UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto de Investigación previo a la obtención del Título de Ingeniería Ambiental

TEMA:

Análisis del cambio de uso del suelo en el Bloque Ishpingo, Tambococha y Tiputini (ITT) de la Amazonía Ecuatoriana.

AUTOR:

Schorsch Espinoza Clint William

DIRECTOR:

MSc. Heredia Rengifo Marco Gerardo

Puyo – Ecuador

2019-2020

AUDITORÍA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

De acuerdo al instructivo de la Unidad de Titulación especial, me permito declarar ante las autoridades de la Universidad Estatal Amazónica que el contenido y los resultados del presente proyecto, cuyo título es **"ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO EN EL BLOQUE ISHPINGO, TAMBOCOCHA Y TIPUTINI (ITT) DE LA AMAZONÍA ECUATORIANA",** previo a la obtención del título de Ingeniero ambiental, son de mi propia autoría.

_____

Clint William Schorsch Espinoza

C.I: 172074843-1

Autor

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Conforme al instructivo de la Unidad de Titulación Especial de la Universidad Estatal Amazónica, en calidad de tutor de proyecto de investigación y desarrollo, cuyo título es **"ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO EN EL BLOQUE ISHPINGO, TAMBOCOCHA Y TIPUTINI (ITT) DE LA AMAZONÍA ECUATORIANA"**, elaborado por el Sr. Clint William Schorsch Espinoza con cédula de identidad Nº 1720748431, egresado de la carrera de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Estatal Amazónica, me permito declarar que luego de haber orientado y revisado, lo apruebo en todas sus partes.

Atentamente,

_____

Marco Heredia MSc.

CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENSIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

CATEGORIA B

Oficio No. 27-SAU-UEA-2020

Puyo, 24 de enero de 2020

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El Proyecto de Investigación correspondiente al egresado SCHORSCH ESPINOZA CLINT WILLIAM con C.I. 1720748431 con el Tema: **"Análisis de cambio de uso del suelo en el Bloque Ishpingo, Tambococha y Tiputini (ITT) de la Amazonia Ecuatoriana"**, de la carrera, Ingeniería Ambiental. Director del proyecto MSc. Heredia Marco, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 2%, Informe generado con fecha 23 de enero de 2020 por parte del director, conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Ing. Italo Marcelo Lara Pilco MSc.
ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA - .

CERTIFICACIÓN

El presente proyecto de investigación y desarrollo titulado, **"ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO EN EL BLOQUE ISHPINGO, TAMBOCOCHA Y TIPUTINI (ITT) DE LA AMAZONÍA ECUATORIANA"**, bajo la responsabilidad del egresado estudiante Clint William Schorsch Espinoza ha sido revisado conforme a los requisitos y lineamientos que norma la Universidad Estatal Amazónica, autorizando su presentación.

MIEMBROS DEL TRIBUNAL

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Dr. Torres Bolier

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

MSc. De Decker María

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Dr. Bravo Carlos

AGRADECIMIENTO

Primero, quiero agradecer a la Universidad Estatal Amazónica (UEA), por aceptarme y ser parte de ella. Por abrir las puertas de su seno científico para poder estudia la carrera, así como también a los diferentes docentes que compartieron sus conocimientos y brindaron apoyo para ser mejor cada día como profesional y persona; y seguir adelante cada día.

Agradezco a mi familia por todo el apoyo incondicional que me brindaron y me brindan, sus palabras de aliento me ayudaron durante el proceso de mi profesión, así como sus consejos que me guiaron durante toda mi vida. Su amor y preocupación fue el motor que me permitió seguir adelante con mis estudios y el proyecto de investigación.

Agradezco a mi tutor MSc. Marco Heredia, que más que ser un docente fue un gran amigo, que con paciencia, dedicación, motivación y ánimos se logró culminar el proyecto de investigación debido a sus consejos y correcciones constantes.

Quiero agradecer a la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) por compartir sus conocimientos que fue de gran aporte para el trabajo investigativo y sobre todo a los docentes, PhD. Padilla Oswaldo y PhD. Theofilos Toulkeridis y los estudiantes de la carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente: Jose Luis Tamayo Tinajero, Damariz Alexandra Manzano Toledo, Sisa Carolina Guamán De la Torre, Cristhian Rodolfo Bone Mejía y Diego Filiberto Reyes Yunga, pertenecientes al Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción.

Finalmente para mis compañeros de clase, con quienes compartí en todos estos años de proceso de mi profesión mi gratitud hacia ellos por su preocupación, alegría, amistad, apoyo y comprensión que me han brindado y aconsejado para seguir siendo como soy y mejorar cada día.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este proyecto de investigación a mi familia, en especial a mi madre Diana E. Espinoza M. y a mi padre Diego R. Ricaurte A., quienes fueron los responsables de criarme y educarme con valores morales y ejemplos de ser una persona ética en lo laboral. Agradezco a mis hermanas, quienes apoyaron a mi madre en los años que no estuve en casa y que la cuidaron para este momento. También a mi abuela Yolanda Arce quien me apoyo junto con mi padre que no me falte nada durante mi instancia en la Universidad Estatal Amazónica. A mi Padrino Gral. Ramiro E. Ricaurte quien estuvo pendiente de nuestra familia toda la vida, sin él no estaría en este momento.

Quiero dedicar especialmente a mis familiares que no están presentes, a mi abuelita Gladys Espinoza, quien fue la persona más valiosa en mi vida, me cuido, me aconsejó y sobre todo fue mi segunda madre quien me inculco que lo primero es la familia y nada más. A mi tío Jorge Arce, que no tuve mucho tiempo de conocerlo, pero en esos escasos momentos que pude convivir con él, fue y es una excelente persona y muy amable con todos lo que me llevó a no perder ese valor moral de ayudar a los que necesitan. Que en paz descansen y seguiré siendo el mismo que conocieron hasta el final de mis días.

RESUMEN

La Región Amazónica del Ecuador (RAE), alberga una gran variedad de biodiversidad y ecosistemas denominada “Hot Spot”, siendo reconocida Internacionalmente por presentar fauna y flora única en el mundo. Dentro de la RAE, está el Parque Nacional Yasuní (PNY), que es una Reserva de Biosfera reconocida por la UNESCO en 1989, de superficie de 1.022.736 ha , situada en las subcuencas de los ríos: Tiputini, Yasuní, Nashiño, Cononaco y Curaray pertenecientes al río Napo. La zona de estudio es el Bloque ITT (Ishpingo, Tambococha y Tiputini), localizado en el cantón Aguarico, Provincia de Orellana que esta superpuesta sobre el PNY, tiene un área de 179.449,53 ha. Los campos Ishpingo y Tambococha se encuentran dentro del PNY, mientras que Tiputini está fuera de él. El objetivo de esta investigación es analizar la multitemporalidad del cambio de uso de suelo en el Bloque ITT de la Amazonía Ecuatoriana. Para el proceso metodológico se utilizó sensores remotos, programas de Sistemas de Información Geográfica: ARCGIS 10.7 y PCI Geomatics para el procesamiento y clasificación de imágenes satelitales. Los cambios de uso de suelo en el Bloque ITT de los tres períodos demostraron que la cobertura boscosa disminuyó en 24,23%, en suelos, infraestructura y cultivos aumentó respectivamente en: 0,22% , 0,23% y 0,448%. La tasa de cambio de uso de suelo más significativa en el Bloque ITT en el período 2001 – 2017 son las clases de: Suelo desnudo con 9,01% (10.640,82 ha) y cultivo con 7,27% (591,29%).

Palabras clave: Cambios de uso de suelo, deforestación, multitemporal, sensores remotos.

ABSTRACT

The Amazon Region of Ecuador (ARE), hosts a great variety of biodiversity and ecosystems called "Hot Spot", being recognized internationally for presenting fauna and flora unique in the world. Within the ARE, there is the Yasuní National Park (YNP), which is a Biosphere Reserve recognized by UNESCO in 1989, with an area of 1,022,736 ha, located in the sub-basins of the rivers: Tiputini, Yasuní, Nashiño, Cononaco and Curaray belonging to the river Napo. The study area is the “Bloque ITT” (Ishpingo, Tambococha and Tiputini), located in the canton Aguarico, Province of Orellana that is superimposed on the PNY, has an area of 179,449.53 ha. The Ishpingo and Tambococha camps are within the NYP, while Tiputini is outside it. The objective of this research is to analyze the multitemporality of land use change in the ITT Block of the Ecuadorian Amazon. The methodological process used remote sensors, Geographic Information Systems programs: ARCGIS 10.7 and PCI Geomatics for the processing and classification of satellite images. Land use changes in the ITT Block of the three periods showed that forest cover decreased by 24.23 per cent, in soils, infrastructure and crops increased by 0.22 per cent, 0.23 per cent and 0.448 per cent, respectively. The most significant land use change rate in the ITT Block in the period 2001 [2017 are the classes of: Bare soil with 9.01% (10,640.82 ha) and cultivation with 7.27% (591.29%).

Key words: Land use changes, deforestation, multitemporal, remote sensing.

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO I. 1

INTRODUCCIÓN 1

1.1. Planteamiento del Problema de investigación y su Justificación 1

1.1.1. Planteamiento del problema 1

1.1.2. Justificación 2

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA 4

1.3. Objetivos 4

1.3.1. Objetivo General 4

1.3.2. Objetivos específicos 4

CAPÍTULO II. 5

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN 5

2.1. Antecedentes 5

2.2. Bases Teóricas 7

2.2.1. Áreas protegidas en el Ecuador 7

2.2.2. Reserva de Biosfera Yasuní (RBY) 7

2.2.3. Parque Nacional Yasuní 7

2.2.4. Análisis Multitemporal de Cambios y uso de suelo 9

2.2.5. Deforestación 10

2.2.6. Sistemas de información geográfica 10

2.2.7. Sensores remotos 11

2.2.8. Imágenes Satelitales 11

2.2.9. Landsat 11

2.2.10. Landsat 7 12

2.2.11. Landsat 8 12

2.2.12. Combinación de bandas 13

2.2.13. Clasificación No Supervisada 13

2.2.14. Índice Normalizado de Variación de la Vegetación (NDVI) 13

2.2.15. Ráster 14

2.2.16. Ráster Calculator 14

2.2.17. Tabulación cruzada (Crosstab) 14

2.2.18. PCI Geomatica 14

2.2.19. ARCGIS 14

CAPÍTULO III. 15
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 15
3.1. LOCALIZACIÓN 15
3.1.1. Formaciones vegetales 16
3.1.2. Fauna 17
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN 18
3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN 18
CAPITULO IV. 27
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 27
CAPÍTULO V. 39
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 39
5.1. Conclusiones 39
5.2. Recomendaciones 40
CAPÍTULO VI. 41
BIBLIOGRAFÍA 41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resolución temporal de las series Landsat 12
Tabla 2. Resolución espacial por bandas 12
Tabla 3. Características de las bandas de Landsat 8 13
Tabla 4. Imágenes Satelitales de la plataforma Landsat 7 y 8 de la zona de estudio (Bloque ITT) 27
Tabla 5. Información de la clasificación no supervisada en PCI Geomatics del año 2001 29
Tabla 6. Información de la clasificación no supervisada en PCI Geomatics del año 2014 30
Tabla 7. Información de la clasificación no supervisada en PCI Geomatics del año 2017 31
Tabla 8. Área en hectáreas por cada clase en el Bloque ITT de los tres períodos 34
Tabla 9. Tasa de deforestación del Bloque ITT 36
Tabla 10. Tasa de cambio anual de la cobertura y uso de suelo en el Bloque ITT del período 2001-2017 37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Patrones de riqueza de especies del norte de América del Sur: Parque Nacional Yasuní 8
Figura 2. Superposición de Centro de riqueza 9
Figura 3. Zona de estudio: Reserva de Biosfera Yasuní, Amazonía Ecuatoriana. 15
Figura 4. Diagrama de flujo del procesamiento de imágenes satelitales para las tres épocas. 19
Figura 5. Clasificación no supervisada del ITT del año 2001 en PCI Geomátics 28
Figura 6. Clasificación no supervisada del ITT del año 2014 en PCI Geomatics 29
Figura 7. Clasificación no supervisada del ITT del año 2017 en PCI Geomatics 30
Figura 8. Clasificación de los cambios de uso de suelo en el ITT del año 2001. 31
Figura 9. Clasificación de los cambios de uso de suelo en el ITT del año 2014. 32
Figura 10. Clasificación de los cambios de uso de suelo en el ITT del año 2017. 33
Figura 11. . Dinámica espacial de las clases a partir de las clases: A) cuerpos de agua, pasto y bosque; B) Suelo, Cultivo e Infraestructura en el Bloque ITT. 34

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ecuación de la Condicionante CON 20
Ecuación 2. Ecuación de la condicionante FLOAT 21
Ecuación 3. Ecuación de la tasa promedio anual de deforestación 25
Ecuación 4. Ecuación de la tasa de cambio y uso de la tierra 26

CAPITULO I.
INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema de investigación y su Justificación

1.1.1. Planteamiento del problema

Ecuador tiene una tasa de deforestación de 1,4% anual, convirtiéndose en el país de mayor deforestación en todo el continente sudamericano. Entre los períodos del 2000 y 2008, la Senplades (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo) en enero del 2012, manifestó que la tasa de deforestación en el territorio Nacional es 0,63% anual y aumentó a 24% en 2013 (Le Quang, 2015).

En la Región Amazónica Ecuatoriana (RAE), representa 1,6% (601.220.100 ha) de Ecosistemas boscosos en la cuenca amazónica, sin embargo, la deforestación que tuvo entre los períodos (2000-2015) representó el 2% de deforestación total en la cuenca. Hasta el 2015, Ecuador perdió 12,6% de sus bosques amazónicos originales (212.000 ha de 9.607.300 ha) (Borja, Aragón y Josse, 2017).

El Bloque Ishpingo, Tambococha y Tiputini (ITT) se encuentra ocupando gran parte de área del Parque Nacional Yasuní (PNY), así como la zona Intangible Tagaeri – Taromenane (ZITT) de la RAE, donde se encuentran asentadas centros poblados y pueblos indígenas no contactadas (Tagaeri – Taromenane).

La situación de producción petrolera del bloque ITT en el 2017 se desarrolló en las afueras del PNY, en el área del Tiputini cuya capacidad de procesamiento fue 250.000 barriles diarios de fluido y en Tambococha se perforó el primer pozo reinyector del proyecto TMBD-02 en 2018 (Petroamazonas EP, 2017). Para la perforación de pozos es necesario deforestar con el fin de implementar los pozos petroleros, en el Bloque ITT se contempla la construcción de una vía de acceso para el transporte de maquinaria que permitan la ejecución del proyecto, se deforestó 41,1158 ha de vía dentro del PNY para los 10,7 km, y de las cinco plataformas: 1) Tambococha A, 2) Tambococha B, 3) Tambocoha E, 4) Tambococha D y 5) Central de Procesos Tiputini (CPT), con una deforestación de 18,1684 ha y (CGC, 2017).

La contaminación que genera la petrolera es irreversible ya que afectará en la perdida de una parte de la biodiversidad del lugar debido a la gran cantidad de desechos sólidos y líquidos, resultado de la perforación y explotación de los pozos petroleros. La explotación de los pozos requiere gran cantidad de agua que depende de la calidad del petróleo; si el crudo es pesado y de mala calidad, necesitará de mayor volumen de agua. En el Bloque ITT necesita 10 barriles de agua para la extracción de un barril de petróleo, es decir, que la extracción del petróleo en el Bloque ITT necesitará 100 millones de metros cúbicos de agua por lo que imposibilita la reinyección y por tanto se piensa que su destino sería el Yasuní (Le Quang, 2015).

La deforestación en Tiputini y Tambococha puede afectar en las actividades de caza, las actividades agropecuarias por parte de las comunidades indígenas y el uso de hábitats para la biodiversidad nativa de la zona. Un estudio de valorización en el caso del Yasuní de la pérdida de los beneficios ambientales, indica que superan la VAN (Valor actual Neto) que puede recibir el Estado; por tanto, Earth Economics las estimó en 9.886 millones de dólares, cuya cifra en el orden de magnitud de impactos ambientales carece de rentabilidad la explotación de petróleo en el Yasuní (Larrea, 2017).

