



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE COBERTURA
VEGETAL EN LA ZONA DE AMORTIGUAMIENTO ALTOANDINA
DEL PARQUE NACIONAL COTACACHI-CAYAPAS (1990-2019)

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO
EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AUTORES:

Joselyn Guadalupe Pineda Bedón
Cristian Estalín Jaramillo Cuaycal

DIRECTOR:

Ing. Oscar Armando Rosales Enríquez MSc.

Ibarra- Ecuador

2022

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

CERTIFICACION TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACION

Ibarra, 17 de enero de 2022

Para los fines consiguientes, una vez revisado el documento en formato digital el trabajo de titulación: **“ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE COBERTURA VEGETAL EN LA ZONA DE AMORTIGUAMIENTO ALTOANDINA DEL PARQUE NACIONAL COTACACHI-CAYAPAS (1990-2019)”**, de autoría del señor Cristian Estalin Jaramillo Cuaycal y señorita Joselyn Guadalupe Pineda Bedón estudiantes de la Carrera de **INGENIERÍA RECURSOS NATURALES RENOVABLES** el tribunal tutor **CERTIFICAMOS** que los autores han procedido a incorporar en su trabajo de titulación las observaciones y sugerencias realizadas por este tribunal.

Atentamente,

TRIBUNAL TUTOR

Ing. Oscar Rosales, MSc.

DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN

Ing. Mónica León, MSc.

MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Gabriel Jácome, MSc.

MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

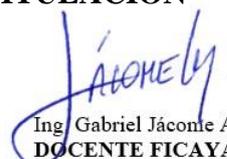
FIRMA



.....
MSc. Oscar Rosales E.
DOCENTE FICAYA



.....
Ing. Mónica León
DOCENTE FICAYA



.....
Ing. Gabriel Jácome A.
DOCENTE FICAYA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hacemos la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual ponemos a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	1724005671	
APELLIDOS Y NOMBRES	Jaramillo Cuaycal Cristian Estalin	
DIRECCIÓN:	Quito – Pichincha	
EMAIL:	cejaramillocl@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:		0962928227

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	1003853544	
APELLIDOS Y NOMBRES	Pineda Bedón Joselyn Guadalupe	
DIRECCIÓN:	Ibarra – Imbabura	
EMAIL:	jgpinedab@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:	6001778	0960919900

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE COBERTURA VEGETAL EN LA ZONA DE AMORTIGUAMIENTO ALTOANDINA

	DEL PARQUE NACIONAL COTACACHI-CAYAPAS (1990-2019).
AUTORES:	Jaramillo Cuaycal Cristian Estalin Pineda Bedón Joselyn Guadalupe
FECHA:	17 de enero del 2022
PROGRAMA:	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera en Recursos Naturales Renovables
DIRECTOR:	Ing. Oscar Armando Rosales Enríquez, MSc.

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y son titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumimos la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldremos en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 17 días del mes de enero de 2022

.....
Pineda Bedón Joselyn Guadalupe
CI: 1003853544

.....
Jaramillo Cuaycal Cristian Estalin
CI: 1724005671

AGRADECIMIENTO

“El secreto del éxito es persistencia por la meta” Benjamin Disraeli

A nuestras familias por el apoyo que nos han brindado para seguir adelante, no ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a sus aportes, a su amor, a su inmensa bondad y fortaleza, lo hemos logrado. Les agradecemos, y hacemos presente nuestro gran afecto hacia ustedes.

A la Universidad Técnica del Norte y todos los docentes que fueron piezas fundamentales en nuestra formación académica, por todos sus conocimientos impartidos, su dedicación y esfuerzo en nuestros días de estudiantes.

Nos gustaría expresar nuestro agradecimiento especial al Ing. Oscar Rosales MSc. por sus valiosas y constructivas sugerencias durante la planificación y desarrollo de este trabajo de investigación. Su disposición a dar su tiempo y conocimientos tan generosamente han sido muy apreciados.

De igual forma a nuestros asesores Ing. Mónica León MSc. e Ing. Gabriel Jácome MSc. por su paciente orientación, su entusiasta aliento y sus útiles críticas a este trabajo de investigación.

Joselyn Pineda y Cristian Jaramillo

DEDICATORIA

Al concluir una etapa maravillosa de mi vida quiero extender un profundo agradecimiento, a quienes hicieron posible este sueño, aquellos que junto a mí caminaron en todo momento y siempre fueron inspiración, apoyo y fortaleza.

Esta mención es para mis queridos padres Marlon Pineda y Guadalupe Bedón, por haberme apoyado en cada uno de mis pasos, enseñarme buenos valores, su amor incondicional y por la motivación constante que permitieron que hoy en día sea la persona que soy.

A mi hermana Cinthi, por ser esa amiga incondicional, por ser el ejemplo por seguir de la cual aprendí tantas cosas y agradezco hoy en día.

A mi sobrina Sofi, mi compañerita de vida, mi más grande amor y mi mayor motivación para dar todo de mí por ella.

A Jean L, por coincidir en esta vida y estar en el momento indicado, por su amor, apoyo y consejos.

Muchas gracias familia este logro es para ustedes.

Mi gratitud, también a la Universidad Técnica del Norte, mi agradecimiento sincero Ing. Oscar Rosales MSc. por ser más que un docente, un amigo y ejemplo; gracias también a cada uno de los docentes quienes con su apoyo y enseñanzas constituyen la base de mi vida profesional.

***Con amor y gratitud
Joselyn Guadalupe Pineda Bedón***

DEDICATORIA

Esta etapa de mi vida se la dedico especialmente a mi madre Ximena, a quien también extendo un fuerte agradecimiento por su apoyo incondicional, ejemplo de perseverancia, fé y responsabilidad que a pesar de las dificultades que hemos atravesado siempre confié en mi

A mis hermanas Viviana y Doris por ser mis guías y mi motivación para mejorar cada día, gracias a los valores que me han inculcado con el paso del tiempo y por su apoyo incondicional, no solamente durante esta etapa, sino durante toda la vida.

