



# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES  
RENOVABLES**

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

**TÍTULO:**

**Análisis temporal y espacial del cambio de cobertura del bosque  
nativo en paisajes protegidos de la parroquia Río Tigre, provincia  
de Pastaza**

**AUTORA:**

**MONICA EUNICE RUEDA PUCHA**

**DIRECTOR:**

**ING. JUAN ARMANDO MAITA CHAMBA Mg. Sc.**

**CO - DIRECTOR:**

**PABLO RODRIGO CUENCA CAPA. Ph.D.**

**TESIS DE GRADO PREVIA A  
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERA EN MANEJO Y  
CONSERVACIÓN DEL MEDIO  
AMBIENTE**

**LOJA-ECUADOR**

**2019**

## CERTIFICACIÓN

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

En calidad de director de tesis certifico que la señorita **Mónica Eunice Rueda Pucha**, 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 **Análisis temporal y espacial del cambio de cobertura del bosque nativo en paisajes protegidos de la parroquia Río Tigre, provincia de Pastaza**, 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,  
  


CERTIFICADO: Que la presente copia de final al original al cual remitir en caso de ser necesario.  
Loja, 17 OCT 2019

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



## CERTIFICACIÓN

En calidad de Tribunal Calificador de la tesis titulada: **Análisis temporal y espacial del cambio de cobertura del bosque nativo en paisajes protegidos de la parroquia Río Tigre, provincia de Pastaza**, de autoría de la señorita egresada Monica Eunice Rueda Pucha, de la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, certifican que ha incorporado todas las sugerencias efectuadas por sus miembros.

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

Loja, 18 de octubre de 2019

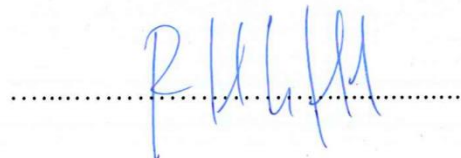
Atentamente:

Ing. Aníbal González G. Mg. Sc.  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



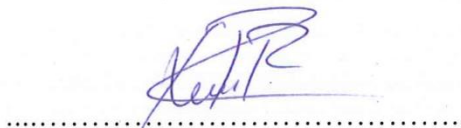
.....

Ing. Santiago Rafael García Matailo Mg. Sc.  
**VOCAL DEL TRIBUNAL**



.....

Biol. Xavier Alejandro Rojas Ruilova Mg. Sc.  
**VOCAL DEL TRIBUNAL**



.....

## AUTORÍA

Yo, **Monica Eunice Rueda Pucha** declaro ser autora del presente trabajo de tesis **titulada: Análisis temporal y espacial del cambio de cobertura del bosque nativo en paisajes protegidos de la parroquia Río Tigre, provincia de Pastaza**, 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.



Monica Eunice Rueda Pucha

CI: 0604967190

Loja, 18 de octubre 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, Monica Eunice Rueda Pucha, declaro ser autora de la tesis titulada **Análisis temporal y espacial del cambio de cobertura del bosque nativo en paisajes protegidos de la parroquia Río Tigre, provincia de Pastaza**, 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 sus contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior con los 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 dieciocho días del mes de octubre del dos mil diecinueve, firma el autor

Monica Eunice Rueda Pucha

CI: 0604967190

Dirección: Loja, Barrio San Pedro

Teléfono celular: 0981218379

Correo electrónico: meruedap@unl.edu.ec

**DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director de Tesis:** Ing. Juan Maita Chamba Mg.Sc.  
**Tribunal de grado:** Ing. Aníbal González Mg. Sc.  
Ing. Santiago Rafael García Mg. Sc.  
Ing. Xavier Alejandro Rojas Ruilova Mg. Sc.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi familia, por haberme dado la oportunidad de formarme en esta prestigiosa universidad y haber sido mi apoyo durante todo este tiempo.

De manera especial a mi Director y Co-Director de tesis, por haberme guiado y haberme brindado el apoyo para desarrollarme profesionalmente y seguir cultivando mis valores.

A la Universidad Nacional de Loja, por haberme brindado tantas oportunidades y enriquecerme en conocimiento.

*La Autora*

## **DEDICATORIA**

Tu afecto y tu cariño son los detonantes de mi felicidad, de mi fuerza, de mis ganas de buscar lo mejor para ti, Aun a tu corta edad, me has enseñado y me sigues enseñando muchas cosas de la vida.

Te agradezco por ayudarme a encontrar el lado dulce y no amargo de la vida. Fuiste mi motivación más grande para concluir con éxito este trabajo de titulación.

Para mi amado hijo, Matthew.

*La Autora*

## ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	2
2.1. Cambios de uso de suelo en Ecuador.....	2
2.2. Tipos de afectaciones de los cambios de uso en el medio ambiente.....	3
2.2.1. Agua.....	3
2.2.2. Almacenamiento de carbono en biomasa.....	3
2.2.3. Almacenamiento de carbono en el suelo.....	3
2.2.4. Pérdida de hábitats .....	4
2.2.5. Beneficios que proporcionan las áreas protegidas (AP).....	4
2.3. Ecología de paisaje .....	5
2.4. Deforestación .....	5
2.5. Deforestación en Latinoamérica y el Ecuador .....	6
2.6. Fragmentación de bosques y sus causas .....	6
2.6.1. Consecuencias de la fragmentación .....	6
2.6.2. Características de la fragmentación .....	7
2.7. Teledetección como herramienta para el análisis del cambio de uso de suelo.....	7
2.8. Los sensores remotos .....	7
2.8.1. Resolución de las imágenes satelitales.....	7
2.8.2. Resolución espacial.....	8
2.8.4. Resolución radiométrica .....	9
2.8.5. Resolución temporal .....	9
2.9. Procesamiento de una imagen satelital .....	10
2.9.1. Correcciones básicas de una imagen satelital .....	10
2.9.1.1. Corrección geométrica .....	10
2.9.1.2. Corrección radiométrica.....	12
2.9.1.3. Corrección atmosférica .....	12
2.10. Métodos de clasificación de imágenes satelitales .....	12
2.10.1. Clasificación supervisada.....	12
2.10.2. Clasificación no supervisada.....	12
2.11. Parque Nacional Yasuní.....	13
3. METODOLOGÍA .....	14
3.1. Descripción del área de estudio .....	14



3.1.1.	Ubicación administrativa .....	14
3.1.2.	Topografía.....	15
3.1.3.	Clima.....	15
3.1.4.	Demografía .....	15
3.1.5.	Ríos principales.....	16
3.1.6.	Producción .....	16
3.2.	Métodos.....	19
3.2.1.	Base de datos.....	20
3.2.2.	Procesamiento de imágenes satelitales.....	20
3.2.3.1.	Corrección geométrica .....	20
3.2.3.2.	Correcciones radiométricas.....	21
3.2.4.	Determinar los cambios de cobertura vegetal que han ocurrido en el parque nacional Yasuní y sus zonas de amortiguamiento. ....	21
3.2.5.	Clasificación de imágenes satelitales .....	21
3.2.5.1.	Clases de cobertura y uso de la tierra utilizados en el presente estudio.....	21
3.2.5.2.	Composición a color .....	22
3.2.5.3.	Identificación de sitios de entrenamiento.....	22
3.2.5.4.	Fase de clasificación de coberturas .....	22
3.2.3.	Post procesamiento .....	23
3.2.3.1.	Análisis post clasificación (ERDAS).....	23
3.2.3.2.	Prueba de exactitud de la clasificación .....	23
3.2.3.3.	Identificación de cambios y uso de suelo.....	23
3.2.3.4.	Análisis de deforestación .....	24
3.2.4.	Generación de mapas .....	24
3.3.	Analizar los patrones de fragmentación del bosque nativo en el Parque Nacional Yasuní y sus zonas de amortiguamiento .....	24
4.	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>26</b>
4.2.	Resultados del primer objetivo. Determinar los cambios de cobertura vegetal que han ocurrido en el parque nacional Yasuní y sus zonas de amortiguamiento. ....	26
	Coberturas del uso del suelo .....	26
4.2.3.	Ganancias y pérdidas del cambio de uso de cobertura vegetal .....	29
4.2.4.	Análisis de deforestación .....	29
4.2.5.	Validación de resultados: Cambio uso de suelo.....	30

4.3. Resultados segundo objetivo: Analizar los patrones de fragmentación del bosque nativo en el Parque Nacional Yasuní y sus zonas de amortiguamiento.....	30
5. DISCUSIÓN .....	33
5.2. Determinar los cambios de cobertura vegetal que han ocurrido en el parque nacional Yasuní y sus zonas de amortiguamiento. ....	33
5.3. Analizar los patrones de fragmentación del bosque nativo en el Parque Nacional Yasuní y sus zonas de amortiguamiento .....	35
6. CONCLUSIONES .....	38
7. RECOMENDACIONES.....	39
8. BIBLIOGRAFÍA .....	39
9. ANEXOS .....	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de ubicación de la zona de estudio .....	15
<b>Figura 2.</b> Mapa base de la zona de estudio .....	18
<b>Figura 3.</b> Flujograma de la metodología general .....	19
<b>Figura 4.</b> Cambio de uso de cobertura vegetal (1987-2017).....	27
<b>Figura 5.</b> Mapa de cambios de cobertura vegetal, año 1987 y 2017.....	28
<b>Figura 6.</b> Ganancias y pérdidas de la zona de estudio, año 1987 y 2017.....	29
<b>Figura 7.</b> Análisis de deforestación (AP Y ANP).....	30
<b>Figura 8.</b> Número de parches (NP) .....	31
<b>Figura 9.</b> índice de parche mayor (LPI) .....	32
<b>Figura 10.</b> Densidad de borde (ED) .....	32
<b>Figura 11.</b> Índice de forma medio (SHAPE_MN).....	32

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Escenas del satélite Landsat, utilizadas en el presente estudio .....	20
<b>Tabla 2.</b> Clases de cobertura vegetal.....	22
<b>Tabla 3.</b> Métricas utilizadas en el presente estudio.....	25
<b>Tabla 4.</b> Comparación de los cambios de cobertura vegetal entre los años 1987 y 2017.....	27
<b>Tabla 5.</b> Deforestación anual y neta entre 1987 y 2017.....	30
<b>Tabla 6.</b> Métricas de fragmentación en AP y ANP.....	31

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Matriz de erros de 1987 .....	44
<b>Anexo 2.</b> Matriz de error del 2017.....	44

## ACRÓNIMOS

**SIG:** Sistema de información geográfica

**FAO:** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

**PNY:** Parque Nacional Yasuní

**AP:** Áreas protegidas

**PSB:** Programa socio bosque

**PANE:** Patrimonio de áreas naturales del estado

**USCUSS:** Cambio de uso del suelo y silvicultura

**GEI:** Gas de efecto invernadero

**ND:** Nivel digital

**TIRS:** Thermal infrared sensor

**OLI:** Operational land imager

**USGS:** Servicio geológico de los Estados Unidos

**MAE:** Ministerio del Ambiente

**RAE:** Región Amazónica Ecuatoriana

**Titulo:** *Análisis temporal y espacial del cambio de cobertura del bosque nativo en paisajes protegidos de la parroquia Río Tigre, provincia de Pastaza.*

## RESUMEN

El presente estudio analizó los cambios de cobertura vegetal y patrones de fragmentación del bosque nativo en paisajes protegidos de la parroquia Río Tigre, provincia de Pastaza, durante el período 1987-2017. Se utilizaron herramientas de teledetección y SIG, con las cuales se realizó una clasificación supervisada de imágenes satelitales Landsat 5 TM (año 1987) y Landsat 8 OLI (año 2017). El tratamiento de las imágenes incluyó las fases de pre procesamiento (correcciones radiométrica y geométrica), procesamiento (definición de clases de cobertura, composición a color, identificación de sitios de entrenamiento, fase de clasificación de cobertura) y post procesamiento (análisis post clasificación (ERDAS), prueba de exactitud, identificación de cambios de uso de suelo, análisis de deforestación, generación de mapas). Para la realización del análisis de fragmentación se emplearon las siguientes métricas: Número de parches (NP), Índice de parche mayor (LPI), Densidad de borde (ED), Índice de forma medio (SHAPE\_MN). Los resultados indican que existe una pérdida de 5.000 hectáreas de bosque en el periodo de estudio, debido a las actividades petroleras y redes de transporte. La tasa de deforestación anual de AP fue 17,97 ha (-0,0025%) y de ANP fue 5,90 ha (-0,0009). Con respecto a las métricas de fragmentación, el Índice de parche mayor (LPI), en el año 1987 para el área no protegida (ANP) obtuvo un total de 95% indicando que ocupa aproximadamente el 100% del fragmento del área total, para el año 2017 se obtuvo 79,7% indicando que el tamaño de fragmento ha disminuido en el área. En lo referente a la Densidad de borde (ED), se observó un aumento tanto en el área ANP como en el AP, lo que hace a la zona de estudio más propicia para el desplazamiento de diferentes especies que habitan en ese lugar. En conclusión, se observó mayor intervención antrópica en el ANP, lo que hace más vulnerable al bosque nativo, por lo tanto, puede llegar a existir una mayor deforestación y fragmentación en esta zona del país.

**Palabras clave:** Cobertura vegetal, deforestación, fragmentación.

## **ABSTRACT**

The present research study analyzed the changes in vegetation cover and fragmentation patterns of the native forest in protected landscapes of the Río Tigre parish, Pastaza province, during the period 1987-2017. Remote sensing and GIS tools were used, with which a supervised classification of Landsat 5 TM satellite images (year 1987) and Landsat 8 OLI (year 2017) was performed. Image processing included the preprocessing (radiometric and geometric corrections), processing (definition of coverage classes, color composition, identification of training sites, coverage classification phase) and post-processing (post classification analysis (ERDAS), accuracy test, identification of land use changes, deforestation analysis, map generation). The following metrics were used to perform the fragmentation analysis: Number of patches (NP), Major patch index (LPI), Edge density (ED), Medium form index (SHAPE\_MN). The results show that there is a loss of 5,000 hectares of forest during the study period, due to oil activities and transport networks. The annual deforestation rate of AP was 17.97 ha (-0.0025%) and of ANP it was 5.90 ha (-0,0009). Regarding to fragmentation metrics, the Major Patch Index (LPI), in 1987 for the unprotected area (ANP) obtained a total of 95% indicating that it occupies approximately 100% of the total area fragment, for the In 2017, 79.7% was obtained, indicating that the fragment size has decreased in the area. Concerning to Edge Density (ED), an increase was observed both in the ANP area and in the AP, which makes the study area more conducive to the movement of different species that inhabit that place. In conclusion, greater anthropic intervention was observed in the ANP, which makes the native forest more vulnerable, therefore, there may be greater deforestation and fragmentation in this area of the country.

