



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**FACULTAD AGROPECUARIA DE LOS RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**

INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE



ANÁLISIS HISTÓRICO DE CAMBIOS EN LOS PATRONES ESPACIALES Y TEMPORALES, EN LOS PAISAJES PROTEGIDOS DEL SECTOR DAYUMA, PROVINCIA DE ORELLANA

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

AUTORA:

Luz Estefania Uyaguari Ortiz

DIRECTOR:

Ing. Juan Maita Chamba, Mg. Sc.

CO-DIRECTOR:

Pablo Cuenca, Ph. D.

Loja – Ecuador

2019



CERTIFICACIÓN

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

En calidad de director de tesis certifico que la señorita **Luz Estefania Uyaguari Ortiz**, 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 HISTÓRICO DE CAMBIOS EN LOS PATRONES ESPACIALES Y TEMPORALES, EN LOS PAISAJES PROTEGIDOS DEL SECTOR DAYUMA, PROVINCIA DE ORELLANA**, el mismo que ha sido debidamente revisado y corregido, cumpliendo con las normas reglamentarias vigentes, dentro del cronograma establecido.

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

Loja, 13 de agosto de 2019

Atentamente,



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

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL

En calidad de Tribunal Calificador de la tesis titulada: **ANÁLISIS HISTÓRICO DE CAMBIOS EN LOS PATRONES ESPACIALES Y TEMPORALES, EN LOS PAISAJES PROTEGIDOS DEL SECTOR DAYUMA, PROVINCIA DE ORELLANA**, de autoría de la señorita egresada Luz Estefanía Uyaguari Ortiz, 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

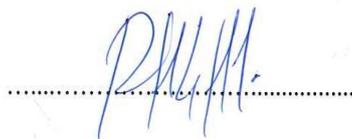
Loja, 6 de septiembre de 2019

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, **Luz Estefania Uyaguari Ortiz** declaro ser autora del presente trabajo de tesis titulada: **ANÁLISIS HISTÓRICO DE CAMBIOS EN LOS PATRONES ESPACIALES Y TEMPORALES, EN LOS PAISAJES PROTEGIDOS DEL SECTOR DAYUMA, PROVINCIA DE ORELLANA**, 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.



Luz Estefania Uyaguari Ortiz

CI: 1104237605

Loja, 06 de septiembre 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, **Luz Estefania Uyaguari Ortiz**, declaro ser autora de la tesis titulada **ANÁLISIS HISTÓRICO DE CAMBIOS EN LOS PATRONES ESPACIALES Y TEMPORALES, EN LOS PAISAJES PROTEGIDOS DEL SECTOR DAYUMA, PROVINCIA DE ORELLANA**, 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 seis días del mes de septiembre del dos mil diecinueve, firma el autor

Luz Estefania Uyaguari Ortiz
CI: 1104237605

Dirección: Loja, Barrio Dos Puentes
Teléfono celular: 0958989376
Correo electrónico: djm62698@gmail.com

DATOS COMPLEMENTARIOS

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

AGRADECIMIENTO

A mis padres Inés Ortiz y Benjamín Uyaguari por brindarme su apoyo incondicional.

A mi director de tesis, Ing. Juan Maita por sus sugerencias para el presente proyecto de investigación. A cada uno de los docentes de la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Renovables, que compartieron sus valiosos conocimientos y me permitieron formarme.

De igual manera quiero agradecer al Dr. Pablo Cuenca por asesorarme durante este proceso, quien con su dirección, conocimiento, experiencia y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo de investigación,

Una inmensa gratitud a mi compañera y amiga Verónica Pambi, por compartir conmigo las aulas y anécdotas universitarias, que atesorare por siempre en mi memoria.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis en primer lugar a Dios por haberme dado fuerzas para culminar con mis estudios.

En segundo lugar, a mi madre Inés Ortiz que, con su ejemplo de mujer trabajadora, responsable, honesta, respetuosa y fuerte, fue sin duda, mi modelo a seguir. A mi padre Benjamín Uyaguari que, con su apoyo, cariño y comprensión, me ayudó a nunca sentirme sola. A mis hermanos Pedro y Daniel, que en todas las etapas de mi formación fueron participes para que pudiera cumplir con este sueño.

También, este triunfo se lo dedico con todo mi amor y cariño a mi hija Aitana, que se convirtió en mi motor y motivo diario de superación. Finalmente, a mi pareja y padre de mi hija, Roberto Pintado, por su apoyo incondicional y sus palabras de aliento que no me dejaban caer para que siguiera adelante y cumpla con mi meta.

GRACIAS A TODOS

ÍNDICE GENERAL

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Cambio de uso del suelo	3
2.2. Deforestación	4
2.3. Fragmentación	5
2.4. Métricas de Fragmentación	6
2.5. Ecología de Paisaje	7
2.5.1. Patrones espaciales y temporales del paisaje	8
2.6. Teledetección y SIG	8
2.7. Sensores Remotos.....	9
2.7.1. Resoluciones de una imagen satelital	9
2.7.2. Landsat 5.....	9
2.7.3. Landsat 8.....	10
2.8. Procesamiento de imágenes satelitales	10
2.8.1. Correcciones básicas de una imagen satelital	11
2.9. Métodos de clasificación de imágenes satelitales	12
2.9.1. Clasificación no Supervisada	12
2.9.2. Clasificación Supervisada.....	12
3. METODOLOGÍA.....	13
3.1. Área de estudio	13
3.1.1. Parroquia Dayuma.....	14
3.1.2. Parroquia Inés Arango	14
3.1.3. Área Protegida Yasuní.....	15
3.2. Base de Datos	16
3.3. Métodos.....	17
3.3.1. Procesamiento de imágenes satelitales	17
3.3.2. Análisis de los cambios de la cobertura vegetal del sector Dayuma, provincia de Orellana, mediante técnicas de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica.	18
3.3.2.1. Definición de la leyenda Temática.....	18
3.3.2.2. Composición a color.....	19
3.3.2.3. Identificación de sitios de entrenamiento	19

3.3.2.4. Fase de clasificación de coberturas	19
3.3.2.5. Análisis Post Clasificación	20
3.3.2.6. Validación de la clasificación	20
3.3.2.7. Determinación del cambio de cobertura y uso del suelo	21
3.3.2.8. Análisis de deforestación	21
3.3.3. Estimación de la fragmentación de los bosques nativos del sector Dayuma, provincia de Orellana, utilizando índices de fragmentación.....	22
3.3.3.1. Cálculo de métricas de fragmentación	22
4. RESULTADOS	24
4.1. Análisis de Cambios de Cobertura Vegetal Mediante un Análisis Multitemporal	24
4.2. Resultados del análisis de cambio de uso del suelo	27
4.2.1. Pérdidas y ganancias del suelo del sector Dayuma por el período 1987-2018.....	27
4.2.2. Contribución al Cambio Neto de la Cobertura de Bosque en el Sector Dayuma entre 1987 y 2018	28
4.2.3. Cambio Neto de las Coberturas del Sector Dayuma entre 1987 y 2018	28
4.3. Patrones de Deforestación del Sector Dayuma	29
4.3.1. Análisis de deforestación del Sector Dayuma	29
4.3.2. Análisis de deforestación del Área Protegida Yasuní	29
4.4. Análisis de la Fragmentación de la cobertura forestal del sector Dayuma	31
4.4.1. Patrones de Fragmentación de la cobertura forestal del sector Dayuma	33
5. DISCUSIÓN	35
6. CONCLUSIONES	40
7. RECOMENDACIONES	41
8. BIBLIOGRAFÍA	42
9. ANEXOS	52

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	Pág.
Tabla 1. Clases de coberturas seleccionadas para el presente estudio.....	19
Tabla 2. Métricas utilizadas en el análisis de fragmentación del Sector Dayuma	23
Tabla 3. Superficie total y porcentaje ocupado por cada cobertura y uso de suelo en el Sector Dayuma, entre 1987 y 2018.	24
Tabla 4. Deforestación anual y tasa anual de deforestación del Sector Dayuma entre 1987 y 2018	29
Tabla 5. Deforestación anual y tasa anual de deforestación del AP Yasuní y la ANP circundante, entre 1987 y 2018	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Pág.
Figura 1. Mapa base del área de estudio.....	13
Figura 2. Ubicación del área de estudio	16
Figura 3. Esquema metodológico.....	17
Figura 4. Mapas de cobertura y uso de suelo del Sector Dayuma, para los años 1987 y 2018	26
Figura 5. Pérdidas y ganancias de coberturas de uso de suelo en el Sector Dayuma durante el período 1987-2018.....	27
Figura 6. Contribución al cambio Neto de Bosque del Sector Dayuma durante el período 1987-2018	28
Figura 7. Cambio neto de coberturas de uso de suelo del Sector Dayuma, durante el período 1987-2018	29
Figura 8. Tendencia de pérdida de bosque en el AP Yasuní y su ANP circundante entre los años 1987 y 2018.....	30
Figura 9. a) Mapa de cobertura forestal del AP Yasuní del Sector Dayuma. b) Mapa de cobertura forestal del ANP del Sector Dayuma.	32
Figura 10. Métrica de Área Total (CA) del Sector Dayuma para los años 1987 y 2018	33
Figura 11. Métrica de Índice de forma del Sector Dayuma para los años 1987 y 2018.....	33
Figura 12. Métrica de Número de Parches del sector Dayuma para los años 1987 y 2018	34
Figura 13. Métrica de Densidad de Parches del sector Dayuma para los años 1987 y 2018 ..	34

ÍNDICE DE ANEXOS

Contenido	Pág.
Anexo 1 .Matriz de error del año 1987	52
Anexo 2 . Matriz de error del año 2018	52
Anexo 3 . Matriz de cambio de cobertura y uso de suelo.....	53
Anexo 4 . Resultado del análisis de métricas de fragmentación.....	53

TEMA:

**ANÁLISIS HISTÓRICO DE CAMBIOS EN LOS PATRONES
ESPACIALES Y TEMPORALES, EN LOS PAISAJES
PROTEGIDOS DEL SECTOR DAYUMA, PROVINCIA DE
ORELLANA.**

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo analizar la deforestación y fragmentación del Sector Dayuma, provincia de Orellana, ubicado al noroeste del Parque Nacional Yasuní. Se empleó imágenes satelitales de 1987 (Landsat 5) y 2018 (Landsat 8) para la clasificación de coberturas, con el propósito de determinar los cambios de uso de suelo. Además, se utilizó el módulo Land Change Modeler (LCM) del software TerrSet para estimar las ganancias, pérdidas y cambios netos de las distintas coberturas. Posteriormente se realizó un análisis de la deforestación del área protegida (AP) Yasuní, que se encuentra dentro de los límites del área de estudio, y del área no protegida (ANP) o zona circundante del sector Dayuma. Finalmente, mediante el Software Fragstat se evaluó la fragmentación del AP y la ANP con las métricas: número de parches, densidad de parches, índice de forma y área de clase. Los resultados indicaron que para el año 1987 el bosque representaba 262 437,19 ha (97,33% del paisaje) para 2018 perdió 23 312 ha, ocupando 89,53% del paisaje (241 409,14 ha). Asimismo, el AP Yasuní reportó una tasa anual de deforestación de -0,013%, mucho menor que la tasa anual de la ANP, que fue de -0,33%. Se encontró patrones de cambio de uso de suelo similares para el periodo estudiado, asociados con las zonas antrópicas y las áreas agropecuarias. Además, el análisis de las métricas de fragmentación arrojó como resultados una tendencia al incremento de la fragmentación del bosque, tanto en el AP como en el ANP. Sin embargo, el mayor cambio evidenciado en la cobertura forestal y la fragmentación se observó en el ANP o zona circundante al AP, donde las actividades petroleras, las redes de transporte y las actividades agropecuarias fueron los promotores dominantes en el paisaje. Comprender los impulsores inmediatos de la pérdida de cobertura forestal es crucial para avanzar en la comprensión de los patrones y las causas de este cambio de paisaje.

Palabras Clave:

Cambio de uso de suelo, deforestación, fragmentación, Parque Nacional Yasuní

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze deforestation and fragmentation of the Dayuma Sector, Orellana province, located northwest of Yasuni National Park. Satellite images were used Landsat 5 satellite images from 1987 and Landsat 8 from 2018 were used for the classification of coverage in order to determine the changes in land use; in addition, the TerrSet software was used to estimate the gains, losses and net change of the different hedges. Subsequently, an analysis of the deforestation of the Yasuni protected area (PA) and the surroundings of the unprotected area (NPA) was made in order to calculate the deforestation rate. Finally, the FragStat Software evaluated the fragmentation of both areas showing the following metrics: number of patches, density of patches, contagion, shape index and class area. The results indicated that during 1987 the forest represented 262 437,19 ha (97,33% of the landscape); however, results showed that in 2018 there is a loss of 23 312 ha, which represents the 89,53% (241 409,14 ha of the landscape). Likewise, the Yasuní protected area reports a deforestation rate of -0,013% which is far from the unprotected area, that is -0,33%. This research also found similar patterns of land associated with anthropic zones and agricultural areas. In addition, the analysis of the fragmentation metrics showed a tendency to increase forest fragmentation in both areas. However, the greatest change in forest cover and forest fragmentation was observed in the unprotected area surrounding the protected area, where oil activities, transport, and agricultural activities are the main activities that promote the forest loss, deforestation and landscape fragmentation. It is important to understand what causes the loss of the forest cover in order to comprehend the patterns of this landscape change.

Keywords: Land use change, deforestation, fragmentation, Yasuni National Park

1. INTRODUCCIÓN

Los bosques son una parte esencial de los paisajes debido a que cumplen diversas funciones contra la mitigación del cambio climático y el suministro de servicios ecosistémicos (FAO, 2014). Pero a pesar de la importancia de los bosques en los paisajes, la superficie forestal mundial ha experimentado una disminución de 100 millones de ha, de los cuales 42 millones ha pertenecían a los bosques de América Latina (IPBES, 2019). Por ende, resulta necesario identificar las causas de la pérdida de bosques para comprender el grado de afectación en los patrones espaciales del paisaje a lo largo del tiempo. Así pues, diversos estudios que analizan el paisaje y sus patrones, han logrado determinar cómo los cambios en el uso del suelo afectan la estructura, función y dinámica del paisaje forestal, lo que conlleva a su fragmentación (Huang, Tu, y Lin 2009; Dewan, Yamaguchi, y Rahman 2012; Li y Liu, 2017).

Ecuador posee alrededor de 15 333 562 ha de bosques, dentro de los cuales encontramos 12 631 198 ha de bosque nativo. A nivel nacional, la provincia amazónica de Orellana es la que posee gran parte de esta cobertura, con 1 880 756 ha (MAE, 2017). A pesar de que la provincia de Orellana posee tierras boscosas donde se presenta una dinámica forestal natural, esta se deja ver cada vez más disminuida. Lo mismo ocurre en el sector Dayuma, que comprende las parroquias de Dayuma e Inés Arango, pertenecientes al cantón Orellana. Estas parroquias cuentan con zonas que se encuentran dentro de categorías de áreas bajo conservación, una de las cuales corresponde a los límites del Parque Nacional Yasuní, por lo que poseen una amplia cobertura de bosque nativo con 103 567 ha y 119 920 ha respectivamente (PDOT, 2015b). Desde hace mucho tiempo la provincia de Orellana, incluyendo ambas parroquias, están viendo mermado su paisaje forestal, en aproximadamente 3 087 hectáreas por año (MAE, 2017), debido principalmente a la necesidad de ampliar los suelos agrícolas y ganaderos, además por la ampliación permanente de la red vial, áreas urbanas y la explotación petrolera (Krainer y Mora, 2011). A pesar de la importancia biológica del sector, debido a la presencia del AP Yasuní, no existe información sobre los patrones de deforestación y fragmentación de sus bosques protegidos y cuáles son los promotores de esta pérdida.

Adicionalmente, en la actualidad existen informes sobre la realidad forestal de Ecuador, como: Las Estadísticas del Patrimonio Natural (MAE, 2015), La Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015 Ecuador (FAO, 2015) y El Sistema Nacional de Monitoreo Forestal (MAE, 2017), entre otros. Estos informes poseen información sobre la pérdida de cobertura forestal natural en Ecuador, pero no detallan la situación actual de las provincias con más extensión de bosques protegidos, ni su degradación a nivel de paisaje, como tampoco analizan

la efectividad e interacción de las áreas protegidas (AP) con el paisaje circundante y los bosques protegidos.

En este contexto, surge la necesidad de realizar un análisis multitemporal de los cambios de uso del suelo del Sector Dayuma, con el fin de conocer como los cambios de la cobertura forestal han fragmentado los paisajes protegidos presentes en el sector. Para esto, se utilizará la tecnología de teledetección, muy efectiva a la hora de realizar análisis de detección de cambios. Además, el proceso metodológico se centrará en la pérdida de cobertura vegetal ocurrida en los últimos años y en el análisis de fragmentación a través del cálculo de métricas del paisaje. Esto nos permitirá conocer los patrones en la dinámica del paisaje y así identificar si el AP Yasuní y el área no protegida (ANP) circundante, son más vulnerables o se encuentran afectadas, con la finalidad de plantear estrategias de fortalecimiento y/o implementación de nuevas áreas de conservación y restauración, además de garantizar una mejor planificación territorial. Considerando lo expuesto, se plantea los siguientes objetivos:

Objetivo General

- Evaluar los cambios en los patrones espaciales y temporales de los paisajes protegidos del sector Dayuma de la provincia de Orellana, utilizando técnicas de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica.

