**Índice del vecino más cercano (ENN\_MN):** Mide la distancia entre cada centroide de entidad y la ubicación del centroide de su vecino más cercano. Si la distancia promedio es menor que el promedio de una distribución hipotética aleatoria, se considera que la distribución de las entidades que se analiza es agrupada; si la distancia promedio es mayor que la distribución hipotética aleatoria, se considera que las entidades están dispersas (McGarigal, 2015).

**Índice de forma (PAFRAC):** Una dimensión fractal mayor que 1 para un mosaico de paisaje bidimensional, indica una desviación de una geometría euclidiana (es decir, un aumento en la complejidad de la forma del parche). Los valores cercanos a 1 representan formas con perímetros muy simples, como cuadrados, y valores cercanos a 2 figuran formas altamente intrincadas (McGarigal, 2015).

## 2.9. Teledetección y SIG

Quirós Hernández (2011) define la teledetección como el conjunto de procesos que permiten obtener información de las imágenes de la superficie terrestre que son captadas a distancia desde el espacio aéreo o exterior en formato digital y que son procesadas posteriormente con programas y aplicaciones informáticos.

En una línea similar Navarrete (2017) define la Teledetección como a cualquiera detección a distancia, prácticamente, cuando se habla de teledetección se piensa en la teledetección espacial que es la tecnología relacionada con la adquisición de datos espaciales analógicos y digitalizados mediante satélites para la observación y el estudio de procesos naturales y artificiales en el ambiente terrestre, oceánico y atmosférico de nuestro planeta. Sin embargo, la teledetección no se limita a la "adquisición de datos", sino que comprende una segunda fase "el procesamiento" y una tercera que desemboca sobre la "confección de documentos utilizables por los usuarios".

Por otra parte Chuvieco (2008) define los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como programas que almacenan, gestionan, manipulan y representan gráficamente datos



con algún tipo de componente espacial, esto significa que la información que albergan esta referenciada geográficamente, ya se trate de mapas, estadísticas o datos climáticos sobre un territorio concreto, por lo que todas estas variables pueden relacionarse mutuamente de formas muy diversas. Además, los SIG permiten almacenar esa información espacial de forma eficiente, simplificando su actualización y acceso directo al usuario; en concreto amplían enormemente las posibilidades de análisis que brindan los mapas convencionales, mejorando su almacenamiento y visualización.

Olaya (2011) de forma similar define los SIG como un elemento que permite (analizar, presentar e interpretar hechos relativos a la superficie terrestre. El mismo autor argumenta que esta es una definición muy amplia por lo que concreta a los SIG como un conjunto de software y hardware diseñado específicamente para la adquisición, mantenimiento y uso de datos cartográficos.

La Teledetección es la técnica que permite obtener información a partir de sensores remotos a bordo de diferentes plataformas como satélites, aviones o drones, mientras que los Sistemas de Información Geográfica permiten analizar y representar toda esa información geolocalizada (Cabello y Paruelo, 2008).

## **2.10. Sensores remotos**

Olaya (2011) señala que en un sistema de teledetección, dos son los elementos tecnológicos principales que lo definen: el sensor y la plataforma. El sensor es el elemento que incorpora la capacidad de leer la radiación electromagnética y registrar su intensidad dentro de una zona concreta del espectro, en otras palabras es el aparato que permite tomar la imagen, especializado en tomar cientos de bandas en una región del espectro de gran amplitud.

Chuvieco (2008) explica dos tipos de sensores: 1) pasivos, cuando se limitan a recibir la energía proveniente de un foco exterior a ellos, y 2) activos, cuando son capaces de emitir su propio haz de energía, estos últimos son más flexibles, puesto que no dependen tanto como los primeros de las condiciones exteriores al sistema sensor-tierra.

La diferencia fundamental entre estos dos tipos de sensores es que los activos pueden funcionar en cualquier instante y no dependen de las condiciones atmosféricas o el momento del día (Cabello y Paruelo, 2008).

### **Resolución de un sistema sensor**

La resolución de un sistema sensor depende del efecto combinado de sus distintos componentes y de su habilidad para discriminar información de detalle (Pérez y García, 2013). La definición discriminar considera la capacidad de discriminar un objeto de otros (Chuvieco, 2008).

De acuerdo a Chuvieco (2008) y Olaya (2011) la resolución implica diversas manifestaciones, a continuación con más detalle cada una de ellas:

**Resolución espacial:** Indica la dimensión del objeto más pequeño que puede distinguirse en la imagen. En líneas generales es el equivalente al tamaño de píxel<sup>6</sup> es decir, a la dimensión real que un pixel de la imagen tiene sobre el terreno. La resolución espacial está en función de la capacidad resolutoria del sensor y las características de la plataforma tales como la altura a la que se sitúa, asimismo, la resolución espacial está relacionada con la superficie que cada imagen cubre sobre el terreno.

**Resolución espectral:** Indica el número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor. Todo sensor cubre una región particular del espectro y almacena esta mediante un número dado de bandas. La región del espectro abarcada y el número de bandas son los elementos que definen la resolución espectral. Esta será elevada si el número de bandas es alto, ya que cada banda cubrirá un rango de frecuencias de menor amplitud. De este modo, la información de dos frecuencias cercanas puede separarse, ya que estas serán recogidas en bandas distintas, mientras que si el número de bandas es menor pertenecerán a la misma banda y no podrá hacerse distinción alguna (la resolución será menor).

**Resolución radiométrica:** Hace mención a la sensibilidad del sensor, es decir a su capacidad para detectar variaciones en la radiancia espectral que recibe; este tipo de resolución resulta de notable ayuda en la interpretación de imágenes, especialmente en análisis digitales. Para cada una de las bandas que produce un sensor (asociada está a una determinada región del espectro según su resolución espectral), el dato recogido, que constituye su Nivel Digital, indica la intensidad correspondiente a esa región (Bravo, 2017). El nivel de detalle con el que puede medirse esa intensidad es el que define la resolución radiométrica del sensor.

**Resolución temporal:** Indica el tiempo que tarda el sensor en volver a tomar una imagen de una misma zona, es decir, se refiere a la periodicidad con la que éste adquiere imágenes de la misma porción de la superficie terrestre. Cabe recalcar que la resolución

temporal dependerá de la altura a la que se encuentra la plataforma que monta el sensor y también de las condiciones atmosféricas, ya que con sensores ópticos o térmicos no se podrá observar áreas cubiertas por nubes, por lo que en algunas zonas la cadencia de imágenes útiles puede ser notablemente más baja que el ciclo de adquisición del sensor.

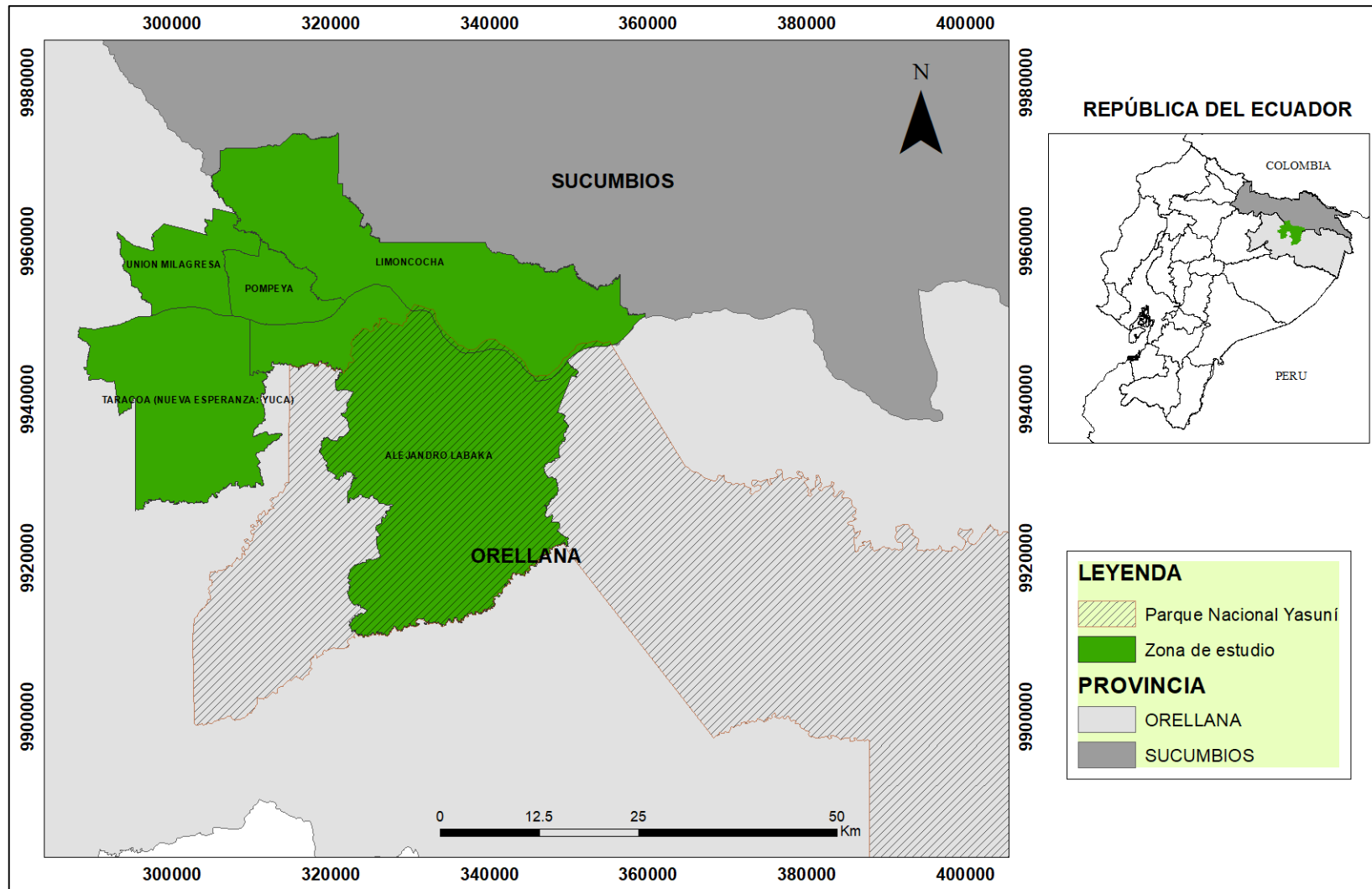
Es necesario aclarar que las cuatro resoluciones antes mencionadas se encuentran íntimamente relacionadas entre sí. A mayor resolución espacial, disminuye habitualmente la temporal, y es previsible que se reduzca también la espectral (Martinez y Mendoza, 2014). El principal problema se encuentra en la transmisión de las imágenes a la superficie terrestre y su posterior tratamiento. El aumento en cualquiera de los cuatro tipos de resolución significa también un incremento considerable del volumen de datos a procesar, tanto por el sensor como por la estación receptora, así como variaciones notables del precio (Quirós, 2011).

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Área de estudio**

El área de estudio está conformada por la parroquia Limoncocha cantón Shushufindi, provincia de Sucumbíos, las parroquias Unión Milagreña y Pompeya del cantón Joya de los Sachas, provincia de Orellana y las parroquias Alejandro Labaka y Taracoa (Nueva Esperanza-Yuca) del cantón Francisco de Orellana provincia de Sucumbíos. Su extensión total es de 221,847 ha., con un rango altitudinal que va desde 150 a 372 m s.n.m., su temperatura promedio anual oscila de 23 a 35 °C, y sus precipitaciones promedio anual van de 2,000 a 3,750 mm, siendo los meses de marzo y junio los de mayor precipitación, y con menor precipitación enero y agosto, y una humedad anual constante que varía entre el 80 y 90%. Por su ubicación y las características geográficas de la región, la topografía de la zona se caracteriza por ser regularmente plana a ligeramente ondulada, típica de llanura amazónica, aunque también puede observarse zonas donde el relieve es ligeramente montañoso conforme se vaya aproximando hacia las estribaciones de la Cordillera de los Andes. La zona está ubicada en la vertiente del Amazonas dentro del sistema hidrográfico de la cuenca del Río Napo; conformada, a su vez, por las subcuencas hidrográficas de los ríos: Aguarico, Jivino, Cononaco, Nashiño, Curaray, Coca, Yasuní, Tiputini, Payamino, Indillama, Bueno, y los drenajes menores como Capucuy (Blanco), Itaya, Mandi, Pañayacu, La Sur, Sin Nombre, Jivino, Aguajal, y Sacha.