A mi tía Paola por abrirme las puertas de su hogar, quien gracias a su ejemplo de perseverancia, trabajo honesto y constancia fue una guía para lograr esta meta, no es necesario mencionar que gracias a este tiempo le he llegado a considerar como una madre para mí.

A mi compañera Joselyn por la confianza y quien por su constancia, paciencia y carisma convirtió este equipo de trabajo, en una grata relación amistosa que siempre llevaré en el corazón.

A la Universidad Técnica del Norte y a todos los docentes que nos brindaron los conocimientos para poder llegar hasta este punto, especialmente al equipo asesor que intervino en la ejecución del presente trabajo; Ing. Oscar Rosales, Ing. Monica León e Ing. Gabriel Jácome, quienes supieron brindar sus conocimientos con paciencia y empatía fueron la guía fundamental para culminar este trabajo.

¡Muchas gracias!
Cristian Estalin Jaramillo Cuaycal

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido	Páginas
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XIV
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Revisión de antecedentes o estado del arte	1
1.2 Problema de investigación y justificación.....	3
1.3 Objetivos	7
1.3.1. Objetivo general	7
1.3.2 Objetivos específicos	7
1.4 Pregunta directriz de la investigación	7
REVISIÓN DE LITERATURA	8
2.1 Marco teórico referencial	8
2.1.1 Cambio de uso de suelo y pérdida de cobertura vegetal	8
2.1.2. Áreas protegidas en Ecuador.....	10
2.1.3 Zonas de amortiguamiento.....	11
2.1.4 Delimitación de zonas de amortiguamiento en áreas protegidas	12
2.1.5 Técnicas de teledetección.....	14
2.1.6 Imágenes satelitales.....	15
2.1.7. Análisis multitemporal	16
2.1.8 Aplicaciones de estudios multitemporales	17
2.2 Marco legal.....	17
2.2.1 Constitución de la República del Ecuador	17
2.2.2 Convenio sobre la Diversidad Biológica.....	18
2.2.3 Código Orgánico del Ambiente (COA)	18
2.2.4 Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD).....	19
2.2.6 Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021	19
2.2.5 Decretos ejecutivos	20
METODOLOGÍA	21
3.1 Descripción del área de estudio.....	21
3.1.1 Clima.....	22

3.1.2 Relieve y geomorfología	23
3.1.3 Cobertura vegetal y uso de suelo	24
3.1.4 Hidrografía	25
3.1.5 Demografía.....	25
3.2 Métodos.....	26
3.2.1 Delimitación del área de amortiguamiento de la zona altoandina del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas	26
3.2.1.1 Revisión bibliográfica y diagnóstico del área	27
3.2.1.2 Sistematización de criterios.....	27
3.2.1.3 Reconocimiento en campo	29
3.2.1.4 Sistematización de la información de campo.....	29
3.2.1.5 Elaboración de cartografía temática.....	29
3.2.1.6 Propuesta de delimitación de la Zona de Amortiguamiento	30
3.2.2 Análisis multitemporal de los factores que influyen en los cambios de la cobertura vegetal	30
3.2.2.1 Adquisición de imágenes satelitales.....	30
3.2.2.2 Preprocesamiento digital de imágenes satelitales	30
3.2.2.3 Procesamiento digital de imágenes satelitales	31
3.2.2.4 Clasificación supervisada de imágenes satelitales	31
3.2.2.5 Validación de la clasificación supervisada	32
3.2.2.6 Análisis multitemporal de la zona de amortiguamiento andina del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas en el período 1990-2019	33
3.2.2.7 Cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada	33
3.2.3 Evaluación de la tasa de cambio cobertura vegetal mediante técnicas de percepción remota	34
3.2.3.1 Cálculo de la tasa de variación de la cobertura vegetal y uso del suelo en el período 1990 – 2019.....	34
3.2.3.2 Aplicación de las métricas de deforestación	35
3.3 Materiales y equipos	35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
4.1 Delimitación del área de amortiguamiento de la zona altoandina del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas	37

4.1.2 Reconocimiento y sistematización de la información de campo	39
4.1.3 Propuesta de delimitación de la Zona de Amortiguamiento	41
4.1.4 Elaboración de cartografía temática.....	43
4.2 Análisis multitemporal de los factores que influyen en los cambios de la cobertura vegetal	47
4.2.3 Matriz de contingencia e índice Kappa	49
4.2.1 Cálculo del Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI) ..	51
4.3 Evaluación de la tasa de cambio cobertura vegetal mediante técnicas de percepción remota	52
4.3.1 Cálculo de la tasa de variación de la cobertura vegetal y uso del suelo en el período 1990 – 2019.....	53
4.3.2 Aplicación de las métricas de deforestación	55
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	57
5.1 Conclusiones	57
5.2 Recomendaciones.....	58
REFERENCIAS	59
ANEXOS	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas.....	21
Tabla 2. Tipos de clima del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas.....	22
Tabla 3. Tipos de clima del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas.....	24
Tabla 4. Comunidades adyacentes a la zona alta del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas	25
Tabla 5. Principios y criterios para delimitación de la zona de amortiguamiento	27
Tabla 6. Categoría de concordancias de validación para el coeficiente Kappa ...	32
Tabla 7. Rangos del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) .	34
Tabla 8. Materiales y equipos	36
Tabla 9. Aplicación de los principios y criterios para la delimitación de la zona de amortiguamiento	37
Tabla 10. Puntos de control salida de campo Cuicocha. Proyección UTM, Zona 17 Sur.	40
Tabla 11. Puntos de control salida de campo vía Piñán. Proyección UTM, Zona 17 Sur.	41
Tabla 12. Coordenadas de la zona de amortiguamiento altoandina del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas	42
Tabla 13. Áreas de cada clase en el periodo de estudio 1990 - 2019.....	48
Tabla 14. Matriz de contingencia de la clasificación supervisada del año 1990 .	50
Tabla 15. Matriz de transición para el periodo 1990-2019 (%)	53
Tabla 16. Tasa anual de cambio y desforestación promedio en la ZAM	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas.....	22
Figura 2. Propuesta de delimitación de la Zona de Amortiguamiento del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas	42
Figura 3. Verificación de puntos de control.....	43
Figura 4. Ecosistemas naturales de la zona de amortiguamiento altoandina del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas	44
Figura 5. Cobertura vegetal y uso de suelo de la zona de amortiguamiento altoandina del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas.....	45
Figura 6. Clasificación supervisada de cobertura vegetal del año 1990 y 2019 ..	47
Figura 7. Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI)	51
Figura 8. Pérdidas y ganancias en las superficies de cobertura vegetal en el periodo 1990 – 2019.....	54