Objetivos Específicos

- Analizar los cambios de la cobertura vegetal del sector Dayuma, provincia de Orellana, mediante técnicas de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica.
- Estimar la fragmentación de los bosques nativos del sector Dayuma, provincia de Orellana, utilizando índices de fragmentación.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

El presente capítulo hace referencia a la revisión de conceptos generales y/o teorías que apoyan y facilitan la comprensión de la presente investigación.

2.1. Cambio de uso del suelo

El suelo es el lugar donde se realizan todas las actividades humanas, y es el uso de los recursos que brinda el suelo, por parte de las personas, lo que da lugar al término "uso del suelo"; que se modifica con los propósitos a los que sirve, ya sea producción, provisión, recreación, extracción de materiales, etc. Por lo tanto, el uso del suelo se encuentra bajo la influencia de las necesidades humanas y las características ambientales y sus procesos (Parveen, *et al.*, 2018).

El uso del suelo y los cambios en su cobertura son aspectos agrupados en: conversión y modificación. Estas categorías seguirán generando cambios importantes a nivel global, donde el ser humano será el causante principal debido a la creciente población y la demanda de estándares de vida elevados (Quichimbo *et al.*, 2012).

Además, los cambios del uso del suelo generan el deterioro de la biodiversidad y ponen en riesgo el correcto manejo de los sistemas ecológicos existentes en el país, y la correcta elaboración e implementación de políticas territoriales. A ello se agrega el contexto en el que se desarrollan estas transformaciones, que tiene cierta complejidad y provoca generalmente otros cambios imprevistos en el funcionamiento del ambiente y su estructura, con lo que se plantean nuevos riesgos para la sostenibilidad futura de los recursos (Pinos, 2017).

En Ecuador los cambios de uso de suelo son provocados en mayor medida, por la transformación de áreas de bosque a cultivos y pastos. Por ello resulta necesario entender cuatro factores clave de los patrones de cambio de uso del suelo del país: 1) El desarrollo de los sistemas productivos en las zonas rurales, 2) Las mejoras en la infraestructura vial, que genera el fácil acceso a los sectores rurales del país, 3) las tasas de crecimiento poblacional y natalidad, y 4) la suspensión de aproximadamente todas las fronteras de colonización, a causa de los derechos de propiedad de las áreas forestales remanentes más importantes, muchas de las cuales se convirtieron posteriormente en áreas protegidas (Sierra, 2013b).

Los cambios de uso de suelo desarrollados durante la última década, generaron pérdidas de alrededor de 19 000 Km² de bosques; mientras que se regeneró apenas 0,3 ha por cada ha. que fue deforestada. Esto deja en evidencia el estado de vulnerabilidad de los bosques en

Ecuador, ya que estas transformaciones se producen por la ejecución de actividades antrópicas que implican la intervención de áreas, actividad minera, acción petrolera y otras de urbanización para la accesibilidad vial (Ulloa *et al.*, 2013).

2.2. Deforestación

La FAO (2014) define la deforestación como: La transformación del bosque a otros usos de la tierra o la reducción permanente de la cubierta forestal o su dosel.

Se ha comprobado que los cambios de uso del suelo también implican la pérdida de bosques y selvas, que son el hábitat principal de las especies animales y vegetales, esto como resultado de remover el suelo para explotaciones agropecuarias (Sahagún y Reyes, 2018).

La superficie forestal mundial, experimentó una pérdida de 129 millones de hectáreas en el período comprendido entre 1990 y 2015, La mayor parte de la pérdida de superficie forestal en los últimos años se ha producido en las regiones de clima tropical, donde predominan los bosques nativos. Entre los años 1980 y 2000, se perdieron 100 millones de hectáreas de estos bosques, y 42 millones de ellos desaparecieron en América Latina como resultado, principalmente, de la conversión de tierras forestales en terrenos agrícolas (FAO, 2016; IPBES, 2019).

La deforestación en el Ecuador representa en la actualidad un hecho contundente que se da con mayor prominencia en los suelos agrícolas, considerando que cada vez aumenta más la tala de bosques secundarios en relación con los vírgenes. Uno de los principales factores que interviene en ello es la conversión de grandes cantidades de tierra que son utilizadas para actividades agropecuarias en bosques naturales o, zonas que contienen selvas y bosques, en suelos de uso agropecuario (Sierra, 2013a).

De manera general es difícil realizar una cuantificación exacta de la deforestación en Ecuador, debido a los diferentes factores que la producen y a la complejidad de las diversas regiones del país. Sin embargo, el último informe de las Estadísticas del patrimonio Natural revela que para el período 1990-2000 la deforestación neta anual fue de 92 742 ha/año, con una tasa anual promedio de - 0,65 %, del mismo modo, para el período 2000-2008 la deforestación neta anual fue de 77 748 ha/año, con una tasa de -0,58%, y para el período 2008-2014 la deforestación neta anual fue de 47 497 ha/año, con una tasa anual de -0,37% (MAE, 2015). Asimismo, el informe de Deforestación del Ecuador Continental señala que a partir del año 2000 los bosques sufrieron mayores pérdidas, ya que en el año 1990 se evidenciaba una

superficie de bosque nativo de 14 587 771 hectáreas, mientras que para el año 2016 esta superficie decayó drásticamente a 12 631 198 de hectáreas de bosque nativo, de las cuales el 74% se encuentran en la región amazónica (MAE, 2017).

La provincia amazónica de Orellana posee una cobertura forestal nativa, con 1 880 756 ha y durante el periodo 2008-2014 sufrió una pérdida de 3 087 ha/año (MAE, 2015), a causa principalmente por la expansión agrícola, la extracción de madera y la industria petrolera (Krainer y Mora, 2011).

2.3. Fragmentación

La fragmentación de bosques es un proceso a nivel de paisaje en el cual extensiones de bosque son subdivididas progresivamente en unidades más pequeñas, geoméricamente complejas y aisladas, conocidas como fragmentos o parches, y se presentan como resultado de procesos tanto naturales como humanos (Molina y Albarran, 2013). Además, se reflejan fundamentalmente en la disminución de la zona total que comprende el hábitat disponible en un paisaje, al igual que en el aislamiento de los fragmentos obtenidos con ello, esto incide en el correcto desarrollo ecológico de las diversas biósferas (León, 2019).

La fragmentación conforma un procedimiento esencial para comprender la forma en que las dinámicas de uso del suelo influyen en la calidad de los bosques ya que una consecuencia de gran interés es la transformación que el fragmento forestal genera a través del tiempo en la franja más externa, conocida como áreas de borde o ecotonos (Granados *et al.*, 2014).

Bajo esta perspectiva, la fragmentación de los bosques es un factor que incide en gran escala, en el deterioro de la biodiversidad, teniendo como consecuencias más representativas, la disminución de la calidad y tamaño de los hábitats boscosos, la pérdida de conexión y el incremento de la cantidad de parches y bordes. Estos bordes generalmente se conocen como las áreas de conversión de los hábitats y su conocimiento depende de los observadores, variables analizadas u organismos existentes; en resultado los fragmentos boscosos pueden llegar a presentar algunos bordes abruptos o suaves en función del nivel de divergencia manifestada entre los distintos hábitats, esto tiene un impacto en la función de la capacidad generada en las especies para trasladarse y adaptarse dentro de los hábitats alterados, además de la entrada de los efectos del borde que causan la reducción de la calidad del hábitat en retroceso y la habilidad de reparación que tienen los bosques (Otavo y Echeverría, 2017).

La magnitud global de la fragmentación se encuentra estrechamente relacionada con la deforestación, lo que ha provocado la pérdida de cobertura forestal, y, que casi el 20% del bosque restante del mundo; se encuentre dentro los 100 m de un borde, muy cerca de entornos agrícolas y urbanos, donde los impactos de la deforestación son más severos (Haddad *et al.*, 2015)

Por otra parte, la degradación de los bosques en Latinoamérica también se encuentra relacionado con la fragmentación de bosques, causado por las actividades antrópicas, que producen cambios duraderos en su estructura y funcionamiento (Armenteras *et al.*, 2016). Lo mismo sucede en Ecuador, la conversión en tierras agropecuarias, la extracción de madera, la minería, las actividades petroleras y la construcción de vías, han sido identificadas como promotores en la pérdida y fragmentación de los bosques (Torracchi *et al.*, 2002).

2.4. Métricas de Fragmentación

La importancia del uso de las métricas para estimar la fragmentación, radica en su utilidad para el análisis de la configuración del paisaje como, por ejemplo, comparando paisajes cartografiados de la misma forma, y posteriormente la evaluación del mismo paisaje en diferentes años, o a su vez comparar el mismo paisaje bajo escenarios alternativos (Correa *et al.*, 2014).

Las métricas aportan información de la proporción que existe de un determinado uso en un paisaje, la forma o elongación de los fragmentos de cada uso, o los tamaños de los fragmentos. La información que proporcionan las métricas consiste en un conjunto de valores numéricos, que permiten evaluar los cambios que tienen lugar en un paisaje (Aguilera, 2010).

Programas como FRAGSTATS, calculan las mencionadas métricas de fragmentación, pero es imprescindible comprender y analizar correctamente las métricas a utilizar, según el tipo de estudio que se pretende desarrollar (Badii y Landeros, 2007; Matteucci, 2006).

McGarigal (2015), divide las métricas de fragmentación en tres niveles:

- **Nivel de paisaje (landscape level).**- El análisis se aplica a la totalidad del paisaje estudiado.
- **Nivel de clase (class level).**- Analiza las estructuras agrupadas en categorías o conjunto de fragmentos de la misma clase, en las que previamente se clasificó el paisaje.

- **Nivel de parche (patch level).**- Analiza cada una de las estructuras de cada elemento anteriormente clasificado del paisaje.

A continuación, se presenta una breve descripción de las métricas seleccionadas en el presente estudio, consideradas importantes para la determinar la fragmentación del área de estudio.

- **Área de Clase (CA).**- Calcula cuánto del paisaje se compone de un tipo de parche en particular, en hectáreas (McGarigal y Marks, 1995).
- **Índice de Forma (SHAPE_MN).**- Indica la complejidad en la forma de un parche. Si tiende a 1, quiere decir que los fragmentos son más regulares, a medida que los fragmentos son irregulares el valor es mayor a 1 (Alonso *et al.*, 2017).
- **Número de parches (NP).**- Número de fragmentos de un tipo específico de parche, se considera una medida simple de la fragmentación. Sin embargo, el número de parches de una clase puede ser determinante para los procesos ecológicos que se desarrollan en un bosque, además de ser un indicativo crucial para determinar la fragmentación a diferentes escalas temporales (Echeverry y Harper, 2009).
- **Densidad de parches (DP).**- Se encuentra directamente asociado al número de parches y se expresa en número de parches por unidad de área (McGarigal y Marks, 1995).

2.5. Ecología de Paisaje

El término ecología del paisaje creado por Carl Troll en el año de 1939, hace referencia al área del conocimiento que estudia los paisajes tanto antrópicos como naturales, fue concebido inicialmente dentro de la rama de humanidades a inicios del siglo XIX, tiene un gran aporte en el desarrollo de las ciencias biológicas y ecologistas (Arroyo *et al.*, 2017).

La ecología del paisaje estudia la interacción entre los procesos naturales y las actividades humanas. Desde el punto de vista ecológico, el paisaje es considerado algo más, que un complejo ecosistema, es un mosaico de ecosistemas sin una frontera definida, lo que permite tener en cuenta la heterogeneidad del espacio y la diversidad del tiempo e integrar las actividades humanas, busca proteger los paisajes, gestionar los espacios naturales y relacionarlos entre ellos (Toledo, 2007).

La dimensión estructural del paisaje enfatiza aspectos como la fragmentación y las formas dominantes dentro del contexto de la matriz del paisaje (Molina y Albarran, 2013). Por

su parte, Barrera (2013) señala que “los patrones espaciales de los elementos del paisaje afectan el flujo de materiales, especies y energía en el sistema; influyen en la idoneidad de ese paisaje como hábitat y por lo tanto la presencia o ausencia de especies; e impiden o facilitan el acceso a los recursos y al movimiento de estas”.

2.5.1. Patrones espaciales y temporales del paisaje

Echeverría et al. (2014) señala que los patrones espaciales del paisaje, están constituidos por la composición (tipo de vegetación, tipo de uso de suelo y calidad del hábitat) y la configuración o estructura del paisaje (Heterogeneidad y parche matriz). Por ende, la composición del paisaje se refiere a los tipos de hábitats o elementos que están presentes, mientras que la configuración se refiere al arreglo espacial o físico de esos elementos en el paisaje.

La dimensión temporal de los paisajes permite establecer comparaciones entre momentos históricos diferentes, precisar el estado pasado y actual de determinados paisajes, lo que marcará la evolución del paisaje en el tiempo (Molina y Albarran, 2013).

2.6. Teledetección y SIG

La teledetección es el conjunto de imágenes satelitales que se emplean como principal instrumento para estudiar un fenómeno, mismo que tienen contacto físico directo con el objetivo analizado; mediante ello se pretende recolectar información sobre la característica del objetivo estudiado a través de un sensor (Balbotín *et al.*, 2016).

La teledetección y los sistemas de información geográfica (SIG) constituyen instrumentos que se utilizan para obtener y procesar información sobre el manejo del suelo en zonas inaccesibles, que es un aporte esencial para la correcta toma de decisiones con referencia a la planeación de los recursos naturales (Lao y Peláez, 2018).

La teledetección también se emplea para establecer las diferencias entre las propiedades ambientales de la zona estudiada a través de la detección, inscripción y examinación de la cantidad de energía emitida en la superficie terrestre, la vegetación de un bosque o la masa de agua, por lo que la información que aporta con los datos obtenidos vía satélite y su propia particularidad periódica, conllevan al análisis de las variaciones espaciales y temporales de los cambios presentados en los diversos paisajes de una región (Nieto y Cárdenas, 2018).

2.7. Sensores Remotos

Los sensores remotos provienen de la palabra latina “remote sensing” que se traduce como tele-observación, descubierta por la geógrafa Evelyn Pruitt durante 1979 (Collado *et al.*, 2015). Estos tienen la función de permitir la producción de imágenes de tipo satelital para analizar grandes cantidades de suelo o áreas remotas que son inaccesibles para controlar los patrones que influyen en los procedimientos de fragmentación y que se relacionan a la dinámica temporal y espacial de la gestión antrópica (León *et al.*, 2014).

2.7.1. Resoluciones de una imagen satelital

La imagen satelital es la delineación visualizada de un conjunto de datos proyectados en base a la superficie terrestre que capta un sensor montado sobre un satélite artificial. Luego la imagen se corrige y es procesada con medios digitales, antes de producirse los patrones y su distribución (Zeballos *et al.*, 2014).

Labrador *et al.* (2016), señalan que el sensor que se instala en los satélites de la teledetección, tiene una gran cantidad de características que establecen las propiedades de cada imagen que se producirá, estas se definen fundamentalmente por los siguientes tipos de resolución que son:

- a. **Resolución espacial.-** Corresponde a la medida relacionada a la distancia lineal o angular mínima que el sensor remoto puede captar sobre la superficie del suelo y generalmente se identifica por 1 pixel.
- b. **Resolución espectral.-** Comprende el ancho y cantidad de bandas espectrales que se pueden diferenciar dentro de un sensor remoto.
- c. **Resolución radiométrica.-** Representa el total mínimo de energía necesaria para aumentar el valor del pixel dentro de un conjunto de niveles digitales (ND).
- d. **Resolución temporal.-** Equivale al tiempo en el que se repite la imagen, entre dos tomas consecutivas sobre la misma cantidad de suelo y varía en función de las propiedades esféricas del satélite.

2.7.2. Landsat 5

Landsat 5 tiene una larga trayectoria en la generación de imágenes satelitales sobre diversos territorios del planeta, este se creó en 1984 con parecidas características al Landsat 4, a diferencia de que transmite más de 2.5 millones de imágenes, se utilizó por primera vez por

EOSAT y constituye un satélite de gran tiempo de funcionamiento en la historia con más de 29 años de aplicación (Franco, 2017).

Los métodos de descripción de imágenes con la aplicación del satélite Landsat 5 tienen una utilidad eficaz y viable, en el establecimiento de la cubierta de los paisajes que sirve para luego zonificar el espacio (Álvarez *et al.*, 2015).

Mediante el uso de este programa, la imagen se calibra para transformar los estándares digitales a valores de radiación, para luego convertirlos en reflectores empleando los coeficientes de calibración para datos del mismo Landsat 5 (Palestina *et al.*, 2015).

2.7.3. Landsat 8

Fue lanzado y puesto en órbita en 2013 y se conforma de dos tipos de sensores que son; el Thermal Infrared Sensor (TIRS) que posee dos bandas y el Operational Land Imager (OLI) que tiene 9 bandas, actualmente se utiliza por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) (Franco, 2017).

Este tipo de imagen posee 1 banda de calidad y 11 bandas con información espectral, estas tienen 30 m de resolución espacial (Soza, 2017).

2.8. Procesamiento de imágenes satelitales

Comprende la serie de mecanismos y métodos empleados para obtener datos de las imágenes satelitales, cuyo propósito es generar el mejoramiento de la calidad de la imagen digital que se usará para la examinación e interpretación del área geográfica que se investiga. Este implica la utilización de diversos tipos de software y hardware, las imágenes satelitales que tienen característica de ser óptica, pueden provenir de algunos satélites con radar e apertura sintética o de satélites pasivos (Torres, 2011).

El procesamiento de la imagen satelital ha logrado un gran alcance debido a la variedad de utilidades tecnológicas y científicas que aporta al análisis espacial del territorio, este se fundamenta en la examinación de zonas concretas, donde se obtiene datos que se pueden aplicar de forma indirecta o directa en diferentes entornos (Pacheco *et al.*, 2014).