El desarrollo económico de la zona está ligado al desempeño de los sectores productivos, entre ellos el sector agropecuario. La agricultura es una de las principales fuentes de ingresos para la población de la región, en especial para los pequeños y medianos productores, el sector agrícola produce principalmente cacao, café, palma aceitera, maíz, plátano, yuca, palmito, arroz y caña. En menor proporción naranja, banano, coco, achotillo, piña, toronja y limón. Existen también cultivos de malanga y sachá inchi, que no son muy representativos, pero si atractivos para mercados especiales. El sector pecuario está dominado por la producción de ganado bovino, porcícola, avícola y piscícola. Entre otras actividades económico productivas del sector está la explotación de minas y canteras, actividades petroleras, comercio al por mayor y menor, mano de obra, turismo, actividades de alojamiento y servicio de comidas, entre otras.



*Figura 1.* Ubicación del área de estudio

## **3.2. Base de datos**

La información de edición política administrativa del Ecuador a nivel provincial, cantonal y parroquial se descargó del Geoportal del Instituto Geográfico Militar del Ecuador. Además información cartográfica secundaria existente en el Centro de Geomática Ambiental (CINFA) de la Universidad Nacional de Loja e información bibliográfica de estudios relacionados a la temática de esta investigación.

La búsqueda de las imágenes satelitales se realizó a través de la plataforma virtual de la base de datos del Servicio Geológico de Estado Unidos (USGS GloVis) en el siguiente link <https://glovis.usgs.gov/app>, donde se descargó una imagen por cada año 1987 y 2018.

Una imagen satelital Landsat 5 TM del año 1987 y una imagen Landsat 8 OLI TIRS del año 2018.

## **3.3. Métodos**

### **3.3.1. Procesamiento de imágenes satelitales**

Se refiere al conjunto de métodos y técnicas para extraer información, con el fin de obtener el producto final de un paquete de imágenes satelitales, en lo que respecta a su clasificación supervisada, que es el producto evidente de la interpretación visual y digital.


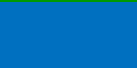





El procesamiento de la información, así como su posterior tratamiento digital para la clasificación de cobertura y uso del suelo, se efectuó gracias al manejo de paquetes informáticos (TerrSet y ERDAS IMAGINE 2015), que en lo posible son de libre acceso para el procesamiento digital de imágenes.

Para procesar un paquete de imágenes satelitales Landsat TM 5 y Landsat OLI 8 es necesario realizar una corrección geométrica, esto significa corregirlas en la posición geométrica a la zona de Ecuador, en la proyección WGS 84 zona 18N. Este problema se lo corrigió con la información de la metadata de cada una de las imágenes, proceso indispensable para asegurar la calidad de resultados en el trabajo investigativo. Además se realizó la corrección atmosférica a cada imagen de satélite con el fin de corregir los problemas causados por las distorsiones provocadas por la atmósfera al momento de la toma de las escenas. La información requerida por el módulo se obtuvo de la metadata de cada imagen.

### 3.4. Metodología para identificar los cambios en la cobertura vegetal y uso del suelo

Posterior a las correcciones y demás procedimientos, se determinó las áreas de entrenamiento o regiones de interés: ROIS (Tabla 1), donde se identificó las áreas con características homogéneas en base a la interpretación visual de imágenes de satélite, utilizando la combinación de bandas para estudios de vegetación en imágenes Landsat 5 y 8.

**Tabla 1.** Categoría y color áreas de entrenamiento

Categoría	Color
Bosque	
Cuerpos de agua	
Zona Antrópica	
Área Agropecuaria	
Área sin Cobertura Vegetal	
Nubes	
Sombras	

Una vez que se dispone de un conjunto de categorías examinadas y reagrupadas, se ejecutó la clasificación supervisada tomando en cuenta algunos tipos de clasificadores:

- Clasificador de Mínima Distancia
- Clasificador de Paralepípedos
- Clasificador de Máxima Probabilidad (MaxLike)
- Clasificador por Redes Neuronales

Se seleccionó el clasificador de Máxima Probabilidad (MaxLike), este es un algoritmo paramétrico que asume distribución estadística para las clases consideradas, y se conoce los sitios de entrenamiento en territorio, es uno de los más empleados en la clasificación supervisada (José *et al.*, 2012), y ha reportado resultados óptimos en otros estudios.

Se aplicó la clasificación supervisada porque permite al analista explorar diferentes tipos de atributos o variedades por medio del análisis estadístico multivariado,

este método cuantifica los valores de cada píxel de una o varias bandas de una imagen ráster, crea y evalúa las clases para posteriormente reclasificar de acuerdo a las apariencias de cada clase. Este método es práctico para crear de forma automática un mapa de uso del suelo o cambios en la cobertura vegetal de cualquier zona o área de interés (Pucha, 2015).

A continuación se realizó el análisis post clasificación con el fin de reorganizar aquellos píxeles que se categorizaron en forma incorrecta, agrupar categorías y agregar clases que por tener la misma reflectividad son difícilmente separables. Para dicho procedimiento se utilizó el software ERDAS IMAGINE 2015 que consiste en crear polígonos manualmente, verificando su homogeneidad en cada sitio. Con esto se obtuvo el resultado final de la clasificación.

#### **3.4.1. Validación de la Clasificación**

Estrictamente ninguna clasificación se considera válida hasta que su grado de exactitud sea evaluado. Esto puede entenderse como el grado de concordancia o similitud entre las categorías asignadas por el clasificador y sus ubicaciones correctas según los datos del usuario y considerados como datos de referencia a tomar como relación el conjunto de sitios de entrenamiento. Este procedimiento constituiría en realidad sólo una evaluación de la calidad de selección de los sitios de entrenamiento. El instrumento más usual para evaluar la exactitud de una clasificación es la matriz de confusión, también llamada matriz de error o de contingencia. Esta es una matriz cuadrada de  $n \times n$ , donde  $n$  es el número de clases o categorías.

#### **Matriz de Confusión**

Coronado (2001) define esta matriz como una herramienta analítica que permite evaluar la exactitud temática de una clasificación, mediante la comparación de una clasificación determinada frente a una clasificación de referencia la cual es asumida como el valor verdadero (confianza del 100%). En dicha matriz sobre las columnas tienen entrada los píxeles de clasificación de referencia y en las filas los píxeles de la clasificación a evaluar. La matriz permite entonces mediante indicadores medir el grado de concordancia o coincidencia entre la clasificación evaluada y la clasificación de referencia. Uno de los subproductos derivados de esta matriz es el Coeficiente Kappa ( $k$ ) del que podría decirse es el parámetro más importante ya que determina cualitativamente la veracidad del clasificador. El coeficiente kappa puede tomar valores entre -1 y +1,



mientras más cercano a +1, mayor es el grado de concordancia inter-observador, por el contrario, mientras más cercano a -1, mayor es el grado de discordancia inter-observador (Chuvieco, 2002). Los valores de concordancia de la clasificación se miden de acuerdo a valores determinados por Landis y Koch en 1977 (Tabla 2), donde indican concordancias casi perfectas a partir de valores entre 0,81 y 1,00.

**Tabla 2.** Valoración del coeficiente kappa

<b>Coeficiente Kappa</b>	<b>Fuerza de la Concordancia</b>
<0,00	Pobre
0,00 - 0,20	Leve
0,21 – 0,40	Aceptable
0,41 – 0,60	Moderado
0,61 – 0,80	Sustancial
0,81 – 1,00	Casi perfecta

**Fuente:** (Landis y Koch, 1977)

### **3.5. Metodología para analizar la dinámica de fragmentación**

Para el cumplimiento de este objetivo se reclasificó la clasificación inicial de cinco categorías a tres categorías (Tabla 3) con el fin de discriminar información irrelevante. Para analizar la dinámica de fragmentación se utilizó el paquete informático de libre acceso Fragstats 4.2.1 que permite obtener de forma sencilla un gran número de índices de ecología del paisaje, las numerosas investigaciones llevadas a cabo con este programa corroboran su gran potencial. Para el cálculo de los índices a través de este programa se necesita la reclasificación (ráster) de la fotointerpretación del año 1987 y 2018 (formato tiff).

**Tabla 3.** Reclasificación de uso del suelo

---

De Bosque a Bosque
De Cuerpos de Agua a No data
De Zona Antrópica a No Bosque
De Área Agropecuaria a No Bosque
De Área sin Cobertura Vegetal a No data

---

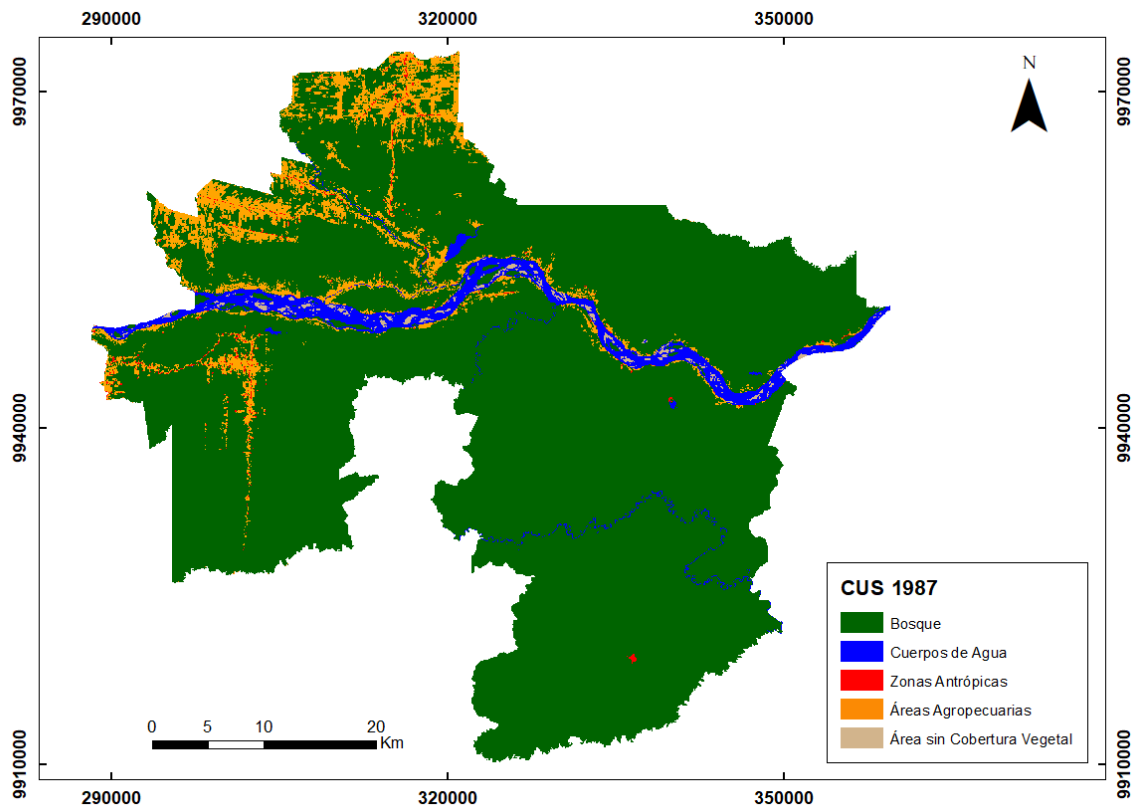
**Fuente:** Co-Director Pablo Cuenca Ph. D.

A continuación se establecieron los atributos determinantes del patrón del paisaje mediante métricas que tuvieran un comportamiento adecuado al tipo de estudio. Las métricas utilizadas fueron: Número de parches (NP), Densidad del parche, Densidad de borde, Índice de vecino cercano e Índice de forma. Finalmente se incorporó al software Fragstats 4.2.1 la imagen (formato tiff) y se seleccionó los índices de paisaje a determinar, resultando finalmente un documento con los datos de interés.