Se ha confirmado en varios casos, los efectos que tienen las actividades petrolíferas en los humanos por la contaminación de los ríos debido a los desechos generados durante el proceso de esta; también, un alto índice de abortos (150%), mutaciones natales, enfermedades tropicales debido a la deforestación, cáncer en los habitantes debido a la bioacumulación de petróleo, desechos y químicos basado en la cadena alimenticia y muertes (Meza, 2015).

En el Bloque ITT y el adyacente Bloque 31, se calculó que la deforestación directa para las plataformas y carreteras es 57,3 ha, que, agregando los efectos de borde, afectó en ambos bloques al menos 665 ha superado el límite de 300 ha que se estableció en la consulta popular del 2018. La construcción de las cuatro plataformas (Tambococha A,B,D y E) y la vía de acceso entre el 2017 y 2019 ah deforestado 28,5 ha del PNY (Finer, Thieme y Hettler, 2019).

1.1.2. Justificación

En la RAE se encuentra el PNY que fue declarado en 1979 y en 1989 la UNESCO (La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) lo reconoció como Reserva de Biosfera por ser una de las zonas más biodiversas a nivel

global respecto a especies, ecosistemas, variabilidad genética y porque es refugio de vida pleistoceno; además, alberga comunidades no contactadas que están en aislamiento voluntario y que en el año 2006 fue declarado una parte del PNY como ZITT (Álvarez, 2012).

Las poblaciones y ecosistemas (terrestres y acuáticos) de la RAE están sometidos a presiones y amenazas debido a la formulación e implementación de políticas que permiten el acceso y control de espacios amazónicos, recursos y poblaciones con la visión de ser una región de reserva de recursos extractivos y también, el traslado de la pobreza rural mediante colonización y reformas agrarias desde otras regiones por falta de tierras, sobrepoblación o por deterioro ambiental; también, la política petrolera como la reformas agrarias y colonización han favorecido a la explotación maderera promoviendo el cambio de uso del suelo y deterioro de cobertura vegetal (López, Espíndola, Calles y Ulloa, 2013).

El PNY es fundamental para la conservación de vida silvestres porque hay 2.274 especies (sp) de árboles y arbustos y según estudios científicos determinan que existe: aves (595 sp.), reptiles (121sp), murciélagos (80 sp), anfibios (150 sp) y más de 4.000 especies de plantas vasculares por 1’000.000 (ha) y se estima que hay 100.000 sp de insectos por ha (Bass, Finner, Jenkins, Cisneros, McCracken, Pitman, English, Swing, Fiore, Voigt, Kunz, 2010).

La protección de la biodiversidad del PNY es un tema de preocupación global, ya que existen áreas que se superponen en el parque nacional: territorios indígenas (Waorani, Kichwa y Shuar); gobernaciones provinciales, cantonales; juntas parroquiales, especies valiosas de madera y bloques petroleros que actualmente se encuentran amenazando esta zona (Finer, Vijay, Ponce, Jenkins, Kahn, 2009).

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cómo las diversas actividades antrópicas como la deforestación y actividades petroleras afectan el cambio de uso del suelo en el Bloque ITT (Ishpingo, Tambococha y Tiputini) de la Amazonía ecuatoriana?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Analizar la multitemporalidad del cambio de uso de suelo en el Bloque ITT de la Amazonía Ecuatoriana.

1.3.2. Objetivos específicos

- Clasificar las imágenes en los periodos del 2001, 2014 y 2017.
- Identificar los tipos de cobertura del suelo en cada una de las zonas.
- Cuantificar los cambios de uso del suelo en el Bloque ITT de la Amazonía.
- Analizar con información secundaria los factores asociados al cambio de uso de suelo del Bloque ITT.

CAPÍTULO II.
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Antecedentes

En la década de los setenta, el modelo de producción del Ecuador se basó en la extracción del petróleo de la Amazonía ecuatoriana, lo que ha obligado al país a depender de sus recursos naturales para desarrollar proyectos dentro del territorio por lo que ha provocado situaciones nocivas como la destrucción de la selva y desaparición de comunidades indígenas o pueblos no contactados (Villacis, 2017).

Los trabajos en el Bloque ITT se iniciaron hace más de 90 años de la mano de la empresa "Leonard Exploration Co." quien recibió su primera concesión para explorar los hidrocarburos en la región amazónica en 1921 en un área de 2'000.000 ha. En 1937, la compañía Anglo recibió la concesión para explorar la región amazónica y en 1938 se concesionó 10'000.000 ha del Oriente ecuatoriano a la compañía Shell quienes perforaron En 1970 se perforó el pozo Tiputini 1 en el Norte del ITT que presentó trazas de crudo pesado de 11º API (American Petroleum Institute) en la formación del Basal Tena y M1 que más adelante fue abandonado, al sur del río Napo en una estructura más alta y con resultados positivos (MRNNR, 2013).

En 1990, se modificaron los límites del PNY con el objeto de legalizar las Tierras a favor de los Huaorani con 612.000 ha y se prohíbe las concesiones petroleras en áreas protegidas (Larrea, 2017).

En 1992, un texto elaborado por la Unidad de Protección Ambiental (UPA) afirma que "tras analizar las restantes reservas de petróleo del país (2.000'000.000 barriles) y considerando la producción actual (alrededor de los 300.000 barriles diarios) irá disminuyendo progresivamente la producción si no se toman las medidas correctivas antes del año 2000"; es por lo que Petroecuador mediante su sucursal Petroproducción exploró el área Pañacocha-Tiputini detectando siete estructuras: Pañacocha, Sábalo, Paujil, Tiputini, Imuya, Iniwa y Tambococha, quienes aportarían con reservas estimadas de 265'000.000 barriles de 19º API, con capacidad de producción de 65.000 barriles diarios (Narváez, 1999).

La iniciativa "Yasuní-ITT" que fue propuesta en 2007, que ofrecía mantener el petróleo bajo tierra a cambio de una compensación del 50% de los ingresos generados por parte

de la explotación del campo ITT, generó un debate nacional e internacional de la repercusión que tendrá la economía del Ecuador al no depender de su recurso principal en ventas. En junio del mismo año se accedió a la propuesta pero manteniendo como segunda alternativa la explotación del campo ITT en caso de no alcanzar los fondos que requeriría el país por lo que en este proceso se analizaron dos propuestas: la primera fue dejar el petróleo bajo tierra con el objeto de no afectar la biodiversidad de la zona y conservar los grupos no contactados y la segunda, la posibilidad que se desarrolle la explotación del ITT por parte de Petroamazonas con sus propios recursos; sin embargo, con el paso de los años hubo advertencias por parte del gobierno de explotar los campos de Tiputini y Tambococha lo que llevó en la Cumbre de Copenhague en diciembre del 2009, desistir la continuidad de las negociaciones a punto de la firma del fideicomiso que iba ser gestionado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (Lombeyda, 2010).

En 2012, Petroamazonas inició la explotación petrolera en el Bloque 31, también al interior del PNY. En 2016, se desarrollaron plataformas localizadas en el límite Norte del PNY con 50 pozos para la extracción de petróleo del campo Tiputini en el Bloque ITT (Larrea, 2017).

Comunidades Indígenas superpuestas en el Bloque ITT

En el Yasuní se encuentra situado el pueblo Huaorani entre las provincias de Pastaza y Orellana que ocupaban más de 2.000.000 ha y sus actividades eran la caza y recolección. Han permanecido en aislamiento voluntario desde 1950 pero se redujeron los límites a 758.000 ha. Se estima que en la actualidad hay 2.300 Huaorani. Ocupan parte sur del Yasuní delimitados por los bloques petroleros: los Bloques Amarillo y 14 (Oeste); Bloque 17 de los Nades y 31 de Petroamazonas (Norte); Bloque ITT de Petroamazonas (Norte-Este); Bloques peruanos (Este) y Bloques de China (Sur) (Meza, 2015).

Los descendientes de los Huaorani son: Tagaeri, Taromenane y Oñamenane, que decidieron no contactar con la gente occidental e ingresar a la selva del PNY para vivir de manera aislada de la cultura occidental, viven en la zona media baja de la Reserva del Yasuní y parte de la ZITT, con ciertos desplazamientos hacia el bloque ITT, en la época de cosecha de chonta (Meza, 2015).

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Áreas protegidas en el Ecuador

Un área protegida se define como un espacio geográfico definido para la conservación, gestión y protección de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos y culturales, que se manejan a través de medios legales para asegurar la conservación a largo plazo de la naturaleza (Poma, 2019). En el Ecuador representan el 20% de territorio conservado, que se enmarcan en la máxima categoría de protección de acuerdo con la legislación ambiental Nacional, pertenecen a subsistemas del SNAP (Sistema Nacional de Áreas Protegidas) que se los conoce como PANE (Patrimonio de Áreas Naturales del Estado), que albergan importante riqueza biológica, servicios ecosistémicos que benefician a las poblaciones urbanas y rurales, riqueza paisajística que permiten el turismo y la recreación en ciertas áreas, la importancia ecológica reconocida Internacionalmente (MAE, 2015).

2.2.2. Reserva de Biosfera Yasuní (RBY)

Las Reservas de Biosfera son zonas que agrupan ecosistemas terrestres, marinos y costeros, que son reconocidos por el "Programa sobre el Hombre y la Biosfera" de la UNESCO, que buscan soluciones para su conservación de manera sostenible y que aportan a estudios científicos al servicio de la sostenibilidad (UNESCO, 2017). La RBY tiene una superficie de 982.000 ha de bosque húmedo tropical, inundado, pantanos, ríos y lagunas (Chauca, Soto, y López, 2016). Los territorios que comprenden son Territorio Ancestral Waorani (758.000 ha), Parque Nacional Yasuní (1.022.736 ha) (Meza, 2015).

2.2.3. Parque Nacional Yasuní

El Parque Nacional Yasuní (PNY), es una reserva natural localizada en Ecuador, que fue reconocida por la UNESCO en 1989 que tiene abundante biodiversidad (flora y fauna) y posee invaluable riqueza ambiental y ecológica que permiten el desarrollo de la vida. En el PNY habitan pueblos indígenas contactados como los Waorani y no contactados. Tiene una fuente de hidrocarburos, por lo que en 1972, el estado ecuatoriano permitió la extracción de petróleo generando impacto positivo en la economía nacional, pero al mismo tiempo impactos negativos en lo social, cultural, político y ambiental (Cajamarca, Paredes, Cabrera, Guananga, 2019).

La distribución de especies (mamíferos, aves, anfibios, plantas vasculares) en América del Sur, representadas con la paleta de colores, indican que existe mayor abundancia de especies con el color rojo (>137 especies) y menor abundancia con el color azul (una especie o ninguna) (Figura 1) (Bass *et al*., 2010).

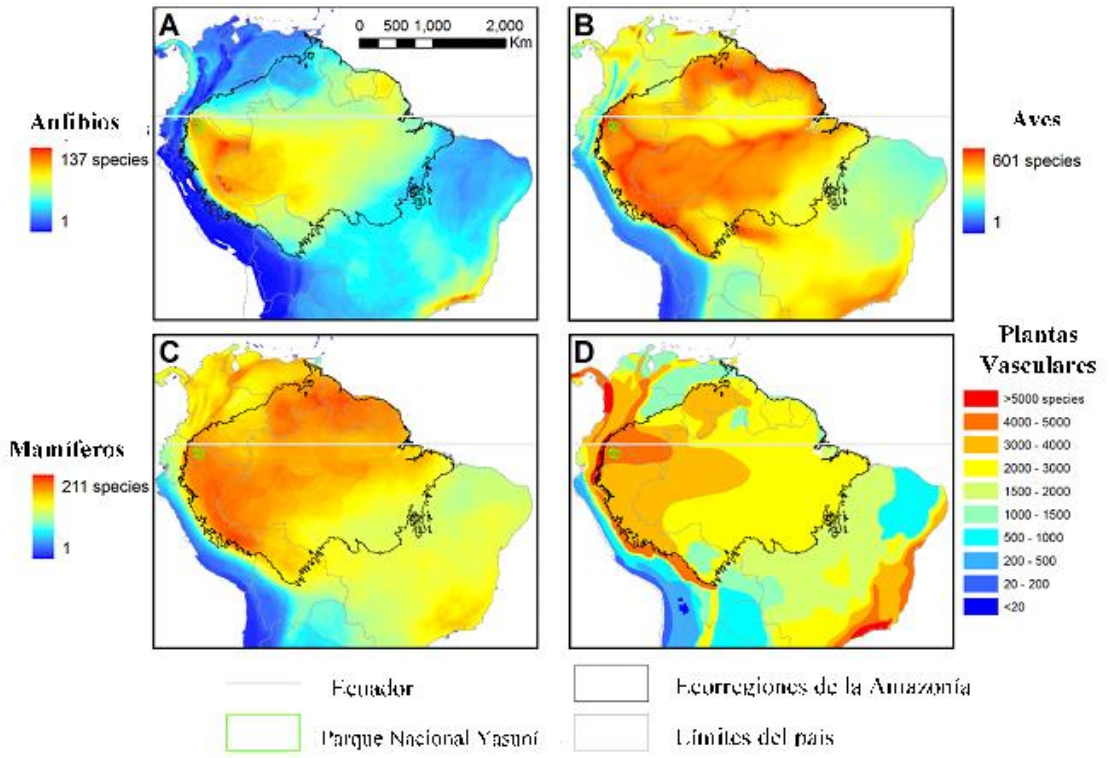


Figura 1. Patrones de riqueza de especies del norte de América del Sur: Parque Nacional Yasuní
Fuente: Bass *et al*., (2010).

Se indica la posición biogeográfica única de los taxones que alcanza la máxima riqueza de especies mamíferas, aves y anfibios (mayores a 10.000 ha), por lo que es el centro de riqueza cuádruple (CRC) (Figura 1) de 2.802,5 ha abarca 0,16% en América del Sur y menor a 0,5% en la cuenca Amazónica; mientras que IUCN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) considera al Yasuní, un área protegida dentro de CRC, que ocupa 14% de su área y el 79% del centro coinciden con las concesiones petroleras activas o propuestas (Bass et al., 2010).

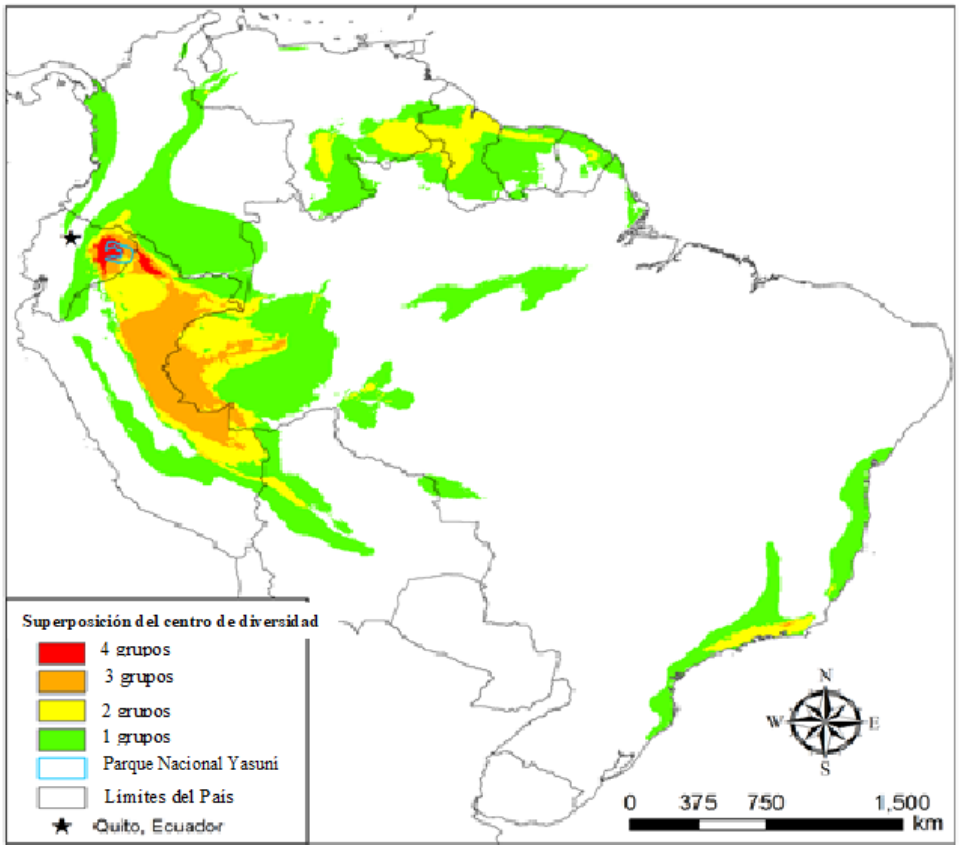


Figura 2. Superposición de Centro de riqueza
Fuente: Bass *et al.*, (2010)

2.2.4. Análisis Multitemporal de Cambios y uso de suelo

El análisis multitemporal se define como la detección de cambios de cobertura entre dos fechas diferentes, deduciendo la evolución del medio natural o la incidencia mediante la acción antrópica sobre esta (Muñoz, Rodríguez y Romero, 2009). Se realiza mediante la interpretación de información de sensores remotos; considerando la obtención de imágenes satelitales y determinando las unidades interpretadas e imágenes los resultados (Torres, Andrade, Torres, Vasco, Robles, 2018). Existen diversos estudios en la región amazónica ecuatoriana implementando monitoreo y detección de cambios ambientales con sensores remotos como: en el área de cambios de cobertura de suelo en la geomorfología Fluvial del río Tena (Pidal *et al*., 2017), en el uso de la tierra sobre almacenamiento de carbono en sistemas productivos y bosque primario (Jadán, Torres y Günter, 2012), entre otros. Así mismo, es un desafío debido a la gran presencia de nubes en la RAE lo que provoca dificultad en los análisis de los resultados deseados.