**Keywords:** Vegetation cover harbors, deforestation, fragmentation.



## 1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la superficie forestal ha disminuido unos 1.800 millones de ha en los últimos 5.000 años (Williams, 2003). En el siglo XX, la deforestación incrementó, especialmente en los países en desarrollo; en América Latina, por ejemplo, la superficie forestal había descendido hasta representar aproximadamente el 50 % de la superficie para finales de siglo. Aunque el colonialismo se suprimió en gran medida tras la II Guerra Mundial, las políticas forestales de muchos nuevos países independientes de los trópicos siguen representando su legado. (Rudel, 2013).

En Ecuador Continental, la tasa de deforestación neta para el periodo 1990 – 2000 fue de 92.787 ha/año, mientras que para el periodo 2000 – 2008 se redujo a 77.742 ha/año. Para el año 2012 se calculó la tasa de deforestación neta en 65.880 ha/año (Egas & Forestal, 2005). La deforestación en el Ecuador se ocasiona por diferentes factores, principalmente por asentamientos agrícolas. Otra causa es la falta de planificación en la ejecución de obras de infraestructura, esta actividad tiene beneficios a corto plazo, ya que pueden aportar económicamente y aliviar la pobreza de la población, sin embargo, a futuro podría traer graves consecuencias (Barrantes, Chaves, & Vinuesa, 2001). Según (Cuenca & Echeverria, 2017). Las principales causas de pérdida de bosques en los paisajes protegidos son la actividad agrícola, especialmente el cultivo de palma aceitera en tierras de suave pendiente, refinerías de petróleo que han contribuido a la construcción de nuevos caminos, acelerando así el proceso de colonización de nuevas áreas de tierras bajas.

El nororiente ecuatoriano, contiene un área de alta biodiversidad y es hogar de aproximadamente 30.000 indígenas de 8 grupos étnicos (Quichua, Shuar, Ashuar, Huaorani, Cofán, Siona, Secoya y Saparo). Con el descubrimiento del petróleo en esta zona, se atribuye que el paisaje que antes era natural casi sin intervención humana, se haya convertido en perforaciones de pozos petroleros. (Mena, 2010).

En las parroquias Río Tigre y Montalvo, zona de amortiguamiento del Parque Nacional Yasuní, los problemas de deforestación principalmente se evidencian en los márgenes de los ríos de las cuencas hídricas al estar usados para actividades relacionadas a la agricultura e instauración de viviendas. (CDTER, 2015).

A pesar que existen estudios de bosque a escalas globales, nacional, son pocos los estudios de deforestación a escala local, y mucho menos en paisajes protegidos. Por lo tanto, Ecuador se está volviendo cada vez más vulnerable a problemas de deforestación. Este trabajo se realizó para llenar un vacío de información en paisajes protegidos y viendo que la deforestación es uno de los factores que afectan de manera directa a la Amazonia, se estudió los cambios de cobertura vegetal en las parroquias Río Tigre y Montalvo, provincia de Pastaza, detallando las causas por las que se ha perdido la cobertura, de esta manera se generó información válida para trabajos similares.

Esta investigación es importante porque contribuye con información relevante sobre el cambio de cobertura vegetal. La parroquia Río Tigre se encuentran en zonas donde interactúan diversas políticas de conservación: Programa Socio Bosque (PSB) y Patrimonio de Áreas Naturales del Estado (PANE).

La investigación se desarrolló dando cumplimiento a lo siguientes objetivos: Evaluar la dinámica de cambios de cobertura vegetal en las zonas de amortiguamiento del Parque Nacional Yasuní de la parroquia Río Tigre, provincia de Pastaza. Los objetivos específicos que buscan patrones de cambios de cobertura vegetal y patrones de fragmentación del bosque nativo, esto dentro y fuera del Parque Nacional Yasuní.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

En este capítulo se describe los conceptos utilizados para la elaboración de la presente investigación.

### **2.1. Cambios de uso de suelo en Ecuador**

Los cambios que ocurren en los ecosistemas terrestres se suelen deber principalmente:

- Conversión en la cobertura del terreno,
- Degradación de la tierra
- Intensificación en el uso del suelo.

Los (USCUSS) Cambio de uso del suelo y silvicultura, son resultado de una interacción entre el ser humano y el medio biofísico. Y actúan sobre un amplio rango de escalas espaciales y temporales (Ohno, 1979). Se puede definir como un tipo de intervención cíclica o permanente

que es realizada por el ser humano para lograr satisfacer sus necesidades, mediante el cambio de los regímenes de manejo y el medio biofísico de un sitio de la superficie terrestre, y en el cual la cubierta como un descriptor del estado natural de la vegetación. La pérdida de cobertura vegetal natural causa diversos daños, entre ellos, a los elementos bióticos y abióticos: suelo, topografía, cuerpos de agua y roca (Oyinloye, 2004).

## **2.2. Tipos de afectaciones de los cambios de uso en el medio ambiente**

### **2.2.1. Agua**

La principal causa de afectación al agua producto del cambio de uso de suelo se debe a los procesos de recuperación de zonas agrícolas, por lo que se aumenta la demanda de agua para la agricultura de riego y agricultura de temporal, lo que ocasiona disminución en los cuerpos de agua (Vazquez, Balderas, CristinaMaría, Pérez, & Guitiérrez, 2014).

### **2.2.2. Almacenamiento de carbono en biomasa**

La iniciativa Yasuní ITT es una propuesta emblemática del Gobierno y consiste en dejar una importante reserva de crudo indefinidamente bajo tierra, específicamente el 20 % del total nacional que representa alrededor de 7.000 millones de dólares. La propuesta del país es mantener 840 millones de barriles de petróleo sin explotar, porque esto contribuiría a un nuevo modelo de desarrollo de economía postpetrolera. La iniciativa tiene como objetivos: evitar emitir 407 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> bajo mecanismos de compensación de emisiones netas evitadas; preservar la biodiversidad de un área del planeta con una riqueza natural extraordinaria, y conservar la zona intangible donde habitan los pueblos indígenas en aislamiento voluntario Tagaeri y Taromenae (Ríos, 2011).

### **2.2.3. Almacenamiento de carbono en el suelo**

Se considera que la incorporación de CO<sub>2</sub> a la atmósfera durante los últimos 20-25 años tuvo su origen en un 75 % en la quema de combustibles fósiles y el 25 % restante, sobre todo, como resultado de los cambios en el uso del suelo y muy particularmente de la deforestación. En estas circunstancias, se predice que la temperatura media superficial del planeta se incremente entre 1,4 °C para el periodo 1990- 2100 (Vela Correa, López Blanco, & Rodríguez Gamiño, 2012).

#### 2.2.4. Pérdida de hábitats

A través del análisis de la aplicación del Plan de Acción Mundial (PAM), realizado en 2007, se ha estimado el grado de peligro que tiene la agrobiodiversidad de las diferentes regiones del Ecuador. La Región Amazónica y el archipiélago de Galápagos han sido identificados como los más prioritarios para realizar estudios de inventarios y conservación de los recursos fitogenéticos, por su alta susceptibilidad a los peligros de erosión genética causados por la expansión de las áreas agrícolas, los asentamientos urbanos, la ampliación de la infraestructura vial, la introducción de plantas y animales invasores y la explotación petrolera (INIAP, 2008).

#### 2.2.5. Beneficios que proporcionan las áreas protegidas (AP)

- **Biodiversidad:** el beneficio principal de las AP es la conservación de la biodiversidad, y de los ecosistemas importantes para la supervivencia del hombre. Particularmente cuando dichas áreas involucran especies raras, en peligro de extinción o endémicas, o hábitats con poca representación, como áreas con pastizales, de agua dulce o marinas.
- **Empleo:** las AP pueden proporcionar fuentes de empleo para la población local como lo son los administradores, guarda parques, guarda faunas, guías y otros empleos directos e indirectos relacionados con servicios de ecoturismo. Generalmente, estos empleos proporcionan oportunidades educativas adicionales.
- **Alimentos:** las AP proporcionan una variedad de alimentos incluyendo plantas alimenticias silvestres, caza y pesca en categorías permitidas.
- **Agua:** la vegetación natural en las AP ayuda a mantener la calidad del agua y en algunas circunstancias, también a incrementar su cantidad disponible (es decir, por medio de filtración, renovación de agua subterránea y mantenimiento de caudales naturales).
- **Valores culturales y espirituales:** muchas de las AP más antiguas del mundo fueron designadas por sus valores culturales e históricos. Éstas pueden contener importantes sitios arqueológicos y construcciones históricas y proteger las rutas de peregrinaje y sistemas de uso de tierra tradicional. También incluyen sitios naturales sagrados o paisajes, como bosques sagrados, cascadas y montañas.

- **Salud y recreación:** las AP están siendo reconocidas cada vez más como lugares importantes para promover la salud física y mental y también como recursos recreativos importantes.
- **Conocimiento:** las AP se pueden utilizar para desarrollar el conocimiento y la educación a través de la divulgación formal e informal de información y al proporcionar sitios para investigación y monitoreo ecológico.
- **Materiales:** en muchas áreas protegidas, se permite acceder a un amplio rango de productos naturales, incluyendo, madera, leña, coral, conchas, resina, hule o goma, pastos, ratán y minerales (CEPAL, 2008).

### 2.3. Ecología de paisaje

Es una subdisciplina de la ecología y de la geografía que aborda la forma en que la variación espacial en el paisaje afecta los procesos ecológicos, tales como la distribución y el flujo de la energía, los individuos y los materiales en el ambiente y cómo éstos, a su vez, pueden influenciar la distribución de los elementos en el paisaje (Garramuño, 2006).

El término ecología y paisaje están relacionados con el entorno del hombre y con la superficie terrestre que tiene que usarse con la economía agrícola y forestal con el fin de aprovechar materias primas, al igual que la explotación minera o la fuerza hidráulica que producen energía para impulsar sus industrias; es un entorno que el hombre con sus actividades, transforma siempre de un paisaje natural a un paisaje económico y culturalmente aprovechado (Subirós, Linde, Pascual, & Palom, 2006).

### 2.4. Deforestación

La deforestación es la destrucción a gran escala de los bosques por la acción humana. Los bosques son protectores de la biodiversidad, evitan la erosión, regulan el ciclo hidrológico, frenan el cambio climático, proporcionan recursos energéticos; ofrecen multitud de hábitats distintos por lo que en ellos se puede encontrar una gran variedad de especies de seres vivos de todo tipo. (Mejia, 2014).

## **2.5. Deforestación en Latinoamérica y el Ecuador**

Las deforestación y degradación de bosques son las principales causas de pérdida de biodiversidad, de incremento de emisiones de carbono y de otros gases de efecto invernadero (GEI) (Simula, 2009).

Según datos del Ministerio de Ambiente, la tasa de deforestación nacional es de 65.880 hectáreas anuales, de las cuales, 12.485 hectáreas corresponden a Esmeraldas, sobrepasando el promedio por provincia. La deforestación, tiene que ver en una menor medida con el tema de la madera, está más bien direccionada al cambio del uso de suelo. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2018).

## **2.6. Fragmentación de bosques y sus causas**

La fragmentación de los bosques es una de las principales amenazas a los ecosistemas forestales tropicales. La fragmentación es debida a cambios en el uso del suelo, que conducen a una reducción de la superficie forestal y a la división de los bosques en parches que con el tiempo pueden reducir su tamaño, lo que acarrea un aislamiento del hábitat (Thompson et al., 2013).

La fragmentación y reducción de hábitats es una de las principales causas de la crisis global de biodiversidad, pueden ser resultado de procesos naturales, como la respuesta diferencial de las especies a los gradientes ambientales, o las perturbaciones y los consecuentes procesos de sucesión, que generan mosaicos de hábitats con distintas comunidades ecológicas. La fragmentación se está viendo incrementada como resultado de la transformación de los hábitats derivada del uso humano de los recursos naturales, al cambio de uso del suelo. Por todo esto, la fragmentación de hábitats también es una de las consecuencias de la deforestación (San Vicente & Lozano Valencia, 2010).

### **2.6.1. Consecuencias de la fragmentación**

La fragmentación de hábitats o poblaciones subdivididas, por origen antropogénico o natural, afecta a todas las especies degradándolas, y se ha convertido en una preocupación importante en la biología de la conservación. Las poblaciones que se intenta conservar son cada vez más aisladas y dispersas entre ellas (Navarro, González, Flores, & Amparán, 2015).

### **2.6.2. Características de la fragmentación**

La fragmentación del paisaje produce un conjunto de parches de vegetación remanente rodeados por una matriz de vegetación distinta o de uso de la tierra. Los efectos primarios de esta fragmentación se reflejan en las alteraciones microclimáticas dentro y alrededor del remanente (parche), y el otro efecto es el aislamiento de cada área con respecto a otras áreas remanentes dentro del paisaje. Es decir, que en cualquier tipo de paisaje fragmentado se presentaran cambios o alteraciones tanto en el ambiente físico (microclima) como en el biogeográfico (ubicación y comunicación o no entre los parches), lo que repercute en los organismos. Los diferentes niveles de fragmentación demuestran que aún no se ha considerado la mediación entre el grado de intervención y su efecto, por lo que la conservación de los recursos naturales postula modelos o técnicas a desarrollar para resolver la situación actual (Navarro et al., 2015).

### **2.7. Teledetección como herramienta para el análisis del cambio de uso de suelo**

La teledetección, se refiere a un procedimiento de adquirir información sin tener contacto directo con ella; este fenómeno es posible gracias a la interacción de energía electromagnética con las cubiertas terrestres. Estas tienen un comportamiento reflectivo variable, condicionado tanto por factores externos (ambientales) como por sus propias características físico químicas en el momento de la toma de la imagen (Romero, 2006).