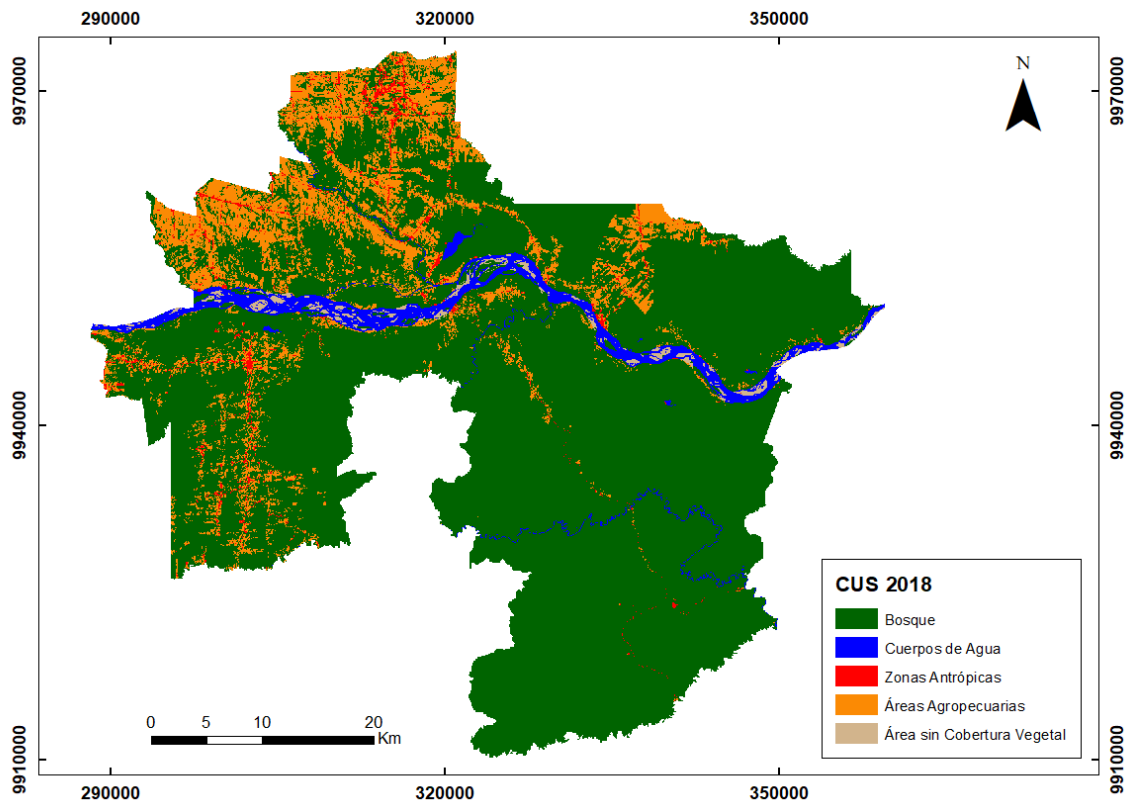
#### IV. RESULTADOS

##### 4.1. Cobertura y uso del suelo período 1987 – 2018

Como resultado del primer objetivo se obtuvo mapas de cobertura y uso del suelo del Parque Nacional Yasuní: área Limoncocha para los años 1987 y 2018 (Figura 2), donde se observa los cambios dados en la zona y periodo de estudio.



*Figura 2.* Cobertura y Uso de Suelo del Parque Nacional Yasuní área Limoncocha año 1987



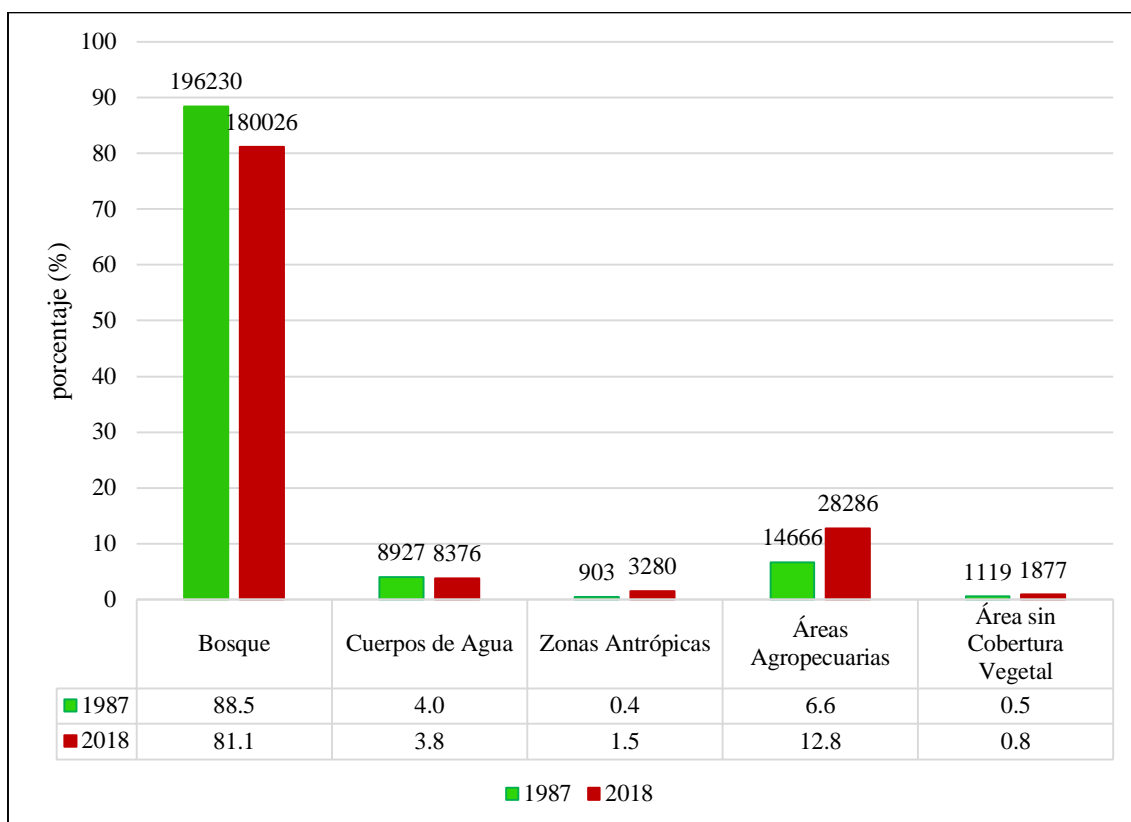
*Figura 3.* Cobertura y Uso de Suelo del Parque Nacional Yasuní área Limoncocha año 2018.

#### 4.2. Cambios espacio temporal en la cobertura de uso del suelo entre el año 1987 – 2018

La evolución de los usos del suelo para el año 1987 y 2018 del área de estudio queda indicada en la Figura 4, en esta se detalla valores expresados en porcentaje y número de hectáreas.

Los tipos de cobertura que se han afectado y disminuido en la zona de estudio son el bosque, el cual sufrió una disminución en su superficie total, del 7.4% (16,204 ha), por el contrario, las coberturas zonas antrópicas y áreas agropecuarias incrementaron su superficie en un lapso de 31 años, ganando 1.1% (2,377 ha), y 6.2% (13,620 ha) respectivamente.

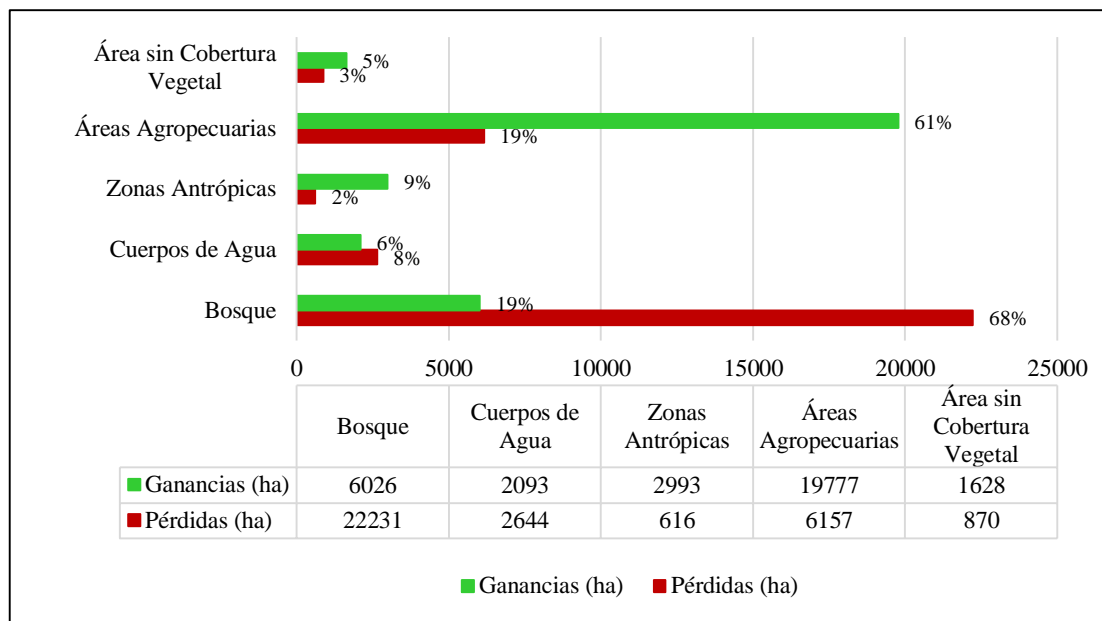
La principal causa del cambio de uso del suelo es de origen antrópico, siendo la principal la expansión de las actividades agropecuarias en el Noroeste de la zona en estudio.



**Figura 4.** Usos y coberturas del suelo en el Parque Nacional Yasuní: área Limoncocha en los años 1987 y 2018 (porcentaje y hectáreas)

#### 4.2.1. Ganancias y Pérdidas del uso y cobertura del suelo entre el año 1987 y 2018 en el Parque Nacional Yasuní: área Limoncocha

Se puede observar las hectáreas ganadas y perdidas en forma general por cada uno de los usos y coberturas del suelo en los períodos de tiempo analizados. Además, se puede visualizar que la cobertura bosque es la que mayores transformaciones presenta (Figura 5).



**Figura 5.** Ganancias y pérdidas registradas para cada uno de los usos y coberturas del suelo entre el año 1987 y 2018 en el Parque Nacional Yasuní: área Limoncocha

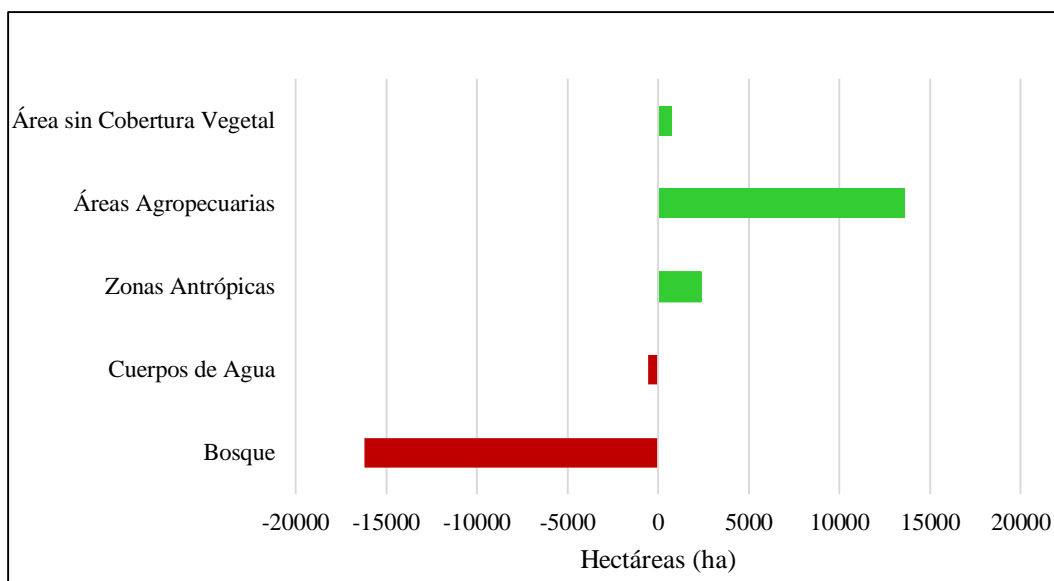
Las pérdidas y ganancias que se han producido a lo largo de 31 años (1987-2018) demuestran resultados significativos en el área Limoncocha. Se observa que las coberturas bosque y área agropecuaria han sufrido transiciones muy representativas en comparación a las demás coberturas analizadas. A detalle se observa que el bosque es la categoría con más pérdidas, siendo de aproximadamente 22,231 ha y una ganancia de 6,025 ha. De la misma manera en lo concerniente a la cobertura área agropecuaria se observa que se ha producido una ganancia de 19,777 ha debido al aumento de actividades agrícolas y una pérdida de 6,157 ha debido al abandono de tierras por parte de los agricultores. Seguido por la cobertura zona antrópica que corresponde a la infraestructura del lugar donde en 31 años ha ganado 2,993 ha en comparación a sus pérdidas que son de 616 ha. Finalmente el área sin cobertura vegetal no demuestra gran diferencia lo que indica una pérdida de 870 ha y una ganancia de 1,628 ha (Figura 5).