El cambio de cobertura y uso de suelo es un proceso dinámico de expropiación sobre el suelo, relacionada con las actividades antrópicas (ganadería, agrícola, etc.) (Lillesand,

Kiefer, Chipman, 2015); y son visibles en: Partes altas de montañas, cuencas hidrográficas, áreas aledañas a los ríos y quebradas, que cada vez son mayores y ocurren con rapidez ocasionando: pérdida de cobertura boscosa, disminución de cantidad y calidad del agua y suelo que afecta a comunidades acentuadas en las cuencas (Muñoz, Rodríguez, y Romero, 2009). Es una condicionante de distintos tipos de movimientos y que influye de manera importante en las propiedades hidrológicas y mecánicas del suelo (Corina *et al.*, 2016).

La detección de cambios en la dinámica del suelo se da un seguimiento mediante imágenes satelitales respectivas de la zona que ocurre por varios factores naturales como antrópicos y estudio multitemporal evalúa los cambios de cobertura vegetal que existieron en la zona con la interpretación de la imagen satelital como Landsat, Sentinel 2A, Spot entre otras (Venegas, 2016).

2.2.5. Deforestación

Proceso de desmonte total o parcialmente sobre las formaciones boscosas, debido al cambio de uso de suelo y las actividades humanas (agrícola, ganadero y otros) por la demanda de consumos alimenticios y la urbanización (Poma, 2019). Es el resultado de las actividades socioeconómicas que se desarrollan sobre una cobertura (Ramos *et al.*, 2016).

La RAE representa 1,6% de los 601.220.100 ha de cobertura boscosa en la cuenca Amazónica pero la deforestación entre el período 2010-2015 representó 2% de la deforestación en la cuenca, por lo que Ecuador perdió de bosques Amazónicos originales 12,6% (1.212.000 ha) de los 9.607.300 ha (Borja, Aragón y Josse, 2017). En Ecuador, las áreas deforestadas se utilizan como áreas agropecuarias (99,4%), infraestructura (0,23%) y otros (0,37%) (Sierra, 2013).

2.2.6. Sistemas de información geográfica

Son un conjunto de herramientas que relacionan e integran componentes: hardware, software, usuarios, procesos, etc. que permiten la manipulación, almacenamiento, análisis y modelamiento de una extensa información procedentes del mundo real y que se encuentran vinculadas mediante georreferenciación permitiendo la incorporación de diversos aspectos: sociales, culturales, económicos y ambientales de manera sencilla para tomar eficientemente decisiones (Saltos, Rodríguez, Vázquez, Castro, Nieto, 2017).

2.2.7. Sensores remotos

Son aquellos que reúnen información de la zona de estudio que están físicamente alejados del equipo sensor (satélites o aviones) que posteriormente serán analizados (FAO, 2009). Son capaces de percibir energía electromagnética conocida como teledetección y expresiones de los espectros electromagnéticos (la luz visible, emisión infrarroja y las microondas) que se desplazan a velocidades de 300.000 km por segundo (Campbell y Wynne, 2011).

En la RAE existen algunos casos de estudio donde se aplicó sensores remotos: en el área de deforestación (Borja, Aragón y Josse, 2017), reformas agrarias (Wasserstrom y Southgate, 2013), cambios de uso de suelo en paisajes agrícolas-forestales (Torres *et al.*, 2018), fragmentación de los bosques (Uyaguari, 2019), entre otros.

2.2.8. Imágenes Satelitales

Es la imagen resultante obtenida al capturar la radiación reflejada por la superficie de la Tierra a través de un sensor a bordo del satélite artificial, su resolución y nitidez depende de las condiciones meteorológicas al momento de realizar su toma (Sánchez, 2012).

2.2.9. Landsat

Es el sensor de mayor aplicación en estudios territoriales: agrícolas, forestales, usos de suelo, hidrología y monitoreo ambiental. Se lanzó el primer Landsat en 1972 y que a medida ha avanzado los años han diseñado varias series de Landsat (Tabla 1): 1, 2, 3, 4, 5, 6,7 y 8 (Fernández y Herrera, 2001). La frecuencia con que obtiene las imágenes de una determinada área es cada 16 días (Campbell y Wynne, 2011). Posee tres tipos de resoluciones:

- **Resolución temporal:** Es importante las altas resoluciones temporales en el monitoreo de eventos multitemporales de cortos periodos (Inundaciones, incendios, calidad de agua, cultivos, etc.). Media resolución (cada 16 días) y baja resolución
- **Resolución espacial:** Es el detalle mínimo visible de una imagen, mientras menor sea el área terrestre (un píxel), los detalles captados en la imagen satelital serán mayor (Martínez y Martín, 2010).
- **Resolución Radiométrica:** Es el número de niveles digitales recopilados por el sensor, que expresan el grado de detalle de la imagen en dos aspectos: a) Pocos niveles digitales, la imagen aparece en blanco y negro y b) muchos niveles

digitales, la imagen tiene mayor detalle que visualiza elementos (calles, puentes, ciudades, etc.), aparece como escalas grises de diferente tonalidad y el espectro visible RGB (Red, Blue y Green) (Campbell y Wynne, 2011).

Tabla 1. Resolución temporal de las series Landsat

Satélite Landsat	Días
1-3	18
4-6	16
7	16

Fuente: Fernández y Herrero (2001)

Elaborado por: Autor

2.2.10. Landsat 7

Es un satélite que fue lanzado en 1999 y que posee un sensor denominado ETM (Enhanced Thematic Mapper), diseñada para la cartografía temática que proporciona información de mayor resolución. Se encuentra a 705 km de altitud y tiene un período de 16 días (Tabla 2) (Córdoba, Puentes y Otero, 2006).

Tabla 2. Resolución espacial por bandas

Número de Bandas	Rango espectral (μ)	Zona espectro	Resolución en el terreno (m)
1	0,45 – 0,515|	Visible – azul	30
2	0,525 – 0,605	Visible – verde	30
3	0,63 – 0,690	Visible – rojo	30
4	0,75 – 0,90	Infrarrojo próximo (visible)	30
5	1,55 – 1,75	Infrarrojo lejano	30
6	10,40 – 12,5	Térmico lejano	60
7	2,09 – 2,35	Térmico próximo	30
Pancromático	0,52 – 0,90	Prácticamente todo el visible	15

Fuente: Fernández y Herrero (2001)

Elaborado por: Autor

2.2.11. Landsat 8

A diferencia del Landsat 7, este posee dos nuevos instrumentos: Operational Land Image (OLI), que recopila datos en visible infrarrojo cercano y corto; longitud de onda infrarroja y banda pancromática. Y sensor infrarrojo térmico que en sus siglas en inglés (TIRS) (Dev y Yang, 2015). Una característica de esta plataforma es que posee una banda de calidad denominada BQA, que es una banda de datos adicionales de gran importancia debido a que cada píxel posee un valor decimal e información de la máscara de nubes para la escena (Tabla 3) (Ariza, 2013).

Tabla 3. Características de las bandas de Landsat 8

Landsat 8 Sensores	Bandas	Nombre de Bandas	Rango espectral (μ)	Resolución	Aplicación
Operational Land Image (OLI)	1	Costero/aerosol	0,433-0,353	30	Estudios costeros y aerosoles.
	2	Azul	0,450-0,515	30	Distingue el suelo de la vegetación y caducifolio de coníferas de vegetación.
	3	Verde	0,525-0,600	30	Evalúa el vigor de la vegetación.
	4 4	Rojo	0,630-0,680	30	Discrimina la pendiente de vegetación.
	5 5	Infrarrojo cercano (NIR)	0,845-0.885	30	Destaca el contenido de biomasa.
	6 6	Onda corta Infrarroja (SWIR)	1,560-1,660	30	Penetra nubes delgadas y discrimina humedad del suelo y vegetación.
	7 7	Onda corta Infrarroja (SWIR)	2,100-2,300	30	Mejora el contenido de humedad de suelo y vegetación.
	8	Pancromático	0,500-0,680	15	Imagen más nítida.
	9 9	Cirro	1,360-1,390	30	Detección mejorada de la contaminación de las nubes.
Thermal Infrared Sensor (TIRS)	10	Onda larga Infrarroja (LWIR)	10,30-11,30	100*	Mapeo térmico y humedad estimada del suelo.
	11	Onda larga Infrarroja (LWIR)	11,50-12,50		Estimación de humedad de suelo.
	BQA	Calidad de evaluación			Evaluación de calidad para cada píxel.

Fuente: Dev y Yang (2015)
Elaborado por: Autor

2.2.12. Combinación de bandas

Es la combinación de rango espectral que posee cada banda de la imagen satelital que permite resaltar las características de la zona de interés (Columba, Quisilema, Padilla, Toulkeridis, 2016). Para resaltar por ejemplo la vegetación de una imagen satelital se debe realizar la combinación Infrarroja de bandas 5 4 3 (Landsat 8) o 4 2 1 (Landsat 7).

2.2.13. Clasificación No Supervisada

Es una herramienta de Clustering (agrupamiento), que permite realizar sub-agrupaciones denominados Clusters (racimos) dentro de un grupo, que clasifica los elementos de este grupo basándose en la similitud entre ellos (Vásquez, Peláez y Ochoa, 2013).

2.2.14. Índice Normalizado de Variación de la Vegetación (NDVI)

Es un índice no dimensional que permite medir la relación entre la energía absorbida y emitida de objetos terrestres que, aplicada a un grupo de plantas, arrojan valores de

intensidad del verdor y la cantidad de vegetación presente en la zona y su estado vegetativo que van de -1 (no bosque) a +1 (bosque) (Meneses, 2011).

2.2.15. Ráster

Es el conjunto de píxeles organizados en filas y columnas que conforman a una imagen que contienen valores por cada píxel (Vásquez, 2018).

2.2.16. Ráster Calculator

Herramienta que construye y ejecuta expresiones algebraicas de mapas utilizando la sintaxis de Python en una interfaz similar a una calculadora (Gil, 2019).

2.2.17. Tabulación cruzada (Crosstab)

Es la comparación cualitativa entre dos imagenes mediante el cruzamiento de variables. Es decir, cada imagen resultante contiene valores únicos por cada combinación lo que permitirá relacionarse entre sí, obteniendo como resultado la tabulación cuantitativa que contiene la disposición espacial y distribución de los grupos en relación con la imagen modelo (Ojeda y Soto, 2018). Se utilizó en algunos estudios como: Monitoreo y pronóstico de intensidad de isla de color en la ciudad de Babol, Irán (Firozjaei, Kiavarz, Alavipanah, Lakes, Qureshi, 2018). Se aplicó en otro caso de estudio sobre detección de crecimiento y expansión urbana en la ciudad de Dubai (Aldogom, Aburaed, Saad, Mansoori, Shamsi, Maazmi, 2019).

2.2.18. PCI Geomatica

Es un software que procesa imágenes satelitales de todas las plataformas aeroespaciales; posee dos niveles: Geomatica core (Clasificar imágenes satelitales) y Geomatica prime (Funciones analíticas de geoprocesamiento). Es compatible con el software ARCGIS (Carbonnel y Quijada, 2018). Se realizó un estudio multitemporal implementando este programa en una cuenca tropical en el sureste de la Amazonía (Souza, Nascimento, Santos, Weber, Silva, Siqueira, 2018). Se aplicó en otro estudio al Noroeste de Ontario, Canadá sobre desarrollo fenológico del cultivo (Canisius, Shang, Liu, Huang, Ma, Jiao, Geng, Kovacs, Walters, 2018).

2.2.19. ARCGIS

Es un software que recopila, organiza, administra, analiza, comparte y distribuye información geográfica, utilizado por personas de sectores públicos, empresas, educación, ciencia y los medios para publicar información geográfica accesible para otros usuarios (Asghari, Mohammadi, Dehghani, Yousefi, 2018).

CAPÍTULO III.
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. LOCALIZACIÓN

La zona de estudio fue en el bloque ITT (Ishpingo, Tambococha y Tiputini) también llamado Bloque 43 (*Figura 3*), está ubicado en el cantón Aguarico Provincia de Orellana, tiene un área de 179.449,53 ha. Los campos Ishpingo y Tambococha se encuentran dentro del PNY, mientras que Tiputini está fuera de él; los límites del Bloque ITT son: 1) Norte, la Reserva de Producción de Fauna Cuyabeno, 2) Sur, la ZITT, 3) Este, los límites con Perú, y 4) Oeste, el PNY (*Figura 3*) (Cabrera y Calva, 2019).

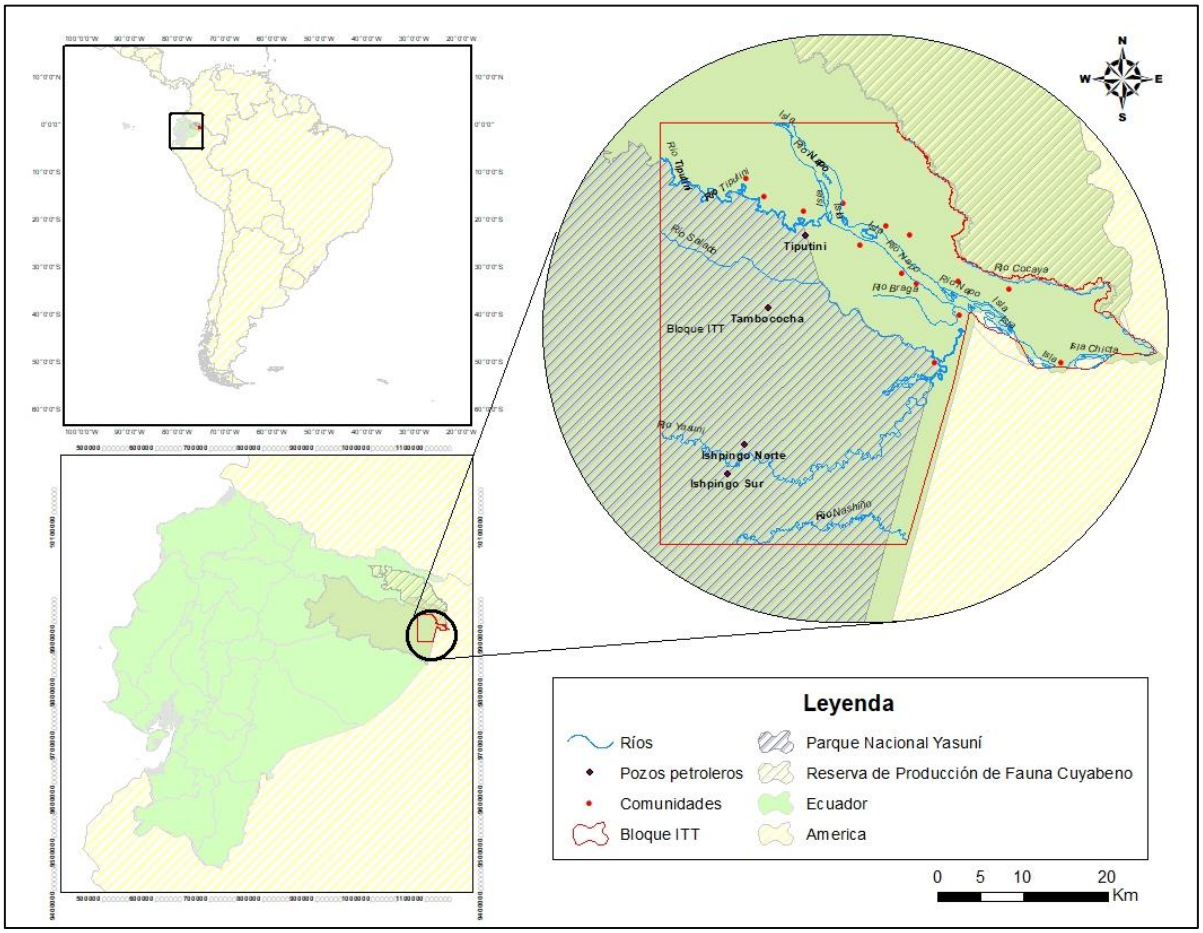


Figura 3. Zona de estudio: Reserva de Biosfera Yasuní, Amazonía Ecuatoriana.
Fuente: Elaboración propia, Shape: MAE-SHE-MTOP (2016).