### **2.8. Los sensores remotos**

Para la aplicación de la teledetección se utilizan diferentes sensores, son instrumentos susceptibles para detectar la señal electromagnética que llega de la Tierra a la atmósfera y la convierte en una magnitud física que puede ser tratada y grabada. Los sensores logran convertir la señal electromagnética en un formato analógico o digital. Existen diferentes tipos de plataformas, fijas o móviles (Sobrino, 2000).

#### **2.8.1. Resolución de las imágenes satelitales**

De la superficie terrestre, sale la radiación que es un fenómeno continuo en 4 dimensiones (espacio, tiempo, longitud de onda y radiancia). Un sensor debe muestrear de forma continua, para esto se lleva a cabo cuatro tipos de resolución con los que se trabaja en teledetección:

- Resolución espacial (tamaño de pixel)
- Resolución espectral (indica el número y anchura de las regiones del espectro para las cuales capta datos el sensor)
- Resolución radiométrica (número de intervalos de intensidad que pueden captarse)
- Resolución temporal, tiempo que transcurre entre dos imágenes (Martín Ortiz, 2001).

### 2.8.2. Resolución espacial

La resolución espacial es el tamaño del píxel, en algunos casos se emplea el concepto de IFOV (campo instantáneo de visión) que se define como la sección angular (en radianes) observada en un momento determinado, ya que el tamaño del píxel en una escena es variable incrementándose conforme nos alejamos del punto nadir.

Conceptos:

- FOV (Field of View): Extensión angular de la imagen en la dirección perpendicular al avance del sensor.
- SWATH (Proyección del FOV): Anchura de la imagen en la dirección perpendicular al avance.
- IFOV (Instantaneous Field of View): Extensión angular del área captada por un detector individual.
- GIFOV (Ground Instantaneous Field of View) Proyección del IFOV en la superficie (Uncpba, 2012).

### 2.8.3. Resolución espectral

Indica el número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor. Un sensor será tanto más idóneo cuanto mayor número de bandas que proporcione, ya que facilita la caracterización espectral de las distintas cubiertas. A la vez, conviene que esas bandas sean suficientemente estrechas con el objeto de recoger la señal sobre regiones coherentes del espectro. Bandas muy amplias suponen registrar un valor promedio que puede encubrir la diferenciación espectral entre cubiertas de interés.

Ej. La banda pancromática del SPOT es de menor resolución que la XS en función del ancho del espectro captado.



Por tanto, a menor ancho espectral... mayor resolución. El problema que surge es que también se reduce la relación S/N (Signal/ Noise o señal/ruido), por lo que es necesario llegar a una solución de compromiso entre ambas magnitudes.

Dependiendo del propósito del sensor, este factor tendrá más o menos importancia. La elección de un número apropiado de bandas y la correcta selección de su anchura pueden proporcionar ventajas a la hora de realizar clasificaciones entre cubiertas de respuesta espectral semejante (Baneo Pisco, 2015).

#### **2.8.4. Resolución radiométrica**

La resolución radiométrica de los datos de teledetección se define como la cantidad mínima de energía requerida para incrementar el valor de un píxel en un nivel digital (ND). Asimismo, se define la amplitud o extensión radiométrica como el intervalo dinámico, o máximo número de niveles digitales, que pueden ser detectados por un sensor particular. En los sensores más recientes lo habitual suele ser que los niveles vayan de 0 a 2047. En este caso hablaríamos de 11 bits de resolución radiométrica, ya que todos los valores de ese intervalo se pueden representar mediante 11 bits (dígitos binarios) en un sistema digital. La resolución radiométrica en imágenes digitales es comparable al número de tonos de gris en una fotografía en blanco y negro, ya que ambos se relacionan con el contraste. El ojo humano solo es capaz de percibir aproximadamente 30 tonos de gris diferentes, lo que implica que normalmente la información visual en las imágenes digitales es menor a la que realmente contienen. Aunque la resolución radiométrica define el máximo número de niveles digitales detectables por un sensor, normalmente una imagen real no los contiene todos y, además, no suele haber máximos y mínimos simultáneamente. En estos casos se pueden aplicar técnicas de tratamiento de imágenes para mejorar su apariencia visual, pero nunca la resolución radiométrica propia del sensor (García, Évora Brondo, & Arbelo Pérez, 2012).

#### **2.8.5. Resolución temporal**

Tiene dos posibles acepciones:

- Tiempo de revista. Es decir, el intervalo de tiempo mínimo para que un satélite pase por la misma zona de la cobertura terrestre.
- Al intervalo de tiempo entre toma sucesivas de la misma zona de la cobertura terrestre.

Las diferencias entre ambos conceptos se entienden tomando como referencia al satélite SPOT. En donde el tiempo de revisita (1) es de 16 días y el intervalo entre toma sucesivas (2) es variable, pero llegando como mínimo a 4 días.

El ciclo de cobertura depende de las características de la órbita del satélite, así como del diseño del sensor.

La cadencia temporal de los sistemas espaciales varía de acuerdo a los objetivos fijados para el sensor. Los satélites meteorológicos están obligados a facilitar una información muy frecuente, ya que se dedican a observar un fenómeno de gran dinamismo (30 minutos en el Meteosat). Por el contrario, los satélites de recursos naturales ofrecen una cadencia mucho menor (16 días en el Landsat)(Baneo Pisco, 2015).

## **2.9. Procesamiento de una imagen satelital**

El procesamiento digital de imágenes, es la aplicación de técnicas matemáticas, estadísticas y computacionales, que permiten mejorar, corregir, analizar y extraer información de las imágenes captadas por los sensores a bordo de los satélites. El procesamiento digital permite realizar operaciones complejas, muy costosas o inaccesibles para el análisis visual. Tiene la ventaja de permitir una rápida comparación de fenómenos multitemporales por la accesibilidad a la información que posee (Basterra, 2011).

### **2.9.1. Correcciones básicas de una imagen satelital**

Una imagen de satélite está sometida a una serie de interferencias que hacen que la información que quiere obtenerse aparezca perturbada por una serie de errores:

- Fallos en los sensores, generan pixeles incorrectos (corrección radiométrica)
- Alteraciones en el movimiento del satélite y el mecanismo de captación e los sensores, generan distorsiones en la imagen global (corrección geométrica)
- Interferencia de la atmósfera, alteran de forma sistemática los valores de los pixeles (corrección atmosférica) (Martín Ortíz, 2001).

#### **2.9.1.1. Corrección geométrica**

Este proceso conlleva la transformación de las coordenadas de los píxeles de la segunda imagen de tal forma que coincidan de manera precisa con las de la primera (imagen de referencia). Se realiza mediante una transformación polinomial de segundo grado que se obtiene a partir de un conjunto de pares de puntos de control de ambas imágenes.

- Localización de puntos de control

La detección automática de pares de puntos de control en las imágenes es esencial para que el sistema tenga éxito puesto que ellos son los que establecen las relaciones geométricas entre las imágenes. Estos puntos, en un número suficiente para hacer frente a los inevitables problemas de emparejamiento erróneos, han de ser lo más precisos posible (con precisión subpíxel) y estar uniformemente distribuidos por toda la imagen. Para lograr esto, primero se trocea la imagen en cuadros (ejemplo de 128 x 128 píxeles) en los que se buscan los puntos de control. Si bien existen diferentes métodos para efectuar esta búsqueda, por su robustez y precisión se ha optado por el algoritmo KLT.

Lógicamente, para lanzar el procedimiento de búsqueda es necesario un mínimo alineamiento y desplazamiento entre las imágenes que, de ser necesario, puede realizarse manualmente.

Debe señalarse también que pueden existir grandes zonas de la imagen donde los pares de puntos de control son poco o nada fiables (por ejemplo, en el mar, donde el oleaje da lugar aleatoriamente a numerosos puntos de interés, sin relación entre los de una y otra imagen). Aunque el algoritmo, como después se comenta, es capaz de descartar pares espúreos de puntos mal emparejados, en este caso es conveniente eliminar manualmente estas zonas mediante el recorte poligonal de la primera imagen de referencia (se realiza, por tanto, una sola vez).

- Transformación de coordenadas

Los pares de puntos de control obtenidos son empleados para calcular los coeficientes del sistema polinomial mediante el cual se realiza la transformación de coordenadas a la nueva imagen corregida. En particular, las expresiones utilizadas son:

$$\begin{aligned}x' &= a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy \\ y' &= b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy\end{aligned}$$

donde  $(x', y')$  y  $(x, y)$  son las coordenadas de los píxeles de la imagen corregida y sin corregir, respectivamente. Nótese que este modelo puede manejar deformaciones lineales como cambios de escala, desplazamiento, rotación, etc. Los 8 coeficientes de estas dos ecuaciones son calculados mediante un ajuste de mínimos cuadrados iterativo en el que se van descartando aquellos pares de puntos que contribuyen con más error al residuo del ajuste (Ambrosi, 2005).

### **2.9.1.2. Corrección radiométrica**

La corrección radiométrica implica por una parte la restauración de líneas o píxeles perdidos y por otra la corrección del bandeo de la imagen (Martín Ortiz, 2001).

### **2.9.1.3. Corrección atmosférica**

La corrección radiométrica trata de corregir problemas mecánicos en el sensor que generan valores erróneos en píxeles concretos y la corrección geométrica sitúa los píxeles en el espacio geográfico corrigiendo las posibles distorsiones. Por su parte la corrección atmosférica trata de evaluar y eliminar las distorsiones que la atmósfera introduce en los valores de radiancia que llegan al sensor desde la superficie terrestre. Por tanto, se va a basar en modelos físicos más complejos que los modelos estadísticos utilizados anteriormente. El primer paso es convertir los Niveles Digitales (ND) almacenados por el sensor en valores de radiancia.

## **2.10. Métodos de clasificación de imágenes satelitales**

### **2.10.1. Clasificación supervisada**

Para realizar la clasificación supervisada se debe conocer la zona de estudio, ya que tener la mayor familiaridad con el área de interés, permite delimitar sobre la imagen aquellos elementos suficientemente representativos de cada una de las categorías que componen la leyenda (Chuvienco, 2006).

### **2.10.2. Clasificación no supervisada**

La clasificación no supervisada no se establece ninguna clase a priori, aunque es necesario determinar el número de clases que queremos establecer, y dejar que las defina un procedimiento estadístico (Carvallo, 2012).

Método que realiza una búsqueda automática agrupando valores uniformes dentro de una imagen; es decir, a partir de los niveles digitales crea varios “cluster” con píxeles que tienen un comportamiento espectral similar. Es importante señalar que el analista debe indicar cuál es el significado temático de las clases espectrales generadas, puesto que el programa no lo detecta y puede establecer categorías de poco interés para el proyecto. Entre los algoritmos más conocidos se destacan ISODATA y K-means (Acosta, 2017).

## 2.11. Parque Nacional Yasuní

El Parque Nacional Yasuní (PNY) está localizado en el sector centro oriental de la Región Amazónica Ecuatoriana, en las provincias de Orellana (cantones Aguarico y Coca) y Pastaza (cantón Pastaza), entre los ríos Napo y Curaray. Con una superficie de 1'022.736 ha. El clima del PNY se caracteriza por tener temperaturas cálidas con un promedio de 24°C a 27°C para todos los meses, las precipitaciones son altas, aproximadamente 3.200 mm anuales y humedad relativa de 80 % y 94 % durante todo el año. Yasuní está dentro del “Núcleo del Amazonas”, una región particularmente húmeda sin estación seca severa. El promedio de elevaciones del parque es bajo, de aproximadamente 190 m a 400 m sobre el nivel del mar, el territorio es frecuentemente cruzado por crestas de 25 m a 70 m. Los suelos son geológicamente jóvenes en su mayoría, producto de los sedimentos fluviales por la erosión de los Andes.

La totalidad del área protegida corresponde al bosque húmedo tropical, de acuerdo a las zonas de vida de Holdridge incluye cuatro tipos principales de vegetación:

- Tierra firme o no inundable, localizada en la parte alta sobre colinas.
- Bosque estacionalmente inundado por aguas blancas o várzea.
- Bosque permanentemente inundado por aguas negras o igapó y
- Un cuarto tipo de bosque pantanoso conocido como moretal, dominado por la palma “morete” (*Mauritia flexuosa*).

Los altos niveles de biodiversidad del PNY, son probablemente su característica más particular, la cual hace resaltar al área protegida dentro de los ecosistemas globales. No se conoce por qué la diversidad biológica es tan alta pero algunas hipótesis señalan que esto se puede deber a la confluencia de las estribaciones de los Andes, la selva amazónica y la ubicación ecuatorial del área. Igualmente, hay indicaciones de que la falta de estacionalidad y la alta precipitación son factores contribuyentes. El Yasuní ocupa una posición biogeográfica única, donde la riqueza de especies de anfibios, aves, mamíferos y plantas vasculares llegan a la biodiversidad máxima en relación al resto de América del Sur. Gracias a los constantes esfuerzos por conocer este ecosistema o el PNY se ha podido estimar un número de especies registradas hasta el año 2004 (Bliemsrieder et al., 2011), las mismas que aumentan continuamente; según se continúa estudiando:

- 2.274 especies de árboles y arbustos;
- 204 especies de mamíferos (de los cuales más de 90 son murciélagos);

- 610 especies de aves;
- 121 especies de reptiles;
- 139 especies de anfibios;
- más de 268 especies de peces;
- cientos de miles de especies de insectos.

Considerando la extensión del PNY y su diversidad biológica y cultural, la importancia y potencial de esta área protegida para la investigación científica es enorme (Bliemsrieder et al., 2011).