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE COBERTURA
VEGETAL EN LA ZONA DE AMORTIGUAMIENTO ALTOANDINA
DEL PARQUE NACIONAL COTACACHI-CAYAPAS (1990-2019)**

Trabajo de titulación

Jaramillo Cuaycal Cristian Estalin

Pineda Bedón Joselyn Guadalupe

RESUMEN

Los cambios de uso de suelo y cobertura vegetal han causado la disminución de los ecosistemas naturales, procesos que son una amenaza para las zonas con alta biodiversidad, por lo que su protección es indispensable, especialmente en la zona de amortiguamiento. En el presente estudio se delimitó y analizó multitemporalmente el cambio de cobertura vegetal en la zona de amortiguamiento altoandina del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas durante los años 1990 y 2019. La delimitación de la zona de amortiguamiento se estableció con base en la metodología del Centro Internacional de Investigación Forestal aplicada por Vilhena et al., (2004); mientras que la cuantificación de la dinámica espacio-temporal se realizó mediante imágenes satelitales. Además, se evaluó la tasa de cambio de cobertura vegetal utilizando sistemas de información geográfica y técnicas de detección de cambios. Se definieron los límites de la zona de amortiguamiento altoandina del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas y se determinó que en el periodo de estudio el bosque nativo disminuyó 3.322,12 ha, siendo sustituido por cultivos, al aumentar 2.370,55 ha. Asimismo, el páramo incrementó 1.664,36 ha, por procesos de paramización. También se determinó que el bosque nativo presentó un promedio anual de deforestación de 114,56 ha/año, existiendo una transición hacia los cultivos del 11,10%. Como conclusión se puede mencionar que hasta el 2019 la zona de amortiguamiento se ha convertido en un área fragmentada por el avance de la frontera agrícola debido a la presión ejercida por el aumento de las actividades antrópicas provocando la disminución del 20,68% de la cobertura de bosque nativo.

Palabras clave: Zona de amortiguamiento, Análisis multitemporal, Paramización, Frontera agrícola.

ABSTRACT

Changes in land use and vegetation cover have caused the decline of natural ecosystems, processes that are a threat to areas with high biodiversity, so their protection is essential, especially in the buffer zone. In the present study, the change in vegetation cover in the high Andean buffer zone of the Cotacachi-Cayapas National Park during the years 1990 and 2019 was delimited and analyzed multitemporally. The delimitation of the buffer zone was established based on the methodology of the International Center of Forestry Research applied by Vilhena et al., (2004); while the quantification of the spatio-temporal dynamics was carried out by means of satellite images. In addition, the rate of change of vegetation cover was evaluated using geographic information systems and change detection techniques. The limits of the high Andean buffer zone of the Cotacachi-Cayapas National Park were defined and it was determined that in the study period the native forest decreased 3.322,12 ha, being replaced by crops, increasing 2.370.55 ha. Likewise, the páramo increased 1.664,36 ha, due to paramization processes. It was also determined that the native forest presented an annual average deforestation of 114,56 ha/year, with a transition to crops of 11,10%. As a conclusion, it can be mentioned that until 2019 the buffer zone has become a fragmented area due to the advance of the agricultural frontier, which is due to the pressure exerted by the increase in anthropic activities causing the decrease of 20,68 % of native forest cover.

Keywords: Buffer zone, Multitemporal analysis, Paramization, Agricultural frontier.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Revisión de antecedentes o estado del arte

En las últimas décadas el cambio de cobertura vegetal y uso de suelo ha constituido uno de los factores más importantes para el cambio climático, es así que los ecosistemas terrestres se han transformado debido a la conversión de la cobertura de terreno y degradación e intensificación del uso de suelo, procesos que engloban a la deforestación, desarrollo urbano y avance de la frontera agrícola (Alvarado y Espinoza, 2018).

En América Latina y el Caribe la conversión agrícola de los ecosistemas naturales representa el 30%, lo que significa más de 600 millones de hectáreas de agroecosistemas con una tasa de deforestación de 13 millones de ha/año, en otras palabras, una parte significativa de estas áreas están afectadas por procesos de degradación (Montanarella et al., 2016). Para analizar el cambio de uso de suelo se requiere del uso de metodologías y procedimientos que emplean sistemas de información geográfica (SIG), los cuales fueron desarrollados en los años 70 para la identificación y análisis de los factores e impactos en los ecosistemas, además de la caracterización y diagnóstico de las coberturas naturales y artificiales (Pineda, 2011).

Como muchos países latinoamericanos, Colombia presenta importantes procesos de cambios de cobertura vegetal y uso de suelo; se puede incluir aquí un estudio realizado por Veloza (2017), quien realizó un análisis multitemporal de los cambios de las coberturas y usos del suelo de la Reserva Forestal Protectora Productora (RFPP) “Casablanca”, ubicada al sur del municipio de Madrid. La metodología utilizada se basó en un proceso de fotointerpretación para identificación, clasificación y análisis de las coberturas y usos del suelo a escala 1:5.000, a partir de fotografías aéreas de la zona de estudio para los años 1961 y 1987. En la actualidad gran parte de la reserva está destinada a explotación de plantaciones

forestales, principalmente el pino y el eucalipto, especies invasoras que disminuyen drásticamente la biodiversidad presente en la reserva.