Las principales técnicas aplicadas para el procesamiento de la imagen satelital se distribuye en tres fases que son: 1. la corrección utilizada esencialmente para coger las fallas mostradas en la distorsión manifestada en los datos que se producen al momento de realizar la

toma; 2. mejoramiento y 3. extracción de la información resultante sobre los datos generados (Charlotte *et al.*, 2016).

2.8.1. Correcciones básicas de una imagen satelital

Jiménez *et al.* (2014), determinan algunos tipos de corrección de imágenes satelitales que son:

- a. **Corrección geométrica.-** Esta técnica consiste en realizar la relación de las curvas del nivel de la zona estudiada mediante algunos archivos vectoriales (Shapefiles), con el objetivo de establecer las falencias en las imágenes, empleando el software específico, que permite abrir los dos archivos en conjunto (Jerves y Machado, 2015).

Para llevar a cabo la corrección geométrica se selecciona la mejor imagen, considerando que tenga las mejores condiciones geométricas, en base a esta se modifican las demás imágenes satelitales en un ámbito geométrico, mediante la examinación multitemporal (Zeballos *et al.*, 2014).

- b. **Corrección radiométrica.-** Este tipo de corrección consiste en detectar los errores fotográficos al determinar los valores presentados entre los números digitales con respecto a los referenciales que tienen aproximación a las firmas espectrales, que se podrían expresar por los elementos (Jiménez *et al.*, 2014). Para llevar a cabo este método se necesita de dos elementos externos que son el nivel de profundidad óptica de la atmósfera y el nivel de radiación receptada por el sensor en la zona donde sólo hay un aporte atmosférico. Generalmente estos componentes son obtenidos con la intervención humana de manera interactiva (Moré *et al.*, 2012).

- c. **Corrección atmosférica.-** Es un método que de acuerdo a (Corrales y Ochoa, 2017), se utiliza fundamentalmente para determinar el nivel de reflejos sin perturbación como un mecanismo alternativo a la técnica radiométrica, para su aplicación se usa generalmente algoritmos que corren dentro de un software libre, lo que permite establecer las correcciones de dispersión molecular generadas por algunos componentes atmosféricos que tienen un tamaño menor al de la onda de radiación electromagnética.

La corrección atmosférica de la imagen satelital comprende un mecanismo empleado con la finalidad de erradicar la cantidad de efectos presentados en la radiación intrínseca y el efecto de los aerosoles, implementados en el sensor y que en consecuencia, se reflejan en las imágenes, como resultado de la interrelación entre la atmósfera y el

sensor; a través de ello se eliminan los elementos intrusivos generados por esta (Aguilar *et al.*, 2015).

2.9. Métodos de clasificación de imágenes satelitales

Estos son para Espín (2015), los mecanismos aplicados para clasificar las imágenes satelitales y obtener datos mostrados en las mismas. Complementariamente, (Conde *et al.*, 2014), agregan que para ello también se utiliza el análisis cuantitativo o la fotointerpretación fundamentada en la aplicación de la computación intensiva; la clasificación de imágenes satelitales se pueden realizar de dos maneras: la clasificación supervisada y no supervisada.

2.9.1. Clasificación no Supervisada

La clasificación no supervisada se conforma de una serie de procesos que incluyen el agrupamiento de algunos píxeles que tiene la imagen satelital de acuerdo al nivel de homogeneidad espectral, sin conocer preliminarmente la realidad temática. Para llevar a cabo este método también se determinan algunos logaritmos requeridos en la examinación de la imagen sin contar con previo conocimiento sobre su contenido (Conde *et al.*, 2014).

La importancia de este método es que facilita la construcción de una base de información cartográfica digital que conduce a diferenciar varias coberturas de paisajes ya que aporta datos cuantitativos que se usan generalmente en varios programas de monitoreo. Con ello se provee información relevante en estudios referentes al análisis de fragmentación del suelo, ordenamiento ecológico-territorial, de conexión en la estructura de los hábitats implicados en la preservación ambiental, y, los de tipo temporal que permiten establecer diferencias entre varias dinámicas antrópicas y naturales, y el contexto de la cobertura manifestados en otros años (Rullán *et al.*, 2011)

2.9.2. Clasificación Supervisada

Este método como lo señala (Ramírez, 2013), implica la necesidad de tener algún tipo de conocimiento sobre el suelo y sus tipos de coberturas, mediante la mezcla de la examinación de las imágenes aéreas, trabajo de campo, referencias locales y profesionales, además de los reportes técnicos y mapeos. A partir de esto se establece las áreas pilotos o de entrenamiento sobre la imagen seleccionada, considerando que sus propiedades espectrales se utilizan para entrenar un algoritmo de clasificación, con lo que se obtiene los estándares estadísticos correspondientes a cada banda para cada zona piloto. Posteriormente se evalúa cada Nivel Digital (ND) de la respectiva imagen que es comparado y asignado a una clase específica,

mediante este método se determina las diversas clases temáticas que no tienen claro un significado espectral.

Por otra parte, también se calcula la cantidad de clases para su caracterización en base a sus niveles de reflectividad para luego realizar la clasificación en función de las áreas de entrenamiento. Seguidamente se valida el tipo de clasificación empleando las áreas de confirmación; esto se ejecuta con la finalidad de generar un mapa de los usos del suelo en base a las diversas capas de reflectividad presentes (Espín, 2015).

3. METODOLOGÍA

A continuación, se caracteriza los sitios que comprenden el área de estudio y se especifica cada uno de los métodos usados en la presente investigación.

3.1. Área de estudio

El área de estudio comprende las parroquias Dayuma e Inés Arango, ambas pertenecientes al cantón Francisco de Orellana capital de la provincia de Orellana. La importancia de estas parroquias, para el presente proyecto, radica en la presencia del Área protegida (AP) Yasuní, así como del área no protegida (ANP) o zona circundante, cubierta por bosques nativos (Figura 1)

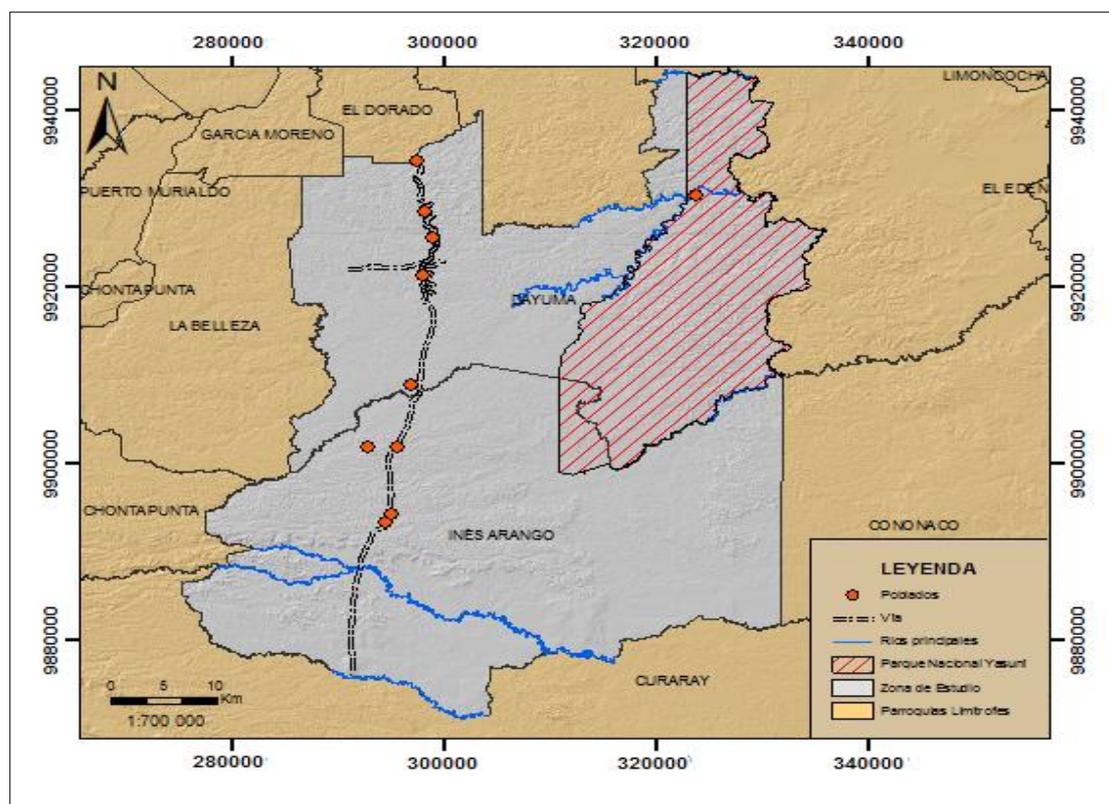


Figura 1. Mapa base del área de estudio

3.1.1. Parroquia Dayuma

Dayuma es una de las once parroquias que conforman el cantón Francisco de Orellana, cabecera cantonal del cantón Orellana y capital de la provincia de Orellana. Se encuentra en la parte central del área cantonal y ocupa una superficie de 123 221 ha; y se considera la parroquia de mayor tamaño. Se caracteriza por un relieve ondulado con un rango altitudinal que va desde los 220 hasta los 380 m s.n.m. El clima de la parroquia de Dayuma, es de tipo tropical cálido húmedo, con una temperatura promedio de 25-26 °C. En cuanto a la precipitación, los meses de mayores lluvias corresponden a abril y mayo con 343 mm y 313,7 mm respectivamente. Mientras los meses con el promedio inferior de precipitación son agosto y septiembre con apenas 144 mm y 201,5 mm respectivamente (PDOT, 2015a).

En la parroquia de Dayuma predomina la cobertura vegetal natural como son los bosques nativos en distintos estados de conservación, con el 84,05% lo que corresponde a 103 567,38 ha. Mientras el 14,99% corresponde a tierras agropecuarias, donde predominan los pastos cultivados, los misceláneos de frutales y superficies reducidas destinadas a cultivos permanentes como: cacao, café, palma africana y plátanos. Así como de cultivos anuales como el maíz, raíces y tubérculos (PDOT, 2015a).

De los 1 231 km² aproximadamente que constituyen la parroquia Dayuma el 41,14% del territorio, se encuentra en el Parque Nacional Yasuní, lo que equivale a 50 689 ha, es decir sitio en el cual el área natural está bajo protección del Estado ecuatoriano y cierto tipo de actividades económicas están restringidas o prohibidas y otras como el turismo dirigido está permitido (PDOT, 2015a).

Paralelamente al resto de la amazonía norte, en la parroquia Dayuma el principal recurso natural no renovable, y el más explotado, es el petróleo. La extracción de petróleo inició en los años 70 en el cantón Francisco de Orellana, y fue Dayuma, uno de los principales lugares históricos de extracción. Actualmente y según la Secretaría de Hidrocarburos del Ecuador SHE, el territorio cantonal está dividido en 21 bloques petroleros de los cuales 8 están dentro de los límites territoriales de Dayuma (PDOT, 2015a).

3.1.2. Parroquia Inés Arango

La parroquia Inés Arango, al igual que Dayuma, pertenece al cantón Francisco de Orellana capital de la provincia de Orellana, ocupa una superficie de 146 710,63 ha y posee un rango altitudinal que va desde los 212 m s.n.m. a 400 m s.n.m. La temperatura media multianual en la zona de estudio es alta, con un valor de entre 24,20 °C a 22,20 °C, siendo el mes de julio

el mes relativamente más frío, con una temperatura inferior. La variación multianual de la precipitación en la parroquia de Inés Arango, oscila entre los 2 500 y los 3 800 mm/año (PDOT, 2015b).

Los cuerpos de agua dentro del territorio de la parroquia de Inés Arango abarcan un área de 23,90 hectáreas, distribuidos en ríos como: Tiputini, Yasuní y Curaray y humedales que abarcan 453,4 ha equivalentes al 0,3% del área Parroquial (PDOT, 2015b).

La principal actividad económica de la parroquia Inés Arango es la producción agrícola, en la que no se ha buscado la especialización en algún tipo de producto, a pesar de esto la producción se concentra principalmente en productos como el maíz, cacao, café, arroz, plátano y yuca, que se complementa con la ganadería y la producción avícola. Además, gran parte del territorio parroquial está concesionado a la explotación petrolera, por lo que se considera como una actividad industrial predominante en la zona, que representa el 90,9% del área parroquial (PDOT, 2015b).

La parroquia de Inés Arango se considera como zona de alta sensibilidad ambiental y mantiene una estrecha relación con el Parque Nacional Yasuní. Dicho parque constituye así un lugar con una gran biodiversidad, hogar de una de las más grandes concentraciones de vida salvaje, tanto en flora como en fauna, encontrándose en el área de la parroquia 3 554,9 ha; además se encuentran 49 341,8 ha de la Unidad 10 y 15 080,3 ha de la Unidad 9 de Patrimonio Forestal (PDOT, 2015b).

3.1.3. Área Protegida Yasuní

El Área Protegida Yasuní (APY) fue declarada Reserva de la Biosfera por la UNESCO en 1989, abarca 1 022 736 ha considerado como el área protegida (AP) más grande del Ecuador continental. Alberga y protege una extraordinaria biodiversidad en el corazón del bosque húmedo tropical amazónico. Cuenta con cifras elevadas de biodiversidad para diversos grupos de flora y fauna, donde se puede encontrar cientos de especies de árboles y grandes animales como el jaguar, la anaconda y el águila harpía. En cuanto a la parte humana, el Yasuní resguarda parte del territorio de la nacionalidad Waorani, y dos pueblos indígenas en aislamiento voluntario: los Tagaeri y Taromenae.

La geografía del APY se caracteriza por la afluencia del río Napo, uno de los principales afluentes del gran río Amazonas, que fluye por el norte del parque, mientras que el Curaray lo hace por el límite sur. Entre ambos ríos existe una compleja red formada por los ríos Tivacuno,

Tiputini, Yasuní, Nashiño, Cononaco y Tiguíño, que conforman la cuenca baja del Napo. En medio de este laberinto de ríos se encuentran más de un millón de hectáreas de bosques tropicales que conforman este parque nacional (MAE, 2014b).

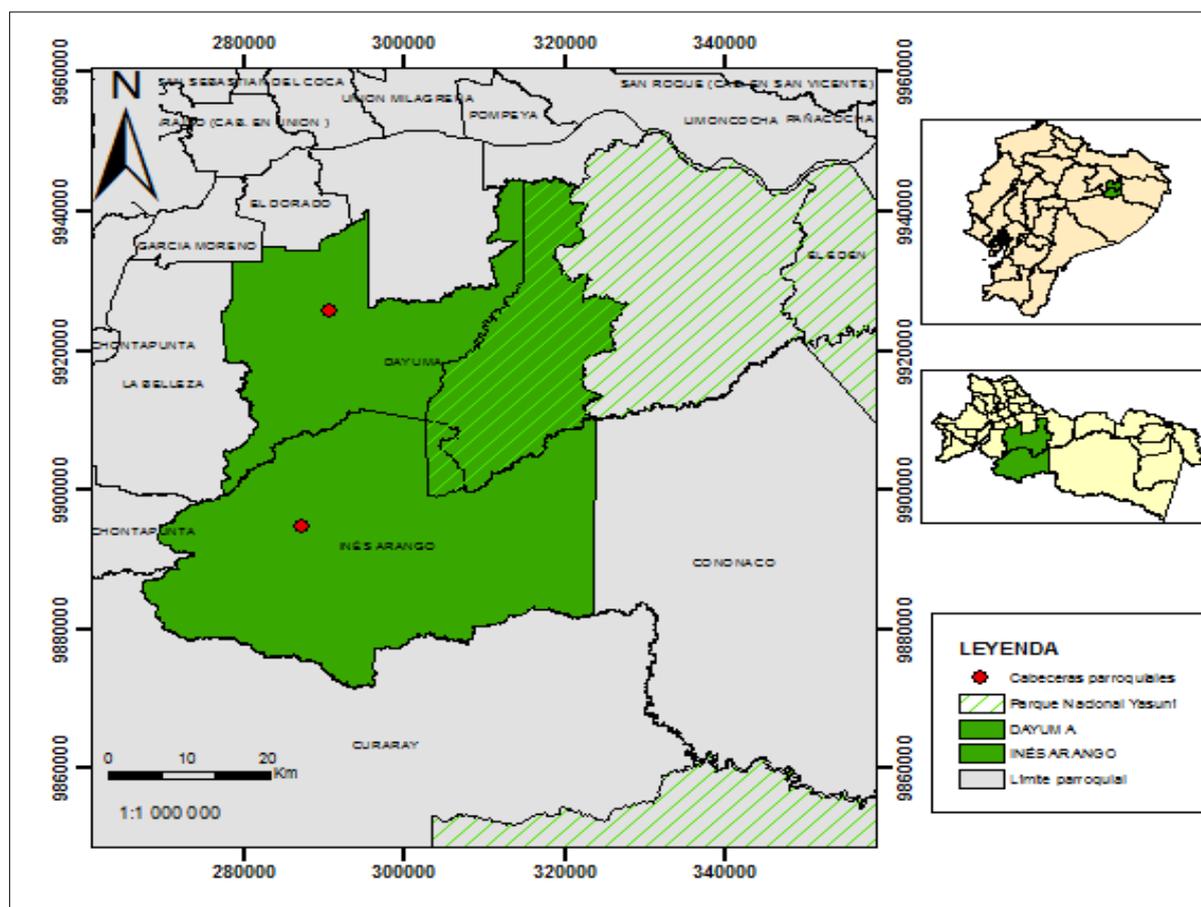


Figura 2. Ubicación del área de estudio

3.2. Base de Datos

A través del portal USG GLOVIS (<https://glovis.usgs.gov/ap>), se seleccionó imágenes satelitales con la menor cobertura de nubes dentro de la zona de estudio, para evitar complicaciones en el proceso de clasificación que se detallará más adelante. Para cubrir la zona de estudio se seleccionaron dos imágenes, pertenecientes al mes de octubre, con porcentajes de cobertura del 30,93% y 40,59% respectivamente. Estas imágenes corresponden al año 1987 de Landsat 5 y 2018 de Landsat 8. Adicionalmente se empleó Cartografía base del IGM (Instituto Geográfico Militar), escala 1:50.000, disponible en archivo shapefile (<http://www.geoportalmgm.gob.ec>).