#### **4.2.2. Cambio neto del uso y cobertura del suelo entre el año 1987 y 2018 en el Parque Nacional Yasuní: área Limoncocha**

El cambio neto se obtiene de la diferencia entre las ganancias y pérdidas de cada categoría, es decir, el cambio neto es el resultado final de las ganancias menos la pérdida que se generó en 31 años. A continuación se demuestran los resultados obtenidos (Figura 6).

Los cambios netos más significativos se dan en la cobertura bosque, con una

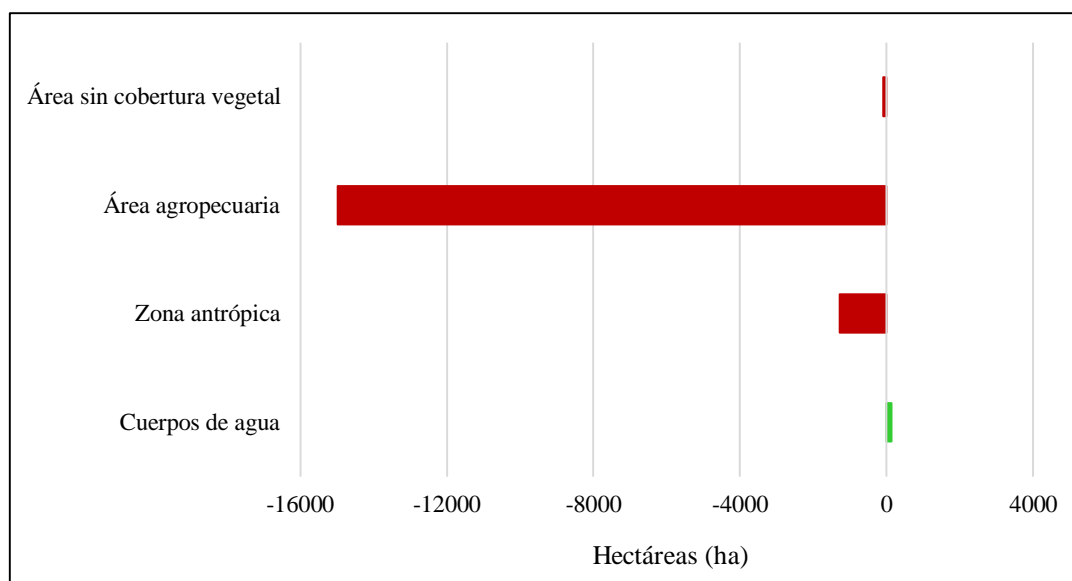
disminución de 16,205 ha, por otro lado la cobertura áreas agropecuarias han incrementado 13,620 ha.



**Figura 6.** Cambio neto del uso y cobertura del suelo entre el año 1987 y 2018 en el Parque Nacional Yasuní: área Limoncocha.

#### 4.2.3. Contribución al cambio neto del Bosque

La contribución al cambio neto del bosque, demuestra que la cobertura área agropecuaria es la principal responsable en este proceso de cambio. Esto se presume a la necesidad de talar bosques para tener suelo apto para el cultivo, hacer embalses de agua para regar, canalizar ríos, entre otros. Los resultados permiten asumir que al parecer la agricultura ha multiplicado los impactos negativos sobre el ambiente. De la misma manera la cobertura zona antrópica con su desarrollo socioeconómico es uno de los procesos que presenta significativo progreso, que en un futuro representarían un impacto negativo para los ecosistemas (Figura 7).



**Figura 7.** Contribuciones al cambio neto del Bosque entre el año 1987 y 2018 en el Parque Nacional Yasuní: área Limoncocha.

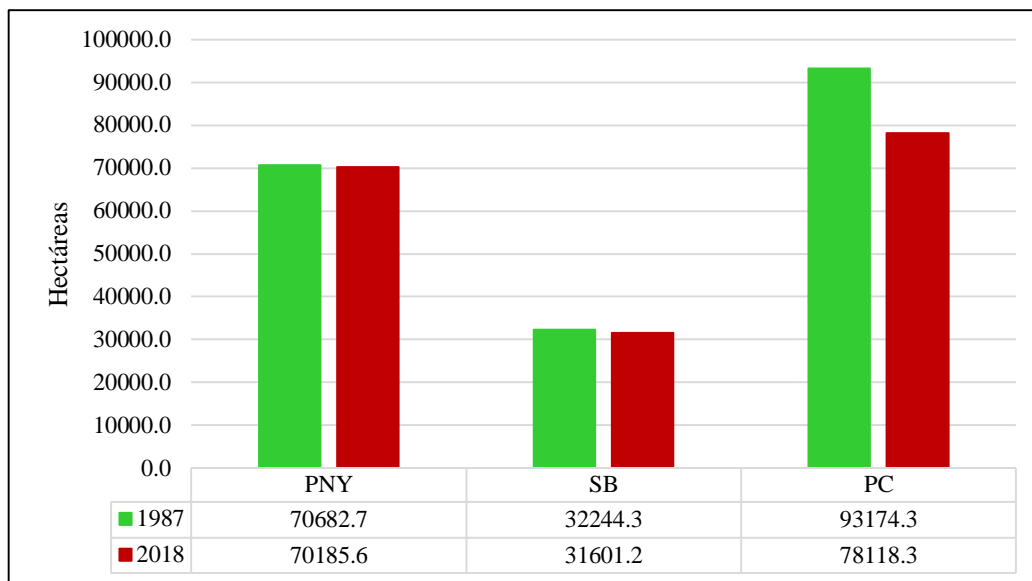
### 4.3. Patrones de deforestación

Siguiendo los enfoques utilizados en otros estudios, como los propuestos por (Nagendra, Somajita, Pareeth, y Dutt, 2009), (Cuenca y Echeverria, 2017) definimos tres zonas (Tabla 4) para analizar la deforestación: Parque Nacional Yasuní (AP), Programa Socio Bosque (SB) y Paisaje Circundante (PC).

**Tabla 4.** Hectáreas de Bosque deforestadas entre el año 1987 y 2018 en el Parque Nacional Yasuní: área Limoncocha

	<b>1987 (ha)</b>	<b>2018 (ha)</b>	<b>Ha deforestadas</b>
Parque Nacional Yasuní (PNY)	70682.67	70185.62	497.05
Programa Socio Bosque (SB)	32244.3	31601.21	643.09
Paisaje Circundante (PC)	93174.3	78118.29	15056.01





**Figura 8.** Deforestación en Parque Nacional Yasuní, Socio Bosque y Paisaje Circundante periodo 1987-2018

Se visualiza que entre el año 1987 y 2018 se deforestó cerca de 497,05 ha de bosque en el Parque Nacional Yasuní, así también, se deforestó cerca de 643,09 ha de bosque, en áreas donde a partir del año 2008 se implementó el Programa Socio Bosque cuyo objetivo principal es la conservación y protección de bosques nativos, y alrededor de 15,056 ha de bosque, se perdió en el área restante de la zona de estudio (Figura 8).

#### 4.4. Análisis de fragmentación

Se tomó en cuenta los enfoques propuestos por (Gaveau, Epting, Lyne, Linkie, Kumara, Kanninen, y Leader, 2009) y (Cuenca y Echeverria, 2017) donde se determinó tres zonas para analizar la fragmentación del Bosque: Parque Nacional Yasuní (AP), Programa Socio Bosque (SB) y Paisaje Circundante (PC).

Se evaluó los patrones espaciales de la cubierta forestal utilizando el software Fragstats 4.2, porque proporciona un conjunto potente y completo de descriptores de patrones espaciales. Los siguientes índices de clase se consideraron para tal análisis: a) número de parches (NP), da una idea de la medida en que el bosque se encuentra dividido o fragmentado.; b) densidad de parches (PD), que corresponde al número de parches por hectárea; c) densidad del borde (ED); d) índice del vecino más cercano (ENN\_MIN) aporta información acerca del grado de aislamiento de los distintos fragmentos; y e) índice de forma (PAFRAC), que aporta información de la complejidad geométrica de los fragmentos. El uso combinado de estas métricas ayuda a cuantificar la disminución de la

cobertura de vegetación, la reducción de los tamaños de parches, el incremento del número de parches y la densidad de bordes de vegetación.

Se tomará en cuenta únicamente los valores para la cobertura de Bosque, debido a que procesos de fragmentación en coberturas de zonas antrópicas, cuerpos de agua, áreas sin cobertura vegetal y tierras agropecuarias son irrelevantes para el presente objetivo.

Se detalla cuantitativamente los cambios que han existido entre el año 1987 y 2018 dentro del área de estudio, mediante el cálculo de métricas de fragmentación para cada clase correspondiente (Tabla 5).

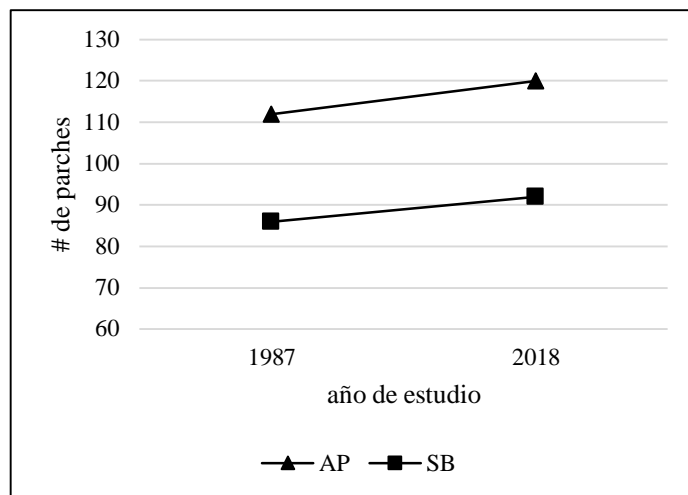
**Tabla 5.** Métricas de fragmentación de las zonas establecidas en los años 1987 y 2018

	<b>NP</b>		<b>PD</b>		<b>ED</b>		<b>ENN_MN</b>		<b>PAFRAC</b>	
	<b>1987</b>	<b>2018</b>	<b>1987</b>	<b>2018</b>	<b>1987</b>	<b>2018</b>	<b>1987</b>	<b>2018</b>	<b>1987</b>	<b>2018</b>
<b>AP</b>	112	120	0.16	0.17	3.35	7.46	67.98	67.53	1.39	1.49
<b>SB</b>	86	92	0.26	0.28	2.39	5.75	66.70	75.73	1.31	1.50
<b>PC</b>	1390	2817	1.18	2.39	21.90	45.46	77.21	70.35	1.35	1.37

A continuación, se exponen las variaciones porcentuales para cada métrica de fragmentación que ha presentado en el Parque Nacional Yasuní: área Limoncocha (Tabla 6).