### **3. METODOLOGÍA**

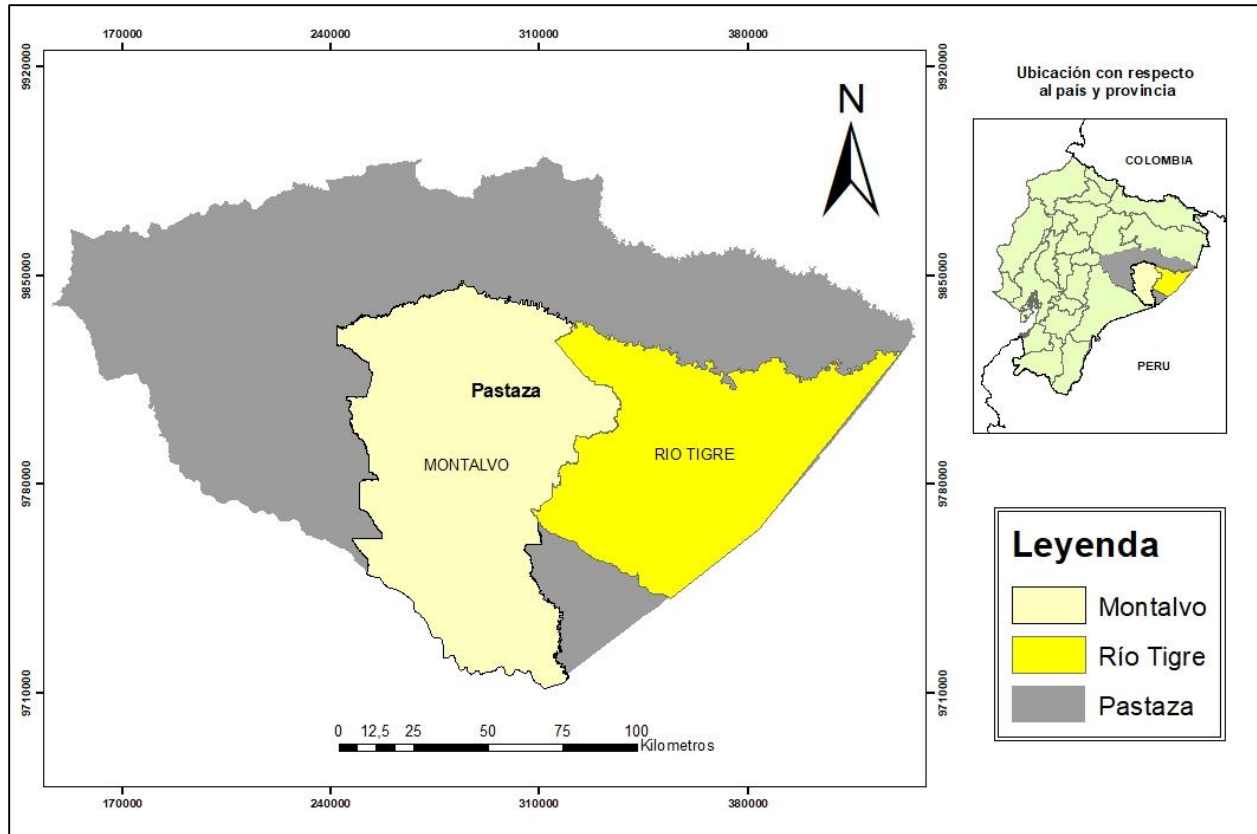
A continuación, se describe el área de estudio y los procesos metodológicos utilizados en la presente investigación.

#### **3.1. Descripción del área de estudio**

El área de estudio se sitúa en la parroquia Río Tigre, provincia de Pastaza, cubre 5.421 Km<sup>2</sup> (Figura1), tiene una población de 656 habitantes. La importancia de la parroquia, para el presente proyecto, radica en que se encuentra en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Yasuní y cuenta con la presencia del Área protegida (AP) Socio Bosque, así como del área no protegida (ANP) o zona circundante. Se encuentra localizado entre las coordenadas geográficas: 77° 00'56'' y 76° 00' 31'' Longitud Oeste; 01° 34'28'' y 01° 49'38'' Latitud Sur (CDTER, 2015).

##### **3.1.1. Ubicación administrativa**

La parroquia Río Tigre se encuentra ubicada al Sureste de la Provincia de Pastaza, cuenta con las siguientes comunidades que legalmente pertenecen a la jurisdicción parroquial: por el Río Conambo: Kawao, Tekerika Suraka, Shiona, Tanguntsa, Pientsa, Mashuntsa, Yandana Entsa, Santa Rosa, Kanay, Juyuintsa, Nuevo Amazonas; por el Río Pinduyacu: Lupuna, Balzaura, Wiririma, Yanayacu; y por el Río Curaray: Pavacachi, Valle Hermoso, Nina Amaran, Sisa, Lorocachi, Jatun Playa y Victoria(CDTER, 2015).



**Figura 1.** Mapa de ubicación de la zona de estudio

### 3.1.2. Topografía

La parroquia Río Tigré cuenta con un área que comprende parte de la Amazonía Periandina y los Paisaje Fluviales de los valles con terrazas no diferenciadas (CDTER, 2015).

### 3.1.3. Clima

La temperatura media anual de esta parroquia se encuentra entre: 25.1 °C hasta los 26,21 °C, y mientras la elevación es menor, más alta es la temperatura media anual y su precipitación se encuentra entre 2.667 a 2.960 mm<sup>3</sup>/año (CDTER, 2015).

### 3.1.4. Demografía

Según el Sistema Nacional de Información en la parroquia Río Tigré en el año 2010 se registra un total de 656 habitantes (CDTER, 2015).

### **3.1.5. Ríos principales**

El sistema hidrográfico de la parroquia Río Tigre se encuentra compartido por las subcuenca de los ríos Curaray, Tigre, Pindoyacu, Conambo y Corrientes (CDTER, 2015).

### **3.1.6. Producción**

Las zonas agrícolas y los poblados se encuentran cerca de los ríos Curaray (navegable en todo el territorio), Conambo y Pindoyacu, debido a la accesibilidad fluvial y al aprovisionamiento de agua y alimento mediante la pesca. Las actividades agrícolas en los asentamientos poblacionales de la Parroquia Río Tigre debido a su ubicación geográfica, y a sus tradiciones es para autoconsumo y subsistencia, su población en un 97 % se autoidentifica indígena; cuya forma de vida se basa en vivir de las bondades de la naturaleza, el sistema de cultivo de productos se lo hace a través de Chacras. Los productos que cultivan es la Yuca, Plátano, Papa China, maíz entre otros; la yuca es su principal producto en la elaboración de la chicha y para acompañar la pesca y caza diaria, lo cual desde luego con el pasar de los años se ha visto disminuida debido a la intervención desmedida del hombre en la naturaleza (Franklin et al., 2015).

Las zonas agrícolas y los poblados se encuentran cerca de los ríos Curaray (navegable en todo el territorio), Conambo y Pindoyacu, debido a la accesibilidad fluvial y al aprovisionamiento de agua y alimento mediante la pesca (CDTER, 2015).

Con la finalidad de tener un parámetro de comparación del cambio de uso de suelo y los patrones de fragmentación de la parroquia Río Tigre, se aplicó la misma metodología en la parroquia Montalvo que está aledaña a la parroquia estudiada y forma parte de la zona de amortiguamiento del PNY.

La parroquia Montalvo tiene una población de 4.952 habitantes, distribuidas en 56 comunidades, la mayor concentración de población se encuentra en las Comunidades Kapawi, Kurintsa, Charapacocha, Wayusentsa, Santo Tomas, Boberas, Bufe, Sharamentsa.

En la parroquia Montalvo, la mayoría de sus habitantes obtienen sus ingresos económicos a partir de la agricultura, artesanía, pesca y crianza de animales menores; respecto a la agricultura su producción en gran parte es destinada para el abastecimiento de alimentos de la

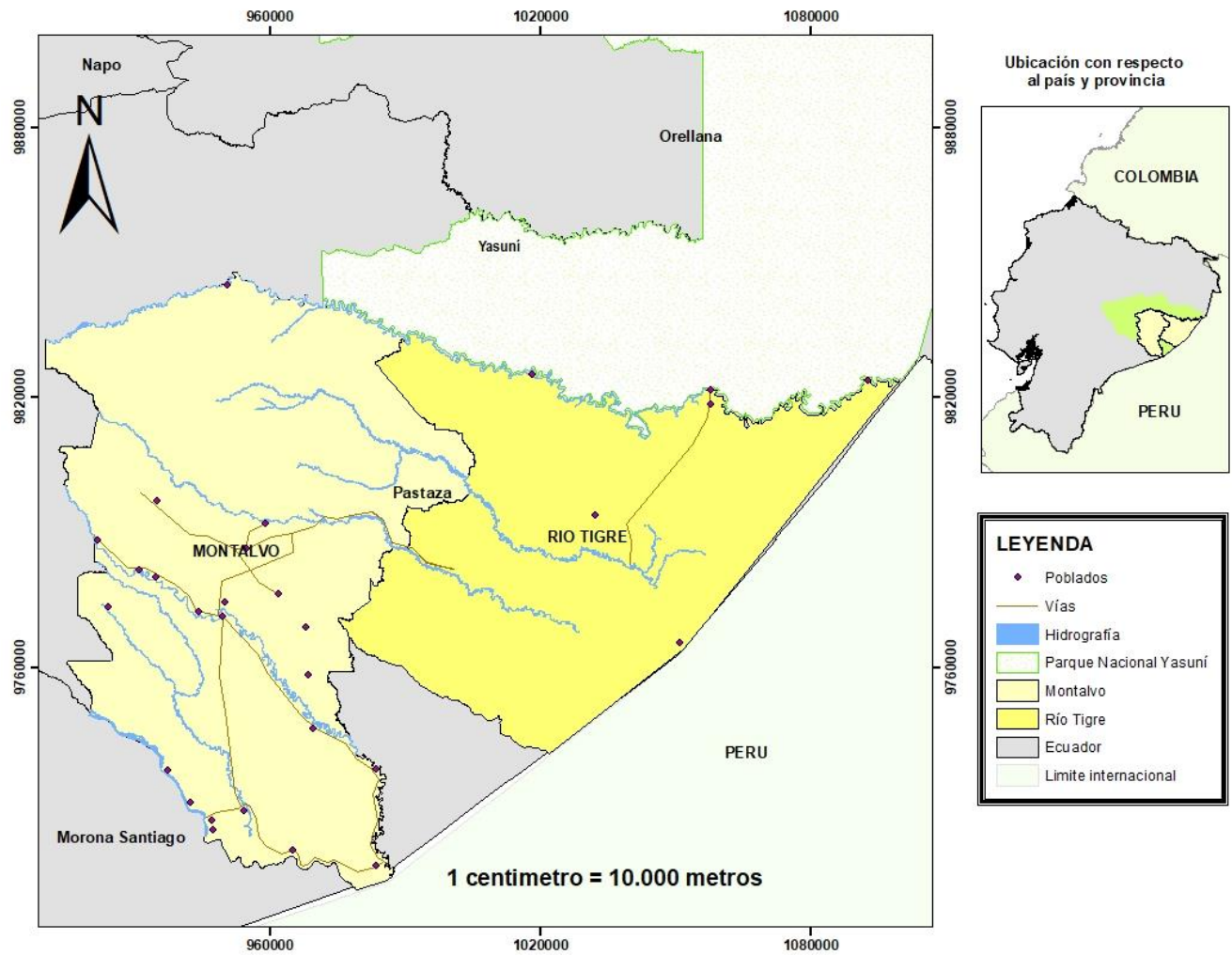


familia y la otra parte para comercialización, siendo los siguientes sus principales cultivos yuca, plátano, papa china, papa nativa, camote, maní, caña de azúcar, piña, g, cacao, café, chonta, ají; y actividades pecuarias como la crianza de pollos de engorde, pesca de bagre, y en ciertas comunidades actividades de piscicultura (Franklin et al., 2015).

Por otro lado, para comparar los parámetros de fragmentación se aplicó la misma metodología en terrenos correspondientes al área protegida del PNY.

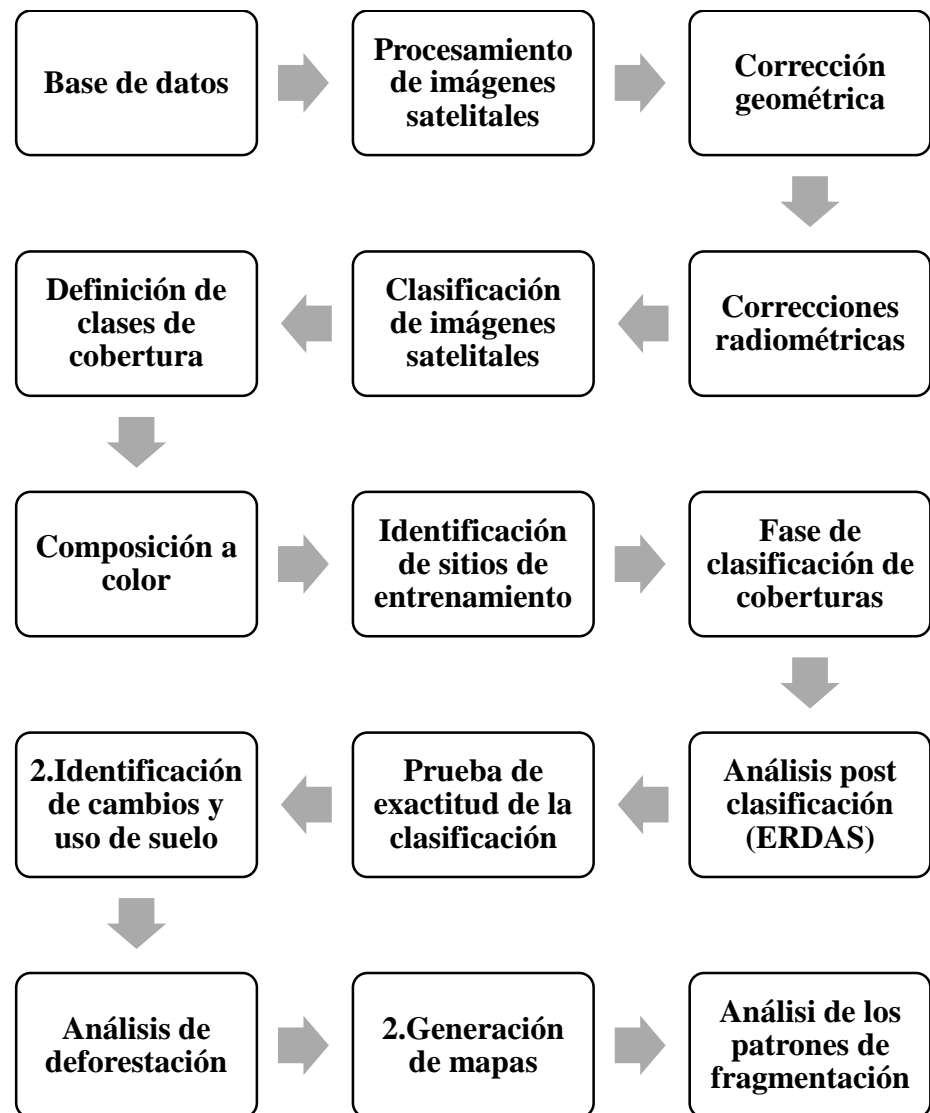
El Parque Nacional Yasuní (PNY) se encuentra ubicado en el centro oriente de la región amazónica, es el área protegida más grande del Ecuador continental con una extensión de 1'022.736 ha. El parque cuenta con un importante patrimonio natural y cultural, es considerado uno de los lugares más biodiversos del planeta y ha sido calificado científicamente como Refugio del Pleistoceno.