Presenta llanuras y planicies de pendiente plana cubiertas de sedimentos de origen fluvial, lacustre, así como colinas medianas, terrazas altas y nivel fluvial bajo que a su vez pertenece a la cuenca baja del río Napo y sus subcuencas por lo que el cantón permanece inundado en épocas de lluvia y los ecosistemas que existen son: a) Bosque Siempreverde

de Tierras bajas del Aguarico-Putumayo-Caquetá, b) Bosque inundado de palmas de la llanura aluvial de la Amazonía (Pantano), c) Bosque inundable de la llanura aluvial de los ríos de origen andino y de Cordilleras Amazónicas, d) Bosque inundable de la llanura aluvial de los ríos de origen amazónico y e) Herbazal inundado lacustre-ripario de la llanura aluvial de la Amazonía (MAE, 2013b). Su clima es muy húmeda tropical de la Amazonía ecuatoriana comprendida entre altitudes de 65 a 600 msnm, con temperaturas cálidas promedios anuales entre 24°C y 27°C con altas precipitaciones anuales mayores de 3.200 mm hasta 6.315mm y alta humedad relativa anual entre 80-94% (Bass et al., 2010). De acuerdo con la clasificación del USDA (United States Department of Agriculture), determina la existencia de las siguientes unidades del suelo: Entisol presenta un área 60.857,8 ha (5%), Base Wn 14.918% (1%) e Inceptisol 11.042,002 ha (93%) (SNI, 2014). La población del cantón Aguarico es de 4.847 habitantes (7,1%) de los 136.396 habitantes que hay en la provincia de Orellana y las viviendas son 3.044 (INEC, 2010).

3.1.1. Formaciones vegetales

Comprenden el bosque Húmedo tropical y posee los siguientes ecosistemas:

a) Bosque Siempreverde de Tierras bajas del Aguarico-Putumayo-Caquetá

Se localiza en la provincia de Orellana (Norte) y Sucumbios (Sur): cuenca de los ríos Cuyabeno y Güeppi, Lagartococha, Alta Florencia, Santa Teresita, Zancudo-Cocha, Zábalo. Se caracteriza por tener más de 200 especies de árboles con un diámetro superior a 10 cm en una ha, bosques altos de dosel cerrado de 25 a 35 m y los emergentes mayor de 40 m (Guevara, Pitman, Cerón, Rivas, Beltrán, Castro, 2013).

b) Bosque inundado de palmas de la llanura aluvial de la Amazonía (Pantano)

Se encuentra en la provincia de Orellana: sector oriental del Parque Nacional Yasuní, interfluvio entre el río Napo y Aguarico. Se caracteriza por tener bosques inundados por ríos o sistemas lacustres de aguas negras cuya vegetación permanece sumergida gran parte del año, el dosel del bosque alcanza los 30 m de altura y posee un sotobosque denso (Cerón, Palacios, Guevara, Aguirre, Encarnación, Josee, 2013).

c) Bosque inundable de la llanura aluvial de los ríos de origen andino y de Cordilleras Amazónicas

Bosque multiestratificado semiabierto a densas y medias a altas que se encuentra entre 164-350 m.s.n.m. Su diversidad es baja comparando con el ecosistema de tierra firme. La estructura del bosque es abundante de 400 a 600 individuos por hectárea y su área basal promedio esta entre los 20 a 35,5 m^2. Se encuentra en terrazas bajas cercanas a las orillas y aquellas alejadas que puedan sufrir inundaciones esporádicas que duran días o semanas. Las familias predominantes son: Arecaceae, Moraceae, Fabaceae, Rbuiaceae, Meliaceae y Euphorbiaceae (Guevara *et al.*, 2013).

d) Bosque inundable de la llanura aluvial de los ríos de origen amazónico

Se encuentra en terrazas aluviales de los ríos Yasuní, Tiputini, Cononaco, Shiripuno, Tigüino, Dicaro, en la cuenca del Curaray y Pastaza, río Braga en las cercanías a Alta Florencia, Nuevo Rocafuerte a una altitud de 158-350 m.s.n.m. (tierras bajas). Son complejos de bosque medios a altos, semiabiertos a densos con una estructura vertical de 3 a 4 estratos definidos (Guevara *et al*., 2013).

e) Herbazal inundado lacustre-ripario de la llanura aluvial de la Amazonía

Se localiza en la Amazonía Noroccidental en los sectores: Aguarico, Putumayo-Caquetá, Napo-Curaray, Tigre-Pastaza, en las lagunas del Kawimeno, Limoncocha, Lagartococha, Imuya, Cuyabeno, Garzacocha, Pañacocha, Jatun Cocha, Garzayacu a una altitud de 171-350 m.s.n.m. Se caracteriza por tener comunidades vegetales inundadas por hierbas dicotiledóneas, gramíneas y ciperáceas que forman pantanos emergentes y flotantes denominados localmente gramalotes (Cerón *et al*., 2013).

3.1.2. Fauna

El Bloque ITT se superpone en el paisaje de dos áreas protegidas: PNY y la Reserva de producción Faunística Cuyabeno (RPFC) presenta abundante biodiversidad: Mamíferos, individuos (197) con número de especies (31) que representa en porcentaje de especies registradas en el piso tropical Oriental (191sp) un 16,23%. Las especies representativas son: *Saimiri sciureus* (mono amarillo); *Dasyprocta fuliginosa* (Agutí negro); *Myoprocta pratti* (Guatín verde). En Aves, se identifican 25 familias pertenecientes a 13 órdenes; lo que representa en especies registradas en la Amazonía (700) un 6% y el 2,59% de especies continentales del Ecuador. Las especies que abundan: *Cacicus cela* (Cacique

lomiamarillo); *Crotophaga ani* (Garrapatero ani); *Cyanocorax violaceus* (El colluelo), etc. En reptiles, se registran 4 especies (3,08%); en anfibios, se registran 17 especies (11,11%) e insectos, se registran 181 individuos, familias (18) y órdenes (10). El orden más numeroso es: Orthoptero (8*sp*) y Coleóptera (6*sp*) (Bass *et al*., 2010).

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de Investigación de este proyecto es exploratoria porque se implementó herramientas y programas de Información Geográfica respectivamente de la zona de estudio. Es experimental porque se trabajó con la variable de imágenes satelitales que se analizaron los cambios de uso del suelo realizados en el Bloque ITT.

3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

Para el cumplimiento de los objetivos específicos se detalla a continuación el proceso metodológico de manera individual:

Para el cumplimiento del objetivo 1: Clasificar las imágenes en los periodos del 2001, 2014 y 2017. Objetivo 2: Identificar los tipos de cobertura del suelo en cada una de las zonas y Objetivo 3: Cuantificar los cambios de uso del suelo en el Bloque ITT de la Amazonía. Se realizó las actividades del Diagrama de flujo del procesamiento de imágenes satelitales para las tres épocas (Figura 4).

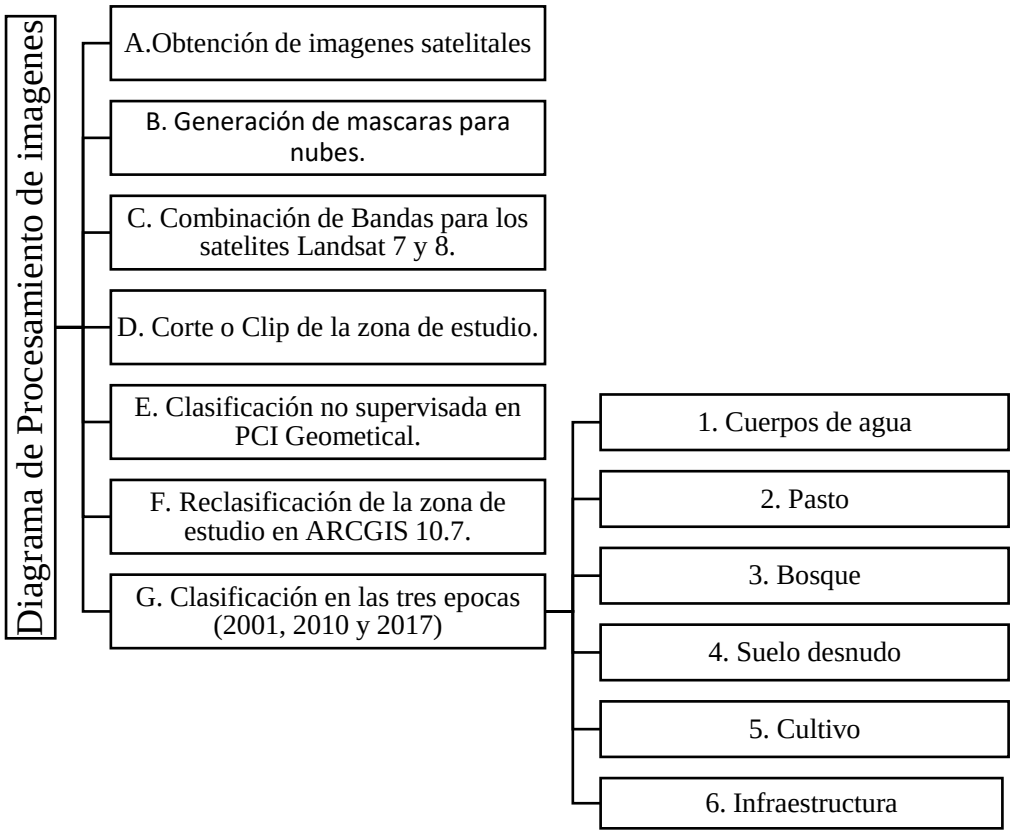


Figura 4. Diagrama de flujo del procesamiento de imágenes satelitales para las tres épocas.
Fuente: Elaboración propia

3.3.1. Objetivo 1: Clasificar las imágenes en los periodos del 2001, 2014 y 2017.

A. Obtención de Imágenes Satelitales

Para el análisis de cambios de uso de suelo en los años 2001, 2014 y 2017 se utilizaron las imágenes satelitales: para el año 2001 se usó Landsat 7, para los años 2014 y 2017 se usó Landsat 8 con resolución espacial de (30x30 m) con porcentaje de nubes menores del 30%, las cuales, se descargaron de la plataforma United States Geological Survey (USGS) en formato "ZIP". Este formato contiene todas las bandas de las imágenes para realizar las combinaciones de bandas.

Las imágenes descargadas son del tipo "L1T", es decir, poseen correcciones geométricas basadas en puntos de control y modelos digitales del terreno (Damián, 2017), con sistema de coordenada UTM, sistema de referencia WGS-84 en la Zona 18 Sur. Las imágenes fueron procesadas mediante la aplicación de PCI Geomatical y ARCGIS 10.7.

Las imágenes satelitales de Landsat 8 del período 2018 y 2019 presentaron gran porcentaje de nubes en la zona de estudio. Al realizar capas de nubes de la imagen del

2019, se visualizó un corte en toda la parte norte de la zona de interés, esto no permitió realizar un análisis completo de la imagen por lo que fue reemplazada por otra imagen de Landsat 8 del período 2017. Mientras que la plataforma satelital Landsat 7 presentó fallos en sus imágenes a partir del año 2002 que presentaron errores radiométricos y geométricos en los lados laterales de la imagen, se trabajó con la imagen de la última fecha del año 2001, debido que no presentaba los errores mencionados y tenía menor porcentaje de nubes en la zona de interés.

B. Generación de máscara de nubes de las imágenes satelitales de los diferentes períodos

Durante el análisis de la zona de estudio, las imágenes satelitales presentaron nubes, esto altera los resultados, por lo que se realizó máscaras de las nubes en las tres imágenes de los diferentes períodos, otorgando valores de 1 y 0 a las nubes y se crea un nuevo ráster para la combinación de bandas; con la finalidad de que las nubes sean consideradas un solo valor de píxel.

El procedimiento para la creación de máscaras de nubes (Columba *et al*., 2016):

P1. Con la ayuda del programa ARCGIS 10.7, se agregaron las bandas (2, 3, 4, 5, 6 y 7) de la imagen satelital Landsat 8 del período 2017 (Ráster) y el shapefile (Vector) de la zona de estudio (Bloque ITT) con el objeto de ubicar la zona de interés en el ráster generado.

P2. En caso de que exista la presencia de nubes, se debe realizar una máscara de nubes (Mask Cloud) del periodo a trabajar. Se agregó la banda BQA (Banda de evaluación o control de calidad) que posee el valor decimal de píxeles de las nubes.

P3. Se activó la herramienta analítica *Ráster Calculator* para ejecutar la condición *CON* (controla el valor de salida para cada píxel basándose en si el valor de píxel se evalúa como verdadero o falso en una declaración condicional especifica) y se agregó la banda BQA con el propósito de cambiar los valores de píxel de las nubes en 0 y 1 con la siguiente expresión algebraica:

Ecuación 1. Ecuación de la Condicionante CON

CON (Banda BQA >= Valor decimal de la nube, 0, 1)

Esta expresión generó un nuevo ráster (Mascara de nubes) con los valores 0 y 1.

P4. Se utilizó el *Ráster Calculator* pero con la condición *FLOAT* (Convierte el valor de cada píxel del ráster en una representación de punto flotante) y la multiplicación de las dos bandas: la Banda 2 de la imagen satelital y Máscara de nubes, la expresión es la siguiente:

Ecuación 2. Ecuación de la condicionante FLOAT

FLOAT ("Banda 2 (Azul)" * "Mascara de nubes")

Se guardó este nuevo ráster en la misma ubicación de las otras bandas de Landsat8 del periodo con el nombre "Banda 2_nube" finalizando el proceso de generación de capa de nubes.

D. Proceso para cortar la zona de estudio (Bloque ITT) de las imágenes satelitales en PCI Geometics

Se realizó un corte de la zona de estudio de todas las bandas de la imagen satelital para las tres épocas con el objeto de reducir el tiempo de procesamiento de las imágenes al momento de clasificar en el programa PCI Geometics.

Procedimiento para el corte de la zona de estudio en todas las bandas de las imágenes satelitales de los tres períodos (Columba et al., 2016):

P1. Se ejecutó el programa PCI Geomatics en su versión Trial (https://www.pcigeomatics.com/resources/more-resources/downloads) para generar un meta base en formato *PIX* agregando las bandas de la imagen del período a trabajar en el panel de capas.

P2. Se seleccionó desde la barra de menú la opción File que se despliega una lista donde se escogió la opción *Utility* y luego la opción *Import to PCIDSK*. Se abrió una ventana que da las opciones de seleccionar el archivo a importar y el destino a guardar ese archivo. En este caso se seleccionó la banda 2 (azul) de la imagen Landsat 8 y se lo guardó en la misma ubicación de las bandas trabajadas.

P3. Se realizó nuevamente el mismo proceso, pero en vez de seleccionar la opción *import to PCIDSK*, se seleccionó *Transfer layers*, esta opción permite transferir capas de un archivo a otro. En este caso se seleccionó todas las bandas de utilidad para el análisis, incluido el nuevo ráster generado en el programa ARCGIS ("Banda 2_nube") y se escogió la opción *transfer*.