Según la FAO (2016), los países tropicales registran una pérdida de bosque de siete millones de hectáreas anuales en el periodo 2000-2010 propiciando nuevas áreas para la actividad agrícola representado la principal causa de la deforestación de bosques en Sudamérica es así que, para finales de los años 90, Ecuador registra la tasa de deforestación más alta por año, teniendo desde 1,7% a 2,4% (FAO,2000) y de acuerdo con el Mapa de Ecosistemas del Ecuador Continental la tasa anual de cambio de cobertura boscosa en el Ecuador continental fue de -0,71% para el período 1990 - 2000 y de -0,66% para el período 2000 – 2008 (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2012).

Lo descrito anteriormente se afirma con el estudio realizado por Narváez (2019) quien analizó los cambios espacio-temporales y el grado de fragmentación que existió en la parroquia rural Cononaco ubicada en el cantón Aguarico de la provincia de Orellana, durante 30 años (1987 -2017) mediante una clasificación supervisada, se usó el software TerrSet y Erdas imagine para las coberturas existentes en la zona. Así, para el año 1987 la cobertura bosque ocupaba el 99,11 % de la superficie total de la parroquia, mientras que para el 2017 esta cobertura cambió a un 98,71 %, perdiendo 2.620 hectáreas que representa el 0,4 % en el periodo de estudio, surgiendo las tierras agropecuarias y la zona antrópica.

Así mismo, Medina (2015) realizó el análisis multitemporal para determinar los cambios de la cobertura vegetal y el uso de la tierra entre los años 1987 –1998 – 2001 y 2015 en el cantón Gualaquiza ubicado en la provincia de Morona Santiago utilizando imágenes satelitales multiespectrales Landsat 5 TM, 7 ETM+ y 8 OLI. A través de la fotointerpretación se identificaron seis coberturas: bosque nativo, páramo, pasto cultivado, cuerpo de agua, zona urbana y zona sin información; se evaluaron los cambios del uso de la tierra mediante la clasificación supervisada para cada uno de los años en estudio. El análisis multitemporal se evaluó con la matriz de confusión y la matriz de cambio de uso de la tierra. El coeficiente kappa

determinó la confiabilidad de los mapas con matriz de confusión, la cobertura bosque nativo, uso conservación y protección se redujo de 165.781 hectáreas a 57.366 hectáreas, creciendo el pasto cultivado, uso pecuario en 44.355 hectáreas, la zona urbana, uso antrópico en 128 hectáreas y cuerpo de agua con 37 hectáreas.

La conversión de ecosistemas naturales es una problemática que ocurre a lo largo de todo el país, así es que la provincia de Imbabura presentó una disminución del 47,22% en bosques naturales y de 27,05% del pajonal en el periodo de 1991 hasta el año 2007 (Aldás, 2013). Afectando directamente a los ecosistemas terrestres que están siendo degradados mediante un proceso de conversión de cobertura vegetal e intensificación del suelo. Andrade (2016), afirma que el cambio en la cobertura terrestre va en aumento en la provincia de Imbabura al realizar un estudio multitemporal de la cobertura de páramo en la producción de agua en la cuenca alta del Río Apuela, Cantón Cotacachi, de los años 1991 y 2010 con el apoyo de imágenes satelitales y como resultados se obtuvo un alto índice de pérdida de cobertura vegetal, bosque nativo perdió 935,14 hectáreas, y áreas sin cobertura vegetal disminuyeron 92,74 hectáreas.

1.2 Problema de investigación y justificación

La cobertura del suelo es una variable fundamental que influye en muchas facetas del entorno natural. Los cambios en el uso de suelo y cobertura vegetal son procesos de la superficie terrestre, intrínsecamente dinámicos y espaciales y que podrían afectar el medio ambiente natural de una manera que sólo podría ser paralela a los efectos del cambio climático (Leija et al., 2016).

La creciente población humana ha causado la alteración de la superficie terrestre a un ritmo, magnitud y extensión espacial sin precedentes, y estas transformaciones de la cobertura del suelo debido al desarrollo agrícola, residencial, industrial y urbano, concomitantes al aumento de la población, afectan el funcionamiento de los sistemas y procesos ambientales a largo plazo. Desde la década de 1970 hasta el período actual se ha informado constantemente que el uso de la tierra y los cambios

en la cobertura vegetal tienen un impacto en el ciclo biogeoquímico que conduce a modificaciones en los intercambios de energía entre la superficie y la atmósfera, el ciclo del carbono y el agua, la calidad del suelo, la biodiversidad, la capacidad biológica de los sistemas para apoyar las necesidades humanas y en última instancia, el clima en todas las escalas (Mzuza et al., 2018). Según la FAO (2016), la disminución de los bosques en el mundo se estimó en unos 129 millones de hectáreas por año entre 1990 y 2015.

Esto proporciona la justificación para el reconocimiento del cambio de uso de suelo y la cobertura vegetal como un agente fundamental del cambio ambiental global y un gran desafío en la ciencia ambiental. En este sentido, el monitoreo y detección de cambios en el uso de suelo y la cobertura vegetal permite comprender las relaciones humanas y las interacciones con los sistemas terrestres globales con el fin de facilitar la gestión y el uso de los recursos naturales, el cambio ambiental y evaluar la sostenibilidad del desarrollo (Mendoza et al., 2018). Por lo que, se requiere conocimiento sobre los cambios en la cobertura terrestre que ocurren, dónde, cuándo y las tasas. En este sentido, la detección satelital ha sido la herramienta más adecuada para el suministro de datos detallados, precisos, coherentes, rentables, repetitivos y oportunos para la caracterización de la cobertura terrestre, el monitoreo ambiental y por lo tanto, la comprensión de la influencia de las actividades antropogénicas en los recursos naturales. En general, la teledetección de cambios implica la identificación de diferencias en el estado de la cobertura terrestre a lo largo del tiempo utilizando imágenes de satélite de varias fechas (Haque y Basak, 2017). Los dos enfoques característicos de la mayoría de las técnicas de detección de cambios incluyen el análisis comparativo de clasificaciones de cobertura terrestre producidas independientemente y el análisis simultáneo de un conjunto de datos multitemporales.