3.3.Métodos

A continuación, se presenta el proceso metodológico aplicado en el presente estudio:

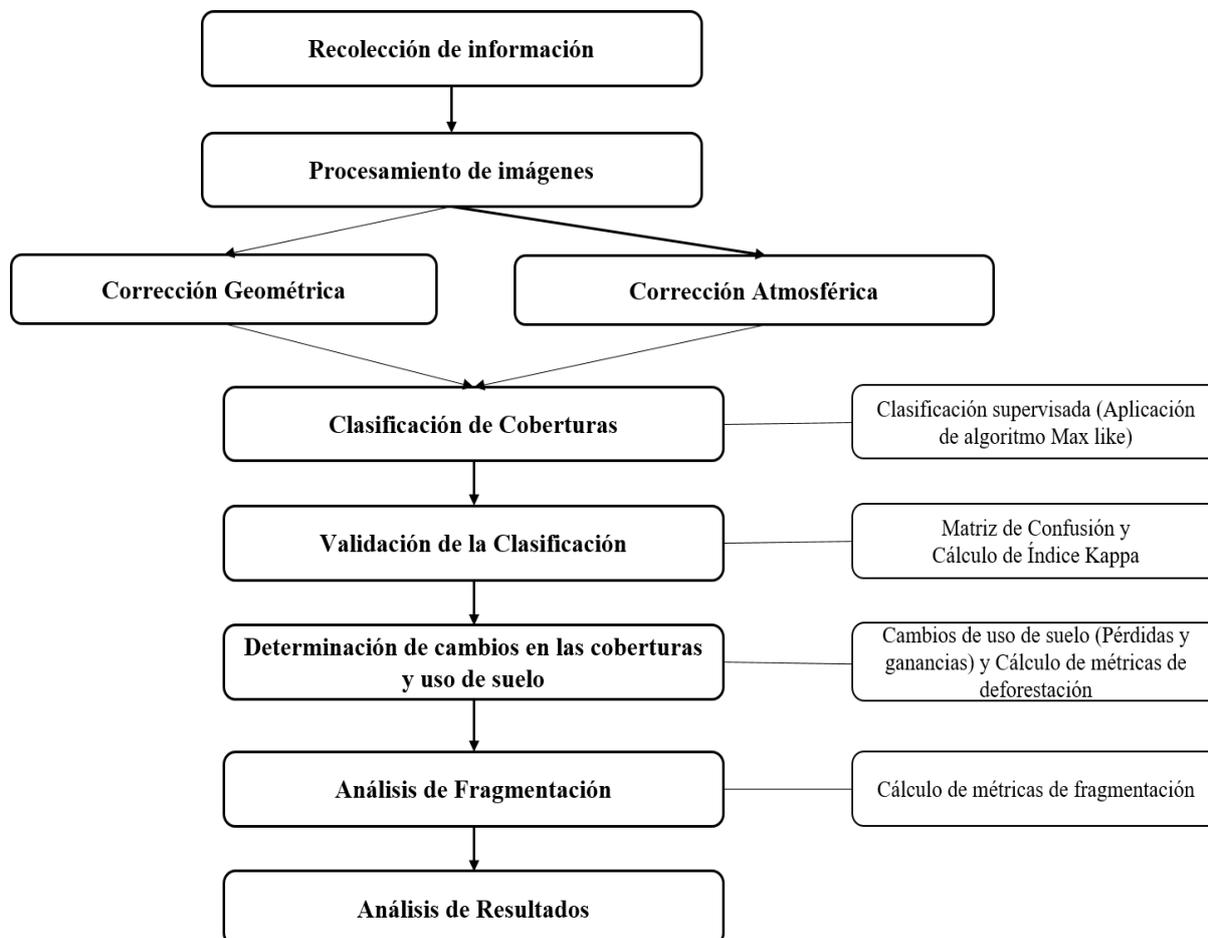


Figura 3. Esquema metodológico

3.3.1. Procesamiento de imágenes satelitales

Para el procesamiento de las imágenes satelitales se utilizó el Software TerrSet, un sistema geoespacial integrado, diseñado para monitorear y modelar el sistema terrestre para el desarrollo sostenible. El sistema TerrSet incluye herramientas de análisis de IDRISI GIS y de procesamiento de imágenes IDRISI junto con un conjunto de aplicaciones adicionales (Eastman, 2016).

Las imágenes satelitales al ser obtenidas sufren una serie de interferencias que hacen que la información que contienen aparezca perturbada por diversos errores, es importante corregir estas anomalías antes de proceder a la clasificación. Es por esto que se realizó dos correcciones básicas:

- **Corrección Geométrica.**- La corrección geométrica consistió en eliminar distorsiones geométricas indeseables de las imágenes satelitales y adaptarlas a la proyección cartográfica WGS84 Zona 18 Norte, correspondiente al Datum para Ecuador. Se verificó en la metadata de cada imagen satelital, que posean los datos de latitud y longitud respectivas, y que ambas imágenes posean el sistema de coordenadas de proyección establecida.
- **Corrección Atmosférica.**- Se realizó la corrección atmosférica de cada una de las imágenes en el software Terrset, para esto se procedió a usar la herramienta “Import”. Al subir al programa las imágenes landsat, se seleccionó las bandas 1,2,3,4,5,6,7,8,9, debido a que estas bandas son las que se emplearán para la clasificación de cobertura vegetal y uso de suelo. Al importar las imágenes, el programa Terrset permite corregirlas con las herramientas “Cos(t) model” y “Convert to reflectance”.

3.3.2. Análisis de los cambios de la cobertura vegetal del sector Dayuma, provincia de Orellana, mediante técnicas de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica.

A continuación, se presenta los procesos que se llevaron a cabo para obtener los mapas de cobertura y uso de suelo del Sector Dayuma. Además, se describen los métodos utilizados para la estimación de los cambios de uso de suelo y el análisis de deforestación.

3.3.2.1. Definición de la leyenda Temática

Para proceder a realizar la clasificación de las imágenes, primeramente, se definió las clases de coberturas, de acuerdo con la leyenda temática empleada en el programa Socio Bosque (MAE, 2017).

Tabla 1. Clases de coberturas seleccionadas para el presente estudio

Código	Cobertura
1	Bosque
2	Cuerpos de agua
3	Zona antrópica
4	Área agropecuaria
5	Área sin cobertura vegetal

Fuente: (MAE, 2017).

3.3.2.2. Composición a color

Con la herramienta “CREATE COLOR COMPOSITE” del software TerrSet, se realizó una combinación con las bandas 4,6,5, para Landsat 5 y 7,4,3 para Landsat 8, creando una imagen que fue el compuesto multispectral donde se realizó la digitalización de las áreas de entrenamiento.

De acuerdo al tipo de estudio o la variable a analizar se puede realizar varias composiciones de color con las distintas bandas (Lo Vecchio *et al.*,2016).

3.3.2.3. Identificación de sitios de entrenamiento

Las áreas de entrenamiento nos permitieron proporcionar al software TerrSet un conjunto de píxeles representativos de cada clase de uso del suelo. Este proceso se realizó mediante la creación de áreas de interés o ROIs en la imagen del Compuesto Multiespectral a clasificar, para lo cual se utilizó la herramienta “DIGITALIZE”.

Las áreas de entrenamiento fueron tomadas teniendo en cuenta que deben tratarse de muestras representativas y homogéneas de la clase que pretende definirse.

3.3.2.4. Fase de clasificación de coberturas

Las firmas espectrales o rois, mencionados en el paso anterior, sirvieron para que el algoritmo de clasificación etiquete o clasifique los píxeles de las imágenes satelitales.

El algoritmo de clasificación aplicado fue Máxima Probabilidad o Max Like, que según Eastman (2016), calcula la probabilidad posterior de pertenencia a cada clase, donde la probabilidad es más alta en la posición media de la clase y cae en un patrón elíptico fuera de la media, para esto utiliza la información de un conjunto de sitios de entrenamiento y los datos de

la media y la varianza / covarianza de las firmas espectrales o rois (áreas de entrenamiento), para estimar la probabilidad posterior de que un píxel pertenezca a cada clase.

Es fundamental seleccionar el algoritmo de clasificación correcto, para que la clasificación se realice exitosamente y no se produzca una confusión entre las coberturas.

3.3.2.5. Análisis Post Clasificación

En la post clasificación, primero se identificó los sitios de entrenamiento, utilizando la herramienta “Áreas de Interés (AOI)”, se creó polígonos manualmente, verificando la correcta clasificación de los lugares más problemáticos, para finalmente obtener las clases finales de la clasificación que servirán para realizar los mapas y el posterior análisis. Para esto se utilizó el software ERDAS IMAGINE 2015, con el fin clasificar correctamente los píxeles que se categorizaron incorrectamente y agrupar o quitar categorías que por tener la misma reflectividad, son difíciles de clasificar. En este paso se trabajó en corregir el efecto “sal y pimienta” que se obtuvo en la clasificación con Max Like de TerrSet.

3.3.2.6. Validación de la clasificación

Es necesario a efectos del presente estudio, utilizar la matriz de confusión para mostrar la exactitud de la clasificación realizada, para esto se utilizó la matriz de confusión y el índice Kappa, estos parámetros son los que determinan la precisión de la clasificación (Ariza-lópez *et al.*, 2018).

- **Matriz de Confusión.**- Una vez obtenida la clasificación de las imágenes se procedió a realizar la matriz de confusión, con el fin de mostrar la exactitud del resultado de la clasificación, para esto se escogió de forma aleatoria 50 puntos por clase (Sánchez, 2016), para cada compuesto multiespectral, de las imágenes de 1987 y 2018, después, mediante la opción Accuracy Assessment del menú de clasificación de QGIS 3.4, se realizó la prueba de exactitud empleando los puntos creados y la imagen clasificada.

El Software QGIS 3.4 posee la función Accuracy que permite la comparación de una imagen clasificada y regiones de interés. Este programa realiza la estimación automática de los siguientes parámetros que conforman la matriz de confusión (MAE, 2014a):

- **Exactitud del productor (producer’s accuracy).**- Expresa la probabilidad de que un píxel de una clase definida esté correctamente clasificado.

- **Exactitud del usuario (user accuracy).**- Expresa la probabilidad de que un píxel clasificado como una clase establecida corresponda exactamente a dicha clase.
- **Precisión global (overall accuracy).**- Porcentaje de píxeles clasificados correctamente.
- **Índice Kappa.**- Como ya se mencionó el Software QGIS 3.4 calculó automáticamente el índice Kappa (k), que mide “la diferencia entre el acuerdo mapa – realidad observado y el que cabría esperar simplemente al azar”(Chuvieco, 1995), lo que significa que objetivamente es una medida de concordancia, precisión o exactitud de la clasificación (Vargas-Sanabria y Campos-Vargas, 2018).

Landis & Koch, 1977 citado en (Vargas y Campos, 2018), establecieron rangos de precisión para el índice Kappa, divididos en tres grupos: mayor a 0.80 fuerte, 0.40-0.80, moderada y menor a 0.40 pobre. Los resultados obtenidos en la validación dan como resultado un rango de precisión “Fuerte” para la clasificación tanto del año 1987 como el de 2018 (Anexos 1 y 2).

3.3.2.7. Determinación del cambio de cobertura y uso del suelo

Para determinar el cambio de uso de suelo de los años 1987 y 2018, se utilizó la función Land Cover Change, del Software TerrSet, que realiza la estimación de la conversión del suelo (Mahmound & Divigalpitiya, 2017; Hamad *et al.*, 2018).

Como archivos de entrada para trabajar el modelo de cambio, se empleó las imágenes clasificadas del año de 1987 y 2018. Finalmente, en el programa QGIS 3.4 se obtuvo un reporte con las áreas de cambios de ambos años y las matrices de transición y los gráficos se construyeron a partir de estos datos de ambos años y las matrices de transición y los gráficos se construyeron a partir de estos datos.

3.3.2.8. Análisis de deforestación

El análisis de los patrones de deforestación consistió en calcular, primeramente, las métricas de deforestación de acuerdo al área total del sector Dayuma y al período de estudio (31 años), posteriormente, se analizó la deforestación del Área Protegida (AP) Yasuní y el área circundante correspondiente a la extensión que no se encuentra categorizada como área protegida (ANP). Esto facilitó los cálculos y la comprensión de la magnitud de la deforestación en la zona de estudio.

Para el cálculo de las principales métricas de deforestación, se empleó las formulas usadas para el informe de “Deforestación del Ecuador Continental Período 2014-2016” (MAE, 2017).

La primera métrica calculada fue la deforestación total anual del periodo estudiado, definida en la Ecuación 1 como:

$$\left[\mathbf{R} = \frac{A^1 - A^2}{t^2 - t^1} \right]$$

Eq. 1

Donde A^2 y A^1 son las áreas de bosque en la fecha final (t^2) e inicial (t^1), respectivamente (Puyravaud, 2003).

Posteriormente se calculó la tasa de cambio anual que se obtiene comparando el área cubierta por bosque en la misma región en dos épocas diferentes, definida en la Ecuación 2:

$$\left[\mathbf{q} = \left[\left(\frac{A^2}{A^1} \right)^{1/(t^2 - t^1)} - 1 \right] * 100 \right]$$

Eq. 2

Donde q es la tasa de cambio anual, A^2 y A^1 son las áreas de bosque en la fecha final (t^2) e inicial (t^1), respectivamente (Puyravaud, 2003).

3.3.3. Estimación de la fragmentación de los bosques nativos del sector Dayuma, provincia de Orellana, utilizando índices de fragmentación.

El análisis de fragmentación se llevó a cabo a través del cálculo de índices de fragmentación, utilizando el software Fragstats, disponible en la página web de la Universidad de Massachusetts (www.umass.edu). Estos índices describen la fragmentación caracterizando cada parche (tamaño, forma, etc.) (Mas y Sandoval, 2000).

3.3.3.1. Cálculo de métricas de fragmentación

Para el análisis de fragmentación se realizó el cálculo de las métricas de acuerdo al AP Yasuní y al ANP circundante, perteneciente al sector Dayuma. Esto debido a que como mencionan Mas y Sandoval (2000), los índices de fragmentación se calculan para una superficie donde se supone que existen unas condiciones homogéneas, y la zona de estudio cuenta con

una AP dentro sus límites, por lo que la fragmentación será heterogénea dentro y fuera de la misma. Esto facilitó la comprensión y los cálculos de la fragmentación de los bosques protegidos y no protegidos del área de estudio.

Como imágenes de entrada para realizar en análisis, se usó los mapas ya clasificados de los años 1987 y 2018, en formato Tiff, a los que previamente se reclasificó en tres categorías: Bosque, No Bosque y No Data.

El cálculo y análisis de las métricas de fragmentación permiten evaluar los patrones de fragmentación del hábitat en el espacio y en el tiempo. La selección de las métricas se realizó tomando en cuenta las principales características de la fragmentación como: Área de clase, índice de forma, Número de Parches, Densidad de Parches, entre otros. A continuación, se presenta una breve descripción de las métricas empleadas en el análisis (McGarigal y Marks, 1995).

Tabla 2. Métricas utilizadas en el análisis de fragmentación del Sector Dayuma

Métrica	Símbolo	Descripción	Unidad
Área de clase	CA	Medida de la composición del paisaje. Calcula cuánto del paisaje se compone de un tipo de parche en particular.	Hectáreas
Índice de forma	SHAPE_MN	Mide la complejidad de la forma de los parches, en rangos de 1 a > 1 .	Adimensional
Número de parches	NP	Cuantifica el número de parches en el paisaje estudiado.	Número #
Densidad de parches	PD	Mide el número de parches presentes en un área por unidad.	Número por cada 100 hectáreas

Fuente: (McGarigal & Marks, 2015)

4. RESULTADOS

Luego de procesar la información se analizó los cambios de la cobertura vegetal, cambios de uso de suelo y deforestación del sector Dayuma, provincia de Orellana. A continuación, se presentan los resultados:

4.1. Análisis de Cambios de Cobertura Vegetal Mediante un Análisis Multitemporal

Mediante la aplicación de la metodología seleccionada se obtuvieron los siguientes resultados para la cobertura forestal y el uso actual del suelo (Figura 4).

Para el año 1987 la cobertura representada por la clase bosque, fue de 269 647,38 ha, que representa el 97,33% del área del sector Dayuma, esto evidencia que el bosque nativo predominaba en la zona de estudio. Al contrario que para el año 2018, donde la superficie de la cobertura forestal disminuyó en 7,8%, ocupando 241 409,14 ha. También se observa como el área antrópica y zona agropecuaria aumentaron considerablemente, lo que indica un irreversible cambio de usos del suelo que afecta a la zona de estudio, como muestran los datos presentados en la Tabla 3.