P4. Luego de culminar la transferencia de capas a la nueva meta base en formato PIX, se seleccionó la opción *File* de la barra de menú y *open*, para abrir la nueva meta base generada en el anterior proceso.

P5. Se realizó el corte de las imágenes satélites para la zona de estudio mediante la opción (*Clipping/Subsetting*) en el menú *Tools*, que abrió una ventana solicitando el meta base a realizar esta acción, en este caso se escogió el archivo generado en P2. Luego se seleccionó el método de corte y se escoge *Selection to Clip Layer*. Se insertó el shapefile del área de interes (Bloque ITT). Por último, se escogió el destino a guardar este corte con las bandas y *Clip*, se generó un nuevo meta base denominado "L8_ITT_2017.pix".

E. Proceso de Clasificación no Supervisada en PCI Geomatics.

Según, Columba *et al*., (2016) los procesos son los siguientes:

P1. Se abrió el nuevo archivo generado en el proceso anterior (L8_ITT_2017.pix) con las bandas recortadas de la zona de estudio.

P2. Se creó un nuevo ráster dentro de la base "L8_ITT_2017.pix" con formato 32 bits real time.

P3. Al generase este nuevo ráster denominado "CNSITT2017", se realizó la clasificación no supervisada desde la opción de *Analysis, Image Clasification y unsupervised.*

P4. Se abrió una nueva ventana que solicita la cantidad de clases y un máximo de clasificadores, en este proyecto se aplica 24 clases con un máximo de 24 clasificadores considerando que por cada cuatro pixeles presentan valores digitales semejantes y multiplicando por las seis clases predefinidas para esta área.

P5. Luego se solicita la selección de bandas a combinar y la banda a clasificar, en este caso se utilizó las bandas: B2_nubes (capa de las nubes), Banda 5 y Banda 7 y para la clasificación se usa "CNSITT2017" y *aceptar.*

P5. Se generó la clasificación no supervisada en el ráster "CNSITT2017", que se exporta en otro PCIDSK (Archivo de base de datos PCI Geomatics) mediante clic derecho sobre el ráster clasificado y *save/export*.

P6. Se guardó en un nuevo PCIDSK denominado CNSITT2017.pix con la transferencia de la banda o ráster "CNSITT2017.Tiff".

3.3.2. Objetivo 2: Identificar los tipos de cobertura del suelo en cada una de las zonas

F. Proceso para la reclasificación de la zona de estudio:

Obtenido el archivo ráster de las tres épocas, se identifica seis categorías: 1) cuerpos de agua; 2) pasto; 3) bosque; 4) suelo desnudo; 5) cultivo y 6) infraestructura (Columba *et al*., 2016).

1) Cuerpos de agua: Se categorizó por la presencia de la cuenca del río Napo y las subcuencas (Aguarico, Nashiño, Yasuní, Tiputini y Cononaco) en el cantón Aguarico que se localiza el río Tiputini en la zona de estudio (PDOTCA, 2015).
2) Pasto: Se definió esta clase debido al uso y cobertura del suelo que presenta el Cantón Aguarico (PDOTCA, 2015).
3) Bosque: Se presenció cobertura boscosa en las imágenes satelitales y porque la zona presenta algunos ecosistemas.
4) Suelo desnudo: Se asignó esta clase a los caminos, zonas de no bosque y formaciones rocosas.
5) Cultivo: Se categorizó debido al uso del suelo que presenta el cantón Aguarico.
6) Infraestructura: Se definió esta clase a todo lo que es edificios, viviendas, plataformas y pozos petroleros.

G. Procedimiento de la reclasificación del ITT de las épocas 2001, 2014 y 2017.

Según, Columba *et al*., (2016) los procesos a realizar son:

P1. Se abrió el programa ARCGIS 10.7 para la reclasificación del nuevo archivo PIX. Para esto se agrega el archivo CNSITT2017.pix.

P2. Para la reclasificación del archivo ráster se ejecutó el *reclassify* (*ArcToolbox / Spatial Analyst Tools / Reclass).* Se abrió una nueva ventana que solicita el ráster a aplicar la acción, luego se habilita la opción *Classify* para escoger varias opciones de clasificación y el número de clases. En este proyecto se utilizó *equal interval* con número de clases seis. Se aceptó todo y se ejecutó la herramienta.

P3. Se generó un nuevo ráster reclasificado que se modifica los colores por cada clase (Gridcode) dependiendo de las clases propuestas para el análisis de este proyecto.

P4. Realizado la clasificación, se ejecutó la herramienta *Ráster to Polygon (ArcTollbox / Conversion Tools / From Ráster)*, esto permite transformar el Ráster generado por la reclasificación en un polígono (Vector) para realizar el cálculo de área.

P5. Generado el polígono de la zona de estudio clasificada, se calculó el área, para esto se abrió tabla de atributos del polígono y en la nueva ventana que aparece, se escogió la opción *Add Field* que creó una nueva columna configurada previamente para realizar el cálculo de sus áreas en unidades de hectáreas (ha). Posterior a esto se dio clic derecho sobre la nueva columna y se seleccionó la opción *Calculate Geometry* para obtener las áreas en ha.

P6. Se eliminó los polígonos de menor área porque son pixeles o errores de la imagen ráster y también porque no son visibles en el mapa y pueden alterar en el análisis de los resultados. En este proyecto se eliminó polígonos de áreas menores a 2 ha mediante la herramienta *Eliminate* (*ArcToolbox / Data Managent Tools / Generalization).*

P7. Se generó un nuevo polígono con las áreas menores a 2 ha eliminadas, por tanto se abre sus propiedades y en *Symbology* se escogió en el panel de *show/Categories* y en *Value field,* se seleccionó "Gridcode" y se agregó todos los valores (*Add all values*). Se generó una lista de las clases y colores.

P8. Como se generó una extensa clasificación entre las seis clases en el P3, se ejecutó la herramienta *Disolve* para reclasificar estos pixeles por su *gridcode*.

P9. Para realizar la acción de *Disolve* se debe realizar algunos pasos previamente: 1) Como se realizó la clasificación, se abrió tabla de atributos del último polígono generado y se agregó otra columna de nombre Disolve; 2) Se seleccionó por atributo, en este caso se escogió los Gridcode del mismo color mediante la expresión (Gridcode = el valor del Gridcode de la clase) o si había más clases con el mismo color se agregaban la condición "OR" como en esta expresión (Gridcode = valor del Gridcode de la clase OR Gridcode= valor del Gridcode de otra clase OR… y la cantidad de gridcode que pertenezcan a la misma clase); 3) En la tabla de atributos se da clic derecho sobre la columna Disolve y se seleccionó la opción *Field Calculator* que aparece una ventana con un espacio de texto al final que solicita el valor de esta clase. En este proyecto son seis clases por lo que se dio valores del 1 al 6 los Gridcode a ser analizados y los no clasificados (No data) se da valores de 0; 4). Culminado el paso anterior se ejecutó la herramienta *Disolve* (*ArcToolbox / Data Managent Tools / Generalization)* generando un nuevo polígono,

pero en esta ocasión con seis clases en la tabla de atributos por lo que se realizó nuevamente el cálculo de áreas y la modificación de los colores respecto a cada clase.

Todos estos procedimientos se aplicaron para todas las imágenes satelitales de los tres períodos de la zona de estudio.

3.3.3. Objetivo 3: Cuantificar los cambios de uso del suelo en el Bloque ITT de la Amazonía

3.3.3.1. Tabulación cruzada (Crosstab)

Se aplicó esta metodología para calcular la diferencia entre las clases de las diferentes épocas. Es decir, se calculó la pérdida o aumento de área en hectáreas de cada clase con el paso de los años mediante el programa ARCGIS 10.7 con la herramienta *Tabulate Area (ArcToolbox/ Spatial Analyst Tools/ Zonal)*. Que automáticamente generó una matriz de las áreas de cada clase en hectáreas de las tres épocas (Columba *et al*., 2016).

3.3.3.2. Estimación de la tasa promedio anual de deforestación (TMAD)

Para el cálculo del promedio anual de la perdida de la superficie del bosque entre dos épocas determinadas se aplica la tasa promedio anual de deforestación (Ecuación 3) con unidades de medida: hectárea sobre año (ha/año) (SIAT-AC, 2015).

Ecuación del TMAD

Ecuación 3. Ecuación de la tasa promedio anual de deforestación

$$TMAD_{jt1-t2} = \frac{(AB_{jt1} - AB_{jt2})}{n}$$

Donde,

t1 es el año inicial y t2 es el año final.

$TMAD_{jt1\text{-}jt2}$, es la tasa promedio anual de deforestación y j es el momento (t1 y t2).

AB_{jt1}, es la superficie cubierta por bosque de la primera época.

AB_{jt2}, es la superficie cubierta por bosque de la segunda época.

n, es la diferencia de años entre ambas épocas.

La tasa de deforestación en este análisis:

3.3.3.2. Estimación de la tasa de cambio de la cobertura y uso de la tierra

El cálculo de la tasa de cambio de la cobertura y uso de la tierra se realizó mediante la aplicación de la ecuación propuesta por Puyravaud (2003), implementado por Sucoshañay y Corral, (2016).

Ecuación 4. Ecuación de la tasa de cambio y uso de la tierra

$$r = \frac{1}{(t_2 - t_1)} * ln\frac{A2}{A1} * (100)$$

Donde,

r, es la tasa de cambio anual de cobertura uso de la tierra.

A1, es el área del uso de la tierra del primer período.

A2, es el área del uso de la tierra del período final.

T1, período inicial.

T2, período final.

3.3.4. Objetivo 4: Caracterizar los factores asociados al cambio de uso de suelo del Bloque ITT

Se analizó la relación histórica entre los períodos (2001 – 2017), mediante revisión bibliográfica, donde se estudia aquellos aspectos biofísicos, demográficos, socioeconómicos, políticos, ambientales que han incidido directa o indirectamente en el tiempo al Bloque ITT (Paula, Zambrano y Paula, 2018).

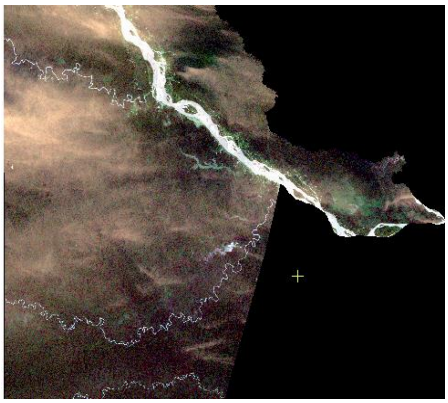
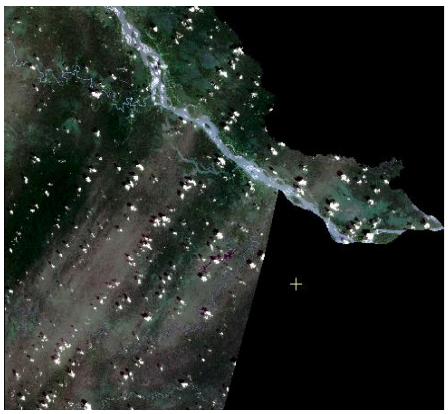
CAPITULO IV.
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se muestran los resultados de los análisis de las imágenes satelitales Landsat 7 y Landsat 8 para determinar los cambios de uso de suelo en el Bloque ITT (Reserva de Biosfera Yasuní) de la Amazonía ecuatoriana para los años 2001, 2014 y 2017.

4.1. Objetivo 1: Clasificar las imágenes en los periodos del 2001, 2014 y 2017

Se obtuvo las imágenes satelitales en los periodos 2001, 2014 y 2017, se visualizan en la Tabla 4.

Tabla 4. Imágenes Satelitales de la plataforma Landsat 7 y 8 de la zona de estudio (Bloque ITT)

Imagen Satelital Landsat 7 del año 2001/01/05

Imagenes Satelitales Landsat 8 de los períodos 2014/12/03 y 2017/12/11


Fuente: USGS (2019)

A. Clasificación no supervisada del ITT

La clasificación de las imágenes fue de carácter no supervisado, debido que la zona de estudio está militarizada y es prohibido sobrevolar aeronaves y drones. Se realizó la clasificación no supervisada con la herramienta PCI Geomatics debido a la recomendación del estudio realizado por Melo (2017), comparando el rendimiento de procesamiento y clasificación de imágenes entre QGIS y PCI Geomatica, que este último resultó ser mejor en tiempo de ejecución, tiempo de carga de imágenes, visualización, tiempo de procesos intermedios, etc. Se concluyó que es más rápido y eficiente, así como el proceso de clasificación en comparación con QGIS. En otro estudio multitemporal (Columba *et al*., 2016) sobre zonas de recurrencia de incendios que se realizó en el Distrito Metropolitano de Quito, del mismo modo recomendaron la aplicación de esta metodología para el tratamiento de imágenes satelitales que es de importancia para el análisis de estas y se debe realizar las correcciones geométricas y radiométricas de la imagen previamente. Posteriormente aplicaron clasificación no supervisada para la respectiva digitalización.

1. Pre-Clasificación no supervisada del ITT del año 2001

A partir de combinación de bandas (2, 5, 6) se realizó la clasificación no supervisada donde se evidenció que la categoría 1 tiene 1.208.527 pixeles lo que equivale a 37,74%, la categoría 2 tiene 1.648.690 pixeles (51,48%) y la categoría 3 tiene 275.615 pixeles (8,61) (Figura 5)

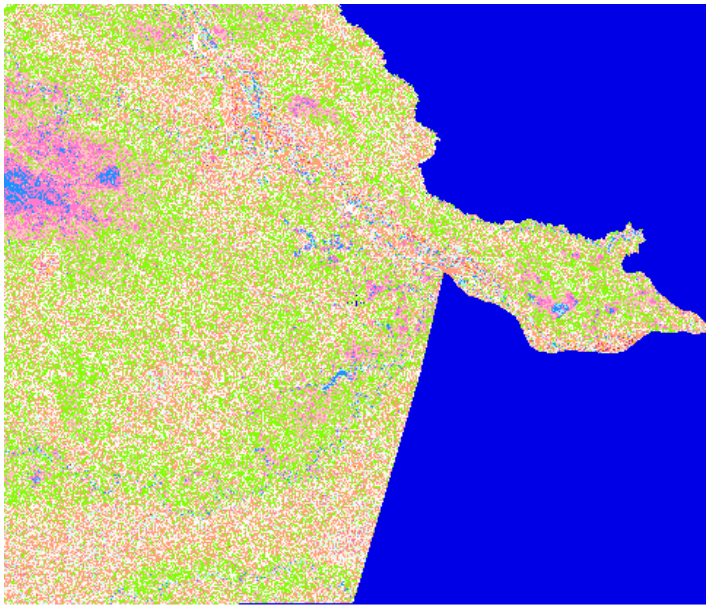


Figura 5. Clasificación no supervisada del ITT del año 2001 en PCI Geomátics
Fuente: Elaboración propia, Shape: MAE-SHE-MTOP (2016)

La categoría 4 tiene una acumulación de 57.896 pixeles equivalentes a 1,81%, la categoría 5 tiene 11.293 pixeles (0,35%) y la categoría 6 tiene 337 pixeles (0,01%) (Tabla 5).

Tabla 5. Información de la clasificación no supervisada en PCI Geomatics del año 2001

Categoría	Cantidad de Pixeles	% Pixeles
1	1.208.527	37,74
2	1.648.690	51,48
3	275.615	8,61
4	57.896	1,81
5	11.293	0,35
6	337	0,01
Total	3.202.358	100%

Fuente: elaboración propia

2. Clasificación no supervisada del ITT del año 2014

A partir de combinación de bandas (2, 5, 6) se realizó la clasificación no supervisada donde se evidenció que la categoría 1 tiene 1.208.527 pixeles lo que equivale a 37,74%, la categoría 2 tiene 1.318.273 pixeles (41,17%) y la categoría 3 tiene 6.473 pixeles (0,20%) (Figura 6).