La mayor parte de la cobertura del suelo en Ecuador se encuentra en un estado de cambio, en una variedad de escalas espaciales y temporales debido a la variabilidad climática y las actividades humanas (Damian et al., 2018). Ecuador ha experimentado rápidas transformaciones en el uso de la tierra y la cobertura vegetal

en respuesta a los diversos procesos políticos, económicos, socioculturales y demográficos que han ocurrido en el espacio y el tiempo. El aumento de la población impuso mucha presión sobre los recursos de la tierra, como resultado de la escasez de tierras cultivables se ha llevado a la expansión de los cultivos, la tala de bosques y pastizales a causa del pastoreo excesivo, la quema de carbón y otros usos insostenibles de la tierra, han tenido implicaciones de gran alcance sobre la integridad de los recursos naturales y los ecosistemas del país (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2012).

Una de las causas principales de la alteración de los ecosistemas en el Ecuador está relacionada con la deforestación, incluso cuando según los registros estadísticos se ha detectado una reducción en los índices entre los años 2008-2014 en comparación con el periodo 1990-2000, sigue siendo una de las principales amenazas ecológicas del país, siendo Esmeraldas, una de las más afectadas con un promedio de deforestación de 5.476 hectáreas/año (MAE, 2017). Asimismo, entre Imbabura y Esmeraldas se encuentra ubicado el Parque Nacional Cotacachi-Cayapas, el cual a la fecha se encuentra amenazado ecológicamente por la deforestación y tala selectiva, invasiones, extracción ilegal de recursos naturales (cacería furtiva y pesca prohibida), contaminación de fuentes hídricas y degradación de humedales, incendios estacionales, degradación del suelo por pastoreo, minería, apertura de nuevas vías, entre las más significativas (INABIO, 2019).

El rápido uso de la tierra y la dinámica de la cobertura terrestre son una amenaza para la base de los recursos naturales centrales, es decir, la tierra y el agua, en especial en zonas con alta biodiversidad y que presentan fragilidad y amenaza en sus ecosistemas, en este sentido, la zona de amortiguamiento corresponde al área adyacente que bordea al territorio de la reserva, cuyo fin debe ser el de proteger, prevenir y minimizar los efectos provenientes de las diferentes actividades humanas hacia el interior de la reserva (MAE, 2007).

Considerando que la apertura de áreas ecológicas al turismo, la floricultura, la agricultura comercial intensiva y la red de transporte; a pesar de los beneficios

socioeconómicos que conllevan; ejercen una presión enorme en el mantenimiento de los ecosistemas, además de la creciente demanda de espacio para asentamientos humanos, fines industriales y comerciales, están disminuyendo gradualmente el área protegida. Esta práctica también ha contribuido a la degradación de la calidad del agua a través de la descarga de agroquímicos y las aguas superficiales y subterráneas afectadas por la extracción de agua para uso agrícola. Esta situación ha conllevado a un impacto en el uso de suelo y cobertura vegetal en la zona de amortiguamiento, cuya cuantificación permitirá valorar el impacto a futuro que pueda sucederse en el área protegida.

Dada la importancia ecológica del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas que incluye ocho ecosistemas en un rango altitudinal desde los 35 metros sobre el nivel del mar, a orillas del río Cayapas en Esmeraldas, hasta los 4.939 metros, en los picos más altos del volcán Cotacachi, además de ser una de las áreas de mayor riqueza florística y faunística del Ecuador; y en especial en su zona de amortiguamiento que tiene una influencia directa en la protección del área; existe una necesidad urgente de identificar patrones de cambio de uso de suelo y cobertura vegetal espacio-temporales en su zona de amortiguamiento, considerando que a la fecha no se han desarrollado estudios de esta naturaleza en el área, lo que produce una ausencia de información cartográfica que permita el manejo adecuado de los recursos naturales. Además, se podrán enfocar las políticas gubernamentales que influyen en la gestión del uso de la tierra, dado que proporcionarán una mejor comprensión de lo que históricamente ha impulsado el cambio de uso de la tierra dentro del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas (MAE, 2007).

En el presente estudio se generó información cartográfica sobre los cambios en la cobertura vegetal en la zona de amortiguamiento altoandina del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas durante el periodo 1990-2019, datos que permitirán controlar y prevenir la afectación al área de estudio a través de la aplicación de estrategias de conservación, se promoverá la protección de los ecosistemas y se fomentará el cumplimiento del objetivo tres y política 3.1 del Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, “Toda una Vida”, en el que se garantizan los derechos de la

naturaleza para las actuales y futuras generaciones y la política 3.1 referida a la conservación del patrimonio nacional. Además, promueve el cumplimiento de las metas establecidas para el 2021, que incluyen preservar bajo conservación o manejo ambiental el 16% del territorio nacional y reducir la expansión de la frontera urbana y agrícola (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017).

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Analizar el cambio multitemporal de cobertura vegetal en la zona de amortiguamiento altoandina del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas en el periodo 1990-2019.

1.3.2 Objetivos específicos

- Establecer el área de amortiguamiento de la zona altoandina del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas.
- Realizar el análisis multitemporal de los factores que influyen en los cambios de la cobertura vegetal.
- Determinar la tasa de cambio de cobertura vegetal mediante técnicas de percepción remota.

1.4 Pregunta directriz de la investigación

¿Qué variaciones en la cobertura vegetal se han presentado en la zona de amortiguamiento altoandina del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas durante el periodo 1990-2019?