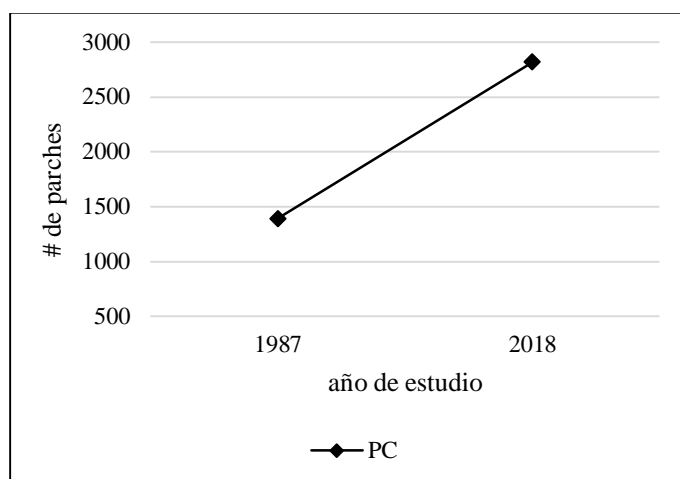
**Tabla 6.** Diferencia en cambios porcentuales de los valores de las métricas para las zonas establecidas entre los años 1987 y 2018

	<b>NP</b>	<b>PD</b>	<b>ED</b>	<b>ENN_MN</b>	<b>PAFRAC</b>
<b>AP</b>	+7.14	+6.25	+122.68	-0.66	+7.19
<b>SB</b>	+6.97	+7.69	+140.58	+13.53	+14.5
<b>PC</b>	+102.66	+102.54	+107.57	-8.88	+1.48



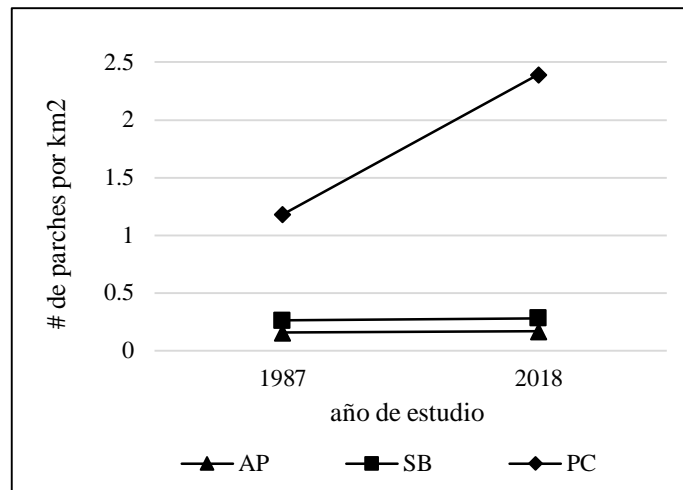
**Figura 9.** Comparación de resultados de métrica de Número de Parches para el año 1987 – 2018

Se visualiza que para la métrica Número de Parches entre 1987 y 2018, en las categorías AP y SB hubo un aumento del 7.14% y 6.97% respectivamente (Figura 9).



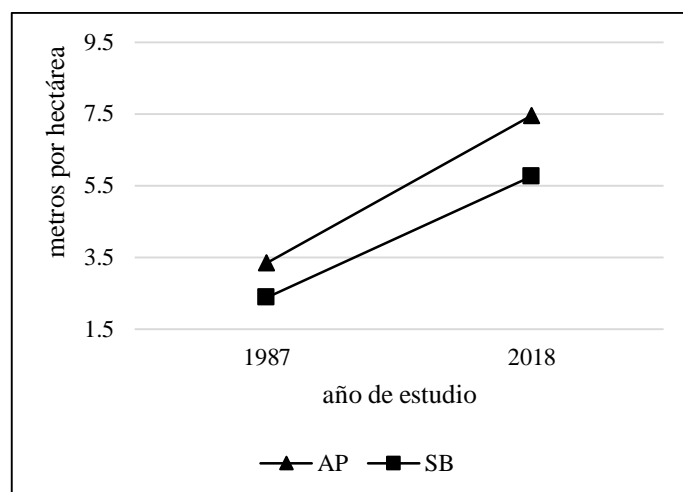
**Figura 10.** Comparación de resultados de métrica de Número de Parches para el año 1987 – 2018

Se visualiza que para la métrica Número de Parches entre 1987 y 2018, en la categoría PC hubo un aumento de 102.66% (Figura 10).



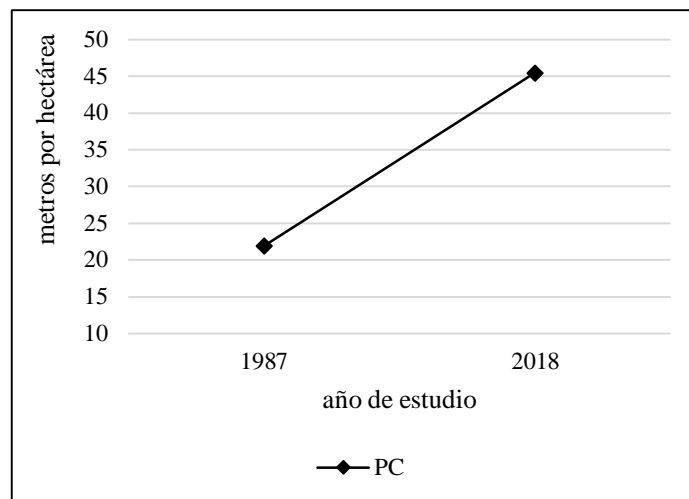
**Figura 11.** Comparación de resultados de métrica de Densidad de Parches para el año 1987 – 2018

Se visualiza que para la métrica Densidad de Parches entre 1987 y 2018, en las categorías AP, SB Y PC hubo un aumento del 6.25%, 7.69% y 102.54% respectivamente (Figura 11).



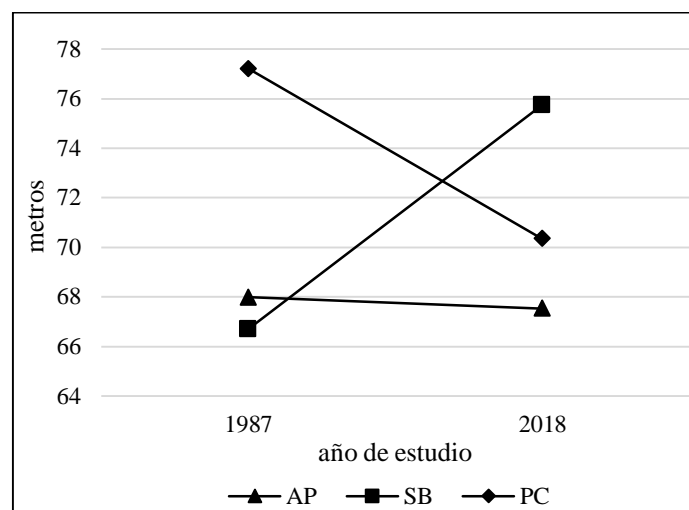
**Figura 12.** Comparación de resultados de métrica de Densidad de Borde para el año 1987 – 2018

Se visualiza que para la métrica Densidad de Borde entre 1987 y 2018, en las categorías AP, SB hubo un aumento de 122.68% y 140.58% respectivamente (Figura 12).



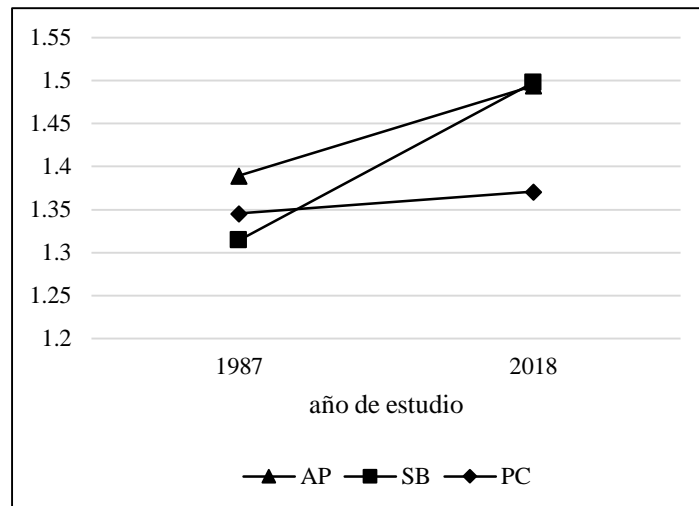
**Figura 13.** Comparación de resultados de métrica de Densidad de Borde para el año 1987 – 2018

Se visualiza que para la métrica Densidad de Borde entre 1987 y 2018, en la categoría PC hubo un aumento del 107.57 % (Figura 13).



**Figura 14.** Comparación de resultados de métrica Índice del vecino más cercano para el año 1987 – 2018

Se visualiza que para la métrica Índice del vecino más cercano entre 1987 y 2018, en las categoría AP y PC hubo una disminución del 0.66% y 8.88% respectivamente, mientras que en SB hubo un aumento del 13.53% (Figura 14).



**Figura 15.** Comparación de resultados de métrica Índice de forma para el año 1987 – 2018

Se visualiza que para la métrica Índice de forma entre 1987 y 2018, en las categorías AP, SB Y PC hubo un aumento del 7.19%, 14.5% y 1.48% respectivamente (Figura 15).

## V. DISCUSIÓN

A partir del análisis exhaustivo de los resultados, se pudo tener una idea que permita entender el comportamiento progresivo de los cambios del uso del suelo, en un periodo de 31 años (1987 - 2018) en el Parque Nacional Yasuní: área Limoncocha.

Diversos factores son responsables del cambio de uso del suelo en un determinado territorio (García, Cedillo, Pérez, y Balderas, 2012), uno de los principales factores del cambio en el uso de suelo es el crecimiento demográfico, que trae consigo al aumento de superficies destinadas a cultivos, preparación de ganado, explotación de madera, instalaciones petroleras, entre otras. Sin duda, la población es decisiva en la magnitud del territorio que es utilizado en estas actividades (Semarnat, 2012). Los datos que se presentan demuestran que futuros incrementos de la población se manifestarán sobre el uso del suelo, lo cual provocará cambios en el paisaje en algunas décadas.

Durante décadas, la Amazonía ecuatoriana ha sido el epicentro de una de las operaciones petroleras más contaminantes de todos los tiempos. El auge petrolero iniciado por Texaco en la década de 1970 es bien conocido como el principal impulsor de la deforestación en este bosque de sorprendente biodiversidad, hogar de muchas naciones indígenas. Una vez que se han construido las carreteras para oleoductos, pozos petrolíferos y pozos de petróleo, una oleada tras otra de colonos vienen a despejar el bosque y establecer pastos y la agricultura. Esta conversión drástica ha resultado en la pérdida de más de 1 millón de acres de selva tropical virgen desde 1990 (Mainville, 2019).

Estudios realizados indican que la Región Amazónica Ecuatoriana (RAE) es considerada la fuente más importante de agua dulce y biodiversidad, por su función reguladora del clima del planeta y sumidero de gases del efecto invernadero a escala global, mientras que a nivel nacional sigue siendo vista como una región que alberga una diversidad única de flora y fauna, densamente poblada por nacionalidades indígenas y grupos en aislamiento voluntario (Tagaeri y Taromenane del grupo waorani), además, es rica en yacimientos de petróleo, minerales y madera tropical (López, Espíndola, Calles, y Ulloa, 2013).

Para determinar los cambios de uso del suelo en el Parque Nacional Yasuní: área Limoncocha, se tomó en consideración el Nivel I de la leyenda temática de coberturas y usos del suelo del Ministerio del Ambiente, donde se identificó cinco usos y coberturas del suelo, siendo los más representativos el bosque, área agropecuaria y zona antrópica.

La dinámica del cambio de uso del suelo en el Parque Nacional Yasuní: área Limoncocha, se debe fundamentalmente por el crecimiento desordenado de la población y avance de la frontera agrícola, registrando la mayor ganancia en superficie de 2,993 y 19,777 ha respectivamente, a la vez desencadena alteraciones en la estructura y funcionalidad del suelo (Pinos, 2016), además ejercen mayor presión en la cobertura natural. El bosque es la cobertura con mayor pérdida de superficie reduciendo 48.36% (16,204 ha) en un lapso de 31 años, donde se registra expansión agrícola a expensas del bosque, apertura de vías (1er, 2do y 3er orden). Otro componente que probablemente influye en el descenso de la superficie de bosque es la deforestación, primordialmente en el noroeste de la Amazonía Ecuatoriana (Tapia-Armijos *et al.*, 2015). Además la explotación de yacimientos petrolíferos, la extracción de madera de especies con alto valor comercial, los cuales se encuentran altamente amenazados, puesto que el aprovechamiento forestal se realiza sin medida, y en muchos casos ilegalmente y (Fontaine, 2009).