Dentro de su territorio y área de influencia habitan las nacionalidades indígenas Waorani, Kichwa, Shuar y grupos indígenas aislados Tagaeri y Tarmenane, además de colonos que han inmigrado desde diferentes lugares del Ecuador. Esta situación hace del parque un área de gran complejidad que además cuenta con industrias de extracción hidrocarburífera a gran escala (MAE, 2016).



*Figura 2.* Mapa base de la zona de estudio

### 3.2. Métodos



*Figura 3.* Flujograma de la metodología general

### 3.2.1. Base de datos

Para el análisis multitemporal y cambios de uso de suelo, se usaron 8 escenas del satélite Landsat 5 TM y Landsat 8 OLI, las escenas se obtuvieron de la base de datos del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) (GLOVIS, 2017).

*Tabla 1.* Escenas del satélite Landsat, utilizadas en el presente estudio

<b>Path y row</b>	<b>Fecha</b>	<b>Sensor</b>
<b>8/61</b>	23/01/1987	5 TM
<b>8/62</b>	23/01/1987	5 TM
<b>9/61</b>	11/09/1987	5 TM
<b>9/62</b>	11/09/1987	5 TM
<b>8/61</b>	18/06/2017	8 OLI/TIRS
<b>8/62</b>	18/06/2017	8 OLI/TIRS
<b>9/61</b>	18/12/2017	8 OLI/TIRS
<b>9/62</b>	18/12/2017	8 OLI/TIRS

### 3.2.2. Procesamiento de imágenes satelitales

Para la realización de este proceso, se buscó imágenes satelitales disponibles de la zona de estudio en la base de datos del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). Para esta búsqueda se analizó el porcentaje de nubes y periodo de disponibilidad. Se realizaron correcciones geométricas, radiométricas y atmosféricas y se derivaron bandas adicionales para mejorar la interpretación visual y digital de las escenas seleccionadas. De esta manera, obtener una imagen de buena calidad para poder realizar el procesamiento.

#### 3.2.3.1. Corrección geométrica

La corrección geométrica, se realizó para eliminar las distorsiones topográficas en la superficie terrestre.

Se corrigió las imágenes Landsat a la posición geométrica de la zona de Ecuador, es decir a la proyección WGS84 zona 18 N, ya que, al momento de importar las imágenes, tenían posición sur. Para esto se corrigió en la metadata de cada escena o imagen.

### **3.2.3.2. Correcciones radiométricas**

#### **a. Corrección atmosférica**

Esta corrección, se realizó para evaluar y eliminar las distorsiones de la atmósfera introducidos en los valores de radiancia que llegan al sensor desde la superficie terrestre. En el software TerrSet se trabajó con el módulo LANDSAT. La información requerida se obtuvo de la Metatada de cada escena o imagen.

En este caso se requiere el archivo MTL de cada imagen. En el módulo se observó, las bandas correspondientes a Landas 8 OLI que son 11 bandas y una banda de calidad QA, no se las tomó en cuenta a las bandas 10, 11 y QA, ya que estas tienen una resolución de 100 metros y no se las puede utilizar a continuación, en el caso de Landat 5 TM, se coloca la opción No en la banda 6. Se utilizó una corrección de reflectancia con el modelo de costos.

#### **b. Módulo de cambio de resolución (Pansharpen)**

Las bandas corregidas atmosféricamente se encuentran a 30 metros, excepto la banda 8 que es la banda pancromática y tiene una resolución de 15 metros. En el módulo Pansharpen del software Terrset, se procedió a bajar la resolución de la imagen a 15 metros para una mejor apreciación del terreno. En el caso de Landsat 5 TM, no se puede realizar este proceso y se trabajó sobre las imágenes a 30 metros.

### **3.2.4. Determinar los cambios de cobertura vegetal que han ocurrido en el parque nacional Yasuní y sus zonas de amortiguamiento.**

A continuación, se presenta el análisis que se utilizó para obtener los mapas de cobertura y uso de suelo de la zona de estudio y luego posteriormente se realizó el cálculo de deforestación.

### **3.2.5. Clasificación de imágenes satelitales**

#### **3.2.5.1. Clases de cobertura y uso de la tierra utilizados en el presente estudio**

Para realizar la clasificación de imágenes satelitales, se procedió a colocar las clases al ser utilizadas por el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE, 2017), mismas que se indican en la siguiente tabla:

**Tabla 2.** Clases de cobertura vegetal

<b>Categorías</b>	
<b>1</b>	Bosque
<b>2</b>	Cuerpo de agua
<b>3</b>	Zona antrópica
<b>4</b>	Área agropecuaria
<b>5</b>	Área sin cobertura vegetal
<b>6</b>	Nubes
<b>7</b>	Sombras

### **3.2.5.2. Composición a color**

Se realizó una combinación de bandas en color real (RGB) colocando la banda 7, 4, 2 para landsat 5 y la combinación de bandas 7, 4, 3 en el módulo composite del software TerrSet, para proceder a identificar las áreas de entrenamiento o categorías (Fernandez & Herrero, 2001).

### **3.2.5.3. Identificación de sitios de entrenamiento**

Se realizó en el software Terrset con la herramienta digitize, colocando las zonas más representativas de cada cobertura vegetal, esto se hace sobre la imagen compuesta o composite, se realiza con la finalidad de obtener la clasificación de las imágenes.

### **3.2.5.4. Fase de clasificación de coberturas**

Una vez realizada la clasificación se procedió a buscar un clasificador en el software Terrset, en este caso se utilizó el clasificador Mindist o mínima distancia.

El módulo MINDIST implementa un clasificador de distancia mínima a medios. Basado en los datos del sitio de entrenamiento, MINDIST caracteriza cada clase por su posición media en cada banda (Ronal, 2016).

### **3.2.3. Post procesamiento**

#### **3.2.3.1. Análisis post clasificación (ERDAS)**

Se exportó la imagen clasificada al software Erdas Imagine 2015, en este programa se procedió a reclasificar los pixeles perdidos o confundidos en la clasificación supervisada, las imágenes en su metadata tuvieron que ser identificadas a su zona ubicada en Ecuador, en este caso Datum 84 18 N. Para poder identificar o cambiar los colores de la imagen, se reasignaron colores a la paleta de colores de la clasificación, de esta manera se colocó de acuerdo a como debían ser identificados desde el principio. Para una mejor visualización, se colocó una combinación de bandas de la imagen y se pudo ir comparando con la imagen clasificada, este proceso necesitó de mucha exactitud al momento de cambiar los colores de los pixeles perdidos o confundidos. Al finar con este procedimiento, se realizó un mosaico de las cuatro escenas y mediante un módulo que permite coser las imágenes se seleccionó la parte de cada escena para unir las, seguido a esto se guardó el raster y se lo convirtió en vector para ser utilizado en la creación de los mapas.

#### **3.2.3.2. Prueba de exactitud de la clasificación**

Se utilizó los vectores generados en el software Erdas Imagine 2015, una vez que se obtuvieron las imágenes clasificadas, en el software QGIS se procedió a realizar los sitios de entrenamiento, fueron 50 puntos por cada cobertura vegetal dando un total de 250 puntos y con la herramienta Accuracy assessment y se obtuvieron los datos (Loya, Aguilar, Bravo, & Sánchez, 2013).

#### **3.2.3.3. Identificación de cambios y uso de suelo**

Una vez realizada la prueba de exactitud en el software QGIS, se obtuvo lo que se perdió de bosque en este periodo de tiempo, en hectáreas. Y posterior a esto se ingresaron los datos en el software TerrSet y de esta manera se obtuvo las ganancias y pérdida de cada cobertura vegetal a estudiar.

#### 3.2.3.4. Análisis de deforestación

Para realizar este análisis, se utilizaron las siguientes fórmulas propuestas por el MAE:

Deforestación total anual (R) promedio para un período determinado, definida en la ecuación 1:

$$R = \frac{A^1 - A^2}{T^2 - T^1}$$

Cálculo de la tasa de deforestación anual (q), definida en la ecuación 2:

$$\left[ q = \left[ \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^{1/t^2 - t^1} - 1 \right] \times 100 \right]$$

(MAE, 2017).

#### 3.2.4. Generación de mapas

Para la generación de mapas del año 1987 y del año 2017 se cargó en QGIS los vectores creados en Erdas Imagine 2015, se asignó los colores correspondientes a cada categoría o clase y se procedió a colocar los elementos necesarios para la culminación de los mapas de cambios.

Una vez realizados los dos mapas, se realizó la matriz de transición y el mapa donde se identificó los cambios de los dos mapas en diferentes tiempos, es decir en los años 1987 y 2017, para esto se asignó valores a las clases de cada año, se unió los dos mapas y en la tabla de atributos se calculó las áreas de cada cambio.

### 3.3. Analizar los patrones de fragmentación del bosque nativo en el Parque Nacional Yasuní y sus zonas de amortiguamiento

Este objetivo se realizó mediante la ejecución de métricas, en el software FRAGSTATS:

FRAGSTATS es un programa de computadora diseñado para computar una amplia variedad de métricas de paisajes para patrones de mapas categórico (Mcgarigal, 2015).

Para establecer el grado y los patrones de fragmentación de las coberturas vegetales se utilizó el software FRAGSTATS, cuyas capas de entrada corresponden a los mapas de Cobertura elaborados en el primer objetivo de los años 1987 y 2017 en formato raster. Posteriormente para los parámetros de análisis se utilizó las



métricas seleccionadas; dando como resultado una serie de datos para cada métrica analizada. Las métricas utilizadas para este análisis son las siguientes:

**Tabla 3.** Métricas utilizadas en el presente estudio

<b>Métrica</b>	<b>Clave</b>	<b>Descripción</b>
Número de parches	NP	NP es igual al número de parches en el paisaje. NP no incluye ningún parche de fondo interno (es decir, dentro del límite del paisaje) ni ningún parche en el borde del paisaje, si está presente.
Índice de parche mayor	LPI	Porcentaje que ocupa el fragmento más grande en el total del tipo de coberturas si se calcula en el nivel de clase. LPI se aproxima a 0 cuando el área de fragmento más grande de la clase correspondiente es muy pequeña y es igual a 100 cuando el total del paisaje consiste de un solo fragmento que ocupa el 100% del área del mismo.
Densidad de borde	ED	ED es igual a la suma de las longitudes (m) de todos los segmentos de borde que involucran el tipo de parche correspondiente, dividido por el área total del paisaje (m <sup>2</sup> ), multiplicado por 10.000 (para convertir a ha)
Índice de forma medio	SHAPE_MN	Corrige el problema de tamaño del índice de relación área-perímetro ajustando un estándar cuadrado y, como resultado, es la medida más simple y quizá más directa de la complejidad de la forma.

#### 4. RESULTADOS

Luego de procesar la información, se muestran los resultados del análisis de los cambios de uso de suelo y la deforestación. Asimismo, se presenta el análisis de los patrones de fragmentación.

##### 4.2. Resultados del primer objetivo. Determinar los cambios de cobertura vegetal que han ocurrido en el parque nacional Yasuní y sus zonas de amortiguamiento.

###### Coberturas del uso del suelo

Después de estudiar y haber procesado la información digital, se analizó los cambios de uso de suelo; A continuación, se presentan los resultados:

Se obtuvieron datos en porcentaje y en hectáreas del cambio de cobertura vegetal de la zona de estudio que comprenden las parroquias Rio Tigre y Montalvo de la provincia de Pastaza.

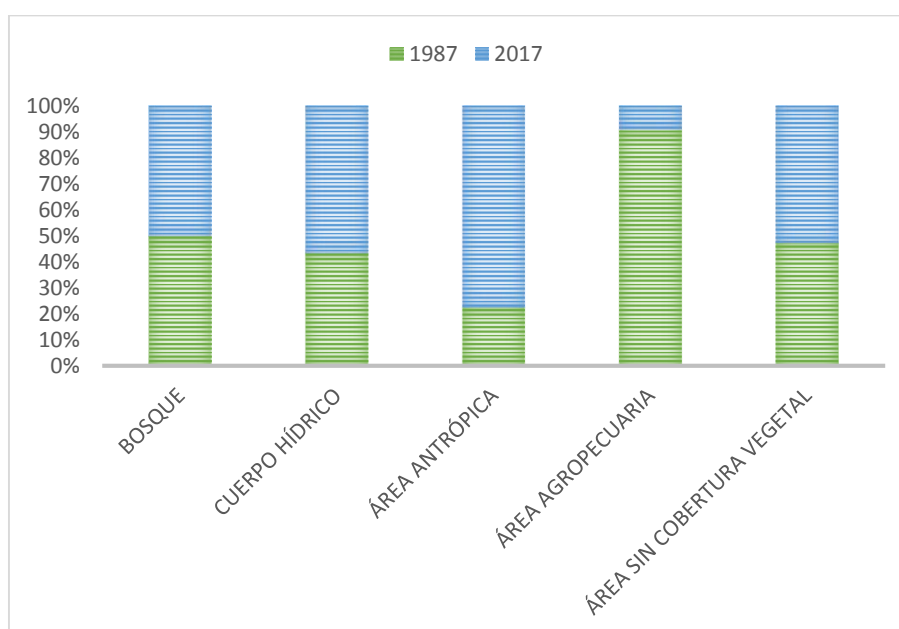
Para el año 1987 la cobertura vegetal según las clasificaciones realizadas: bosque 1'337.285 hectáreas (99,24 %), cuerpo hídrico 7.327,15 ha (0,54 %), área antrópica 183,42 ha (0,01 %), área agropecuaria 2.266,38 ha (0,17 %) y área sin cobertura vegetal 418,19 (0,17 %).