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Marco teórico referencial

2.1.1 Cambio de uso de suelo y pérdida de cobertura vegetal

El uso de la tierra son los cambios antropogénicos ejercidos sobre la cobertura natural de la tierra, como la conversión de tierras silvestres en urbanas o agrícolas, asimismo, la cobertura vegetal es el estado físico de la superficie terrestre con su tipo de característica natural, como agua, vegetación, suelos, tierras baldías o bosques (Hassan et al., 2016).

Los atributos biofísicos de la superficie terrestre y los usos del suelo son los que determinan el funcionamiento de los ecosistemas y afectan directamente a la biodiversidad, contribuyen al cambio climático y a la degradación de los suelos. La transformación apreciable de la vegetación o los usos antrópicos por medio de un intervalo de tiempo en determinada superficie terrestre se denomina “*Análisis del cambio en la cobertura y uso del suelo (ACCUS)*”. De esta manera, el ACCUS es una herramienta que se utiliza para caracterizar una región y en la actualidad se considera el procedimiento más confiable para medir los impactos negativos producidos en la cobertura vegetal como: la deforestación, la alteración y la transformación de los usos del suelo y su dinámica a través del tiempo (Rounsevell et al., 2003).

Según Contreras (2016), el cambio de cobertura vegetal es un fenómeno que afecta la capacidad de proveer servicios ambientales y se produce principalmente por las presiones rurales, puesto que este factor incita a la gente a aprovechar nuevas tierras, con el fin de conseguir un medio de subsistencia seguro, iniciando en actividades agropecuarias hasta petroleras y mineras, lo cual provoca una mayor utilización de los recursos naturales de manera insostenible. En ese contexto, se afirma que en las últimas décadas el Ecuador ha experimentado fuertes cambios en

la cobertura natural, esto debido al acelerado avance de la frontera agrícola, crecimiento poblacional y la presión de estas sobre el territorio natural, provocando la transformación de estas áreas en suelo urbanizados o infértiles o simplemente no naturales.

Los cambios en la cobertura vegetal están representados principalmente por la deforestación, para la expansión de cultivos a pequeña y gran escala, factor que a su vez se encuentra influenciado por fundamentos socioeconómicos, políticos y culturales, los cuales al interactuar destruyen y modifican los ecosistemas naturales (Hassan et al., 2016).

En ese sentido, el establecimiento de áreas protegidas se considera la mejor estrategia para proteger los sistemas naturales, sin embargo, a nivel mundial, son demasiadas las áreas protegidas que enfrentan una serie de amenazas dentro y fuera de sus límites, razón por la cual están completamente expuestas a procesos de degradación ambiental, lo cual conduce a pérdidas de biodiversidad; es por esa razón que los procesos de cambio de uso de suelo son evaluados debido a la repercusión en el funcionamiento de los ecosistemas (Sahagun y Reyes, 2018).

Según MAE (2015), en las áreas protegidas la conversión de los hábitats naturales es la causa más grande de pérdida de diversidad biológica y funciones ecológicas por lo cual el balance entre hábitat y paisaje humano podría determinar el éxito de la conservación de la diversidad biológica en grandes, es por esa razón que resulta importante mapear y cuantificar el grado de conversión del hábitat natural al perturbado por las actividades antrópicas. Albán (2010) menciona que en el Ecuador la deforestación, especialmente en áreas protegidas ha alcanzado niveles alarmantes, a tal punto que ha llegado a convertirse en la actualidad en la amenaza ambiental más significativa y devastadora del país, luego de la contaminación de las cuencas hídricas y la sobreexplotación de recursos, las cuales se catalogan también como amenazas importantes.

2.1.2. Áreas protegidas en Ecuador

Según Dudley (2008), un área natural protegida (ANP) son porciones del territorio nacional, terrestres o acuáticas, representativas de los diferentes ecosistemas en donde el ambiente original no ha sido modificado en su esencia por la actividad del hombre y que están sujetas a regímenes especiales de protección, conservación, restauración y desarrollo. Estos espacios están reconocidos mediante entidades y medios legales para su conservación y poseen variadas características que las hacen únicas y diversas, tales como:

- Contener elementos naturales, representativos y frágiles
- Especies amenazadas o de interés particular para estudios científicos.
- Conservación de avistamientos naturales de especies de flora y fauna.

El Ecuador representa uno de los países con mayor biodiversidad del planeta dado a circunstancias como la ubicación geográfica, variedad de climas y ecosistemas. A su vez, el territorio nacional alberga alrededor de 50 reservas naturales que se extienden sobre la superficie. El Ecuador posee dentro de su territorio el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), un grupo de zonas naturales y de ecosistemas considerados una reserva de medios fundamentales para la vida (Ministerio del Ambiente, 2015).

Y aunque existen dudas sobre la eficiencia de las áreas naturales protegidas para conservar la biodiversidad biológica, análisis recientes de zonas protegidas en distintas partes del mundo muestran que la mayoría detienen, en cierto grado, el avance de la deforestación y disminuyen la presión sobre las poblaciones de flora y fauna silvestres (PNUMA, 2002).

Sin embargo, en la actualidad, existe una gran problemática correspondiente al respecto de las áreas protegidas, por ejemplo: incendios, crecimiento demográfico descontrolado, agricultura, introducción de especies, erosión, pastoreo y plantaciones invasivas. La explotación y extracción de recursos naturales como

madera, petróleo, caza, pesca y la minería han sido otro de los mayores problemas para que éstas zonas de mayor cuidado biológico se encuentren en inestabilidad natural en el territorio nacional (Ministerio del Ambiente, 2015).

Frente a la problemática existente de la conversión de las coberturas vegetales naturales en áreas protegidas del Ecuador, resulta indispensable el establecimiento de zonas de amortiguamiento al ser una herramienta que minimiza los impactos negativos, mayoritariamente antrópicos hacia el interior del área, regulando las actividades de extracción y explotación de recursos naturales, en las tierras adyacentes a las áreas protegidas, de tal manera que se asegure la conservación e integridad de estas áreas protegidas. Además, el proceso de delimitación de zonas de amortiguamiento también involucra la integración de medidas de manejo para reducir esas mismas amenazas (Vilhena et al., 2004).