Entonces, los cambios más significativos a lo largo de 31 años que comprende este estudio, se dan en la cobertura bosque, el cual ha disminuido de 196,230 ha en el año 1987 a 180,026 ha para el año 2012, que representa el 81.1% de la zona de estudio la cual comprende cinco parroquias: Limoncocha, Pompeya, Unión Milagresa, Taracoa y Alejandro Labaka. Esta disminución se debe a la agresiva intervención humana al incrementar sus actividades agropecuarias, principalmente en el noroeste del área en estudio.

Por el contrario, en el año 1987 las áreas agropecuarias ocuparon una extensión de 14,666 ha, mientras que para el año 2018 la superficie fue de 28,286 ha, lo que representa un incremento del 40.64 %, esto trae consigo la destrucción y salinización del suelo, la contaminación por plaguicidas y fertilizantes, la deforestación o la pérdida de biodiversidad genética, lo que a largo plazo representara un impacto negativo para el medio ambiente. Los sectores que presentan un mayor incremento de la superficie agrícola fueron: la parroquia Limoncocha, Unión Milagresa, Pompeya y Taracoa, debido principalmente a que en las últimas dos décadas se ha expandido cada vez más, y sin mucha atención al público: la industria africana del aceite de palma. Transformando radicalmente el ecosistema extremadamente rico en monocultivos en grandes extensiones de tierra, la industria del aceite de palma ahora ocupa más de 160 000 acres en las



provincias amazónicas de Sucumbíos y Orellana, y continúa invadiendo cada vez más las tierras ancestrales indígenas (Mainville, 2019).

Asimismo, la cobertura zonas antrópicas para el año 2018, presentaron un incremento de 2,377 ha en relación al año 1987, lo que representa el 7.1 % debido principalmente al crecimiento poblacional que viene acompañado del desarrollo socioeconómico, esto es: construcción de vías, plantas petroleras, infraestructuras, entre otras, que en un futuro representarían un impacto negativo para los ecosistemas.

En lo que respecta a la cobertura cuerpos de agua, se observó una disminución de 551 ha que representa el 1.64%. Felisa y Ibarlucea, (2003) en su estudio explican que esto puede darse porque la vegetación ribereña se encuentra constantemente influenciada por las condiciones de humedad del suelo, lo que genera un constante crecimiento del follaje cubriendo la superficie ocupada por este factor.

El área sin cobertura vegetal, muestran un incremento de 2.26% lo que significa 759 ha más en relación al año 1987. Este incremento probablemente sea provocado por las actividades antrópicas como la deforestación para implementar sistemas agrícolas y agropecuarios (Cueva y Chalán, 2010).

En base a lo anterior expuesto, se puede corroborar que el incremento de zonas antrópicas conlleva al aumento de tierras destinadas a construcción de viviendas, negocios comerciales, apertura de vías, incremento de infraestructuras petroleras y consecuentemente la disminución y pérdida de extensión de coberturas con fines de producción agrícola y ganadera.

### **Patrones de deforestación**

La deforestación es consecuencia de las principales presiones ejercidas en la Amazonía (agricultura y ganadería a pequeña y gran escala, infraestructura vial, hidroeléctricas, extractivos, entre otras). Tiene numerosos y complejos impactos en el bioma: aumenta la erosión, altera la hidrología, libera carbono, Cambiando el clima local y global y destruyendo la biodiversidad. La pérdida de bosques significa la pérdida de servicios ecosistémicos, impactos directos e indirectos en los medios de vida de las personas que viven dentro y fuera del bioma amazónico (Charity S., Dudley N., 2016).

El presente estudio evaluó si el PNY y el SB han experimentado diferentes patrones de cambio en la cubierta forestal y la fragmentación en comparación con el PC

(no protegido). Estos tipos de estudios son complementarios para determinar el efecto de las AP y SB frente a la deforestación, puesto que se analizan en un contexto de grandes cambios y paisajes en los que están introducidas las AP y programa SB.

Los resultados del presente estudio revelaron la pérdida acelerada de bosques en PNY, SB y en el PC en los últimos 31 años, en comparación con los hallazgos de otros estudios realizados en los trópicos (Gaveau, Epting, Lyne, Linkie, Kumara, Kanninen, y Leader-Williams, 2009).

El primer escenario corresponde al Parque Nacional Yasuní, el cual en el año 1987 cubría el 36% (70,683 ha) de la zona de estudio, mientras que para el año 2018 se redujo a 70,186 ha, esto representa el 39%, dichos valores indican que se perdió 497.05 ha de bosque. En el año 1989 fue declarado Reserva de la Biosfera por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) (MAE, 2015), si bien, dichos valores indican que pese a ser declarada área protegida por el gobierno ecuatoriano, se sigue realizando actividades que fomentan la destrucción del bosque protegido por parte de comunidades que viven en el sector. La tasa anual de deforestación en el PNY de 1987 al 2018 fue de 16 ha/año.

El siguiente escenario a analizar es el área que cubre el programa de protección de bosques Socio Bosque, el mismo que en el año 2018 se redujo a 31,601 ha lo que representa el 17% en comparación al año 1987 que cubría 32,244 ha del área de estudio. Esto significa que se deforestaron cerca de 6,431 ha de bosque en un periodo de 31 años. Cabe recalcar que el Gobierno de la Revolución Ciudadana, en cumplimiento del Plan Nacional de Desarrollo que plantea la reducción de la tasa de deforestación en un 50%, creó desde el 2008 el Programa Socio Bosque cuyo objetivo principal es la conservación de bosques y páramos nativos en todos los rincones de la patria (MAE, 2014). La tasa anual de deforestación en SB de 1987 al 2018 fue de 21 ha/año.

Finalmente el escenario Paisaje Circundante que corresponde al área restante de la zona de estudio, en el año 1987 cubría el 48%, esto representa 93,174 ha de bosque, mientras que para el 2018 se redujo a 78,118 ha, esto es el 43% de la zona de estudio de ese año. Cabe mencionar que el Paisaje Circundante abarca a las parroquias Limoncocha, Pompeya, Unión Milagresa y Taracoa que actualmente se encuentran altamente pobladas, lo que trae consigo desarrollo agrícola y extensión de pastos para ganado. La tasa anual

de deforestación en PC de 1987 al 2018 fue de 486 ha/año, lo que representa que se deforestaron cerca de 15,056 ha en un periodo de 31 años.

En el PC, además de la actividad agrícola, especialmente el cultivo de palma aceitera, cacao, papa china y palmito, hay refinerías de petróleo que han contribuido a la construcción de nuevas carreteras de primer, segundo y tercer orden, acelerando así el proceso de colonización de nuevas áreas de tierras bajas (MAE, 2005). Estos hechos probablemente han sido las principales causas de la pérdida de bosques en el PC.

Procesos similares ocurrieron en el noreste de Ecuador (Mena, 2008). La Reforma Agraria del Ecuador en 1964 promovió la colonización y la tala de áreas, especialmente para demostrar la posesión de la tierra por parte de los colonos (Cuenca y Echeverría, 2017). Este hecho ha contribuido al aumento de la población de los paisajes circundantes y, en consecuencia, ha provocado una mayor presión sobre el bosque, ya que muchos asentamientos dependían del bosque para su subsistencia (Terborgh *et al.*, 2001)

Si bien en Ecuador la reducción de la pérdida de bosques está respaldada por su nueva Constitución, el presente estudio reveló que la tasa de deforestación en el PNY, SB y PC mostraba una tendencia explicada por la extracción de crudo y comercialización de madera en mercados ilegales (Sierra, 2013).

### **Análisis de Fragmentación**

La deforestación, causada principalmente por la conversión de la tierra forestal a zonas de agricultura y ganadería, amenaza a la variedad de la vida en nuestro planeta. Los cambios de uso de la tierra dan lugar a una pérdida de hábitats valiosos, a la degradación de la tierra, la erosión del suelo, la disminución del agua limpia y la liberación de carbono a la atmósfera. Encontrar la manera de aumentar la producción agrícola y mejorar la seguridad alimentaria sin reducir la superficie forestal es uno de los mayores problemas de nuestro tiempo (FAO, 2018).

Mediante el número de parches podemos comprobar si una cobertura a través del tiempo ha aumentado o reducido la fragmentación, es decir a mayor número de parches mayor fragmentación (Gómez, Anaya, y Álvarez, 2005) En todo el paisaje se observó que el PC presentó el mayor *número de parches (NP)*, esto significa que del año 1987 (1,390 parches) al 2018 aumentó a 2,817 parches, seguido por AP de 112 a 120 parches y finalmente SB de 86 a 92 parches. Pese al incremento en AP y SB, esto no representa

gran cambio, posiblemente por los resultados positivos del Programa Áreas Protegidas y Socio Bosque, dado que los beneficiarios del programa tienen la obligación de proteger el páramo y los bosques por veinte años (Tuaza, 2011). El incremento de número de parches en el paisaje, puede darse debido a la ganadería extensiva y a las actividades antrópicas que permiten una sustitución de coberturas boscosas por potreros generando la reducción de las coberturas naturales a pequeños fragmentos de bosque (Orozco, Cerón, Martínez, y Ospina, 2015).

Al aumentar el número de parches, aumenta la *densidad de parches (PD)* y viceversa (Calvo-Obado y Ortiz-Malavassi, 2012), en el presente estudio la densidad en el PC aumentó considerablemente de 1.18 a 2.39 siendo la cobertura con mayor densidad, seguido por SB de 0.26 a .028 y AP de 0.16 a 0.17 que demuestran una densidad mínima. De la misma manera, al aumentar la densidad de parches, aumenta la *densidad de bordes (ED)* (Badii y Landeros, 2007), teniendo como resultado para PC, AP y SB valores de 45.46, 7.46 y 5.75 metros por hectárea respectivamente.

Las formas de los parches son muy variadas y junto con la superficie, afectan muchos procesos ecológicos; entre dos parches con la misma superficie, aquel que tenga forma más irregular (valores  $>1$ ), es decir con más salientes, presentará un mayor efecto borde, lo que perjudica la persistencia de las especies de interior (Buzai y Matteucci, 2004). Según el *índice de forma (SHAPE\_MN)* de los parches, la cobertura AP y SB poseen los valores más altos 1.49 y 1.50, indicando que en promedio los fragmentos son de formas muy irregulares (Marín Valencia, Toro Restrepo, y Uribe Soto, 2008). Contrario a esto el valor menor lo indica la cobertura de PC 1.37 ya que la mayoría del terreno son cultivos preestablecidos, y se establecen en formas regulares. El índice varía entre 1 (forma circular o cuadrada) en adelante, entre más irregular el fragmento, más se incrementa el valor de 1 (Moreno, 2014).

Respecto al *índice del vecino más cercano (ENN\_MN)*, la cobertura SB indica que los vecinos más cercanos a cada parche se encuentran en promedio a 75 m, a continuación el PC con 70 m y AP con 67m. El valor del índice, que se expresa en metros, se aproxima a cero a medida que disminuye la distancia al vecino más cercano, y valores altos indican dispersión (Matteucci, 1998).

A pesar de que los cambios a nivel de cobertura no parecen grandes, las diferencias estructurales de los paisajes entre el año 1987 y 2018 son importantes.

## **Implicaciones a la conservación**

Hay una fuerte necesidad de involucrar a las colectividades locales en los esfuerzos de conservación y protección para garantizar la permanencia del bosque tropical, no solo en la zona de estudio, sino también, en toda la Amazonía Ecuatoriana. Como se muestra en el presente estudio, hubo una disminución en la pérdida de bosques en AP, SB y PC, probablemente debido a factores como la alta densidad de población en este paisaje, el alto nivel de producción agrícola, apertura de vías, infraestructura petrolera, entre otros. Es evidente que, las iniciativas de desarrollo en la región, dieron un impulso a la economía local, lo que trae consigo una amenaza sobre la extensión y conexión de la cubierta forestal en este paisaje.

El presente estudio reveló cambios significativos en la cubierta forestal y en los patrones de deforestación del paisaje circundante y, en menor medida, en las AP y SB. Con base en esta tendencia y si los drivers de deforestación continúan operando, se espera que la pérdida y fragmentación del bosque tropical se extienda en Ecuador amazónico durante las próximas décadas. Por lo tanto, no hay duda de que la deforestación afectará la diversidad biológica en el Parque Nacional Yasuní, que es el área protegida más grande del Ecuador y uno de los hotspots más biodiversos en la región amazónica y el mundo (Warnars, 2010).