Para el año 2017 la cobertura vegetal según las clasificaciones realizadas es: bosque 1'336.569 hectáreas (99,19 %), cuerpo hídrico 9 585,50 ha (0,71 %), área antrópica 629,21 ha (0,05 %), área agropecuaria 230,09 ha (0,02 %) y área sin cobertura vegetal 466,25 (0,03 %).

Realizando una comparación entre los porcentajes de cambios de cobertura vegetal del año 1987 y 2017 de la zona de estudio, las clases de cobertura han cambiado; la cobertura bosque de 1'3372.285 ha a 1'336.569 ha; la cobertura cuerpo hídrico 7.327,15 ha a 9.585,0 ha; la cobertura área antrópica de 183,42 ha a 629,21 ha; la cobertura área agropecuaria de 2.266, 38 ha a 230, 09 ha y la cobertura área sin cobertura vegetal de 418,19 ha a 466,25 ha por lo que se puede evidenciar esta zona no ha sufrido un cambio tan brusco al pasar de los años.

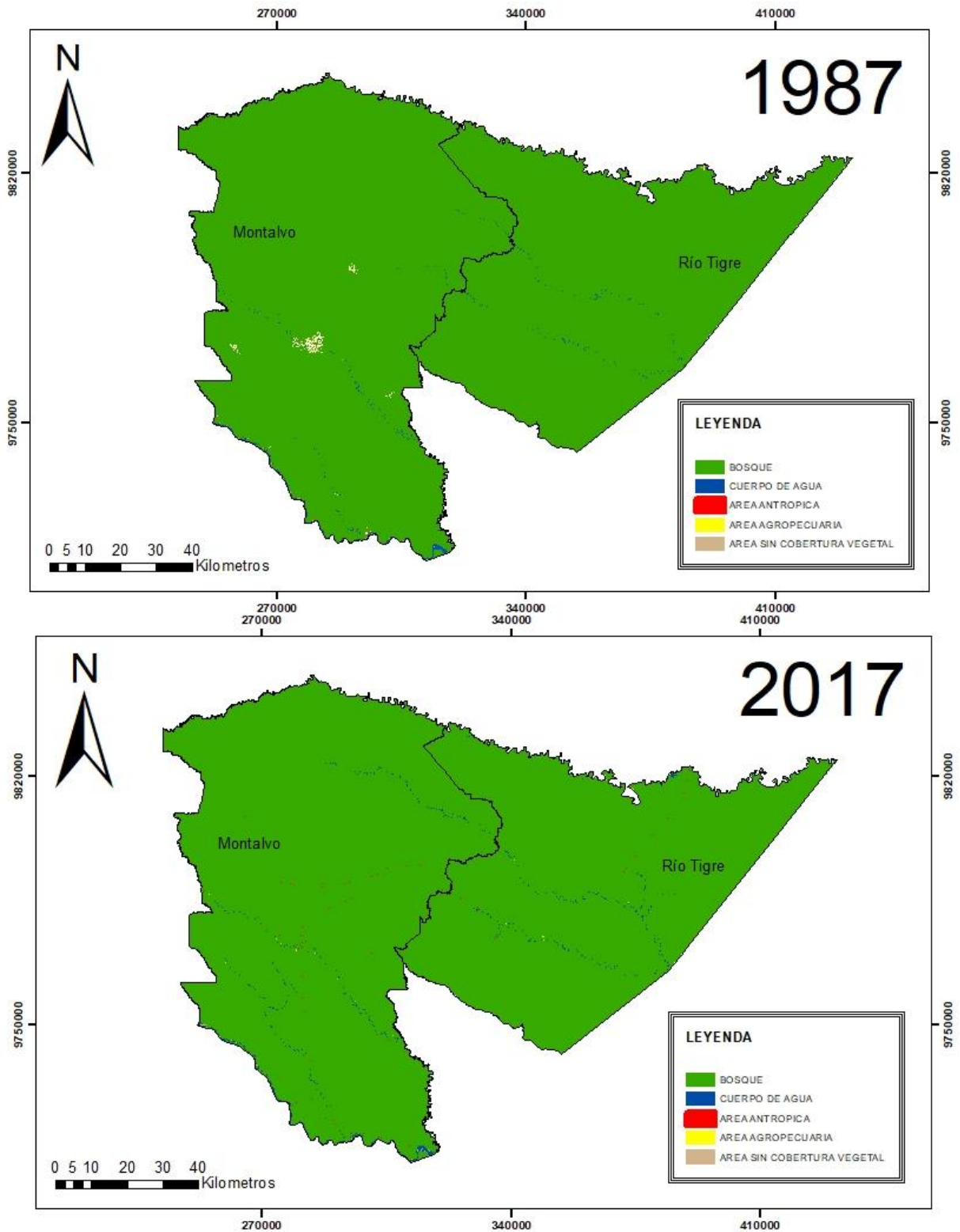
**Tabla 4.** Comparación de los cambios de cobertura vegetal entre los años 1987 y 2017

COBERTURA	1987		2017	
	ha	%	ha	%
BOSQUE	1'337.285	99,24	1'336.569	99,19
CUERPO HÍDRICO	7.327,15	0,54	9.585,0	0,71
ÁREA ANTRÓPICA	183,42	0,01	629,21	0,05
ÁREA AGROPECUARIA	2.266,38	0,17	230,09	0,02
ÁREA SIN COBERTURA VEGETAL	418,19	0,03	466,25	0,03
<b>TOTAL</b>	<b>1'347.480</b>	<b>100</b>	<b>1'347.480</b>	<b>100</b>



**Figura 4.** Cambio de uso de cobertura vegetal (1987-2017)

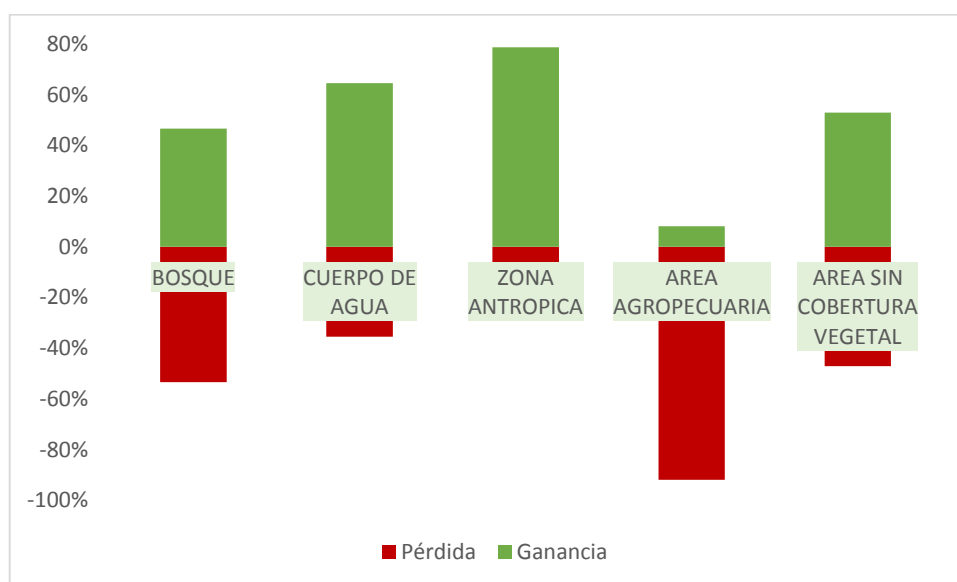
La cobertura bosque tiene porcentaje similar en los dos años, esto indica que no hay mayores cambios; la cobertura cuerpo hídrico en el año 2017 aumentó, sin embargo, no es significativo; la cobertura área antrópica se observa cambio bastante notorio en el año 2017, influye por el crecimiento poblacional y por tanto por las necesidades de vías, pistas de aterrizajes; la cobertura área agropecuaria en el año 1987 se observa con un mayor porcentaje, se puede decir que es porque antes se dedicaban a la agricultura con mayor intensidad; la cobertura área sin cobertura vegetal se observa que llevan similares porcentajes.



*Figura 5.* Mapa de cambios de cobertura vegetal, año 1987 y 2017

### 4.2.3. Ganancias y pérdidas del cambio de uso de cobertura vegetal

En bosque existe una ganancia de (4.963 ha) y una pérdida de (-5.679 ha); en cuerpo de agua, una ganancia de (5.004 ha) y una pérdida de (-2.746 ha); en área antrópica una ganancia de (611 ha) y una pérdida de (-165 ha); en área agropecuaria una ganancia de (198 ha) y una pérdida de (-2.234 ha), en área sin cobertura vegetal una ganancia de (435 ha) y una pérdida de (-387 ha).



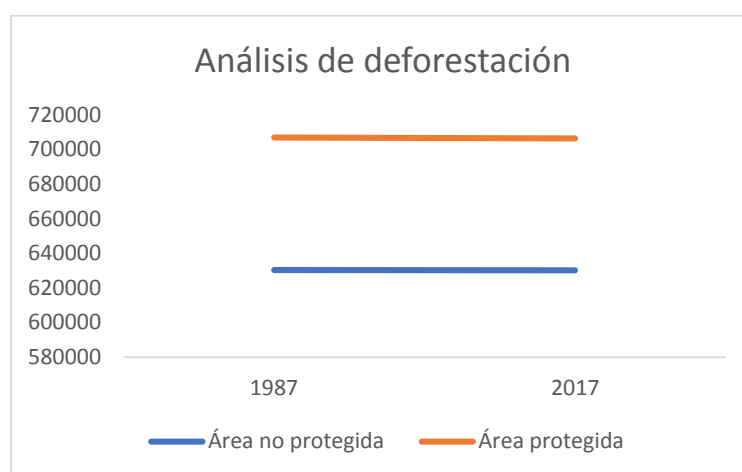
*Figura 6.* Ganancias y pérdidas de la zona de estudio, año 1987 y 2017

### 4.2.4. Análisis de deforestación

Los resultados reflejados en la tabla 5, se refieren a la deforestación que ha sufrido el área de estudio con respecto al programa socio bosque y la zona circundante (1987-2017). En lo que respecta al programa socio bosque la tendencia de la línea es descendiente, esto quiere decir que si han respetado las políticas de conservación. La zona circundante de igual manera, se observa una línea descendiente.

**Tabla 5.** Deforestación anual y neta entre 1987 y 2017.

Zonas	1987	2017	Cambio	Deforestación anual	Tasa anual de deforestación neta	
	ha	ha	ha			%
<b>Río tigre (Bosque)</b>	1'337.29	1'336.569	716	0,05	23,86	-0,0018
<b>Área protegida</b>	706.941	706.402	539	0,07	17,97	-0,0025
<b>Área no protegida</b>	630.345	630.168	177	0,02	5,90	-0,0009



**Figura 7.** Análisis de deforestación (AP Y ANP)

#### 4.2.5. Validación de resultados: Cambio uso de suelo

En las tablas que se observan a continuación se describe los resultados de la validación que se realizó, nos indica que en las dos imágenes se ha realizado de forma correcta la clasificación, por eso los porcentajes son mayores al 80 % y la índice kappa es mayor a 0,70 en ambos casos. (anexos 1 y 2).

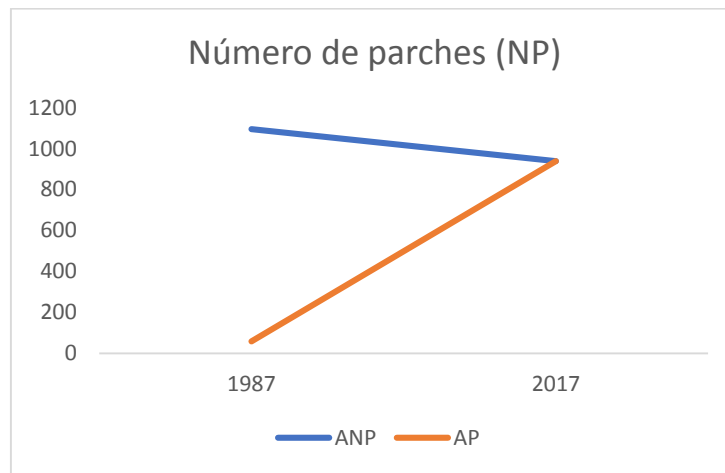
#### 4.3. Resultados segundo objetivo: Analizar los patrones de fragmentación del bosque nativo en el Parque Nacional Yasuní y sus zonas de amortiguamiento

Los patrones de fragmentación del bosque correspondientes a la clasificación del año 1987 y 2017 de la zona de estudio Río Tigre. Las métricas utilizadas para este análisis son las siguientes: Número de parches (NP), Índice de parche mayor (LPI), Densidad de borde (ED), Índice de forma medio (SHAPE\_MN). Con respecto a

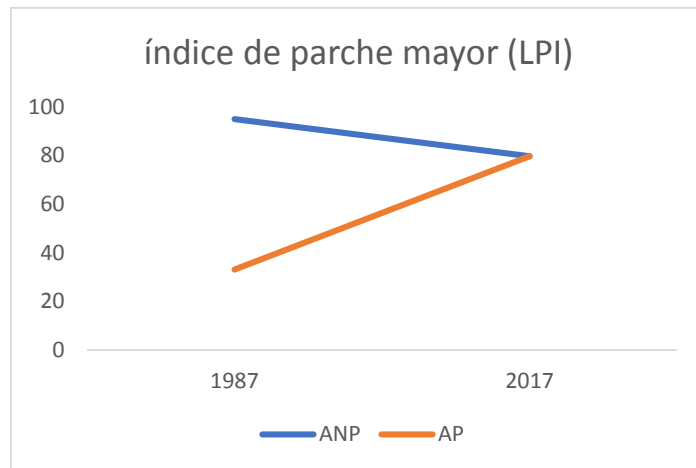
número de parches, la zona circundante en el año 1987 tiene un valor de 1.095 y en 2017 un valor de 939; socio bosque en el año 1987 tiene un valor de 58 y en 2017 939 metros por hectárea. En índices de parches más grandes, la zona circundante en el año 1987 tiene un valor de 95 % y en 2017 un valor de 80 %; socio bosque en el año 1987 tiene un valor de 33 % y en 2017 80 %. La densidad de borde, la zona circundante en el año 1987 tiene un valor de 4,50 y en 2017 un valor de 5,33; socio bosque en el año 1987 tiene un valor de 0,23 y en 2017 5,33. En el índice de forma, la zona circundante en el año 1987 tiene un valor de 1,43 y en 2017 un valor de 1,37; socio bosque en el año 1987 tiene un valor de 1,31 y en 2017 1,37.