Tabla 3. Superficie total y porcentaje ocupado por cada cobertura y uso de suelo en el Sector Dayuma, entre 1987 y 2018.

COBERTURA	Año 1986		Año 2018	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Bosque	262 437,19	97,33	241 409,14	89,53
Cuerpos de agua	1 020,96	0,38	979,54	0,36
Zona antrópica	2 865,98	1,06	10 764	3,99
Área agropecuaria	3 304,53	1,23	16 479,81	6,11
Área sin cobertura vegetal	18,72	0,01	14,90	0,01
TOTAL	269 647,38	100	269 647,38	100

El área agropecuaria abarcaba un 1,23% para 1987, en cambio para el año 2018 hubo un aumento de 4,88 %; debido principalmente a la agricultura y ganadería, ya que estas actividades sirven para la subsistencia de la población del sector (Tabla 3).

La zona antrópica incrementó en 2,93%, ocupando para 2018 un 3,99% (10 764,00 ha) esto por el aumentado de la población que se asentó en diferentes zonas del área de estudio.

En cuanto a los cuerpos de agua, para 1987 abarcaban, 1 020,96 ha debido a que en la zona de estudio se encuentran ríos poco caudalosos que han sufrido modificaciones en su cauce

por los asentamientos humanos, asimismo, para el 2018 ocupaban 979,54 ha (0.36% del sector de estudio).

El área sin cobertura vegetal en el sector Dayuma, está representada por los bancos de arena presentes en los ríos que atraviesan la zona de estudio, estos ríos a lo largo del periodo estudiado de treinta y un años, sufrieron cambios en su curso natural por las actividades humanas, lo que redujo los bancos de arena y dejó como resultado que para 2018 ocupaban 0,01% (14,90 ha) del territorio.

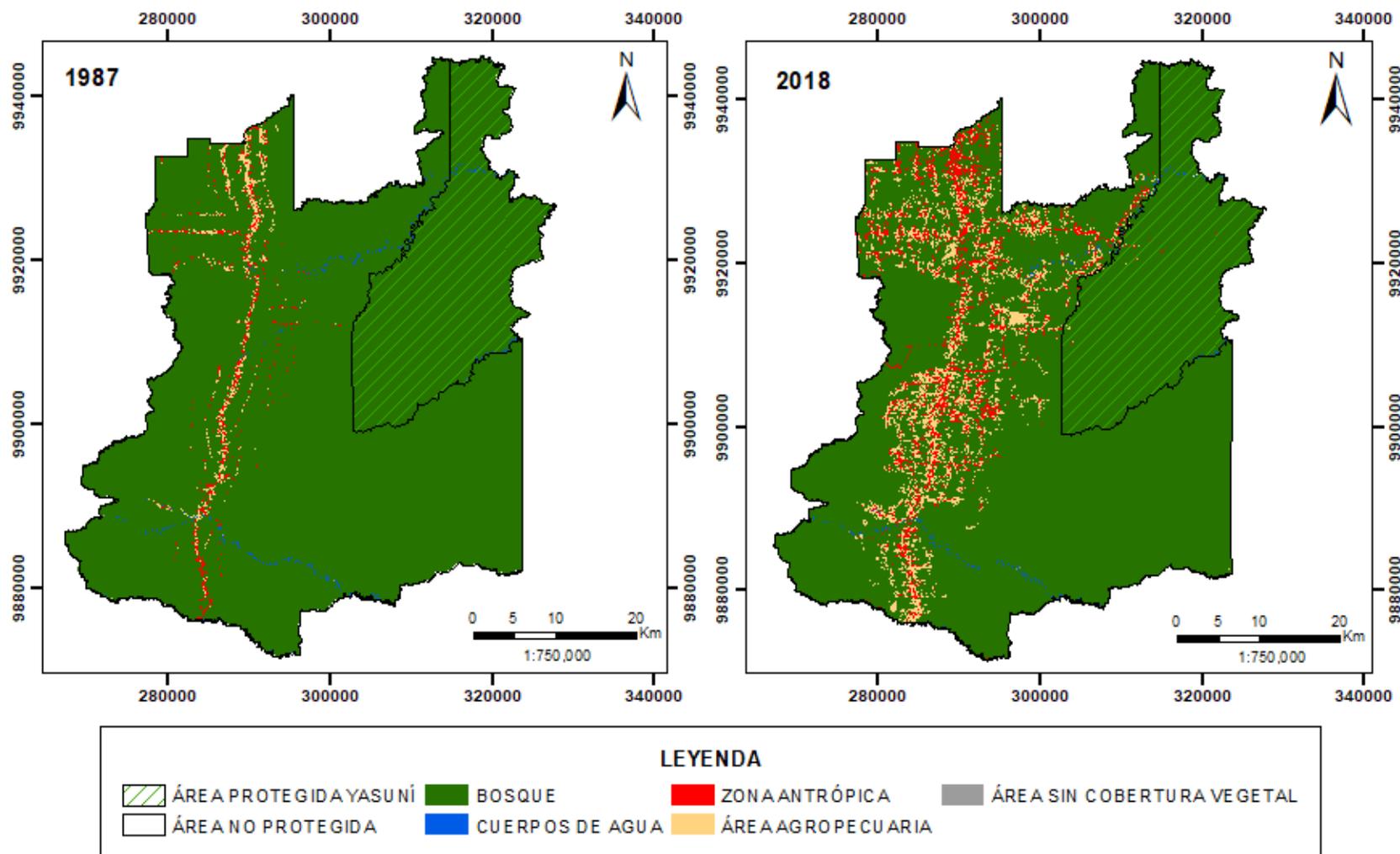


Figura 4. Mapas de cobertura y uso de suelo del Sector Dayuma, para los años 1987 y 2018

4.2. Resultados del análisis de cambio de uso del suelo

A continuación, se presentan los resultados obtenidos al realizar el análisis de cambios de uso de suelo, donde se obtuvo las ganancias, pérdidas y cambios netos de las distintas coberturas.

4.2.1. Pérdidas y ganancias del suelo del sector Dayuma por el período 1987-2018

El sector Dayuma a lo largo del período 1987 y 2018 sufrió transformaciones relevantes en su cobertura forestal, en consecuencia, perdió -23 312 ha de bosque nativo, por el contrario, obtuvo ganancias de apenas 2 284 ha en treinta y un años. La pérdida de bosque es bastante significativa y tiene dos grandes percusores, que son: la zona antrópica (poblados, vías e infraestructura para actividades petroleras) con ganancias de 9 611 ha y pérdidas de -1 713 ha, y el área agropecuaria con ganancias de 15 298 ha, y pérdidas -2 123 ha lo que la convierte en la cobertura con mayor superficie respecto al resto, debido a que los cuerpos de agua perdieron -466 ha y tuvieron una ganancia de 425 ha. igualmente, el área sin cobertura vegetal sufrió una pérdida de -19 ha y ganó 15 ha.

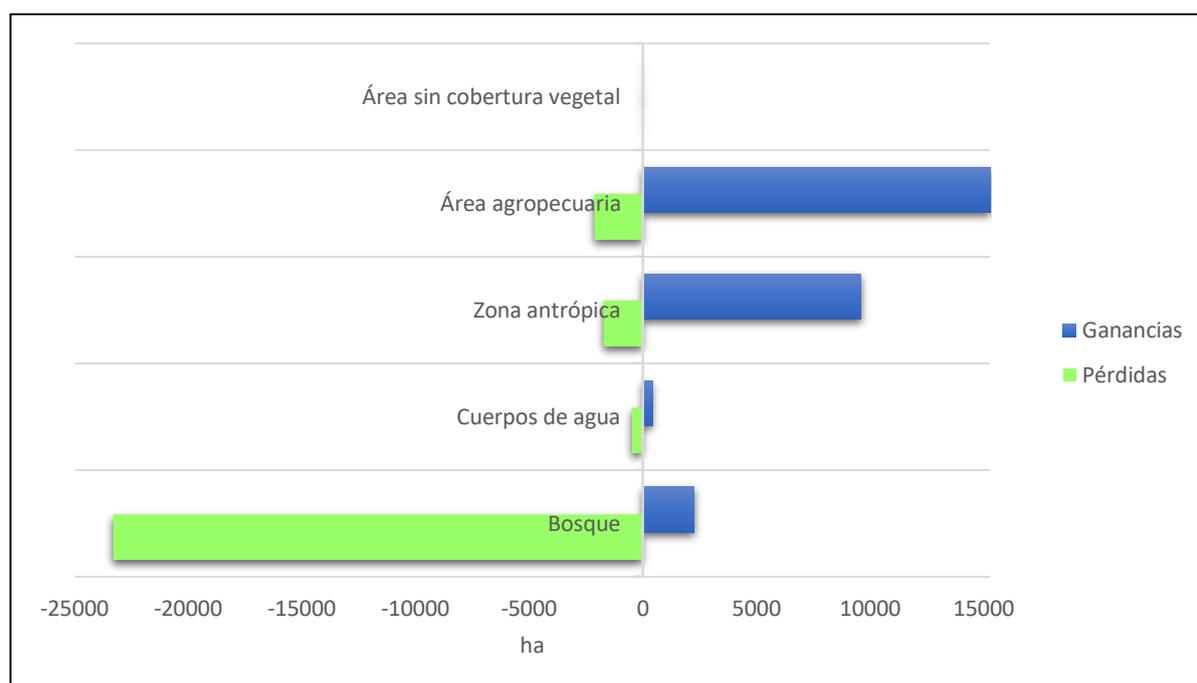


Figura 5. Pérdidas y ganancias de coberturas de uso de suelo en el Sector Dayuma durante el período 1987-2018.

En la figura 5, se presenta los resultados descritos inicialmente, sobre los cambios y transiciones significativas de las diferentes coberturas, donde los más relevantes son principalmente el aumento del área agropecuaria y la zona antrópica.

4.2.2. Contribución al Cambio Neto de la Cobertura de Bosque en el Sector Dayuma entre 1987 y 2018

Las coberturas que contribuyeron en mayor medida al cambio del bosque son la zona antrópica (-7 594 ha) y el área agropecuaria (-13 457 ha). Esto debido principalmente al creciente desarrollo económico de la población presente en la zona estudio, que ha ido expandiéndose poco a poco, mermando la cobertura de bosque para poder aprovechar el suelo con fines productivos. Por el contrario, el área sin cobertura vegetal y los cuerpos de agua no contribuyeron al cambio del bosque debido a que son ríos poco caudalosos (Figura 6).

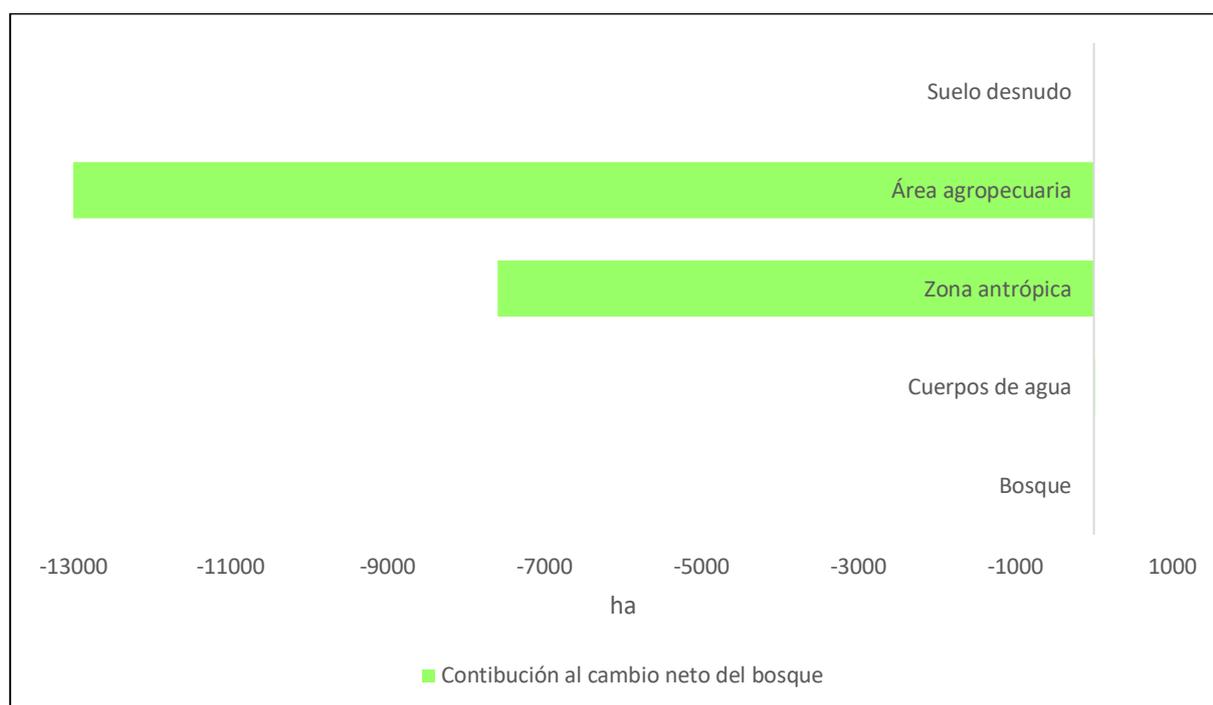


Figura 6. Contribución al cambio Neto de Bosque del Sector Dayuma durante el período 1987-2018

4.2.3. Cambio Neto de las Coberturas del Sector Dayuma entre 1987 y 2018

En la misma línea que los resultados anteriores, el bosque experimentó una disminución neta de -21 028 ha, los cuerpos de agua perdieron -41 ha, esto debido a los cambios en el curso de los ríos por actividades antrópicas. Por el contrario, la zona antrópica aumentó en 7 898 ha, al igual que el área agropecuaria, que incrementó su extensión en 13 175 ha (Figura 7).

El área sin cobertura vegetal sufrió cambios poco significativos debido a que esta cobertura se encuentra presente solo en los bancos de arena de los ríos de mayor extensión de la zona (Figura 7).

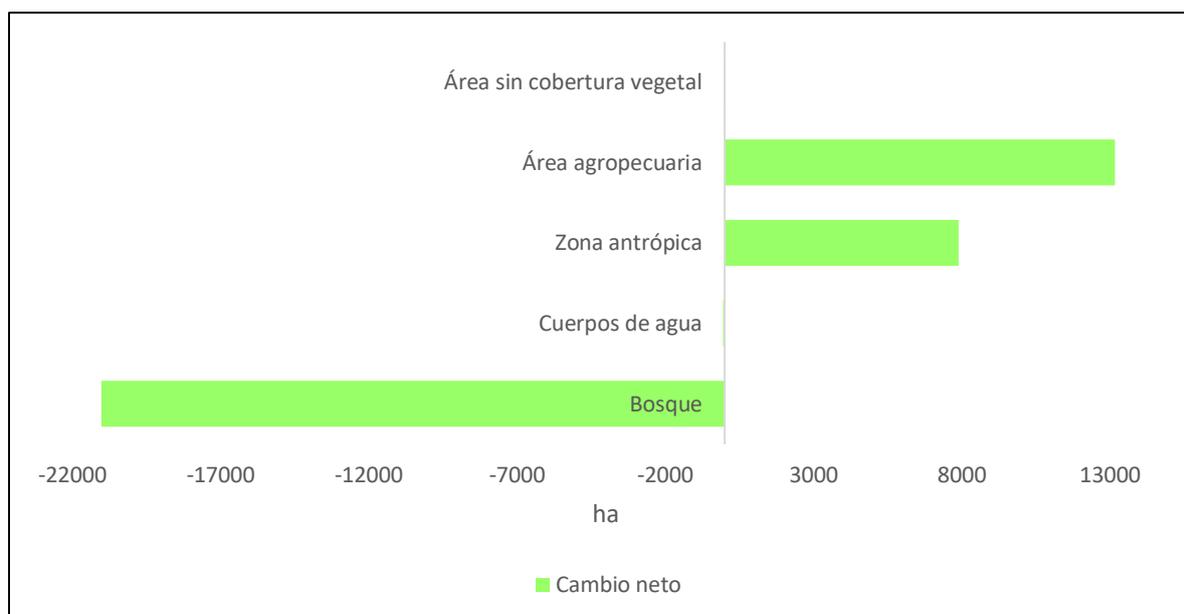


Figura 7. Cambio neto de coberturas de uso de suelo del Sector Dayuma, durante el período 1987-2018

4.3. Patrones de deforestación del Sector Dayuma

A continuación, se presenta el análisis de los patrones de deforestación, primeramente, del área total del Sector Dayuma y posteriormente del AP yasuní y el ANP circundante.

4.3.1. Análisis de deforestación del Sector Dayuma

La Tabla 4 presenta los resultados de los cálculos de deforestación anual del sector Dayuma, de 678,32 ha/año y una tasa anual de deforestación de -0.27% para los años 1987 y 2018, abarcando un período de 31 años.

Tabla 4. Deforestación anual y tasa anual de deforestación del Sector Dayuma entre 1987 y 2018

	Área De Bosque 1987 (ha)	Área De Bosque 2018 (ha)	Deforestación Anual (ha)	Tasa Anual De Deforestación %
Sector Dayuma	262 437,19	241 409,14	678,32	-0.27

Se puede evidenciar una tasa elevada de deforestación que ha alterado completamente la zona de estudio, todo esto debido a las actividades antrópicas presentes en la zona.

4.3.2. Análisis de deforestación del Área Protegida Yasuní

La deforestación de Ap Yasuní durante el período de 1987 a 2018, se puede considerar como regular, ya que para el año 1987 el bosque nativo ocupaba 54 043,76 ha, y para el año

2018 abarcaba 53 512,76 ha. La pérdida de bosque a lo largo del período estudiado no ha sido considerable, al contrario que en el ANP circundante que en 1987 ocupaba 208 393,43 ha y en 2018 disminuyó considerablemente, ocupando 187 422,68 ha (Figura 8).