## VI. CONCLUSIONES

- La superficie del *bosque* disminuyó a 16,204 ha, mientras que *zonas antrópicas*, *áreas agropecuarias* y *área sin cobertura vegetal* aumentaron la superficie 2,377 ha, 13,620 ha y 758 ha respectivamente entre el año 1987 y 2018.
- La deforestación en el Parque Nacional Yasuní: área Limoncocha sufrió un descenso de 15,056 ha en el *paisaje circundante*, 64,309 ha para *socio bosque*, y 49,705 ha en *áreas protegidas* en el tiempo analizado.
- Se determinó un alto índice de fragmentación en un lapso de 31 años, mostrando una tendencia a fragmentarse con más rapidez a escenarios futuros.
- Dentro del periodo de análisis, el bosque presentó un aumento de la métrica número de parche, lo que consecuentemente contribuyó al aumento de los valores en las métricas de densidad de parche y densidad de borde; esto indica que la cobertura bosque ha presentado procesos de fragmentación, y que además, cuenta con formas irregulares, de acuerdo al índice de forma.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- Para esclarecer el estudio, se recomienda continuar con investigaciones sobre los cambios del uso del suelo (CUS), para determinar la tendencia de cambio que se producen en la región amazónica, y de esta manera permita a las entidades gubernamentales y no gubernamentales la implementación de más programas de conservación para reducir la degradación de las áreas naturales.
- Es importante que se extienda la red de áreas protegidas, que se mejoren los procesos de fiscalización tanto fuera como dentro de estas áreas, que se implementen planes de ordenamiento territorial para asegurar un uso sustentable en tierras públicas y privadas.
- Incentivar el desarrollo de trabajos investigativos en diferentes temáticas en la Amazonía Ecuatoriana, debido a la escasa disponibilidad de información literaria del área.
- A los GADs cantonales y parroquiales que logren implementar la creación de escenarios futuros de cambios de la cobertura y uso del suelo (CCUS), que sirva de guía para la planificación y gestión del territorio.
- Evaluar otras metodologías para evaluar la fragmentación, considerando el funcionamiento y acceso de otros paquetes informáticos.
- Para realizar estudios de análisis multitemporal, en lo referente al insumo cartográfico, es aconsejable obtener información actualizada de Geoportales, que brinden información confiable para su respectivo procesamiento.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Aide, T. M., y Grau, H. R. (2004). Globalization, migration, and Latin American ecosystems. *Science* 305, 1915-1916.
- Aguilera, F. (2010). Aplicación de métricas de ecología del paisaje para el análisis de patrones de ocupación urbana en el Área Metropolitana de Granada. *Anales de Geografía de La Universidad Complutense*, 30(2), 9–29. <https://doi.org/>
- Badii, M., y Landeros, J. (2007). Cuantificación de la fragmentación del paisaje y su relación con Sustentabilidad. *International Journal of Good Conscience*, 2(1), 26–38. Retrieved from [www.daenajournal.org](http://www.daenajournal.org)26
- Bass, M. S., Finer, M., Jenkins, C. N., Kreft, H., Cisneros-Heredia, D. F., McCracken, S. F., ... Kunz, T. H. (2010). Global Conservation Significance of Ecuador's Yasuní National Park. *PLoS ONE*, 5(1), e8767. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0008767>
- Bravo, M. N. F. (2017). TEORÍA – TELEDETECCIÓN ESPACIAL LANDSAT, SENTINEL-2, ASTER L1T y MODIS, 105. Retrieved from <https://sites.google.com/view/geomatica-ambiental-srl/>
- Bryja, G. (2009). *ANÁLISIS DE LAS PRESIONES ANTROPOGÉNICAS SOBRE BIODIVERSIDAD EN LA RESERVA DE BIÓSFERA YASUNI*. Quito. Retrieved from [https://www.portalces.org/sites/default/files/ecu\\_rpt\\_informetecnico10analisispresionesantropogenicasbiodiversidadyasuni\\_2009\\_gbryja.pdf](https://www.portalces.org/sites/default/files/ecu_rpt_informetecnico10analisispresionesantropogenicasbiodiversidadyasuni_2009_gbryja.pdf)
- Budiharta, S., Meijaard, E., Erskine, P. D., Rondinini, C., Pacifici, M., y Wilson, K. A. (2014). Restoring degraded tropical forests for carbon and biodiversity. *Environmental Research Letters*, 9(11), 114020. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/11/114020>
- Butler, R. (2007). La Deforestación del Amazonas. Retrieved September 8, 2019, from [https://global.mongabay.com/es/rainforests/amazon/saving\\_brazils\\_forests.html](https://global.mongabay.com/es/rainforests/amazon/saving_brazils_forests.html)
- Buzai, G. D., y Matteucci, S. D. (2004). *PRIMER SEMINARIO ARGENTINO DE GEOGRAFÍA CUANTITATIVA*. Argentina. Retrieved from [www.gepama.com.ar](http://www.gepama.com.ar)
- Cabello, J., y Paruelo, J. M. (2008). *La teledetección en estudios ecológicos*.



- Ecosistemas* (Vol. 17). Retrieved from <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=573>
- Calvo-Obado, A., y Ortiz-Malavassi, E. (2012). Fragmentación de la cobertura forestal. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 9(22), 10–21.
- Cayuela, L. (2006). Deforestación y fragmentación de bosques tropicales montanos en los Altos de Chiapas, México. Efectos sobre la diversidad de árboles. *Ecosistemas*, 15(3), 192–198.
- Ceccon, E., Olmsted, I., y Alves, J. C. (2002). Sistema de Información Científica. *Agrociencia*. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30236512>
- Chapin, F., Walker, B., Hobbs, R., Hooper, D., Lawton, J., Sala, O., y Tilman, D. (1997). Biotic Control over the Functioning of Ecosystems Biotic Control over the Functioning of Ecosystems. *Science*, 277(5325), 500–504. <https://doi.org/10.1126/science.277.5325.500>
- Charity S., Dudley N., O. D. and S. S. (2016). *Living Amazon Report 2016*. Brasilia and Quito. Retrieved from [http://assets.worldwildlife.org/publications/889/files/original/LIVING\\_AMAZON\\_\\_REPORT\\_2016\\_MID\\_RES\\_SPREADS.pdf?1465588596&\\_ga=1.221153819.2028824827.1466267170](http://assets.worldwildlife.org/publications/889/files/original/LIVING_AMAZON__REPORT_2016_MID_RES_SPREADS.pdf?1465588596&_ga=1.221153819.2028824827.1466267170)
- Chuvienco, E. (2008). *Teledetección ambiental*. Editorial Ariel , S.A. (Vol. 3). [https://doi.org/10.1016/S0014-5793\(98\)00788-1](https://doi.org/10.1016/S0014-5793(98)00788-1)
- Cuenca, P., y Echeverria, C. (2017). How do protected landscapes associated with high biodiversity and population levels change? *PLOS ONE*, 12(7), e0180537. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180537>
- FAO. (2005). Global Forest Resources Assessment 2005. Retrieved April 2, 2019, from <http://www.fao.org/forestry/fra/fra2005/en/>
- FAO. (2018). *El estado de los bosques del mundo - Las vías forestales hacia el desarrollo sostenible*. Roma. Retrieved from <http://www.fao.org/publications/es>
- Felisa, N., y Ibarlucea, S. (2003). *Estudio de la vegetación macrófita y de factores físico-químicos del agua en las Lagunas Marginales del Canal de Castilla (Palencia)*. *Ecosistemas*, 1(3), 1–3. Retrieved from

<http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/9064#vpreview>

- Forman, R. T. T. (1983). An Ecology of the Landscape. *BioScience*, 33(9), 535–535.  
<https://doi.org/10.1093/bioscience/33.9.535>
- García, J., Cedillo, J., Pérez, J., y Balderas, M. (2012). PROCESOS DE CAMBIO EN EL USO DEL SUELO DE UNA MICROCUENCA EN EL ALTIPLANO MEXICANO. EL CASO DEL RÍO SAN JOSÉ EN EL ESTADO DE MÉXICO. *Redalyc.Org*, 63–73. Retrieved from  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40726731009>
- Gaveau, D. L. A., Epting, J., Lyne, O., Linkie, M., Kumara, I., Kanninen, M., y Leader-Williams, N. (2009). Evaluating whether protected areas reduce tropical deforestation in Sumatra. *Journal of Biogeography*, 36(11), 2165–2175.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2009.02147.x>
- Gaveau, D. L. A., Epting, J., Lyne, O., Linkie, M., Kumara, I., Kanninen, M., y Leader, N. (2009). Evaluating whether protected areas reduce tropical deforestation in Sumatra. *Journal of Biogeography*, 36(11), 2165–2175.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2009.02147.x>
- Gómez, A., Anaya, J., y Álvarez, E. (2005). Análisis de fragmentación de los ecosistemas boscosos en una región de la cordillera central de los andes colombianos. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 4, (7) 27. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/750/75004702.pdf>
- Green, R., Cornell, S., Scharlemann, J., y Balmford, A. (2005). Farming and the Fate of Wild Nature. *Science*, 307(5709), 550–555.  
<https://doi.org/10.1126/science.1106049>
- Gurrutxaga, M., y Lozano Lurralde, P. J. (2010). CAUSAS DE LOS PROCESOS TERRITORIALES DE FRAGMENTACIÓN DE HÁBITATS. *Inves. Espac*, 33, 147–158. Retrieved from  
<http://www.ingeba.org/lurralde/lurranet/lur33/33gurrutxaga/33gurrutxaga.pdf>
- Hermosilla, T., Wulder, M. A., White, J. C., Coops, N. C., Pickell, P. D., y Bolton, D. K. (2019). Impact of time on interpretations of forest fragmentation: Three-decades of fragmentation dynamics over Canada. *Remote Sensing of Environment*, 222, 65–77. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2018.12.027>

- Hoorn, C. (2006). The Birth of the Mighty Amazon. *Scientific American*, 294(5), 52–59.  
<https://doi.org/10.1038/scientificamerican0506-52>
- José, I. A., Santa, A., Abril, E. G., Gleiser, R., Grilli, M., y Barbeito, D. G. A. (2012).  
 CAPÍTULO 1: Introducción a IDRISI Selva Página 2 ® Guía para SIG y  
 Procesamiento de Imágenes ® Trad. Lorena Mosca. *Clark Labs*. Retrieved from  
<https://clarklabs.org/wp-content/uploads/2016/10/IDRISI-Selva-Spanish-Manual.pdf>
- Lambin, E., Turner B, Geist, H., Agbol, S., Angelsen, A., Bruce, J., ... Xu, J. (2001).  
 The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths. *Global  
 Environmental Change*, 11(261–26). Retrieved from  
[https://www.researchgate.net/publication/40219105\\_The\\_causes\\_of\\_land-use\\_and\\_land-cover\\_change\\_Moving\\_beyond\\_the\\_myths](https://www.researchgate.net/publication/40219105_The_causes_of_land-use_and_land-cover_change_Moving_beyond_the_myths)
- Larrea, C. (2017). *Conservación de la biodiversidad y explotación petrolera en el  
 Parque Nacional Yasuní*. Quito, Ecuador. Retrieved from  
<http://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/5769/1/Larrea%20C-CON-027-Conservacion.pdf>
- Li, Y., Zhao, M., Mildrexler, D. J., Motesharrei, S., Mu, Q., Kalnay, E., ... Wang, K.  
 (2016). Potential and Actual impacts of deforestation and afforestation on land  
 surface temperature. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(24),  
 14,372-14,386. <https://doi.org/10.1002/2016JD024969>
- López, V., Espíndola, F., Calles, J., y Ulloa, J. (2013). *AMAZONÍA ECUATORIANA  
 BAJO PRESIÓN*. Quito-Ecuador. Retrieved from  
[https://www.amazoniasocioambiental.org/wp-content/uploads/2017/01/AmazoniaEcuatoriana\\_bajo\\_presion.pdf](https://www.amazoniasocioambiental.org/wp-content/uploads/2017/01/AmazoniaEcuatoriana_bajo_presion.pdf)
- MAE. (2005). *Plan de manejo y gestión participativa de la Reserva Ecológica Mache  
 Chindul*. Quito, Ecuador. Retrieved from  
<http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/242256/09+PLAN+DE+MANEJO+CHINDUL.pdf/aeb58b23-f095-4514-8213-c69b95b0f18c>
- MAE. (2014). Programa Socio Bosque | Ministerio del Ambiente. Retrieved July 28,  
 2019, from <http://www.ambiente.gob.ec/programa-socio-bosque/>
- MAE. (2015). Parque Nacional Yasuní | Sistema Nacional de Áreas Protegidas del