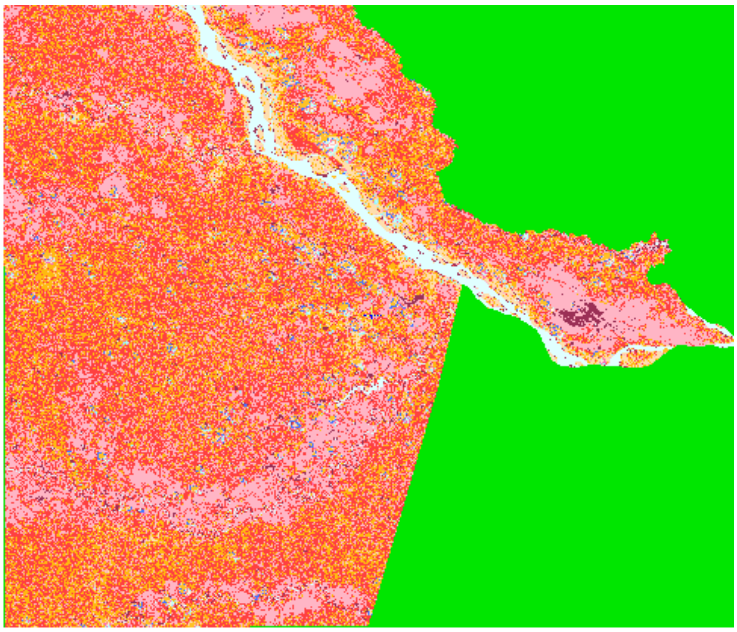


Figura 6. Clasificación no supervisada del ITT del año 2014 en PCI Geomatics
Fuente: Elaboración propia, Shape: MAE-SHE-MTOP (2016)

La categoría 4 tiene una acumulación de 590.469 pixeles equivalentes a 18,44%, la categoría 5 tiene 78.382 pixeles (2,45%) y la categoría 6 tiene 234 pixeles (0,01%)(Tabla 6).

Tabla 6. Información de la clasificación no supervisada en PCI Geomatics del año 2014

Categoría	Cantidad de Pixeles	% Pixeles
1	1.208.527	37,74
2	1.318.273	41,17
3	6.473	0,20
4	590.469	18,44
5	78.382	2,45
6	234	0,01
Total	3.202.358	100

Fuente: elaboración propia

3. Clasificación no supervisada del ITT del año 2017

A partir de combinación de bandas (2, 5, 6) se realizó la clasificación algorítmica no supervisada donde se evidenció que la categoría 1 tiene 1.208.527 pixeles lo que equivale a 37,74%, la categoría 2 tiene 526.605 pixeles (16,44%) y la categoría 3 tiene 1.340.573 pixeles (41,86%) (Figura *7*).

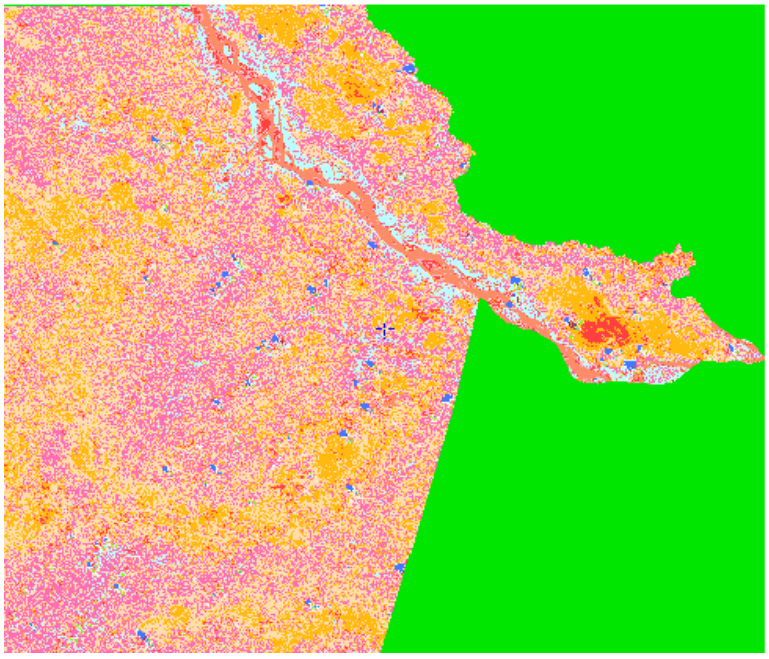


Figura 7. Clasificación no supervisada del ITT del año 2017 en PCI Geomatics
Fuente: Elaboración propia, Shape: MAE-SHE-MTOP (2016)

La categoría 4 tiene una acumulación de 120.889 pixeles equivalentes a 3,77%, la categoría 5 tiene 5.240 pixeles (0,16%) y la categoría 6 tiene 524 pixeles (0,02%) (Tabla 7).

Tabla 7. Información de la clasificación no supervisada en PCI Geomatics del año 2017

Categoría	Cantidad de Pixeles	% Pixeles
1	1.208.527	37,74
2	526.605	16,44
3	1.340.573	41,86
4	120.889	3,77
5	5.240	0,16
6	524	0,02
Total	3202358	100

Fuente: Elaboración propia

4.2. Objetivo 2: Identificar los tipos de cobertura del suelo en cada una de las zonas

Para el análisis de cambios de uso de suelo se identificó seis clases: 1) cuerpos de agua; 2) pasto; 3) bosque; 4) suelo desnudo; 5) Cultivo y 6) infraestructura. A continuación se realizó una descripción cualitativa de las tres imágenes clasificadas.

A. Clasificación del ITT del año 2001

La clasificación del período 2001, la clase bosque presentó mayor cantidad de pixeles, seguido de las clases pasto y cuerpos de agua y los de menor cantidad de pixeles fue las clases cultivo, suelo e infraestructura. Se visualizó infraestructura en los alrededores de la clase cuerpo hídrico y gran cobertura boscosa en el Bloque ITT (**Error! Reference source not found.**).

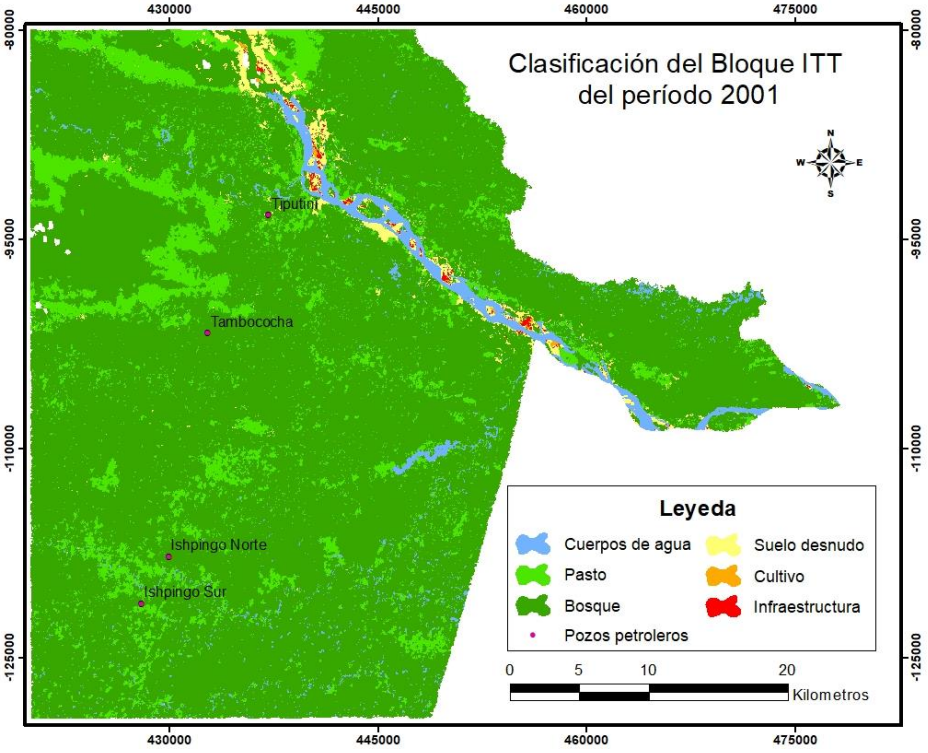


Figura 8. Clasificación de los cambios de uso de suelo en el ITT del año 2001.
Fuente: Elaboración propia, Shape: MAE-SHE-MTOP (2016)

B. Clasificación del ITT del año 2014

La clasificación del período 2014, la clase bosque presentó mayor cantidad de pixeles, seguido de las clases pasto, suelo y cuerpos de agua y los de menor cantidad de pixeles fue las clases cultivo e infraestructura. Se visualizó una extensión de suelo en las orillas del cuerpo de agua del Bloque ITT, menor cantidad de Infraestructura comparado con el anterior período (2001) (*Figura 9*).

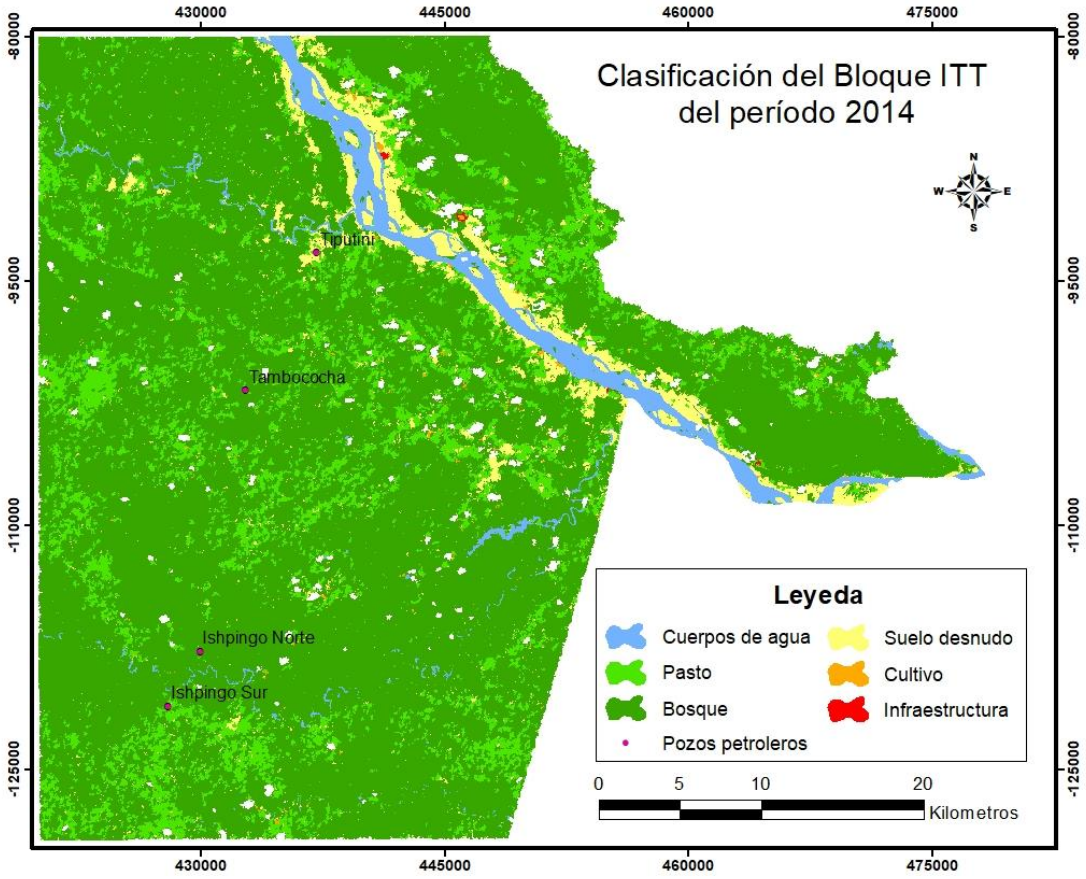


Figura 9. Clasificación de los cambios de uso de suelo en el ITT del año 2014.
Fuente: Elaboración propia, Shape: MAE-SHE-MTOP (2016)

C. Clasificación del ITT del año 2017

La clasificación del período 2017, la clase pasto presentó mayor cantidad de pixeles, seguido de las clases bosque, suelo y cuerpos de agua y los de menor cantidad de pixeles fue las clases cultivo e infraestructura. Se visualizó que la clase suelo se expandió con respecto a los dos períodos anteriores y que la clase bosque disminuyó enormemente (Figura 10).

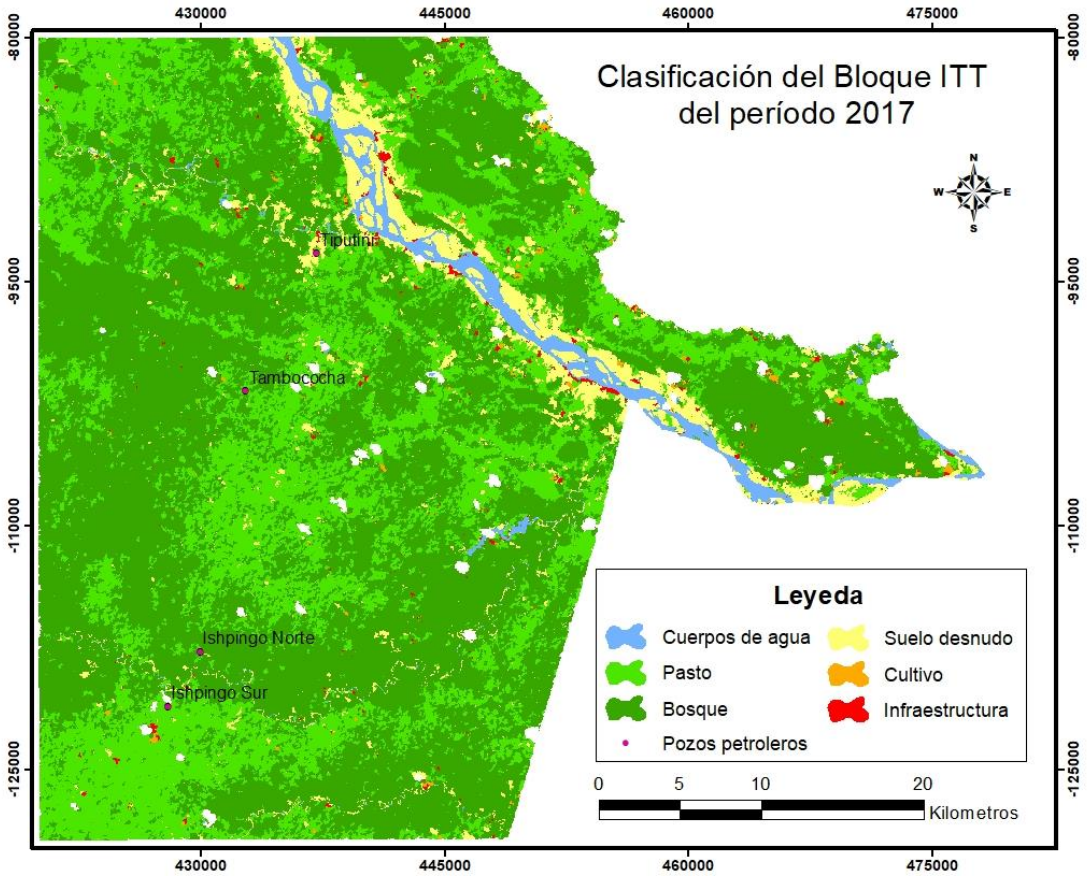


Figura 10. Clasificación de los cambios de uso de suelo en el ITT del año 2017.
Fuente: Elaboración propia, Shape: MAE-SHE-MTOP (2016)

En un estudio similar realizado en el sur de la provincia del Napo, en el cantón Tena, a las riberas del río Napo en las parroquias: Puerto Misahualli, Chonta Punta y Ahuano, se definieron las siguientes unidades: a) bosque, b) áreas urbanizadas, c) Mosaico agropecuario (coberturas conformadas por asociaciones entre distintos tipos de cultivo), d) Predominio de pastos y cultivos (zonas de predominio de especies tipo hierbas y cultivos de ciclo corto) y e) cuerpos de agua (Torres et al., 2018).