2.1.3 Zonas de amortiguamiento

Para Bentrup (2008), las zonas de amortiguamiento en conservación ambiental son franjas de vegetación inmediatas al paisaje para salvaguardar los recursos naturales y procesos ecológicos con el fin proteger y mantener la calidad del aire, agua, suelo, flora y fauna garantizando la provisión de bienes y servicios en el tiempo. Su existencia se justifica plenamente ya que actúan como zonas “buffer” o de contención ante el impacto directo a las zonas que se protegen. Si bien no forman parte de las áreas protegidas, sus características topográficas y su constitución, en cuanto a flora y fauna, son similares a los terrenos protegidos, por lo que requieren un tratamiento especial que garantice su conservación y uso sostenible.

García (2002) menciona que una de las estructuras de paisaje relacionadas a la conservación son las zonas de amortiguamiento. Es importante mencionar que las áreas protegidas soportan fuertes presiones por parte de las actividades y proyectos antrópicos, a pesar de que se supone que cada área cuenta con una zona de amortiguamiento. El término hace referencia al vínculo que existe entre las poblaciones humanas y las áreas protegidas, las cuales, sin importar su extensión,

la supervivencia de la biodiversidad, y los procesos ecológicos óptimos y adecuados, dependen estrechamente de la responsabilidad y compromiso de la sociedad para conservarla, así como el papel gubernamental e institucional para una mejor gestión de dichos espacios.

Según Cifuentes (1992), el aumento del crecimiento poblacional conlleva también un aumento considerable en la demanda de recursos por parte los habitantes que se encuentran cerca o incluso dentro de áreas protegidas, por esa razón surge la importancia de establecer categorías de uso múltiple que se ajusten a las necesidades de la población. En ese contexto, la zonificación y un buen diseño orientan y regulan los usos que serán permitidos en función de las características intrínsecas de cada zona y de la categoría de uso.

2.1.4 Delimitación de zonas de amortiguamiento en áreas protegidas

Durante varios años ha sido una práctica común fijar un área de manera aleatoria alrededor del área protegida como la zona de amortiguamiento de esta, sin tomar en cuenta que el proceso de delimitación de una zona de amortiguamiento debe incluir áreas con recursos naturales en buen estado, además de considerar los beneficios que obtendrá la población de la flora y la fauna, asimismo las costumbres y tradiciones de los pobladores del área (Bentrup 2008).

Según Cifuentes (2002) han existido casos en que se han establecido zonas de amortiguamiento, pero no las actividades ni los proyectos que garanticen la función protectora y para ello el procedimiento para establecer una zona de amortiguamiento requiere la misma especificidad que un área protegida. Así que se debe considerar lo siguiente:

- Debe ser suficientemente ancha para absorber los disturbios químicos y físicos, el tamaño y forma que se requieren dependerá de las influencias e impactos negativos que haya que controlar.

- La extensión de la zona de amortiguamiento está basada en las funciones ecológicas, contexto del paisaje y presiones externas.
- Los usos apropiados de la tierra y agua al interior de la zona de amortiguamiento son intermedios en intensidad entre el área protegida y el entorno desarrollado.
- Utilizar estas zonas como sitios de experimentación y desarrollo de nuevos sistemas de producción, estructurados en torno a procesos no tradicionales basados en la diversidad de especies, la diversidad de productos, el rescate de productos nativos y otros (Mora et al., 2015).

La información que sirve como guía para la planeación, diseño y establecimiento de zonas de amortiguamiento en áreas protegidas es cuantiosa, sin embargo, se encuentra dispersa en varios portales, razón por la cual los diseñadores no tienen acceso a un condensado de información o proceso estandarizado comprensible para esta aplicación. Es por esa razón que el presente trabajo tuvo como fin sintetizar y condensar la información de varias fuentes de conocimiento en un proceso estructurado que basado en metodologías internacionales y mediante el cruce de variables biofísicas y socioeconómicas, facultó la delimitación de zonas de amortiguamiento en áreas protegidas.

Prueba de dicha carencia de información se puede confirmar con el trabajo realizado por Mora et al., (2015) quienes delimitaron zonas de amortiguamiento en el Parque Recreacional Bosque Protector Jerusalem para reducir las amenazas a la biodiversidad, simplemente a través de revisiones teóricas de estudios y publicaciones científicas sobre el tema. La fase de campo consistió en la aplicación de entrevistas a los habitantes del área, como modeladores empíricos.

Ante esa falta de información, se han formulado varios procesos para la delimitación de zonas de amortiguamiento, sin embargo, no logran ser de fácil comprensión e involucran criterios que hacen de la aplicación un proceso más complejo, sin embargo, Vilhena et al., (2004) estandarizan un proceso integrado por

un conjunto de parámetros y criterios distribuidos en tres dimensiones; biofísica, socioeconómica y de gestión.

2.1.5 Técnicas de teledetección

La teledetección en el estudio del medio ambiente se basa en un sistema de adquisición de datos a distancia sobre la biosfera, basado en las propiedades de la radiación electromagnética y en su interacción con los materiales de la superficie terrestre (Sacristán, 2005). Los sensores de observación terrestre basados en satélites ofrecen datos digitales confiables y consistentes con diferentes rangos de resoluciones espectrales, radiométricas espaciales y temporales. La resolución espectral se define como el número y el ancho espectral de las bandas en el espectro electromagnético de un sensor de satélite (Jensen, 2005).