**Tabla 6.** Métricas de fragmentación en AP y ANP

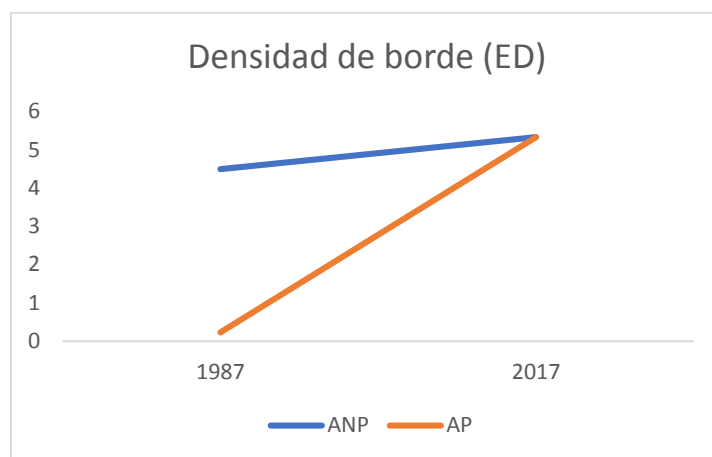
	NP		LPI		ED		SHAPE_MN	
	ANP	AP	ANP	AP	ANP	AP	ANP	AP
<b>1987</b>	1.095	58	95	33,13	4,50	0,23	1,43	1,31
<b>2017</b>	939	939	79,74	79,74	5,33	5,33	1,37	1,37



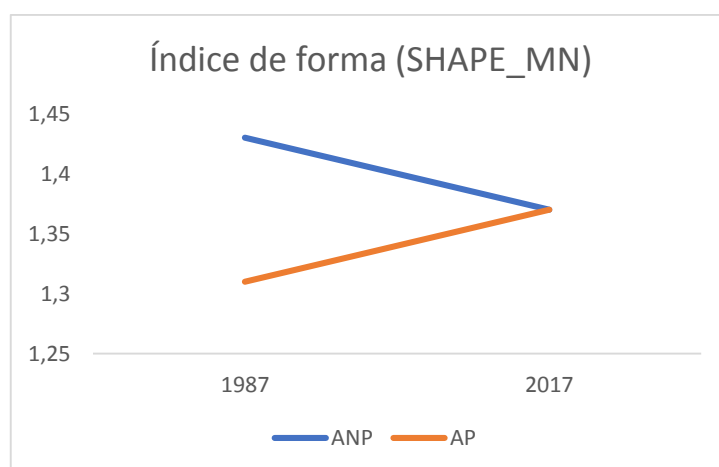
**Figura 8.** Número de parches (NP)



**Figura 9.** índice de parche mayor (LPI)



**Figura 10.** Densidad de borde (ED)



**Figura 11.** Índice de forma medio (SHAPE\_MN)



## 5. DISCUSIÓN

A partir de la información obtenida, se entiende el comportamiento progresivo de los cambios del uso y cobertura vegetal, en un periodo de 30 años (1987 – 2017) en la parroquia Río Tigre, provincia de Pastaza.

### 5.2. Determinar los cambios de cobertura vegetal que han ocurrido en el parque nacional Yasuní y sus zonas de amortiguamiento.

Un estudio, indicó que para el análisis de vulnerabilidad por actividades antrópicas (provocadas por acción humana) en la Región Amazónica Ecuatoriana (RAE) se incluyeron las siguientes variables: concesiones de agua, áreas intervenidas, actividad minera, centrales eléctricas, actividades petroleras y accesibilidad vial. Los resultados del análisis muestran que más del 61 % de la jurisdicción de la RAE tiene un grado de vulnerabilidad entre media y alta, y apenas un 39 % todavía se mantiene en un grado de vulnerabilidad baja. (Ulloa, Calles, Espíndola, & López, 2013).

Las provincias de Sucumbíos y Zamora Chinchipe presentan un grado de vulnerabilidad alta por actividades antrópicas en más del 50 % de sus respectivas jurisdicciones, seguidas de Napo y Orellana, fenómeno asociado a la ampliación de fronteras extractivas y demográficas, para el control y explotación de recursos no renovables, deforestación y sistemas agroproductivos no sostenibles. Por su parte, la provincia de Pastaza es la única que presenta en más de la mitad de su territorio un grado de vulnerabilidad baja, a la que se le aproxima Morona (45 %), sobre todo por la reducida vialidad y frentes extractivos en el centro sur. Los resultados que se obtuvieron de este estudio, arrojaron que las coberturas que más cambiaron son el área antrópica que va del año 1987 con 183,42 ha cubriendo el (0,01 %) de toda la zona de estudio y en el año 2017 cuenta con 629,21 ha (0,05 %), la zona de estudio Río Tigre, se ubica en la provincia de Pastaza, considerado como bajo grado de vulnerabilidad, sin embargo, la zona estudiada es una excepción ya que se observa cambio en esta cobertura. Otro estudio realizado con respecto a las causas de deforestación en la región amazónica, menciona que la explotación petrolera ha aumentado en forma considerable. En las últimas tres décadas se han visto numerosos proyectos de gran magnitud: petroleros, en la Amazonia central ecuatoriana (Finer, Jenkins, Pimm, Keane, & Ross, 2008). La explotación de petróleo y gas en la Amazonia oriental ha causado ya significativos impactos ambientales y sociales, que

incluyen la deforestación debido a las vías de acceso, plataformas de perforación y oleoductos; y contaminación por causa de derrames de petróleo y descarga de agua contaminada. Los efectos indirectos surgen del acceso a los remotos bosques primarios, a través de las nuevas carreteras construidas para acceder a los campos petroleros y rutas de oleoductos, causando un incremento de la tala de árboles, cacería y deforestación (Killeen, 2007). Otra de las coberturas que se observa cambio notorio es el área agropecuaria, misma que va de 2.266,38 ha (0,17 %) a 230,09 ha (0,02 %), del año 1987 al 2017; cómo se puede observar estas variaciones se dan en un tiempo de 30 años. En cuanto a las demás coberturas, bosque, cuerpo hídrico, área sin cobertura vegetal, se apreció cambios mínimos por lo que la zona de estudio se ubica dentro del Subsistema Patrimonio de Áreas Naturales del Estado (PANE) y junto al PNY, son áreas de conservación. Un estudio realizado dice que se ha creado el Programa Trinacional, un modelo de gestión regional a nivel gubernamental de integración fronteriza amazónica, entre Ecuador, Perú y Colombia, para promover el desarrollo de la región con lineamientos de conservación de la biodiversidad y desarrollo sostenible. Inició sus actividades en el año 2009 y en el 2011 se formalizó con la firma del Memorando de Entendimiento entre los Ministerios de Ambiente que involucra a su vez a las cancillerías de los gobiernos de Ecuador, Perú y Colombia, con el cual los tres países ratificaron su compromiso para trabajar coordinadamente y reconocieron el Corredor Trinacional como una iniciativa de cooperación para la conservación en zonas de frontera (Martha, 2017).

La zona de estudio se conforma por la parroquia Rio Tigre. El uso de suelo para áreas agropecuarias en la parroquia Rio Tigre es de apenas un 0,08% que son las zonas dedicadas a chacras, existiendo un mínimo impacto de deforestación para áreas dedicadas a agricultura, más bien existe conservación en un 94,91% de su territorio en bosques (SNI, 2015), por esta razón en mi estudio se observa ganancias de 4.963 ha de bosque en el lapso de 30 años. Tomando en cuenta la parroquia Montalvo como zona de amortiguamiento del PNY y estando aledaña a zona estudiada se considera sus datos para tenerlos presentes en el estudio, los bosques primarios de vegetación densa nativa (sin erosión del suelo), donde existen parches aislados de vegetación intervenida, que coinciden con la ubicación de los centros poblados; cubren la mayor superficie parroquial de 696,761 ha que representa el 97,79 % de la superficie parroquial (Franklin et al., 2015).

Socio Bosque se define desde el Gobierno ecuatoriano como un programa de incentivos económicos a campesinos y comunidades indígenas que se comprometen voluntariamente a la conservación y protección de sus bosques nativos, paramos u otras formaciones vegetales nativas. Según el Ministerio del Ambiente, entidad a cargo de la ejecución, este ha sido desarrollado debido a la importación del bosque nativo ecuatoriano (10 millones de hectáreas, de las cuales el 40% está en áreas protegidas) por los servicios ambientales que brinda, su valor para contrarrestar el cambio climático, y por otros aspectos económicos, culturales y espirituales. Se señala por parte del MAE que el Ecuador es un país megadiverso que pierde aproximadamente 2000.000 ha de bosque nativo al año por deforestación, hecho que motiva la existencia de un Programa como Socio Bosque (Bosque, 2013). El análisis de deforestación del trabajo, se realizó en base a dos componentes que fueron el Área protegida y área no protegida, obteniendo una línea descendiente en ambos casos, demostrando que lo expuesto anteriormente se cumple en la zona de estudio.

En lo concerniente al índice de Kappa, se obtuvieron valores de 0,91 y 0,89, para las clasificaciones de 1987 y 2017, respectivamente. De acuerdo a (Viera & Garrett, 2005) al obtener un índice de Kappa mayor a 0,81 se considera una exactitud casi perfecta, por lo que las clasificaciones pueden ser aceptadas como una buena aproximación a las condiciones reales.

### **5.3. Analizar los patrones de fragmentación del bosque nativo en el Parque Nacional Yasuní y sus zonas de amortiguamiento**

(Andrén, 1994) y (Fahrig, 2003), afirman que la alteración de los patrones espaciales de las manchas de hábitat, derivada de los procesos de fragmentación, se manifiesta a través de ciertas tendencias fundamentales entre las cuales se referencian el aumento en el número de fragmentos, disminución de la superficie total de hábitat, disminución del tamaño de los fragmentos, aumento de la separación entre los fragmentos.

En un estudio realizado sobre métricas el número de parches. En la ventana Tatamá-Paraguas, el número de parches de la clase bosque aumentó de 1.064 a 1.070, lo que evidencia la fragmentación de parches continuos: a mayor número de parches, mayor fragmentación en el paisaje. Esto se comprueba si se observa la clase ‘área intervenida’, que se va consolidando en áreas intervenidas continuas con menos divisiones por parches de bosque. También existe un aumento en el número de

parches de la clase páramo; si bien se trata de ecosistemas diferentes, estos pueden verse afectados por los fenómenos que generan la fragmentación de las áreas de bosque (Echeverry & Harper, 2009). En el estudio realizado, se comparó cada métrica con el programa socio bosque (SB) y zona circundante (ZC), para número de parches en lo que se refiere a SB va de 58 a 939 desde el año 1987 al 2017, y en la ZC va de 1.095 a 939. Lo que indica que existe un grado mínimo de fragmentación en el paisaje, que la zona de estudio se ha conservada por el programa Socio Bosque.

Según un estudio realizado por (Orozco, Cerón, Martínez, & Ospina, 2015). El índice de parche mayor (LPI) indica que en la zona un parche de pastos limpios ocupa el 10,8% de toda el área, sugiere que el paisaje evaluado contiene un parche de pastos grande con respecto al área del paisaje y de las categorías de interés, coincidiendo con la matriz encontrada en la zona. En este trabajo, el índice de parche mayor (LPI) no se hizo en base a pastos, se lo realizó en base a SB y ZC, en el año 1987 para ZC se obtuvo un total de 95 % indicando que ocupa aproximadamente el 100 % del fragmento total del área, para el año 2017 se obtuvo 79,7 % indicando que el tamaño de fragmento ha disminuido en el área. Para SB se obtuvo en el año 1987 un total de 33,13 % pudiendo indicar esto que no existen muchos fragmentos en el área y viendo que se encuentra dentro de áreas conservadas es lógico este porcentaje, por otro, en el año 2017 se obtuvo 79,7 % aumentó el fragmento, pero no se aprecia mucha diferencia.

Los efectos de borde están directa o indirectamente relacionados con los efectos adversos de la fragmentación del bosque sobre los organismos, inhibiendo el movimiento de ciertas especies (Laurance, Ferreira, Rankin-de Merona, & Laurance, 1998) y (Santos & Tellería Jorge, 2006). Lo que corresponde a Densidad de borde (ED), en lo referente a ZC para el año 1987 con 4,50 m/ha y para el 2017 con 5,33 m/ha y para SB, el año 1987 0,23 m/ha y en 2017 5,33 m/ha.

En lo que corresponde al bosque protegido hubo aumento del efecto de borde lo que hace a la zona de estudio más propicia para el desplazamiento de diferentes especies que habitan en ese lugar.

El índice de forma es una métrica que aporta información de la complejidad geométrica de los fragmentos. Mide la relación entre el perímetro de un fragmento y el perímetro que tendría el fragmento más simple de la misma área, de tal forma que

mayores valores de este índice muestran un incremento de la complejidad de sus formas (Aguilera, 2010). En ZC se obtuvo un porcentaje de 1,43 a 1,37 que va de 1987 a 2017. En SB se obtuvo un porcentaje de 1,31 a 1,37 que va de 1987 a 2017. Sabiendo que el índice de forma mide la complejidad de los fragmentos. Viendo que todos los porcentajes tienen valores bajos, se puede decir que no existe mayor complejidad en la forma de los fragmentos del área de estudio.