La tendencia de la pérdida de bosque entre ambas zonas ha sido irregular, es decir, en ambas zonas se evidencia pérdida de bosque en mayor o menor proporción. Con respecto a la ANP circundante se observa una clara disminución de la cobertura forestal, todo lo contrario, a la AP, que tuvo una pérdida menor, esto puede indicarnos que el hecho de que Yasuní es una AP, este favoreciendo a la conservación de los bosques nativos en esta zona.

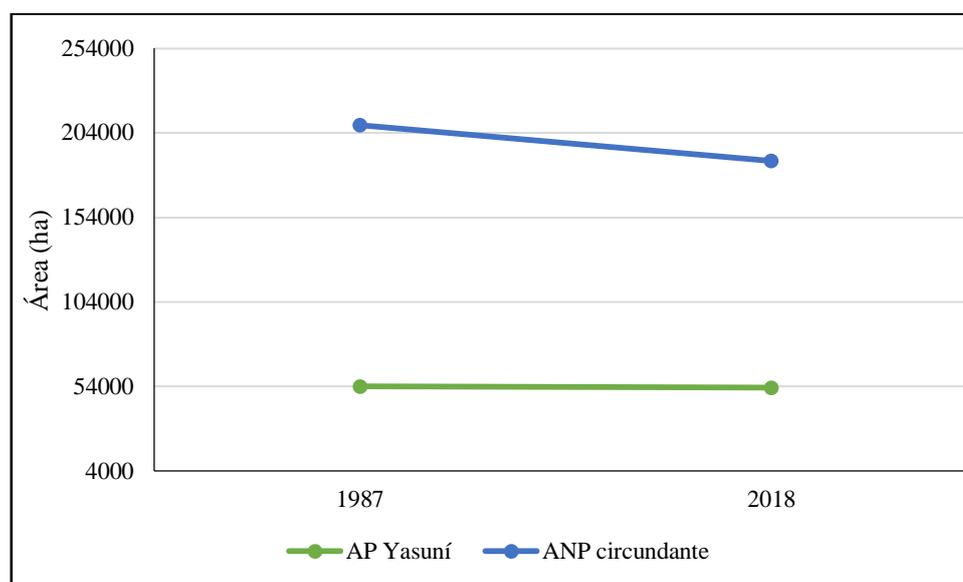


Figura 8. Tendencia de pérdida de bosque en el AP Yasuní y su ANP circundante entre los años 1987 y 2018.

El análisis de deforestación del AP incluyó el cálculo de la deforestación Ha/año y la tasa de deforestación anual, para el período estudiado, los resultados corroboraron la tendencia general de disminución de cobertura forestal, antes mencionada (Tabla 5).

Tabla 5. Deforestación anual y tasa anual de deforestación del AP Yasuní y la ANP circundante, entre 1987 y 2018

	Área De Bosque 1987 (ha)	Área De Bosque 2018 (ha)	Deforestación Anual (ha/año)	Tasa Anual De Deforestación %
AP Yasuní	54 043,76	53 812,75	7,45	-0,013
ANP circundante	208 204,58	187 422,68	670,38	-0,33

La deforestación anual del AP fue de 7,45 ha/año, con una tasa anual de deforestación de -0,013%, lo que se contrapone con la deforestación del ANP circundante, de 670,38 ha/año que alcanzó una tasa anual de deforestación de -0.33%. Esto permite observar diferencias significativas en la dinámica de cambio entre ambas zonas, probablemente influenciada, en mayor medida, por las actividades antrópicas presentes en el sector Dayuma (Tabla5)

4.4. Análisis de la Fragmentación de la cobertura forestal del sector Dayuma

El análisis de Fragmentación se realizó en base al Ap Yasuní (Figura 9a) y al ANP perteneciente al área circundante del sector Dayuma (Figura 9b), ambos pertenecientes a los límites del área de estudio.

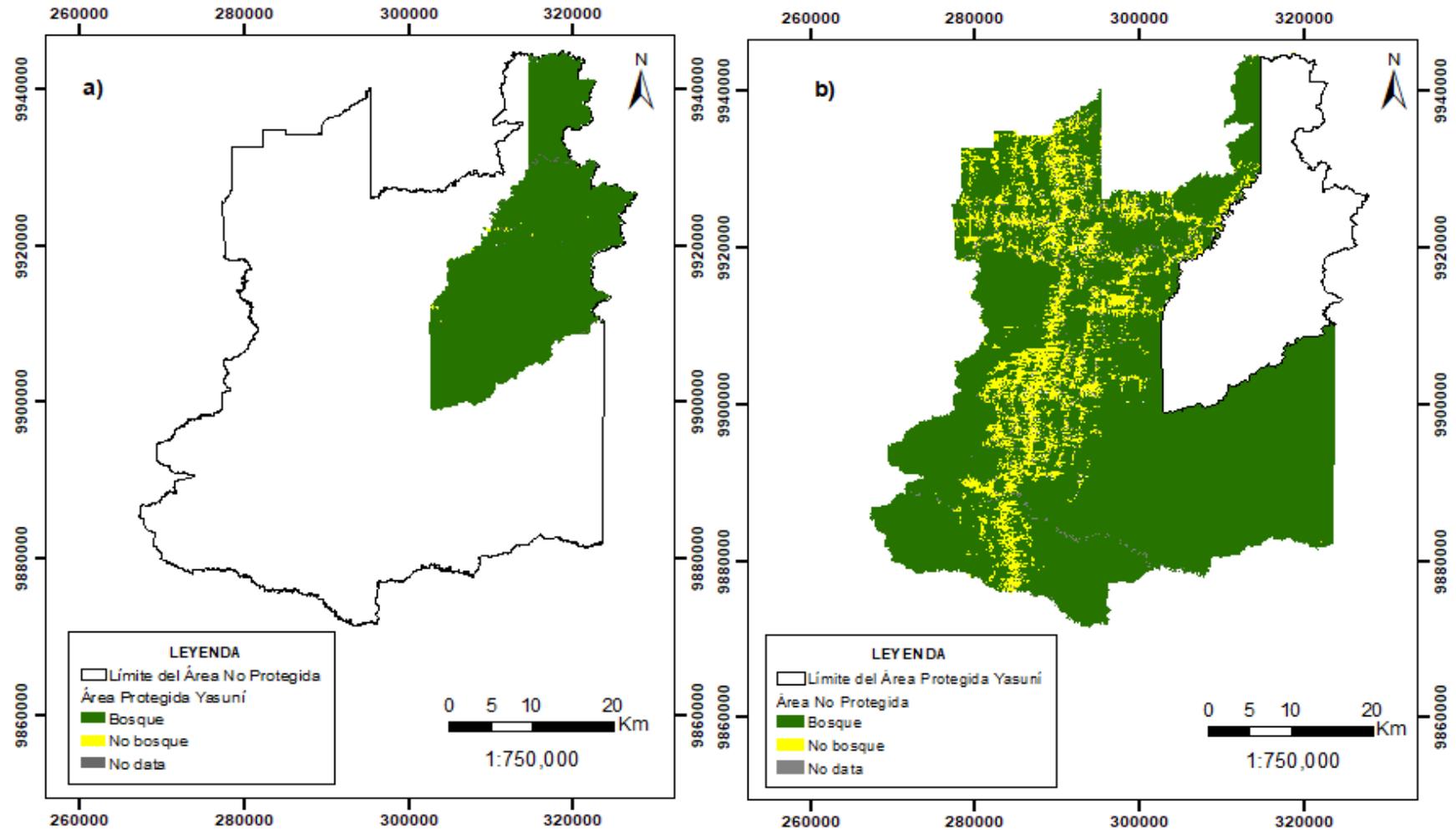


Figura 9. a) Mapa de cobertura forestal del AP Yasuni del Sector Dayuma. b) Mapa de cobertura forestal del ANP del Sector Dayuma.

4.4.1. Patrones de Fragmentación de la cobertura forestal del sector Dayuma

A continuación, se presentan los resultados de las siguientes métricas de fragmentación: Área Total (CA), Índice de Forma (Shape_MN), Número de Parches (NP) y Densidad de Parches(PD) para los años de 1987 y 2018, de la AP y la ANP circundante.

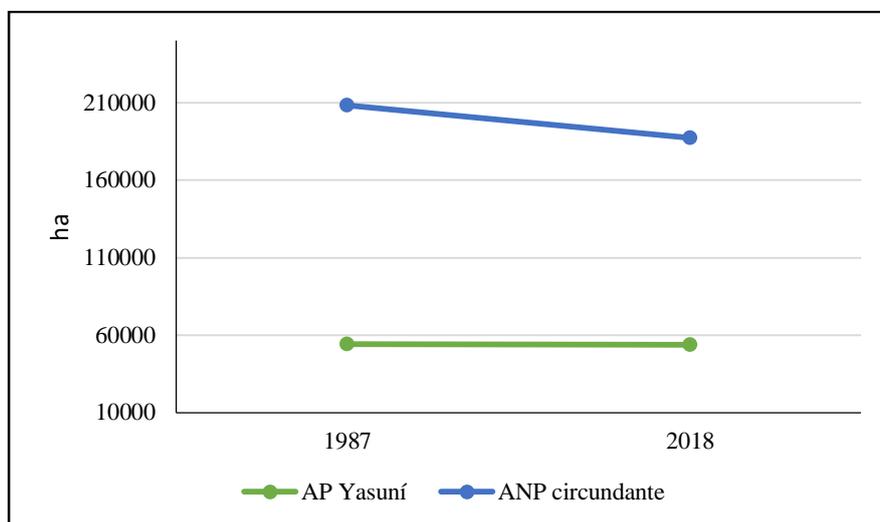


Figura 10. Métrica de Área Total (CA) del Sector Dayuma para los años 1987 y 2018

En la Figura 10 se puede observar cómo el área total (CA) relacionada con la transición de bosques, ha permanecido estable a lo largo del período estudiado con 54 043,76 ha en 1987 y 53 812,76 ha para 2018, para la AP. Al contrario que la ANP circundante que sufrió evidentes cambios en el área, que varío de 208 204,58 ha en 1987, a 187 422,68 ha en 2018.

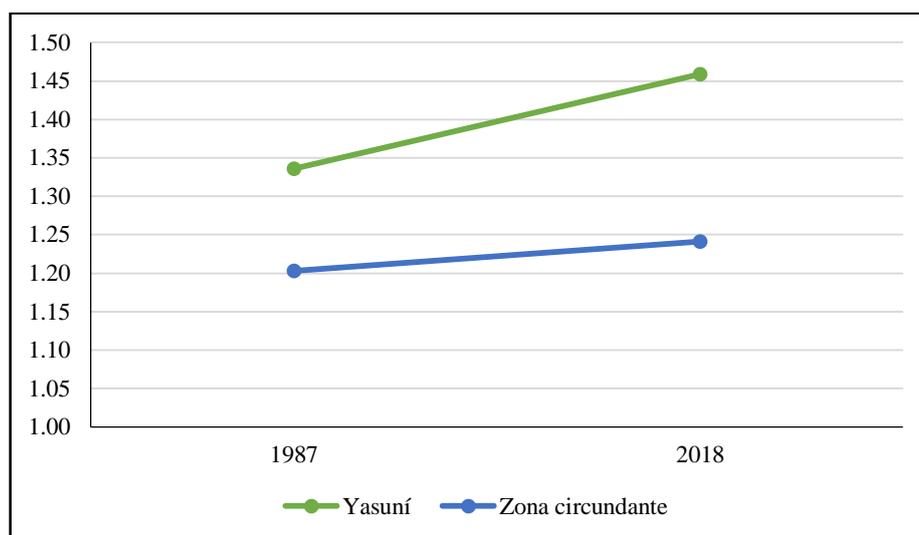


Figura 11. Métrica de Índice de forma del Sector Dayuma para los años 1987 y 2018

En la Figura 11 se puede observar cómo el índice de forma en la AP Yasuní varía de 1,34 a 1,46 lo que equivale a un incremento del 0,12%. Lo mismo sucede en la ANP

circundante, el índice arroja un resultado de 1,20 a 1,24, lo que refleja un aumento de 0,04%. Esto nos muestra que ambas zonas presentan áreas irregulares, debido a que sus valores son mayores a 1.

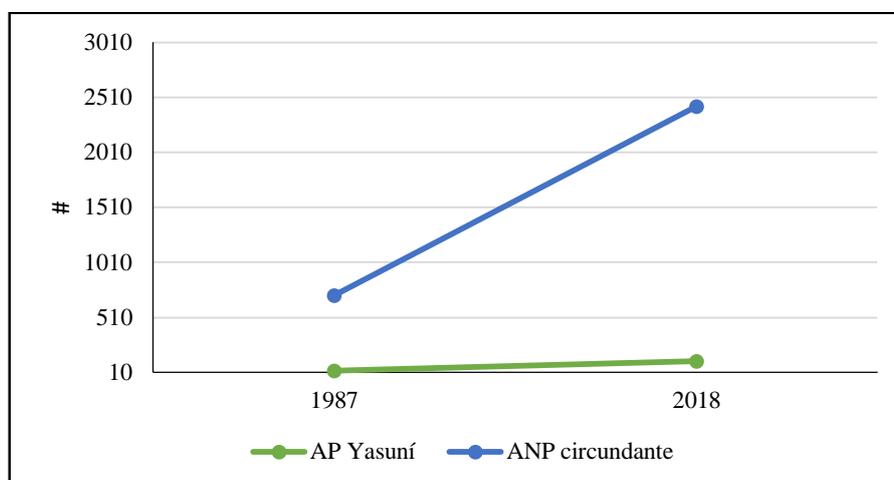


Figura 12. Métrica de Número de Parches del sector Dayuma para los años 1987 y 2018

En cuanto al número de parches (NP), en la AP Yasuní existió un incremento de 27 a 112 parches en el periodo 1987 y 2018. Asimismo, en el ANP circundante incrementaron de 711 a 2431 parches, esto debido a una considerable disminución de la cobertura boscosa y a un incremento de las actividades antrópicas que perforaron la zona de estudio (Figura 12)

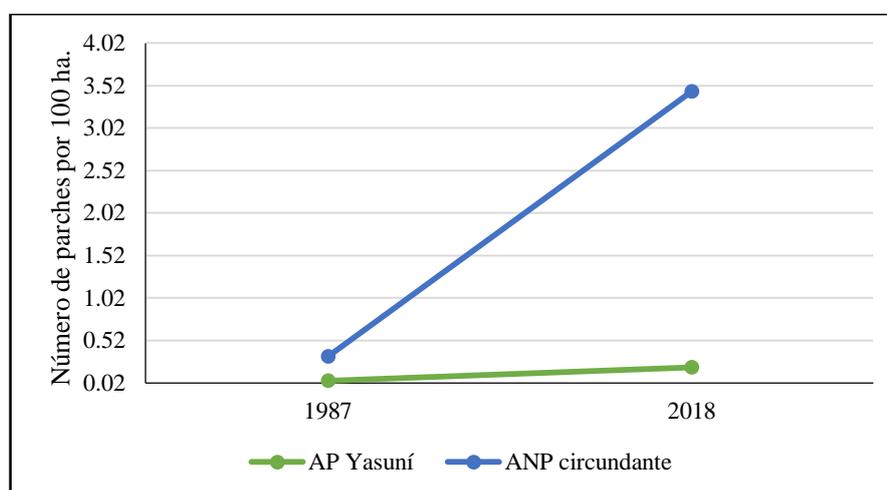


Figura 13. Métrica de Densidad de Parches del sector Dayuma para los años 1987 y 2018

La métrica Densidad de Parches (PD) representa el número de parches por cada 100 ha, La Figura (12) señala que, en relación con el bosque nativo, la densidad de parches para el AP Yasuní incremento de 0,05 a 0,21 para el período estudiado, del mismo modo, en el ANP circundante se puede observar un aumento considerable de 0,33 a 3,45. En consecuencia, esta

zona posee una mayor distribución y número de parches a causa de las elevadas tasas de deforestación y los cambios de uso del suelo (Figura 13).

5. DISCUSIÓN

El presente estudio evaluó los cambios en los patrones espaciales y temporales de los paisajes protegidos del sector Dayuma para esto se analizó los cambios de uso de suelo y cobertura vegetal, posteriormente, se realizó un análisis para valorar los patrones de deforestación de la cubierta forestal de la zona del AP que se encuentra dentro de los límites del área de estudio y su ANP circundante, finalmente se estimó la fragmentación de la AP y la ANP circundante que no se encuentra establecida como paisaje protegido.

Este tipo de estudios demuestran la importancia de comprender las condiciones bajo las cuales las AP tienen impacto en la pérdida de bosques, además de ayudar como posibles estimadores del efecto de protección, también contribuyen en la evaluación de los impactos, fuera de las áreas protegidas, es decir en las ANP circundantes (Cuenca y Echeverría, 2017; Bonilla y Higuera, 2016; Hanauer y Canavire, 2015).

En Dayuma para el año 1987 el bosque representaba el 97,33% de la zona, para el año 2018 sufrió una pérdida de 7,8%, lo que equivale a -23 312 ha. Esta pérdida de bosque es consecuencia del aumento del área agropecuaria en 15 298 ha. y de la zona antrópica en 9 611 ha. lo que, a simple vista, transformó drásticamente el paisaje y produjo una tasa de deforestación de -0,27%, este resultado no dista de la tasa de deforestación para Ecuador en el periodo 2000-2014, que fue de -0,37%, siendo la deforestación anual para la provincia de Orellana de 3 087 ha por año (MAE, 2017). Así pues, Dayuma al igual que toda la región amazónica, ha sido alterada por la expansión agrícola, la extracción de madera, el establecimiento de palma aceitera, las plantaciones de cacao, entre otros (Tapia *et al.*, 2015).