- Ecuador. Retrieved July 28, 2019, from <http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/areas-protegidas/parque-nacional-yasuni>
- Mainville, N. (2019). Del aceite grande al aceite de palma; Transformando la Amazonía Ecuatoriana en monocultivos. Retrieved July 26, 2019, from <https://www.amazonfrontlines.org/chronicles/from-big-oil-to-palm-oil/>
- Martinez, J., y Mendoza, M. (2014). *Balance y perspectivas del uso de la teledeteccion para el estudio de los recursos hidricos en el sistema TDPS*. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/280593224>
- Matteucci, S. (1998). LA CUANTIFICACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL PAISAJE. *First Chapter*. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/269222407\\_LA\\_CUANTIFICACION\\_DE\\_LA\\_ESTRUCTURA\\_DEL\\_PAISAJE](https://www.researchgate.net/publication/269222407_LA_CUANTIFICACION_DE_LA_ESTRUCTURA_DEL_PAISAJE)
- McGarigal, K. (2015). *FRAGSTATS HELP*. Retrieved from <https://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/documents/fragstats.help.4.2.pdf>
- Meli, P. (2003). RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE BOSQUES TROPICALES. VEINTE AÑOS DE INVESTIGACIÓN ACADÉMICA. *Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal*, 28, 10. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/339/33908504.pdf>
- Mena, C. F. (2008). Trajectories of Land-use and Land-cover in the Northern Ecuadorian Amazon. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 74(6), 737–751. <https://doi.org/10.14358/PERS.74.6.737>
- Moreno, T. A. (2014). Ecología del paisaje y cambio del uso del suelo y vegetación en la sierra San Antonio Peña Nevada, Zaragoza, Nuevo León., (June), 247.
- Nagendra, H., Somajita, P., Pareeth, S., y Dutt, S. (2009). Landscapes of Protection: Forest Change and Fragmentation in Northern West Bengal, India. *Environmental Management*, 44(5), 853–864. <https://doi.org/10.1007/s00267-009-9374-9>
- Narváez, I.; Massivo de Marchi; Salvatore, E. (2013). *Yasuní zona de sacrificio , Análisis de la iniciativa ITT y los derechos colectivos indígenas*. FLACSO.
- Narváez Quiñónez, I. (2009). *Petróleo y poder : el colapso de un lugar singular: Yasuní*. FLACSO Sede Ecuador. Retrieved from

<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=4230yRYc49YC&oi=fnd&pg=PA11&dq=yasuni+ecuador&ots=Nt93oBo6YJ&sig=7Nhor8Horok15vSVCOPHrcKGnhM#v=onepage&q=yasuni+ecuador&f=false>

- Navarrete, E. (2017). *APUNTES DE TELEDETECCIÓN: Teledetección Espacial y Procesamiento de Imágenes*. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/320910845>
- Navarro Rodríguez, M. del C., González Guevara, L. F., Flores Vargas, R., y Amparán Salido, R. T. (2015). *Fragmentación y sus implicaciones*. Guadalajara, México. Retrieved from [http://www.cuc.udg.mx/sites/default/files/publicaciones/2015 - Fragmentación y sus implicaciones. Análisis y reflexión documental.pdf](http://www.cuc.udg.mx/sites/default/files/publicaciones/2015-Fragmentación+y+sus+implicaciones.+Análisis+y+reflexión+documental.pdf)
- Olaya, V. (2011). *Sistemas de Información Geográfica* (Vol. 1.0).
- Orozco, M. C., Cerón, L. E., Martínez, J. P., y Ospina, R. (2015). Del Paisaje En Un Corredor Biológico Analysis of Landscape Patterns in a Biological Corridor of Colombian Um Corredor Biológico De Colômbia. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(1), 54–63.
- Pérez M. E., y García M. P. (2013). Aplicaciones De La Teledetección En Degradación De Suelos. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*.
- Pimm, S. L., Russell, G. J., Gittleman, J. L., y Brooks, T. M. (1995). The Future of Biodiversity. *Science*, 269(5222), 347–350. <https://doi.org/10.1126/science.269.5222.347>
- Pitman, N., Terborgh, J., Silman, M., Nuñez, P., Neill, D., Cerón, C., ... Aulestia, M. (2002). A COMPARISON OF TREE SPECIES DIVERSITY IN TWO UPPER AMAZONIAN FORESTS. *Ecology*, 83, 3210–3224. Retrieved from [https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[3210:ACOTSD\]2.0.CO;2](https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[3210:ACOTSD]2.0.CO;2)
- Pucha, F. (2015). Clasificación supervisada y no supervisada en ArcGIS | El blog de franz. Retrieved October 25, 2018, from <https://acolita.com/clasificacion-supervisada-no-supervisada-en-arcgis/>
- Sala, O., Chapin, S., Armesto, J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., ... Wall, D. (2000). Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. *Science (New York, N.Y.)*, 269(5222), 347–350. <https://doi.org/10.1126/science.269.5222.347>

- Sierra, R. (2013). *Patrones y Factores de deforestación en el Ecuador Continental, 1990–2010. Y un acercamiento a los próximos 10 años*. Quito, Ecuador. Retrieved from [www.forest-trends.org](http://www.forest-trends.org)
- Smith, P., House, J. I., Bustamante, M., Sobocká, J., Harper, R., Pan, G., ... Pugh, T. A. M. (2016). Global change pressures on soils from land use and management. *Global Change Biology*, 22(3), 1008–1028. <https://doi.org/10.1111/gcb.13068>
- Souza, Jr, C., Siqueira, J., Sales, M., Fonseca, A., Ribeiro, J., Numata, I., ... Barlow, J. (2013). Ten-Year Landsat Classification of Deforestation and Forest Degradation in the Brazilian Amazon. *Remote Sensing*, 5(11), 5493–5513. <https://doi.org/10.3390/rs5115493>
- Tapia-Armijos, M. F., Homeier, J., Espinosa, C. I., Leuschner, C., y de la Cruz, M. (2015). Deforestation and Forest Fragmentation in South Ecuador since the 1970s – Losing a Hotspot of Biodiversity. *PLOS ONE*, 10(9), e0133701. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133701>
- Tarrasón, D., Urrutia, J. T., Ravera, F., Herrera, E., Andrés, P., y Espelta, J. M. (2010). Conservation status of tropical dry forest remnants in Nicaragua: Do ecological indicators and social perception tally? *Biodiversity and Conservation*, 19(3), 813–827. <https://doi.org/10.1007/s10531-009-9736-x>
- Terborgh, J., Lopez, L., Nuñez, P., Rao, M., Shahabuddin, G., Orihuela, G., ... Balbas, L. (2001). Ecological meltdown in predator-free forest fragments. *Science (New York, N.Y.)*, 294(5548), 1923–1926. <https://doi.org/10.1126/science.1064397>
- Uribe Botero, E. (2015). Estudios del Cambio Climático en América Latina. *Repositoriocepal.Org*. Retrieved from [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39855/S1501295\\_en.pdf;jsessionid=65F27FADEDD1BBC5A61D9BF86949F415?sequence=1](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39855/S1501295_en.pdf;jsessionid=65F27FADEDD1BBC5A61D9BF86949F415?sequence=1)
- Vitousek, P. M. (1994). Beyond Global Warming: Ecology and Global Change. *Ecology*, 75(7), 1861–1876. <https://doi.org/10.2307/1941591>
- Warnars, L. (2010). *The Yasuni-ITT Initiative: an international environmental equity mechanism?* Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/268041241>
- Wallace, S. (2013). Selva a la venta. *National Geographic*, Vol. 32, N. 1.

## ANEXOS

### Anexo 1. Cambio porcentual de la cobertura del suelo a través del tiempo

Cobertura	1987		2018	
	Área ha	Área %	Área ha	Área %
Bosque	196230.74	88.5 %	180026.1	81.1%
Cuerpos de Agua	8927.48	4.0%	8376.07	3.8%
Zonas Antrópicas	903.38	0.4%	3280.57	1.5%
Áreas Agropecuarias	14666.63	6.6%	28286.8	12.8%
Área sin Cobertura Vegetal	1119.29	0.5%	1877.96	0.8%

**Anexo 2.** Evaluación de exactitud para la clasificación año 1987

<b>MATRIZ DE ERROR 1987</b>											
<b>COBERTURA</b>		<b>DATOS DE REFERENCIA</b>					<b>TOTAL</b>	<b>PRECISIÓN USUARIO (%)</b>	<b>KAPPA</b>	<b>PRECISIÓN GLOBAL (%)</b>	<b>KAPPA</b>
		<b>Bosque</b>	<b>Cuerpos de agua</b>	<b>Zona antrópica</b>	<b>Área agropecuaria</b>	<b>Área sin cobertura vegetal</b>					
<b>CLASIFICACIÓN</b>	Bosque	38	6	0	1	1	<b>46</b>	81.81	0.77		
	Cuerpos de Agua	0	55	0	0	2	<b>57</b>	96.49	0.95		
	Zonas Antrópicas	0	0	55	1	0	<b>56</b>	98.21	0.97		
	Áreas Agropecuarias	2	0	6	39	0	<b>47</b>	82.97	0.79	<b>90.66</b>	
	Área sin Cobertura Vegetal	0	0	0	0	19	<b>19</b>	100	1	<b>0.88</b>	
	<b>TOTAL</b>	<b>40</b>	<b>61</b>	<b>61</b>	<b>41</b>	<b>22</b>	<b>225</b>				
<b>PRECISIÓN PRODUCTOR (%)</b>		90.00	90.16	90.16	95.12	86.36					



Anexo 3. Evaluación de exactitud para la clasificación año 2018

**MATRIZ DE ERROR 2018**

COBERTURA		DATOS DE REFERENCIA					TOTAL	PRECISIÓN USUARIO (%)	KAPPA	PRECISIÓN GLOBAL (%)	KAPPA
		Bosque	Cuerpos de agua	Zona antrópica	Área agropecuaria	Área sin cobertura vegetal					
CLASIFICACIÓN	Bosque	48	7	4	2	0	<b>61</b>	78.68	0.73		
	Cuerpos de Agua	0	54	0	0	6	<b>60</b>	90	0.87		
	Zonas Antrópica	0	1	50	7	0	<b>58</b>	86.2	0.82		
	Áreas Agropecuarias	4	0	5	52	0	<b>61</b>	85.24	0.81	<b>86.59</b>	<b>0.83</b>
	Área sin Cobertura Vegetal	0	0	1	0	35	<b>36</b>	97.22	0.96		
	<b>TOTAL</b>	<b>52</b>	<b>62</b>	<b>60</b>	<b>61</b>	<b>41</b>	<b>276</b>				
<b>PRECISIÓN PRODUCTOR (%)</b>		92.30	87.09	83.33	85.24	85.36					

**Anexo 4.** Matriz de Transición periodo 1987-2018

		<b>2018</b>					
		Bosque	Agua	Antrópico	Agropecuaria	Suelo descubierto	<b>Total</b>
<b>1987</b>	Bosque	174000.04	967.41	1657.62	19438.29	167.3775	196230.736
	Cuerpos de Agua	1110.89	6283.42	19.78	109.42	1404	8927.48
	Zonas Antrópicas	371.21	24.14	287.17	218.59	2.2725	903.38
	Áreas Agropecuarias	4457.7	329.76	1314.77	8509.75	54.6525	14666.63
	Área sin Cobertura Vegetal	86.265	771.35	1.2375	10.755	249.6825	1119.29
	<b>Total</b>	180026.10	8376.075	3280.57	28286.80	1877.96	<b>221847.50</b>