4.3. Objetivo 3: Cuantificar los cambios de uso del suelo en el Bloque ITT de la Amazonía.

Se cuantificó los cambios de uso de suelo en el ITT de la Amazonía ecuatoriana en los tres períodos mediante la metodología Tabulación cruzada (*Tabla 8*):

Tabla 8. Área en hectáreas por cada clase en el Bloque ITT de los tres períodos

PERÍODOS CLASES	2001 Ha	%	2014 Ha	%	2017 Ha	%	Total (2001-2017)	%
Cuerpo de agua	5.379,38	2,99	6.329,97	3,527	4.379,39	2,44	999,99	0,56
Pasto	20,917,34	11,66	24.530,5	13,67	55.064,2	30,69	-34.146,89	-19,03
Bosque	149.330,2	83,22	137.157	76,43	105.847	58,98	43.483,47	24,23
Suelo desnudo	2.515,26	1,4	7.796,61	4,35	10.640,8	5,93	-8.125,56	-4,53
Cultivo	184,66	0,103	427,68	0,238	591,29	0,33	-406,63	-0,23
Infraestructura	311,69	0,174	54,81	0,031	803,85	0,448	-492,16	-0,27

Elaborado por: Autor

En el año 2001, el área de bosque (primario y secundario) existía 149.330,16 ha (83,22%) de las 179.449,53 ha del área total de la zona del ITT, presencia de suelos en el ITT existía 2.515,26 ha (1,40%) y la aplicación para la agricultura fue 184,66 ha (0,10%). En el período del 2014, los bosques disminuyeron a 137.157,12 ha (76,43%), mientras que, la categoría suelo desnudo aumentó en 7.796,61 ha (4,34%) al igual que en la aplicación de cultivo aumentó 427,68 ha (0,24%). En el tercer período (2017), los bosques disminuyeron a 105.846,69 ha (58,98%), es decir que el suelo desnudo aumentó a 10.640,82 ha (5,93%) y en aplicación para el cultivo fue 591,29 ha (0,33%) (Figura 11).

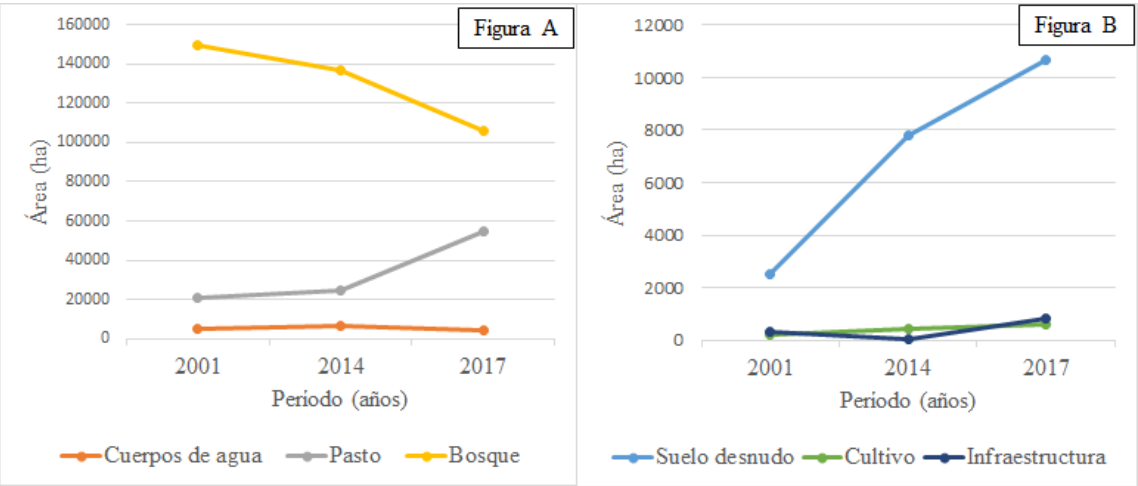


Figura 11. . Dinámica espacial de las clases a partir de las clases: A) cuerpos de agua, pasto y bosque; B) Suelo, Cultivo e Infraestructura en el Bloque ITT.
Fuente: Elaboración propia

Comparando entre los períodos 2001 y 2017 en el Bloque ITT, en 16 años existió mayores cambios de uso del suelo: En cuerpos de agua perdió 0,56% (999,99 ha), en pasto aumentó 19,03% (34.146,89 ha), en bosques disminuyó un 24,23% (43.483,47 ha), en suelo aumentó en 4,53% (8.125,56 ha) y en cultivos aumento en 0,23% (406,63 ha). Esto se debe a que la infraestructura aumentó en la zona ocupando 0,27% (803,85 ha) en el año 2017 (Tabla 8).

Esta cuantificación de hectáreas por cada clase se tomó como referencia la imagen del año 2001, que sirvió como base para el cálculo de la tasa promedio anual de deforestación y tasa de cambios de cobertura y uso de la tierra en los otros dos años de interés.

4.3.1. Cálculo de la Tasa promedio anual de deforestación en el ITT entre los períodos 2001, 2014 y 2017

Se aplicó la Ecuación 3, con el fin de analizar la tasa promedio de deforestación anual en el Bloque ITT a los periodos 2014 y 2017 de la Amazonía ecuatoriana, tomando como base de análisis al período 2001.

4.3.1.1. Tasa promedio anual de deforestación del período 2001 y 2014

Se calculó la tasa de deforestación del período (2001-2014), que resultó 936,39 ha/año (**Ecuación 3**) lo que equivale 0,63% respecto al bosque original que existió en el período 2001 (Tabla 9).

A. Formulación de TMAD entre los períodos 2001-2014

$$TMAD_{(2001-2014)} = \frac{(AB_{(2001)} - AB_{(2014)})}{n}$$

$$TMAD_{(2001-2014)} = \frac{(149.330{,}16 - 137.157{,}12)}{13}$$

$$TMAD_{(2001-2014)} = 936{,}39\ ha/\text{año}$$

4.3.1.2. Tasa promedio anual de deforestación de los períodos 2001 y2017

Se calculó la tasa de deforestación del período (2001-2017), que resultó 2.717,71 ha/año (***Ecuación 3***) lo que equivale 1,82% con respecto al bosque original que existió en el período 2001 (Tabla 9).

B. Formulación del TMAD entre los períodos 2001-2017

$$TMAD_{(2001-2017)} = \frac{(AB_{(2001)} - AB_{(2017)})}{n}$$

$$TMAD_{(2001-2017)} = \frac{(149.330{,}16 - 105.846{,}69)}{16}$$

$$TMAD_{(2001-2017)} = 2.717{,}71\ ha/\text{año}$$

La tasa de deforestación en los 16 años (2001-2017) en el Bloque ITT fue de 1,82% (2.717,71 ha/año) (*Tabla 9*).

Tabla 9. Tasa de deforestación del Bloque ITT

PERÍODOS	TASA DE DEFORESTACIÓN ANUAL (*ha*/año)	TASA DE DEFORESTACIÓN ANUAL (%)
2001-2014	936,39	0,627
2001-2017	2.717,71	1,82

Fuente: elaboración propia

4.3.2. Tasa cambio de la cobertura y uso de la tierra en el ITT entre los períodos 2001, 2014 y 2017

Se calculó la tasa de cambios de cobertura y uso de la tierra en el Bloque ITT utilizando la Ecuación 4, debido a las actividades antropogénicas que existió en el Bloque ITT.

En los periodos 2001, 2014 y 2017 del Bloque ITT, se determinó los resultados, que el uso de la tierra tiene a tendencias a la disminución de la cobertura vegetal. Es decir que la tasa de deforestación del Bloque ITT es de 2,15%, la misma se localiza en la parte superior, destacándose en las proximidades de las áreas pobladas y cuenca del río Napo. Durante el período estudiado el cultivo por su tasa de cambio es la segunda más alta con 7,27%. En cuanto a extensión el suelo desnudo es la más representativa en el Bloque ITT con un porcentaje de 9,01% (Tabla 10).

Tabla 10. Tasa de cambio anual de la cobertura y uso de suelo en el Bloque ITT del período 2001-2017

Clases	2001	2017	Tasa de cambio de uso de suelo (ha)	Porcentaje de Tasa de cambio de uso de suelo (%)
Cuerpo de agua	5.379,38	4.379,39	-0,01	-1,29
Pasto	20.917,34	55.064,23	0,06	6,05
Bosque	149.330,16	105.846,69	-0,02	-2,15
Suelo desnudo	2.515,26	10.640,82	0,09	9,01
Cultivo	184,66	591,29	0,07	7,27
Infraestructura	311,69	803,85	0,06	5,92

Fuente: elaboración propia

En un estudio similar realizado en la Cuenca del Río Puyo en la Amazonía ecuatoriana durante el período 2000 y 2013 se implementó la misma ecuación, que fue propuesta por Puyravaud (2003). Los resultados de esa investigación entre los períodos 2000, 2004 y 2013, fueron que el uso de la Tierra tiene a tendencias a la disminución de la cobertura boscosa (Tasa de deforestación fue de 4%), en especial los cercanos a las montañas y el incremento de cultivos cerca de las zonas rurales (4%) mostró la evolución productiva del área de estudio; también, el incremento de las áreas sin cobertura vegetal y áreas pobladas (Sucoshañay y Corral, 2016).

4.4. Objetivo 4: Caracterizar los factores asociados al cambio de uso de suelo del Bloque ITT

Se realizó la revisión bibliográfica para conocer las incidencias sobre cada una de las clases que se analizó en el Bloque ITT de los tres períodos (2001, 2014 y 2017).

En el año 2001, la clase cuerpo de agua en el Bloque ITT representó el 2,99% (5.379,38 ha), pero en 2014, aumentó a 3,52% (6.329,97 ha). Esto se ocurre por varios aspectos: el movimiento de causes, el aumento de caudal y la erosión en las orillas (Horton, Constantine, Hales, Goossens, Bruford, Lazarus, 2017). La infraestructura en el Bloque ITT disminuye en el año 2014, debido que en el año 2001 presentaba de superficie 0,174% (311,69 ha), que existían algunas viviendas aledañas al río Napo pero en 2014 disminuyó, ocupando un área de 0,031% (311,69 ha). Esto sucedió por las precipitaciones máximas en la Provincia de Orellana, que generó crecidas en el río Napo, y al estar saturada su capacidad de almacenamiento de agua en la cuenca media de esta, originó inundaciones (mayores de 5000 m^3/s) en la provincia el 06 de abril del 2010 (Cadena, 2015).

Los cambios de uso de suelo en la RAE ocurrieron por la implementación de políticas públicas para controlar y acceder a los espacios amazónicos, extracción de recursos naturales y agricultura (Holland, Koning, Morales, Naughton, Robinson, Suárez, 2014).

La deforestación y cambios de uso de suelo ocurren por las actividades humanas como: agricultura, ganadería y asentamientos humanos (Trucíos, Estrada, Cerano, Rivera, 2010). Según el INEC (2011), la cantidad de habitantes en el cantón Aguarico en 2001 fue 4.658, en 2010 fue 4.847 habitante, es decir, aumentó 0,42% lo que significa que se expandió la población por toda la cuenca amazónica llegando a disminuir la cobertura boscosa de la zona a 105.847 ha (58,98% del Bloque ITT) de lo que tenía en el año 2001 (149.330,2 ha). En un estudio realizado en el Norte de la Amazonía ecuatoriana (NAE) que abarcó a las provincias Sucumbíos, Orellana y Napo, la deforestación es causada por dos razones: a) descubrimiento de petróleo y construcción de carreteras lastradas y no lastradas para transportar el petróleo por oleoducto hasta Esmeraldas (Costa Pacífica) para su exportación; y b) la migración de poblaciones rurales provocada por la necesidad de tierras provenientes de la región Sierra (Torres, Bilsborrow, Barbieri, Torres, 2014). En la década de los sesenta, se descubrió reservas de petróleo en el norte de la Amazonía ecuatoriana, lo que aceleró los procesos de colonización de nuevas áreas en las tierras bajas (Borja, Aragón y Josee, 2017). Estudios anteriores demostraron que las actividades realizadas por las petroleras y la construcción de vías fueron las causas principales, porque promovieron la deforestación y los asentamientos agrícolas en la RAE (Bass et al., 2010).

La mayor dinámica de cambios de uso de suelo entre 2001 y 2017 se concentra en las riberas del río Napo y Yasuní, esto ocurrió probablemente por el crecimiento de las poblaciones urbanas: Tiputini y Rocafuerte (PDOTCA, 2015). La intensificación de las actividades agropecuarias que existió en el Bloque ITT se reflejó en el 2014 ocupando una superficie de 427,68 ha lo que representa el 0,23% del Bloque ITT. Y en el 2017, aumentó a 591,29 ha (0,329%). Esto se debe por pequeños productores de fincas, que incorporan la superficie boscosa a la producción agrícola convirtiéndose en el factor principal de la deforestación y degradación en la zona (Davidson, Carioca, Artaxo, Balch, Brown, Cunha, Coe, Defries, Keller, Longo, Munger, Schroeder, Soares, Souza, Wofsy, 2012).

CAPÍTULO V.
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La clasificación no supervisada en las imágenes permitió visualizar variaciones de cobertura vegetal, cuencas hidrográficas y suelos del Bloque ITT de la Amazonía ecuatoriana de manera automática mediante herramientas como PCI Geomatica y ARCGIS sin la necesidad de visitar el campo de estudio. En esta investigación, al ser una zona de interés Nacional, ciertas áreas están prohibido el acceso y sobrevolar objetos (drones y aeronaves) en la zona por lo que se trabajó con imágenes satelitales de los periodos 2001, 2014 y 2017.

Se clasificó en seis categorías: 1) cuerpos de agua; 2) bosque; 3) pasto; 4) suelo desnudo; 5) cultivo y; 6) infraestructura. Lo cual, infraestructuras se identifican por las formas geométricas y colores que poseen el grupo de píxeles de mismos valores; mientras que el suelo agrícola son formas geométricas de mayor área y generalmente están alrededor de áreas rurales y pobladas (Infraestructura) existentes en el ITT.

Se cuantificó los cambios de uso de suelo en el Bloque ITT y se analizó que en 16 años ha existido variaciones en la zona: En bosques disminuyó un 24,23% (43.483,47 ha), en suelo aumentó en 8.125,56 (4,53 ha) y en cultivo aumentó en 0,23% (406,63 ha). Su tasa de deforestación aplicando las ecuaciones 3 y 4 determinaron respectivamente que existió 1,82% (tabla 9) y 2,15% (tabla 10) que redondeando estos porcentajes resulta el 2% de tasa anual de deforestación en el Bloque ITT en el período 2000-2017.

El cambio de cobertura vegetal fue por dos factores: a) Naturales, debido a precipitaciones existentes en la provincia de Orellana lo que ocasionó inundaciones por toda la cuenca media del río Napo afectando las viviendas aledañas del río y cambio demográfico; y b) Antrópicas, el crecimiento poblacional en la zona, que con el tiempo, se expandió demográficamente debido a las poblaciones rurales provenientes de otras regiones en busca de nuevas tierras e intensificar las actividades agropecuarias para mejorar su calidad de vida y economía, lo que provocó impactos en el paisaje. El petróleo fue factor, debido a la construcción de carreteras lastradas y no lastradas para el transporte de petróleo por oleoducto para su exportación.

5.2. Recomendaciones

a) Para realizar estos análisis, se debe tener previamente las imágenes con el menor porcentaje de presencia de nubes de la zona de interés y que estén en T1L, debido a que tienen las correcciones geométricas, para esto se recomienda las páginas webs: USGS y “Landview” para descargar las imágenes satelitales.

b) Tener conocimiento básico sobre el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), ya que es un proceso largo y riguroso. También, tener una maquina o laptop de buen procesador (Intel Core 5 o 7) para evitar retrasos en el procesamiento de imágenes y ejecución de algunas herramientas de ARCGIS o PCI Geomatica.

c) Realizar previamente la visita al campo de la zona de interés para la obtención de puntos GPS que servirán para el proceso de clasificación supervisada, caso contrario se recomienda realizar clasificación no supervisada al no realizar la visita o si el tiempo para realizar el proyecto es limitado o corto.

d) Usar otros métodos de comparación multitemporal de manera de mejorar la precisión.

CAPÍTULO VI.
BIBLIOGRAFÍA

Aldogom, D., Aburaed, N., Saad, M., Mansoori, S., Shamsi, M., Maazmi, A., (2019). Multi temporal satellite images for growth detection and urban sprawl analysis; Dubai City, UAE. *Proceedings*, 11157. DOI: https://doi.org/10.1117/12.2533097.

Álvarez, D., (2012). "Iniciativa Yasuní-ITT, un instrumento más de la contradicción estatal: un estudio de la política de conservación desde la agenda pública". Tesis de Maestría. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales Sede Ecuador.