### **Implicaciones para la conservación**

Estamos atravesando una crisis climática sin precedentes llamada “Cambio Climático” cuya evidencia se refleja en el aumento de la temperatura promedio del aire y de los océanos, el derretimiento de hielos, el retroceso de glaciares, y el aumento del nivel de los mares a nivel mundial (Pachauri et al., 2015).

Desde esta perspectiva, los bosques, según FAO (2012), desempeñan cuatro funciones principales en relación al cambio climático:

- a) Contribuyen con un 11% de las emisiones de GEI globales (Pachauri et al., 2015) cuando son talados, sobre explotados o degradados;
- b) Reaccionan sensiblemente a los cambios del clima;
- c) Constituyen fuentes de dendrocombustible como una alternativa a los combustibles fósiles, especialmente en comunidades remotas; y
- d) Tienen la capacidad natural de absorber o remover importantes cantidades de las emisiones mundiales de GEI por intermedio de su biomasa, suelos y productos (Busso, 2017).

En la zona de estudio de este trabajo de investigación, se ve la mayor afectación en el área antrópica y área agropecuaria, el AP correspondiente al PSB es la que ayudado con la conversación de este bosque nativo, sin embargo, por el desarrollo de infraestructura es lo que se a deteriorado una mínima parte, para esto se debe proponer la restauración de bosques, ya que la conservación debe ir de la mano con el desarrollo. La restauración de bosques y paisajes es, pues, una actividad que busca equilibrar la reposición de los servicios del ecosistema en los hábitats silvestres con la biodiversidad, la regulación de los recursos hídricos, el almacenamiento de carbono y otros factores, y mantener las funciones productivas en beneficio de la agricultura y demás usos afines de la tierra (Thompson et al., 2013).

## 6. CONCLUSIONES

Del presente proceso investigativo se concluye lo siguiente:

- Los cambios que se evidenciaron en los 30 años de evaluación entre 1987 y 2017 en la parroquia Río Tigre, arrojaron que fueron provocados principalmente por actividades antrópicas, que va del año 1987 con 183,42 ha cubriendo el (0,01 %) de toda la zona de estudio y en el año 2017 cuenta con 629,21 ha (0,05 %). Otra de las coberturas que se observa cambio notorio es el área agropecuaria, misma que va de 2.266, 38 ha (0,17 %) a 230,09 ha (0,02 %), del año 1987 al 2017.
- El análisis de deforestación del trabajo, se realizó en base a dos componentes que fueron el Área protegida (AP) y área no protegida (ANP), obteniendo una línea descendiente en ambos casos, área protegida que corresponde a Socio Bosque y área no protegida correspondiente a la zona circundante de la parroquia Río Tigre, estos valores que forman la línea descendiente nos dan una visión de cómo si se conserva y protege los bosques nativos gracias al Programa Socio Bosque.
- En lo que respecta al análisis de patrones de fragmentación, en el Número de parches (NP) existe un grado mínimo de fragmentación en el paisaje ya que la zona de estudio se ha conservado por el Programa Socio Bosque; el índice de parche mayor (LPI), SB o área protegida en el año 1987 indica que no existen muchos fragmentos, por otro, en el año 2017; la Densidad de borde (ED), en lo que corresponde al bosque protegido hubo aumento del efecto de borde lo que hace a la zona de estudio más propicia para el desplazamiento de diferentes especies que habitan en ese lugar; en cuanto al Índice de forma medio (SHPE\_MN) se dedujo que no existe mayor complejidad en la forma de los fragmentos del área de estudio.

## 7. RECOMENDACIONES

- Utilizar imágenes satelitales que brinden mayor resolución espacial, para que se realicen estudios a mayor detalle y el margen de error sea mínimo.
- Divulgar el conocimiento de las aplicaciones que tienen las herramientas de sistemas de información geográfica y la fotointerpretación de imágenes satelitales, a través del fortalecimiento de las capacidades humanas en instituciones como universidades, institutos, organizaciones, etc.
- Replicar la presente investigación en otros cantones del país, utilizando la misma metodología con el fin de evaluar su adaptación en las diferentes zonas del Ecuador; de tal manera que se constituya en un referente metodológico para la investigación de la dinámica del cambio de uso de suelo en el Ecuador.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, a. (2017). *Las coberturas vegetales de una imagen satelital landsat 7 - etm usando los generar las coberturas vegetales de una imagen satelital landsat 7 - etm usando los programas r y pci.*
- 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*, 30(2), 9–29.
- Ambrosi, G. G. J. (2005). *Correcciones radiométricas y geométricas de imágenes para la detección de cambio de uan serie tempotal.* (9).
- Andrén, H. (1994). Effects of habitat fragmentation on birds and mammals of suitable habitat: a review. *Oikos*, 71, 355–366.
- Baneo Pisco, I. (2015). *Facultad de Ciencias Forestales.* 1–63.
- Barrantes, G., Chaves, H., & Vinueza, M. (2001). El Bosque en el Ecuador Una visión transformada para el desarrollo y la conservación. *Comafors*, 1–47. <https://doi.org/10.1785/0120100130>
- Basterra, I. (2011). *Catedra De Fotointerpretacion: Teledeteccion-Imágenes Satelitales-Procesamiento Digital De Imagenes.* 33. Retrieved from <http://ing.unne.edu.ar/dep/goeciencias/fotointer/pub/teoria2011/parte02/tdi.pdf>
- Bliemsrieder, M., Bonilla, S., Endara, I., Rivera, E., Montoya, G., Carrera, P., ... Borbor,

- M. (2011). *45 Plan De Manejo Yasuni*.
- Bosque, P. S. (2013). *Proyecto socio bosque*.
- Busso, C. A. (2017). El cambio climático global y la producción de alimentos. *Phyton*, 86, 1–2.
- Carvalho, A. (2012). Clasificación. *Medwave*, 2005(4), 101–118. <https://doi.org/10.5867/medwave.2005.04.1202>
- CDTER. (2015). *Del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia rural Rio Tigre*.
- CEPAL. (2008). Beneficios De Las Áreas Protegidas. *Cepal*, 18. Retrieved from <https://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/1/35691/Valorandolanaturaleza.pdf>
- Cuenca, P., & Echeverria, C. (2017). How do protected landscapes associated with high biodiversity and population levels change? *PLoS ONE*, 12(7), 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180537>
- Echeverry, M., & Harper, G. J. (2009). Indicadores Del Estado De Los Ecosistemas en el Corredor de Conservación Choco-Manabí (Colombia-Ecuador). *Recursos Naturales y Ambiente*, (58), 78–88.
- Egas, D. P., & Forestal, D. N. (2005). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015. Informe nacional*.
- Fahrig, L. (2003). Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34(1), 487–515. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419>
- Fernandez, I. A., & Herrero, E. L. (2001). *El satellite Landsat. Análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+ satélite Landsat*. 37. <https://doi.org/10.1080/03057240903528683>
- Finer, M., Jenkins, C. N., Pimm, S. L., Keane, B., & Ross, C. (2008). *Oil and Gas Projects in the Western Amazon : Threats to Wilderness , Biodiversity , and Indigenous Peoples*. 3(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002932>
- Franklin, W., Dagua, F., Del, P., Autónomo, G., La, D. D. E., Rural, P., ... Luzuriaga, G. (2015). *PDOT*.



- García, M. L., Évora Brondo, J. A., & Arbelo Pérez, M. (2012). *Satélites de Detección para la Gestión del Territorio* (Vol. 3).
- Garramuño, A. (2006). *Redalyc. Perspectivas de la ecología del paisaje en entomología aplicada*.
- INIAP. (2008). *Estado de los Recursos Fitogenéticos para la Agricultura y la Alimentación en Ecuador*. Retrieved from <http://181.112.143.123/bitstream/41000/2827/1/iniapsc322est.pdf>
- Killeen, T. J. (2007). *Una Tormenta Perfecta en la Amazonia: Desarrollo y conservación en el contexto de la Iniciativa para la Integración de la Infraestructura Regional Sudamericana (IIRSA)*.
- Laurance, W. F., Ferreira, L. V., Rankin-de Merona, J. M., & Laurance, S. G. (1998). Rain forest fragmentation and the dynamics of Amazonian tree communities. *Ecology*, 79(6), 2032–2040. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1998\)079\[2032:RFFATD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1998)079[2032:RFFATD]2.0.CO;2)
- Loya, J., Aguilar, S., Bravo, L., & Sánchez, E. (2013). Evaluación espacio-temporal del impacto del crecimiento urbano sobre la cobertura vegetal en la región fronteriza Nogales , México y Arizona , Estados Unidos , durante el periodo 1995-2010 . *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 9(1), 124–140.
- MAE. (2016). *Plan de Manejo del Parque Nacional Yasuní*. Retrieved from <https://www.avma.org/kb/policias/documents/euthanasia.pdf>
- MAE. (2017). Deforestación del Ecuador Continental Periodo 2014-2016. *Ministerio Del Ambiente*, 38.
- Martha, C. (2017). *Los guardianes del bosque amazónico*.
- Mcgarigal, K. (2015). Fragstats. *Fragstats*, (April), 1–182. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(12\)00047-9](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(12)00047-9)
- Mena, C. F. (2010). Deforestación en el Norte de la Amazonía Ecuatoriana : del patrón al proceso. *Polémika: Universidad San Francisco de Quito*, 5(1), 58–65.
- Navarro, M., González, L., Flores, R., & Amparán, R. (2015). Fragmentación y sus implicaciones. Análisis y reflexión documental. In *Universidad de Guadalajara*.

- Ohno, K. (1979). A study of Franck-Condon envelopes of the photoelectron bands of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Chemical Physics*, 37(1), 63–74. [https://doi.org/10.1016/0301-0104\(79\)80007-5](https://doi.org/10.1016/0301-0104(79)80007-5)
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018). El problema de la deforestación en Ecuador | Agronoticias: Actualidad agropecuaria de América Latina y el Caribe.
- Orozco, M. C., Cerón, L. E., Martínez, J. P., & 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.
- Pachauri, R. K., Meyer, L., Brinkman, S., Van Kesteren, L., Leprince-Ringuet, N., & Van Boxmeer, F. (2015). *IPCC, 2014: Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de Trabajo I,II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Retrieved from [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf)
- Ríos, M. (2011). *Aprovechamiento económico del bioconocimiento, los recursos genéticos, las especies y las funciones ecosistémicas en el Ecuador*. Quito.
- Romero, F. S. (2006). La teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *Quivera*, 8(1), 315–356.
- Ronal, E. (2016). *TerrSet Geospatial Monitoring and Modeling System*Ronal, Eastman.
- Rudel, T. K. (2013). The national determinants of deforestation in sub-Saharan Africa. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368(1625). <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0405>
- San Vicente, M. G., & Lozano Valencia, P. J. (2010). Causas de los procesos territoriales de fragmentación de hábitats. *Lurralde: Investigacion y Espacio*, 33, 147–158.
- Santos, T., & Tellería Jorge, J. (2006). Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. *Ecosistemas: Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*, 15(2), 2.
- SNI. (2015). *Caracterización general de la parroquia Rio Tigre*.

- Subirós, J. V., Linde, D. V., Pascual, A. L., & Palom, A. R. (2006). Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (landscape ecology). Una interpretación desde la geografía. *Documents d'Analisi Geografica*, (48), 151–166. <https://doi.org/10.1007/BF00223681>
- Thompson, I. D., Guariguata, M. R., Okabe, K., Bahamondez, C., Nasi, R., Heymell, V., & Sabogal, C. (2013). An operational framework for defining and monitoring forest degradatio. *Ecology and Society*, 18(2). <https://doi.org/10.5751/ES-05443-180220>
- Ulloa, J., Callles, J., Espíndola, F., & López, V. (2013). *Amazonía ecuatoriana 2013*.
- Uncpba, C. E. (2012). *Curso sensores remotos 2012, Facultad de Ciencias Exactas UNCPBA*.
- Vazquez, H., Balderas, A. M., CristinaMaría, M., Pérez, J., & Guitiérrez, J. (2014). *Cambio de uso de suelo e implicaciones socioeconómicas en un área mazahua del altiplano mexicano*. 1–3.
- Vela Correa, G., López Blanco, J., & Rodríguez Gamiño, M. (2012). Levels of total organic carbon in The Suelo de Conservación of the Distrito Federal, Central Mexico. *Investigaciones Geográficas*, (77), 18–30. Retrieved from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112012000100003&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112012000100003&script=sci_arttext)
- Viera, A. J., & Garrett, J. M. (2005). *Understanding Interobserver Agreement: The Kappa Statistic*. (May), 360–363.
- Williams, M. (2003). *Deforesting the earth : from prehistory to global crisis*. University of Chicago Press.

## 9. ANEXOS

*Anexo 1. Matriz de error de 1987*

<b>MATRIZ DE ERROR 1987</b>						
<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>COBERTURA</b>	<b>Precisión del usuario (%)</b>	<b>Precisión del productor (%)</b>	<b>KAPPA</b>	<b>Precisión global (%)</b>	<b>KAPPA</b>
		Bosque	97,87	92	0,97	
	Cuerpos de agua	93,75	90	0,92	<b>92,40</b>	<b>0,91</b>
	Zona antrópica	95,74	90	0,95		
	Área agropecuaria	85,71	96	0,82		
	Área sin cobertura vegetal	90,38	94	0,88		
	<b>TOTAL</b>					

*Anexo 2. Matriz de error del 2017*

<b>MATRIZ DE ERROR 2017</b>						
<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>COBERTURA</b>	<b>Precisión del usuario (%)</b>	<b>Precisión del productor (%)</b>	<b>KAPPA</b>	<b>Precisión global (%)</b>	<b>KAPPA</b>
		Bosque	87,04	94	0,84	
	Cuerpos de agua	85,71	96	0,82	<b>90,08</b>	<b>0,89</b>
	Zona antrópica	100	82	1		
	Área agropecuaria	87,72	100	0,85		
	Área sin cobertura vegetal	97,62	82	0,97		
	<b>TOTAL</b>					