Debido a la relevancia de las áreas protegidas en la conservación de los bosques, y a que dentro de los límites del área de estudio, se encuentra una parte considerable del AP Yasuní, asignada como tal por su diversidad biológica (Bass *et al.*, 2010) y por su provisión de servicios ecosistémicos (Espinosa y Mancera, 2015), se evaluó por separado la deforestación de la AP y el ANP circundante, perteneciente a la zona de estudio Dayuma, lo que arrojó como resultados que para el año 1987, la tasa anual de deforestación del AP fue de -0,013% lo que conllevó una pérdida de 231,01 ha durante el período estudiado (31 años), esto se contrapone a lo que afirman Borja *et al.* (2017), puesto que en su estudio de los Bosques de la Región Amazónica Ecuatoriana, señalan que la deforestación dentro de las AP se ha reducido en cuanto a su

extensión (km²). En la ANP circundante sucedió todo lo contrario, ya que tuvo una tasa de deforestación anual de -0,33%, lo que indica que existe una variación dinámica en las tasas de deforestación del ANP circundante y la AP, debido a que las presiones en los bosques circundantes se originaron principalmente, porque la provincia de Orellana sufrió cambios drásticos en el uso del suelo vinculados a la construcción de infraestructura y las actividades agrícolas y agropecuarias (Krainer y Mora, 2011).

Estos cambios se derivan del establecimiento de la Reforma Agraria, en la que se incitaba a la ocupación de tierras. Lo que posteriormente ayudaba a legalizar el predio ocupado y calificaba a los colonos como dueños legales. La aplicación de esta política, hasta el día de hoy, es la causante de los cambios producidos en el bosque de la provincia de Orellana, logrando la transformación irreversible del bosque amazónico (Sierra, 2013; Albán, 2010).

En general hubo una estabilidad relativa en la intensidad de la tasa de deforestación del AP Yasuní debido al control ejercido en el área. A pesar de esto, el hecho de que la pérdida de bosques estuvo presente tanto en la AP como en ANP circundante, en mayor o menor proporción, sugiere que la dinámica de deforestación es parte de los mismos procesos y que la pérdida de bosques está ocurriendo a consecuencia de ellos.

Con lo antes expuesto es significativamente fácil asumir un bajo impacto en los bosques, durante el período estudiado, pero, el impacto variará enormemente en un paisaje si se toma en cuenta otras variables independientes de las tasas de deforestación (Sierra, 2013). Fuller *et al.* (2019), mencionan que el uso humano del suelo es mucho más complejo que la presencia o ausencia de bosques, de ahí la importancia de evaluar parámetros diferentes a las tasas de deforestación, como las métricas de fragmentación, que nos facilitarán comprender el cambio del paisaje.

El paisaje de la zona de estudio que comprende el AP y zona circundante, ha sido modificado e influenciado por actividades antrópicas que alteraron el uso de suelo, lo que causó que la zona de estudio se convierta en un mosaico gravemente alterado, esto concuerda con el análisis de fragmentación realizado para el período 1987 – 2018, donde se puede afirmar que para el año de 1987 el AP Yasuní estaba compuesto de 27 parches y para el año 2018 de 112, los cuales corresponden netamente a la cobertura de bosque. Asimismo, la zona circundante para el año 1987 contaba con 711 parches y para el año 2018 aumentó considerablemente a 2431 parches. Este aumento en el número de parches implicó un aumento en densidad de parches que oscilaba entre 0,05 y 0,21 para el AP, y 0,33 y 3,45 para la zona circundante. El

paisaje de la ANP circundante está dominado por la cobertura agropecuaria y antrópica como lo indicó el área de clase (CA) del periodo estudiado, y esta misma zona es la que posee un mayor índice de forma respecto al AP.

Este estudio demuestra que la fragmentación presente en la ANP circundante, se debe principalmente al aumento del número de parches y concuerda con el análisis realizado por (Tapia *et al.*, 2015) para la región sur del Ecuador y el de (Bonilla *et al.*, 2014) para región Amazónica. Esta alteración del paisaje circundante obedece a cambios en los patrones de uso del suelo, fácilmente observables puesto que siguen las vías de acceso abiertas para facilitar la extracción y transporte de petróleo, lo que produjo un aumento de la colonización (López *et al.*, 2013). Al igual que en el estudio realizado por Cuenca y Echeverría (2017) para los bosques del noroeste de Ecuador, este incremento en la colonización derivó en un aumento de los asentamientos a lo largo de ríos y caminos secundarios, lo que produjo la presencia y aumento de fragmentos. Esto a su vez, concuerda con lo mencionado por Bryja, (2009), que señala que, en la vía Auca, que atraviesa gran parte de Dayuma, se concentran la mayor cantidad de pozos petroleros y una mayor presión poblacional, lo que genera la presencia de una mayor cantidad de parches cerca de las vías principales de la zona de estudio.

La AP Yasuní también se ve alterada por el aumento en el número de parches, y como menciona Echeverría y Harper (2009) en su estudio para el Chocó Manabí, la presencia de un mayor número de parches indica una mayor fragmentación.

El AP se ve alterada principalmente por las actividades petroleras, debido a que el 46% de su superficie total se encuentra intervenido por bloques petroleros, con un total de 470 537,91 ha. Estos bloques petroleros representan una de las mayores amenazas para la AP, junto con la infraestructura asociada al transporte y tratamiento del petróleo, y se podría intensificar en toda la provincia de Orellana, si se inicia la explotación del bloque ITT en el Yasuní (López *et al.*, 2013).

La efectividad de la protección de una AP puede depender de los asentamientos humanos y las actividades que se realizan a su alrededor (Bonilla y Higuera, 2016), y también debido a como ya se mencionó, a la presión ejercida por las carreteras y sus consecuencias nefastas hacia el bosque (Barber *et al.*, 2014) Por otro lado, en Dayuma existe una mayor presión sobre los bosques debido a la intensa actividad petrolera que se desarrolla y de la que sobreviven la gran mayoría de la población, esto sumado a los conflictos suscitados por esta

actividad (CIDSE, 2009), hacen que la extensión de AP presente en el sector, se encuentre constantemente amenazada.

Conocer el grado de transformación de un paisaje es crucial para poder lograr una adecuada planificación, manejo y restauración, porque nos permiten saber cuáles son las causas y consecuencias que necesitan actuación inmediata, para alcanzar la conservación de los bosques y el bienestar humano (Otavo y Echeverría, 2017; Galicia y Rodríguez-Bustos, 2016). Especialmente si tomamos en cuenta que los recursos naturales del área de estudio en su conjunto, con todas las actividades que acarrea, sostienen a la población de Dayuma. En función de esto deberían girar la conservación y el manejo del AP. Debe realizarse con un enfoque integral, buscando el desarrollo sostenible y un balance con el beneficio económico, económico, social y ambiental (Mancera y Espinosa, 2015), abarcando la totalidad del AP y su ANP circundante.

Implicaciones a la conservación

Podemos sintetizar lo expuesto en que es necesario que los habitantes de la zona de estudio actúen y colaboren en la conservación de los bosques. Es así que el presente estudio corrobora que existe una disminución en los bosques, causado principalmente por las actividades antrópicas, como la extracción de petróleo. Si bien Dayuma buscó el desarrollo por medio de las actividades petroleras (CIDSE, 2009), se quedó estancado, debido al mal manejo de los recursos por parte de las autoridades competentes y las petroleras. A día de hoy siguen las tensiones y la falta de desarrollo en la población, debido a la falta de coherencia entre las políticas públicas de conservación del AP Yasuní y las políticas de desarrollo del país, y por otro lado por la falta de inclusión, de las entidades gubernamentales y ambientalistas, hacia a los actores locales del sector, lo que genera colateralmente amenazas importantes para la extensión de los bosques, debido a que la población busca intensamente impulsar la economía local (Grünberg y Elias, 2018; Cuesta *et al.*, 2015) .

La AP Yasuní como tal, se considera de gran interés para poder conocer el impacto que genera en los bosques, además de considerarse como un importante mecanismo de la lucha contra el cambio climático (Mancera y Espinosa, 2015). Diversos estudios concluyen que las AP son eficaces para la conservación de bosques que están presentes dentro de sus límites (Díaz y Miranda, 2012; Andam *et al.*, 2008). Pero a pesar del beneficio que acarrearán para su propio hábitat, sus ANP circundantes siguen afectadas, siendo la presión antrópica cada vez mayor,

provocando fragmentación y disminución de los bosques, lo que a largo plazo provocará el aislamiento del AP, trayendo serios problemas para la conservación de su biodiversidad.

El ANP de Dayuma presenta una considerable disminución de la cobertura vegetal y cambios notorios en los patrones espaciales, por el contrario, en los paisajes protegidos pertenecientes al AP Yasuní, se presentan cambios en menor medida. Basándonos en esta dinámica de cambio y en los procesos de deforestación que se llevan a cabo en la zona, es fácil predecir que la pérdida y fragmentación de los bosques continúe en todo el Sector Dayuma, durante los próximos años. Por ende, es posible confirmar que la deforestación continuará afectando a la zona de estudio, y cada año en mayor medida, dificultando no solo la conservación de su biodiversidad, sino también la de la AP, que vive amenazada por las actividades antrópicas.

6. CONCLUSIONES

- Los cambios de cobertura vegetal en el sector Dayuma, fueron provocados por las actividades humanas, debido al aumento de la zona antrópica y el área agropecuaria, teniendo para el año 1987 una cobertura forestal de 26 2437,19 ha que representa el 97,33 % del paisaje, mientras que para el año 2018 se tiene una pérdida de 7,8% con un total de 24 1409,14 ha.
- En el análisis de deforestación realizado para el AP Yasuní y su ANP circundante perteneciente a Dayuma, existen variaciones en las coberturas del bosque a través del tiempo. Entre el año 1987 – 2018 se evidenció que, en el AP se perdieron 231,01 ha de bosque por actividades antrópicas, mientras que la zona circundante perdió 20 781, 90 ha por la expansión del área agropecuaria y la zona antrópica, determinando que existió una tendencia de cambio de uso del suelo causado por los mismos patrones de deforestación.
- El análisis de fragmentación realizado a la AP Yasuní y su zona circundante demuestra que las áreas protegidas sirven para evitar elevadas tasas de deforestación, sin embargo, no pueden evitar que los bosques circundantes se fragmenten a mayor escala. Por lo tanto, si esta tendencia continúa se presumen afectaciones graves a la biodiversidad.

7. RECOMENDACIONES

- Analizar en profundidad los principales drivers de deforestación de Dayuma para focalizar los esfuerzos en ralentizar la pérdida de los bosques.
- Realizar investigaciones similares a diferente escala temporal, en toda la extensión del AP Yasuní, con la finalidad de describir y comparar los cambios del paisaje suscitados en diferentes periodos de tiempo.
- Realizar estudios que analicen la funcionalidad de las AP incluyendo otras variables ajenas a la deforestación y fragmentación, como pueden ser los estudios de biodiversidad.
- Generar interacciones entre las entidades que manejan las AP, los actores locales y administradores de las petroleras, para lograr una gestión adecuada tanto de las AP como de los bosques, así como de los recursos que ofrecen.

8. Bibliografía

- Aguilar, H., Mora, R., & Vargas, C. (2015). *Metodología Para La Corrección Atmosférica De Imágenes Aster, Rapideye, Spot 2 Y Landsat 8 Con El Módulo Flaash Del Software Envi*. Atmospheric Correction Methodology for Aster, Rapideye, Spot 2 and Landsat 8 Images With Envi Flaash Module Software. *Revista Geográfica de América Central*, 2(53), 40. <https://doi.org/10.15359/rgac.2-53.2>
- 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.
- Álvarez, X., Valero, E., Picos, J., & Ortiz, L. (2015). *Study of land cover of Monte Forgoselo using Landsat Thematic Mapper 5 images* (Galicia, NW Spain). *Dyna*, 82(190), 180. <https://doi.org/10.15446/dyna.v82n190.43725>
- Andam, K. S., Ferraro, P. J., Pfaff, A., Sanchez-Azofeifa, G. A., & Robalino, J. A. (2008). *Measuring the effectiveness of protected area networks in reducing deforestation*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(42), 16089–16094. <https://doi.org/10.1073/pnas.0800437105>
- Ariza-lópez, F. J., Rodríguez-avi, J., Las, C., España, J., Estadística, D. De, & Universidad, O. (2018). *Control Estricto De Matrices De Confusión Por Medio De Distribuciones Multinomiales* Dep . de Ingeniería Cartográfica , Geodésica y Fotogrametría . Universidad de Jaén . $CM(i, j) = [\# \text{ items of class } (j) \text{ of the RDS classified as class } (i) \text{ of the CDS}]$, 215–227.
- Armenteras, D., Gonzáles, T., Retana, J., & Espelta, J. (2016). Degradación de bosques en Latinoamérica. Síntesis conceptual, metodologías de evaluación y casos de estudio nacionales. Red Ibero REDD+. IBERO-REDD+. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2272.7449>
- Arroyo, V., Moreno, C., & Galán, C. (2017). *La ecología del paisaje en México: logros, desafíos y oportunidades en las ciencias biológicas*. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(December), 43. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.004>
- Badii, M., & Landeros, J. (2007). Cuantificación de la fragmentación del paisaje y su relación con Sustentabilidad. *Daena*, 2(1), 26–38. Retrieved from www.daenajournal.org26

- Balbotín, C., Odi, M., Poblete, R., Garrido, J., Campos, I., & Calero, A. (2016). Uso de herramientas de teledetección y SIG para el manejo del riego en los cultivos. (I. de I. Agropecuarias, Ed.), Boletín INIA. La Serena-Chile.
- Barber, C. P., Cochrane, M. A., Souza, C. M., & Laurance, W. F. (2014). *Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon*. *Biological Conservation*, 177, 203–209. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2014.07.004>
- Bass, M. S., Finer, M., Jenkins, C. N., Kreft, H., Cisneros-Heredia, D. F., McCracken, S. F., Kunz, T. H. (2010). Global Conservation Significance of Ecuador's Yasuní National Park. *PLoS ONE*, 5(1), e8767. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0008767>
- Barrera, L. S. (2013). El análisis del paisaje como herramienta y puente teórico-metodológico para la gestión socio-ambiental del territorio. *Geograficando*, 9, 3. Retrieved from <http://www.geograficando.fahce.unlp.edu.ar/ARTÍCULOS/ARTICLEShttp://www.geograficando.fahce.unlp.edu.ar/article/view/GEOv09n09a01>
- Bonilla-Bedoya, S., Molina, J. R., Macedo-Pezzopane, J. E., & Herrera-Machuca, M. A. (2014). *Fragmentation patterns and systematic transitions of the forested landscape in the upper Amazon region, Ecuador 1990–2008*. *Journal of Forestry Research*, 25(2), 301–309. <https://doi.org/10.1007/s11676-013-0419-9>
- Bonilla, L., & Higuera, I. (2016). ¿Parque de papel? Areas protegidas y deforestación en Colombia. *Economía Regional*, Núm 248(ISSN 1692-3715). Retrieved from http://repositorio.banrep.gov.co/bitstream/handle/20.500.12134/6949/dtser_248.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Borja, M. O., Aragón-Osejo, J., & Josse, C. (2017). Bosques de la Región Amazónica Ecuatoriana : ¿ Qué nos dicen las cifras de deforestación de los últimos 15 años ?, 63–76.
- Bryja, G. (2009). Análisis de las Presiones Antropogénicas Sobre Biodiversidad en la Reserva de Biósfera Yasuni. (USAID, Ed.) (Wildlife C). WSC, Ecuador. Retrieved from https://www.portalces.org/sites/default/files/ecu_rpt_informetecnico10analisispresionesantropogenicasbiodiversidadyasuni_2009_gbryja.pdf
- CIDSE, A. de organizaciones católicas para el desarrollo. (2009). *América Latina: Riqueza privada, pobreza pública* (Agencia La). Quito - Ecuador. Retrieved from <http://www.cidse.org>

- Charlotte, E., Guimaraes, D., & Hirsch, A. (2016). Uso de Sistema de Informaciones Geográficas para espacialización de datos. (PROCISUR, Ed.). Montevideo-Uruguay.
- Chuvieco, E. (1995). Fundamentos de Teledetección Espacial (Segunda ed). Madrid: EDICIONES RIALP, S.A. Retrieved from https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/44/Flavonoide_Lacke.svg/710px-Flavonoide_Lacke.svg.png
- Collado, A., Gama, L., & Díaz, H. (2015). Percepción Remota: Elementos Básicos. Revista de Divulgación Científica Kuxulkab, 21, 24.
- Conde, C., Cerezo, A., & Perelman, S. (2014). Efecto de diferentes métodos de clasificación de imágenes satelitales sobre índices de paisaje. Effect of different satellite image classific landscape indices. Revista de Teledetección, 32(January), 6.
- Corrales, R., & Ochoa, V. (2017). *Cálculo de reflectancia en imágenes Landsat OLI-8, sobre la región central de Honduras, mediante software libre SEXTANTE*. Ciencias Espaciales, 9(1), 85. <https://doi.org/10.5377/ce.v9i1.3127>
- Correa, C. A., Mendoza, M. E., & López, E. (2014). *Analysis of changes in landscape structural connectivity (1975-2008) of Cuitzeo Lake basin, Michoacan, Mexico*. Revista de Geografía Norte Grande, 2014(59), 7–23. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022014000300002>
- Cuenca, P., & Echeverria, C. (2017). *How do protected landscapes associated with high biodiversity and population levels change?* PLOS ONE, 12(7), e0180537. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180537>
- Cuesta, F., Peralvo, M., Baquero, F., Bustamante, M., Merino-Viteri, A., Muriel, P., ... Jaramillo, R. (2015). Áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad en el Ecuador continental. (CONDENSAN, Ed.) (Ministerio). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, GIZ. Retrieved from http://maetransparente.ambiente.gob.ec/documentacion/Biodiversidad/IT/IPVC_final_web.pdf
- Díaz, R., & Miranda, J. osé. (2012). Áreas Naturales Protegidas en el Perú: Efectos sobre la Deforestación y su relación con el Bienestar de la Población Amazónica Informe Final. Retrieved from <http://centroderecursos.cultura.pe/sites/default/files/rb/pdf/areas Naturales Protegidas en el Peru.pdf>