Ariza, A., (2013). Descripción y Corrección de Productos Landsat 8: LDCM (Landsat Data Continuity Mission). Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá-Colombia. Recopilado de http://www.un-spider.org/sites/default/files/LDCM-L8.R1.pdf

Asghari, F.B., Mohammadi, A.A., Dehghani, M.H., Yousefi, M. (2018). Data on assessment of groundwater quality with application of ArcGIS in Zanjan, Iran. *Data in Brief*, 18, 375-379. DOI: https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.03.059

Bass, M., Finner, M., Jenkins, C., Cisneros, D., McCracken, S., Pitman, N., English, P., Swing, K., Fiore, A., Voigt, C., Kunz, T., (2010). Global Conservation Significance of Ecuador's Yasuní National Park. *PLOS ONE*. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0008767.

Borja, M., Aragón, O., y Josse, C., (2017). "Bosques de la Región Amazónica Ecuatoriana: ¿Qué nos dicen las cifras de deforestación de los últimos 15 años?". CONFIBSIG, eje 2: recursos naturales, ambiente y cambio climático. Universidad del Azuay.

Cabrera, J., y Calva, L., (2019). Estudio del Límite Técnico en la perforación de pozos en el Campo Tambococha del Bloque 43. Tesis de Titulación. Universidad Central del Ecuador. Quito-Ecuador.

Cadena, J., (2015). Estudio del Sistema Integral de la Cuenca del río Napo e incidencia de inundaciones a la ciudad de Francisco de Orellana, período: Junio Noviembre 2013. Tesis de Maestría. Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí. Manta-Ecuador: p75.

Carbonnel, A., y Quijada, R. (2018). MIES: Modelo Integrado de Energía para Santiago, Chile. *Revista de la construcción*, 17(3), 412-422.

Cajamarca, D., Paredes, M., Cabrera, J., Guananga, N., (2019). La sostenibilidad del Parque Nacional Yasuní, un derecho privado del estado ecuatoriano al pueblo Waorani por la actividad petrolera. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*. ISSN: 2254-7630.

Campbell, J., y Wynne, R., (2011). Introduction to Remote Sensing, 5th edition. *The Guilford Press.* New York-United Estate of America. P.170-175.

Canisius, F., Shang, J., Liu, J., Huang, X., Ma, B., Jiao, X., Geng, X., Kovacs, J., Walters, D., (2018). Tracking crop phenological development using multi-temporal polarimetric Radarsat-2 data. *Remote Sens. of Environment*, 210(1): 508-518. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.07.031.

Cerón, C., Palacios, W., Guevara, J., Aguirre, Z., Encarnación, F., Josse, C., (2013). 171-174: Ministerio del Ambiente del Ecuador 2012. Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Ministerio del Ambiente del Ecuador. Quito.

Chauca, C., Soto, R., y López, R., (2016). Modelo de turismo sostenible para la no dependencia petrolera en el Yasuní. *Revista Publicando*, 3 (7): 220-235.

CGC, (2017). Informe de análisis de la explotación territorial por las actividades petroleras en los Bloque 31 y 43 en noviembre de 2018. Colectivo Geografía Crítica.: 1 – 10p. Recuperado en: https://geografiacriticaecuador.org/wp-content/uploads/2019/05/InformeInspeccion.pdf

Columba, M., Quisilema, W., Padilla, O., Toulkeridis, T., (2016). Identificación de zonas de recurrencia de incendios forestales mediante análisis multitemporal y aplicación de índices espectrales, en el Distrito Metropolitano de Quito. Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa, 1(3).

Córdoba, E., Puentes, M., y Otero, L., (2006). Análisis de imágenes landsat-7 ETM+ para determinar la cobertura del suelo de la zona costera de la bahía de Tumaco. *Boletín científico CCCP*, (13): 41-52.

Corina, M., Martínez, A., Viloria, J., (2016). Relación entre los cambios de cobertura vegetal y la ocurrencia de deslizamientos de tierra En la serranía del interior, Venezuela. *INERCIENCIA*, 41(3).

Damián, D., (2017). Análisis de la dinámica de los cambios de uso del Suelo mediante teledetección en una microcuenca Alto Andina de ecuador. Tesis de postgrado. Universidad de Valladolid. Madrid-España. Recopilado de http://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/26386/TFM-L329.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Davidson, E., Carioca, A., Artaxo, P., Balch, J., Brown, F., Cunha, M., Coe, M., Defries, R., Keller, M., Longo, M., Munger, W., Schroeder, W., Soares, B., Souza, C., Wofsy, S., (2012). *The Amazon Basin in transition. Nature*, 481. DOI: https://doi.org/10.1038/nature10943.

Dev, T. y Yang, I., (2015). Exploring Landsat 8. International Journal of IT, Engineering and Applied Sciences Research (IJIEASR). 4(4). p5 ISSN: 2319-4413.

FAO, (2009). Sistemas de información geográfica, sensores remotos y mapeo para el desarrollo y la gestión de la acuicultura marina [PDF file]. Recopilado de http://www.fao.org/3/a0906s/a0906s.pdf

Fernández, I. y Herrera, E., (2001). El Satélite Landsat: Análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+ Satélite Landsat. Universidad de Valladolid. Madrid España. P7. Recopilado de http://www.cartesia.org/data/apuntes/teledeteccion/landsat-analisis-visual.pdf

Finer, M., Vijay, V., Ponce, F., Jenkins, C., Kahn, T., (2009). Ecuador's Yasuní Biosphere Reserve: a brief modern history and conservation challenges. *Environmental Research Letters*, 4 (3).

Finer, M., Thieme, A., y Hettler, B., (2019). Explotación Petrolera se adentra más en el Parque Nacional Yasuní (Ecuador). *Monitoring of the Andean Amazon Porjec*t (MAAP): 114.

Firozjaei, M., Kiavarz, M., Alavipanah, S., Lakes, T., Qureshi, S., (2018). Monitoring and forecasting heat island intensity through multi-temporal image analysis and cellular automata-Markov chain modelling: A case of Babol city, Iran. *Ecological Indicators*, 91: 155-170. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.052.

Gil, W., (2019). Cambios de cobertura y uso del suelo con imágenes satelitales del distrito de San Silvestre de Cochán, periodo 2001 – 2018. (Tesis de titulación). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.

Guevara, J., Pitman, N., Cerón, C., Rivas, G., Beltrán, L., Castro, R., (2013). 163-165; 175-177: Ministerio del Ambiente del Ecuador 2012. Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Ministerio del Ambiente del Ecuador. Quito.

Holland, M., Koning, F., Morales, M., Naughton, L., Robinson, B., Suárez, L., 2014). Complex tenure and deforestation: implications for conservation incentives in the Ecuadorian Amazon. *World Development* (Oxford), 55: 21-36. DOI: 10.1016/j.worlddev.2013.01.012.

Horton, A., Constantine, J., Hales, T., Goossens, B., Bruford, M., Lazarus, E., (2017). Modification of river meandering by tropical deforestation. *Geology*, 45(6), 511-514. DOI: 10.1130/G38740.1

INEC, (2010). Resultados del Censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador: Fascículo Provincial Orellana. Recopilado de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/orellana.pdf

Jadán, O., Torres, B., y Günter, S., (2012). Influencia del uso de la tierra sobre almacenamiento de carbono en sistemas productivos y bosque primario en Napo, Reserva de Biosfera Sumaco, Ecuador. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 1 (3): 173-184.

Larrea, C., (2017). Conservación de la biodiversidad y explotación petrolera en el Parque Nacional Yasuní. Universidad Andina Simón Bolivar, sede Ecuador. Tesis de pregrado.

Le Quang, M., (2015). El sentido político de la Iniciativa Yasuní-ITT: disputa entre capitalismo verde y ecosocialismo. *THEOMAI Journal* (32): 75-94.

Lillesand, T., Kiefer, R., Chipman, J., (2015). Remote Sensing and Image Interpretation, 7th Edition. Recopilado de https://www.wiley.com/en-ec/Remote+Sensing+and+Image+Interpretation%2C+7th+Edition-p-9781118343289

Lombeyda, B., (2010). Propuesta Yasuní – ITT: Análisis económico, social y ambiental. Facultad de Economía PUCE. Recopilado de https://www.puce.edu.ec/economia/docs/pub/ITT.pdf

López A., V., Espíndola, F., Calles, J. y Ulloa, J. (2013). Atlas "Amazonía Ecuatoriana Bajo Presión". EcoCiencia. Quito-Ecuador. Recopilado de https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56384.pdf

Martínez, J. y Martín, P., (2010). Teledetección y Medio Ambiente. Red Nacional de Teledetección Ambiental. p15. Recopilado de http://www.aet.org.es/files/guia_teledeteccion_medio_ambiente.pdf

Meneses, C., (2011). El índice normalizado diferencial de la vegetación como indicador de la degradación. *Unasylva* 238, 62(2). P40.

Melo, J., (2017). Comparación de una clasificación supervisada para coberturas vegetales con PCI Geomatics y QGIS en el municipio de Cundinamarca. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá- Colombia.

Meza, O., (2015). "El debate sobre la extracción del petróleo en el parque nacional Yasuní". Tesis de Titulación. Universidad de Guayaquil. Recopilado de http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/9255/1/El%20Debate%20sobre%20la%20Extracci%c3%b3n%20de%20Petr%c3%b3leo%20en%20el%20Parque%20Nacional%20del%20Yasuni..pdf

Ministerio del Ambiente [MAE], (2013a). Manual para la Gestión Operativa de las Áreas Protegidas de Ecuador.

Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE], (2013b). Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Subsecretaría de Patrimonio Natural. Quito.

Ministerio de Recursos Naturales no renovables, (2013c). Informe de viabilidad Técnica: para la explotación Petrolera en el Parque Nacional Yasuní.

Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE], (2015). De áreas Protegidas del Ecuador-Guía de Parques. Recopilado de http://suia.ambiente.gob.ec/documentos?p_p_auth=Qf0GHdPT&p_p_id=20&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&_20_struts_action=%2Fdocument_library%2Fview_file_entry&_20_redirect=http%3A%2F%2Fsuia.ambie

nte.gob.ec%2Fdocumentos%3Fp_p_auth%3DQf0GHdPT%26p_p_id%3D20%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26_20_entryEnd%3D20%26_20_displayStyle%3Dlist%26_20_viewEntries%3D1%26_20_viewFolders%3D1%26_20_expandFolder%3D0%26_20_folderStart%3D0%26_20_action%3DbrowseFolder%26_20_struts_action%3D%252Fdocument_library%252Fview%26_20_folderEnd%3D20%26_20_entryStart%3D0%26_20_folderId%3D242901&_20_fileEntryId=243632

Muñoz, D., Rodríguez, M., Romero, M., (2009). Análisis multitemporal de cambios de uso del suelo y coberturas, en la microcuenca las minas, corregimiento de La Laguna, municipio de Pasto, departamento de Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 26 (1): 11-24.

Narváez, I., (1999). Operación ITT: La última frontera extractiva en área de reserva natural y territorio Huaorani (primera edición). FLACSO-Biblioteca. Quit-Ecuador.p75. Recopilado de https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/43778.pdf

Ojeda, N., y Soto, H., (2018). Clasificación y descripción fisiográfica de bosques de Araucaria araucana en el sur de Chile: uso del satélite Landsat TM. *UD y la Geomática*, 13, No. 106-113.

Paula, P.A. , Zambrano, L., Paula, P., (2018). Análisis Multitemporal de los cambios de la vegetación, en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo como consecuencia del cambio climático. *Enfoque UTE,* 9(2). 125-137.

Petroamazonas EP, (2017). Reporte gerencial 2017. Recopilado de https://www.petroamazonas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/04/Reporte_Gererencial_2017_Final1.pdf

PDOTCA, (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Aguarico: Diagnóstico por componentes. Recopilado de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/PDYOT_AGUARICO_ACTUALIZACI%C3%93N_FINAL_15-11-2014.pdf.p47.

Pidal, J., Celi, J., y Yaguache, L., (2017). Efectos del cambio de cobertura del suelo en la geomorfología fluvial del río tena, Amazonía Ecuatoriana. Conferencia: III

Encuentro Nacional de la Red Ecuatoriana de Ciencia RECIR Regional, en Ecuador, 1.

Poma, B., (2019). Análisis de deforestación y fragmentación dentro y fuera del Parque Nacional Yasuní: área Tiputini, provincia de Orellana. Tesis de Titulación. Universidad Nacional de Loja, Ecuador.

Ramos, R., Sánchez, R., Gama L. (2016). Análisis de cambios de uso del suelo en el municipio costero de Comalcalco, Tabasco, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios* vol.3 no.8 Villahermosa.

Saltos, M., Rodríguez, M., Vázquez, A., Castro M., Nieto, H., (2017). Sistemas de información geográfica y microrredes. *Revista Cubana de Ingeniería*, 8(1). Pp24-29, ISSN 2223 -178.

Sánchez, P., (2012). "La Teledetección Enfocada A La Obtención De Mapas Digitales". Tesis de Pregrado. Universidad de Cuenca, Ecuador. Recuperado de https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/779/1/ti839.pdf

SIAT-AC (Sistema de Información Ambiental Territorial de la Amazonía colombiana. Instituto SINCHI. Recopilado de http://siatac.co/web/guest/tasa-deforestacion.

Sierra, R., (2013). 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. Quito, Ecuador.

SNI, (2014). Modelo de Unidades Geomorfológicas para la representación cartográficas de ecosistemas del Ecuador Continental. Recopilado de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Gobierno%20Provincial%20Azuay/limites%20GPA/EstudioLimitesAzuayLoja/Geoformas453103936428118386.pdf

Souza, P., Nascimento, W., Santos, D., Weber, E., Silva, R., Siqueira, J., (2018). A GEOBIA Approach for Multitemporal Land-Cover and Land-Use Change Analysis in a Tropical Watershed in the Southeastern Amazon. *Remote Sens*, 10(11): 1683. DOI: https://doi.org/10.3390/rs10111683.

Sucoshañay, D. y Corral, V., (2016). Incremento de las actividades agropecuarias y disminución de la cobertura forestal en la cuenca del río Puyo en la Amazonia

ecuatoriana, durante el periodo 2000 – 2013. *GeoNordeste, São Cristóvão*, 2. P.08-19.

Torres, B., Bilsborrow, R., Barbieri, R., Torres, A., (2014). Cambios en las estrategias de ingresos económicos a nivel de hogares rurales en el norte de la Amazonía ecuatoriana. *Revista Amazónica Ciencias y Tecnología*, 3 (3):221-257.

Torres, B., Andrade, L., Torres, A., Vasco, C., Robles, M. (2018). Cambio de uso del suelo en paisajes agrícolas-forestales: análisis espacial en cinco comunidades Kichwas de la Región Amazónica Ecuatoriana. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 7(2): 105-118.

Trucíos, R., Estrada, J., Cerano, J., Rivera, M., (2011). Interpretación del cambio en vegetación y uso de suelo. *Tierra Latinoamericana*, 29(4): 359-367. Recopilado de http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v29n4/2395-8030-tl-29-04-00359.pdf.

UNESCO, (2017). Reservas de Biosfera: Ecological Sci. For sustainable Development. Recuperado de http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/ecological-sciences/biosphere-reserves/

Uyaguari, L., (2019). Análisis histórico de cambios en los patrones espaciales y temporales, en los paisajes protegidos del sector Dayuma, provincia de Orellana. Tesis de titulación. Universidad Nacional de Loja. Loja-Ecuador.

Vásquez, A., Peláez, E., y Ochoa, X., (2015). Predictor Basado en Prototipos Difusos y Clasificación No-supervisada. *Revista Latinoamericana de Ingeniería en Software*, 3(3): 135-140. DOI: https://doi.org/10.18294/relais.2015.135-140

Vásquez, R. (2018). Uso de sistemas de información geográfica libres para la protección del medio ambiente. 158-164.

Venegas, J. (2016). Determinación y análisis de cambio del uso de suelo en la reserva biológica de Limoncocha entre los años 1982 y 2000, mediante la aplicación de herramientas y técnicas geoinformáticas. Tesis de pregrado. Universidad Internacional SEK.

Villacis, D. (2017). Corresponsabilidad de la comunidad internacional en la explotación del bloque 43 o ITT en el Parque Nacional Yasuní en Ecuador. *Integración y cooperación Internacional*, N.24, 29-30. Recopilado de

http://rephip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/7421/Art%c3%adculo%203%20-%20Revista%20Nro.%2024.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Waserstrom, R., y Southgate, D., (2013). Deforestación, reforma agraria y desarrollo petrolero en Ecuador, 1964-1994. *Natural Resources*,4: 34-44.