- Eastman, J. R. (2016). TerrSet Geospatial and Modeling System, Manual. Retrieved from www.clarklabs.orgclarklabs@clarku.edu
- Echeverría, C., Bolados, G., Rodríguez, J., Aguayo, M., & Premoli, A. (2014). Ecología de paisajes forestales. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=Elp-AAXEJm8C&pg=PA165&dq=ecologia+del+paisaje&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwilkc nRp63eAhUqxVvKHQg5AdkQ6AEILDAB#v=onepage&q=ecologia del paisaje&f=false>
- Echeverry, M., & Harper, G. J. (2009). Indicadores Del Estado De Los Ecosistemas En Recursos Naturales y Ambiente, (58), 78–88.
- Espín, T. (2015). De Imágenes de Satélite en la Cuenca del Río Argos (Región De Murcia). Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles, 67, 327–348.
- Espinosa-Landázuri, P., & Mancera-Rodríguez, N. J. (2015). *La Iniciativa Yasuní-Itt: Mecanismo Alternativo para la Mitigación del Cambio Climático*. <https://doi.org/10.17151/luaz.2015.40.17>
- FAO. (2014). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015. Informe nacional. EcuFAO. 2014. «Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015. Informe nacional. Ecuador». : 97. <http://www.fao.org/3/a-az203s.pdf>. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-az203s.pdf>
- FAO, O. de las N. U. por la A. y la A. (2016). El Estado de los Bosques del Mundo. Los Bosques y la Agricultura: Desafíos y Oportunidades. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i5850s.pdf>
- Franco, R. (2017). Composiciones Landsat en ARCGIS. (S. N. del Cocuy, Ed.). Boyacá-Colombia. <https://doi.org/4898>
- Fuller, C., Ondei, S., Brook, B. W., & Buettel, J. C. (2019). *First, do no harm: A systematic review of deforestation spillovers from protected areas*. *Global Ecology and Conservation*, 18, e00591. <https://doi.org/10.1016/J.GECCO.2019.E00591>
- Galicia, L., & Rodríguez-Bustos, L. (2016). *Causas locales de la transformación del paisaje en una región montana del centro de México*. *Acta Universitaria*, 26(6), 83–94. <https://doi.org/10.15174/au.2016.1168>
- Granados, C., Serrano, D., & García, A. (2014). *Edge effect on composition and structure of*

- temperate forests. Sierra de Monte Alto, Central Mexico. Caldasia*, 36(2), 270. <https://doi.org/10.15446/caldas/v36n2.47486>
- Grünberg, G., & Elias, S. (2018). Áreas protegidas: ¿quién protege a quién? La paradoja de los parques nacionales Laguna del Tigre y Sierra del Lacandón en la Reserva de la Biósfera Maya. *Ciencias Sociales y Humanidades*, 5(1), 21–29. Retrieved from <https://digi.usac.edu.gt/ojsrevistas/index.php/csh/article/view/645/422>
- Haddad, N. M., Brudvig, L. A., Clobert, J., Davies, K. F., Gonzalez, A., Holt, R. D., ... Townshend, J. R. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, 1(2), e1500052. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500052>
- Hanauer, M. M., & Canavire-Bacarreza, G. (2015). *Implications of heterogeneous impacts of protected areas on deforestation and poverty. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1681), 20140272. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0272>
- Hamad, R., Balzter, H., & Kolo, K. (2018). *Predicting land use/land cover changes using a CA-Markov model under two different scenarios. Sustainability (Switzerland)*, 10(10), 1–23. <https://doi.org/10.3390/su10103421>
- IPBES, I. S.-P. on B. and E. S. (2019). Summary for policymakers of the thematic assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) -ADVANCE UNEDITED VERSION. *Biota Neotropical (Vol. 16)*. <https://doi.org/10.1590/1676-0611201600010001>
- Jerves, A., & Machado, F. (2015). Aire por Pm10 de Cuenca-Ecuador. (F. de I. C. de la U. de Cuenca, Ed.). Cuenca-Ecuador.
- Jiménez, J., Arevalo, V., & Ambrosio, G. (2014). Corrección Geométrica de Imágenes de Satélite de Distinta Resolución (in spanish). (U. de Málaga, Ed.). Málaga-España.
- Krainer, A., & Mora, F. (2011). Retos y amenazas en Yasuní. (F.-S. Ecuador, Ed.). Quito.
- Kupfer, J. A. (2012). *Landscape ecology and biogeography. Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 36(3), 400–420. <https://doi.org/10.1177/0309133312439594>
- Labrador, M., Évora, J., & Pérez, M. (2016). Satélites de teledetección para la gestión del territorio. (G. Canarias, Ed.). Canarias-España.

- Lao, B., & Peláez, D. (2018). La teledetección y los Sistemas de Información Geográfica para el manejo de las tierras. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 27(1), 54.
- León, G., Pinedo, A., & Martínez, J. (2014). *Aplicación de sensores remotos en el análisis de la fragmentación del paisaje en Cuchillas de la Zarca*, México. *Investigaciones Geograficas*, 84, 43. <https://doi.org/10.14350/rig.36568>
- León, Y. (2019). *Análisis de fragmentación y conectividad del bosque en la subcuenca del río Tapezco, Costa Rica : conectando el bosque para proteger el agua*. *Analysis of Forest Fragmentation and Connectivity in the Sub-Basin of the Tapezco River , Costa Rica : Connecting. Cuadernos de Geografía*, 28(1), 103. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v28n1.67969.1>
- López, V., Espíndola, F., Calles, J., & Ulloa, J. (2013). Atlas “Amazonía Ecuatoriana Bajo Presión” (EcoCiencia). Quito - Ecuador. Retrieved from https://www.amazoniasocioambiental.org/wp-content/uploads/2017/01/AmazoniaEcuatoriana_bajo_presion.pdf
- Lo Vecchio, A., Lenzano, M. G., Richiano, S., & Lenzano, L. E. (2016). *Identificación y caracterización litológica mediante el uso del sensor ETM+ (Landsat 7)*. Caso de estudio: Entorno del glaciar Upsala, Argentina. *Revista de Teledeteccion*, 2016(46), 57–72. <https://doi.org/10.4995/raet.2016.4482>
- MAE. (2014a). Documento metodológico para evaluar la precisión de la clasificación, 1–8. Retrieved from http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/4760/2/Anexo_2_Documento_Metodológico_para_Evaluar_la_Precisión_de_la_Clasificación.pdf
- MAE. (2014b). Guía Informativa de las Áreas Naturales Protegidas del Ecuador. Quito. Retrieved from file:///C:/Users/TOSHIBA/Downloads/practicas/GUIA_PARQUES_2014.pdf
- MAE. (2015). Estadísticas de Patrimonio Natural. Retrieved from <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/346525/ESTADISTICAS+DE+PATRIMONIO+FINAL.pdf/b36fa0a7-0a63-4484-ab3e-e5c3732c284b>
- MAE. (2017). Deforestación del Ecuador Continental Periodo 2014-2016. Ministerio Del Ambiente, 38.

- MAE. (2017). Sistema Nacional de Monitoreo De Bosques. Retrieved from http://redd.mma.gov.br/images/gttredd/carlosponce_equador.pdf
- Mahmound, H., & Divigalpitiya, P. (2017). *Modeling Future Land Use and Land-Cover Change in the Asyut Region Using Markov Chains and Cellular Automata. Smart and Sustainable Planning for Cities and Regions*, (May 2019), 1–435. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-44899-2>
- Mancera, N., & Espinosa, P. (2015). *La Iniciativa Yasuní-Itt: Mecanismo Alternativo Para La Mitigación Del Cambio Climático*. *Luna Azul*, (40), 262. <https://doi.org/10.17151/luaz.2015.40.17>
- Mas, J.-F., & Sandoval, J. (2000). Investigaciones geográficas: boletín del Instituto de Geografía. *Investigaciones Geográficas*, (43), 42–59. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112000000300004&script=sci_arttext
- Matteucci, S. D. (2006). *Ecología De Paisajes: Filosofía, Conceptos Y Métodos. Crecimiento Urbano y Sus Consecuencias Sobre El Entorno Rural. El Caso de La Ecorregión Pampeana*, (2006), 1–12.
- McGarigal, K., & Marks, B. J. (1995). FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. USDA Forest Service General Technical Report PNW, 97331(503). Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Fragstats+spatial+pattern+analysis+program+for+quantifying+landscape+structure#2>
- Mcgarigal, K. (2015). *Fragstats help document*. *Fragstats*, (April), 1–182. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(12\)00047-9](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(12)00047-9)
- Moré, G., Pons, X., Cristóbal, J., Gonzalez, O., & Pesquer, L. (2012). Corrección radiométrica automática de imágenes Landsat TM mediante áreas pseudoinvariantes y modelización MODTRAN. *Revista de Teledetección*, 37(1), 68.
- Nieto, M., & Cárdenas, A. (2018). *SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y TELEDETECCIÓN: APLICACIONES*. (Grupo de Investigación Geoambiental de la Universidad de Extremadura, Ed.) (Primera Ed). España.
- Otavo, S., & Echeverría, C. (2017). *Fragmentación progresiva y pérdida de hábitat de bosques*

- naturales en uno de los hotspot mundiales de biodiversidad. Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(4), 925. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.041>
- Pacheco, C., Valle, H., Delrieux, C., & Bianchi, G. (2014). *Procesamiento Inteligente de Imágenes Satelitales Métodos avanzados y acelerados de segmentación y fusión de información Resumen Contexto Introducción*. Workshop de Investigadores En Ciencias de La Computación, 16(December), 275. <https://doi.org/10.13140/2.1.4380.5764>
- Pfaff, A., Robalino, J., Herrera, D., & Sandoval, C. (2015). Protected Areas' Impacts on Brazilian Amazon Deforestation: Examining Conservation – Development Interactions to Inform Planning. *PLOS ONE*, 10(7), e0129460. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129460>
- Palestina, R., Equihua, M., & Pérez, O. (2015). Influencia de la complejidad estructural del dosel en la reflectancia de datos Landsat TM. *Madera y Bosques*, 21, 65.
- Parveen, S., Basheer, J., & Praveen, B. (2018). A Literature Review On Land Use Land Cover Changes. *International Journal of Advanced Research*, 6(7), 1–6. <https://doi.org/10.21474/ijar01/7327>
- PDOT. (2015a). Plan De Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Dayuma. Retrieved from http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1768099140001_PDYOT_FINAL_DAYUMA_31-10-2015_18-35-01.pdf
- PDOT. (2015b). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Rural Inés Arango. Retrieved from http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/2260004020001_PDyOT_Ines_Arango_2015-2019b_17-05-2015_11-47-39.pdf
- Pinos, N. (2017). *Prospective land use and vegetation cover on land management - Case canton Cuenca*. *Estoa*, 5(9), 2. <https://doi.org/10.18537/est.v005.n009.02>
- Puyravaud, J. P. (2003). *Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation*. *Forest Ecology and Management*, 177(1–3), 593–596. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00335-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00335-3)
- Quichimbo, P., Tenorio, G., Borja, P., Cárdenas, I., Crespo, P., & Célleri, R. (2012). Químicas De Los Suelos Por El Cambio de la Cobertura Vegetal y Uso del Suelo : Páramo de

- Quimsacocha Al Sur del Ecuador. Suelos Ecuatoriales. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/285632863>
- Ramírez, H. (2013). Imágenes multiespectrales de sensores remotos. (I. G. A. Codazzi, Ed.). Bogotá-Colombia.
- Rullán, C., Gama, L., Galindo, A., & Olthoff, A. (2011). Clasificación no supervisada de la cobertura de suelo de la región Sierra de Tabasco mediante imágenes Landsat ETM+. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*, 27(1), 34.
- Sahagún, F., & Reyes, H. (2018). Impactos por cambio de uso de suelo en las áreas naturales protegidas de la región central de la Sierra Madre Oriental, México Impact of land use cover change on protected natural areas in central region of Sierra Madre Oriental , Mexico. *Biología y Química*, 12(2), 12.
- Sánchez, J. (2016). Investigación Análisis de Calidad Cartográfica mediante el estudio de la Matriz de Confusión. *Pensamiento Matemático*, 6, 9–26.
- Sierra, R. (2013a). Deforestación de la Sierra en el Ecuador. (GeoIS Consultores, Ed.). Quito-Ecuador.
- Sierra, R. (2013b). Patrones y factores de deforestación en el Ecuador Continental, 1990-2010. Y un acercamiento a los próximos 10 años. (Conservación Internacional Ecuador y Forest Trends, Ed.). Quito. Retrieved from www.forest-trends.org
- Santos, T., & Tellería, J. L. (2006). Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. Retrieved from http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=423&Id_Categoria=2&tipo=portad
- Soza, D. (2017). Corrección atmosférica de imágenes Landsat 8-OLI/TIRS en ENVI 5.3, 8(11), 1. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26219.39202>
- Tapia-Armijos, M. F., Homeier, J., Espinosa, C. I., Leuschner, C., & de la Cruz, M. (2015). *Deforestation and Forest Fragmentation in South Ecuador since the 1970s - Losing a Hotspot of Biodiversity*. *PloS One*, 10(9), e0133701. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133701>
- Toledo, S. (2007). Ecología y paisaje: Miradas desde Canarias. Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=Elp-AAXEJm8C&pg=PA165&dq=ecologia+del+paisaje&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwilkc>

nRp63eAhUqxVkJKHQg5AdkQ6AEILDAB#v=onepage&q=ecologia del
paisaje&f=false

Torracchi, E., Tapia, M. F., Escudero, A., & de la Cruz, M. (2002). Deforestación en una región montañosa megadiversa en los Andes: dinámica del paisaje en el sur de Ecuador.

Torres, A. (2011). *Procesamiento Digital de Imágenes Satelitales. Optics and Lasers in Engineering*, 43(4), 1. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2007.01.031>

Ulloa, J., Callles, J., Espíndola, F., & López, V. (2013). Amazonía ecuatoriana 2013. (Eco Ciencia, Ed.). Quito-Ecuador.

Vargas-Sanabria, D., & Campos-Vargas, C. (2018a). *Sistema multi-algoritmo para la clasificación de coberturas de la tierra en el bosque seco tropical del Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica*. *Revista Tecnología En Marcha*, 31(1), 58. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i1.3497>

Zeballos, G., Soruco, Á., Cusicanqui, D., Joffré, R., & Rabatel, A. (2014). Uso de imágenes satelitales, modelos digitales de elevación y sistemas de información geográfica para caracterizar la dinámica espacial de glaciares y humedales de alta montaña en Bolivia. *Ecología En Bolivia*, 49(3), 18–19.

9. Anexos

Anexo 1 .Matriz de error del año 1987

Matriz de error 1987				
Clases	Precisión del Productor (%)	Precisión del usuario (%)	Precisión Global (%)	Índice Kappa
Bosque	90.00	80.36		
Cuerpos de agua	90.00	97.83		
Zona antrópica	96.00	97.96	92.40	0.90
Área agropecuaria	90.00	90.00		
Área sin cobertura vegetal	96.00	97.96		

Anexo 2 .Matriz de error del año 2018

Matriz de error 2018				
Clases	Precisión del Productor (%)	Precisión del usuario (%)	Precisión Global (%)	Índice Kappa
Bosque	90.00	81.81		
Cuerpos de agua	92.00	92.00		
Zona antrópica	92.00	93.88	90.80	0.88
Área agropecuaria	90.00	90.00		
Área sin cobertura vegetal	90.00	97.83		

Anexo 3. Matriz de cambio de cobertura y uso de suelo

	Bosque	Cuerpos de Agua	Zona Antrópica	Área Agropecuaria	Suelo descubierta	Pérdidas
Bosque	239124.94	406.62	8461.13	14440.21	4.30	23312.25
Cuerpos de agua	420.64	554.56	15.73	19.55	10.49	466.40
Zona Antrópica	866.97	8.24	1153.10	837.68	0	1712.88
Área Agropecuaria	983.00	6.12	1133.71	1181.68	0.02	2122.85
Área sin cobertura vegetal	13.59	4.01	0.34	0.70	0.09	18.63
Ganancias	2284.20	424.98	9610.90	15298.13	14.80	

Anexo 4. Resultado del análisis de las métricas de fragmentación

Métricas	AP		ANP	
	1987	2018	1987	2018
Índice de forma	1,34	1,46	1,20	1,24
Número de parches	27	112	711	2431
Densidad de parches	0,05	0,21	0,33	3,45
Área de Clase	54 403,76	53 812,76	208 204,58	187 422,68