Las técnicas de teledetección satelital con resolución multitemporal se han convertido en una herramienta crucial para monitorear el cambio de uso/cobertura de la tierra. Este enfoque tiene un enorme impacto en el desarrollo de las investigaciones ecológicas ya que mejora la caracterización de los distintos elementos que conforman el paisaje y permite describir patrones espaciales de unidades ecosistémicas estructurales (distribución de tipos de vegetación, por ejemplo). La identificación de estos patrones es un paso crucial en la elaboración de hipótesis acerca de los controles de procesos ecológicos, y en el seguimiento de los cambios y usos de cobertura del suelo. Este ámbito de trabajo representa la aplicación de la teledetección a la ecología desde un enfoque estructural, y en su vertiente más aplicada permite la evaluación de los cambios en la estructura de la vegetación (Muñoz y Pérez, 2006).

Sin embargo, uno de los problemas de la cartografía del uso y cobertura del suelo con datos de teledetección es la capacidad de producir un mapa que represente, con un alto grado de precisión, la característica presente en la superficie terrestre. Para superar esto, muchos científicos utilizan simultáneamente datos de detección

remota, datos de campo y datos auxiliares para producir mapas mejores y más precisos (Gómez et al., 2016).

2.1.6 Imágenes satelitales

Martínez (2016) indica que el procesamiento de imágenes satelitales consiste en la comparación de imágenes de diferentes periodos de tiempo, esto haciendo uso de software especializados para el mapeo de coberturas en función de los valores de píxeles almacenados así es que las imágenes obtenidas por los satélites de teledetección ofrecen una perspectiva única de la Tierra, sus recursos y el impacto que sobre ella ejercen los seres humanos y se adquieren mediante la descarga de exploradores que poseen información por satélite para teledetección que permiten la visualización de imágenes en línea según el área de interés, fecha de adquisición o cobertura de nubes (Arozarena, 2001).

A comparación de las fotografías aéreas, las imágenes satelitales permiten identificar zonas mucho más extensas, lo que facilita numerosas aplicaciones, como el inventario de recursos naturales, planificación urbana y rural, monitoreo y gestión del medio ambiente, agricultura, infraestructuras, obras civiles, entre muchas otras. Alaniz (2014), afirma que el análisis de imágenes satelitales es la técnica que más se ha utilizado para realizar el mapeo y determinar los cambios de distintas cubiertas a estudiar, ya que facilita realizar estudios a nivel de observaciones de la superficie terrestre, dejando de lado las distintas metodologías que sugieren un mayor costo como la aerofotografía.

Las imágenes de satélite empleadas para los estudios multitemporales son las del satélite Landsat sensores ETM y OLI, estas imágenes son multiespectrales con 6 bandas, resolución espacial de 30 metros y resolución temporal de 16 días (Sánchez, 2012). El procesamiento de imágenes incluye cuatro componentes principales: preprocesamiento, clasificación, evaluación de la precisión y técnicas de detección de cambios (Read y Lam, 2010).

2.1.7. Análisis multitemporal

El análisis multitemporal es un proceso que comprende la distinción de dos o más imágenes digitales de una misma área de estudio en tiempos diferentes, pero con similitud en características y propiedades. Las imágenes procesadas permiten identificar y evaluar los cambios en la cobertura de la superficie terrestre, resultando en datos precisos del cambio y su dinámica. (Geografía, Planificación y Desarrollo, 2015). Chuvieco (2010) afirma que un análisis espaciotemporal se ejecuta mediante la comparación de las coberturas interpretadas en una figura o mapa de un mismo sitio en diferentes fechas. Este es un proceso más argumentado y con mayor contenido, puesto que permite evaluar los cambios de cada cobertura y en cada año del periodo de estudio, en el cual se puede incluir la influencia de los factores climáticos.

Medina (2015), asegura que, para obtener una mayor confiabilidad en cuanto a los resultados, las imágenes satelitales utilizadas en el análisis multitemporal deben estar separadas por al menos tres años, puesto que este periodo es ideal para detectar cambios en el área de estudio, sin embargo, la aplicación de un análisis multitemporal debe terminar apoyada por una clasificación supervisada, este proceso permite interpretar las variaciones y cambio en las coberturas deseadas siempre cuando estas sean de distintas fechas pero del mismo sitio, a través de la diferencia de píxeles para determinar los cambios considerables en el tiempo.

Es importante mencionar que ninguna clasificación puede catalogarse como confiable y completa, sin antes haber evaluado el grado de exactitud. Este puede definirse como el grado de concordancia entre las clases asignadas por el clasificador y las ubicaciones correctas según datos de tierra recolectados por el usuario, los cuales son considerados como datos de referencia a tomar como el conjunto de datos de entrenamiento (López, Bocco y Mendoza, 2000). Chuvieco (2002), afirma que el instrumento más utilizado para evaluar la exactitud de una clasificación es la matriz de confusión, también llamada matriz de error o de contingencia, que se basa en una matriz bidimensional, en donde las filas se ocupan

por las clases de referencia, y las columnas por las categorías deducidas de la clasificación.

2.1.8 Aplicaciones de estudios multitemporales

Los aportes más destacados de la teledetección espacial al estudio de cobertura vegetal es su capacidad para evidenciar dinámicas de cambios debido a catástrofes naturales como incendios, deslaves, terremotos, entre otros; o la intervención del hombre debido al avance de la frontera agrícola, actividades pecuarias, erosión del suelo, el crecimiento urbano, entre otras. Gracias al hecho de tratarse de información adquirida por un sensor situado en una órbita estable y repetitiva. En este tipo de estudio se evalúan los cambios que sufren las coberturas vegetales y en este caso ganancia o pérdida de cobertura vegetal como consecuencia de un fenómeno natural o de origen antrópico anteriormente mencionados (Fonseca y Gómez, 2013).

Estudios de análisis en los cambios en los usos del suelo, aportan información importante para la planificación y gestión territorial y además la evaluación del impacto ambiental en determinadas zonas (Pérez y García, 2012). En Ecuador, con base en Geoplades (2015), se han realizado varios análisis multitemporales, con el fin de reconocer los cambios de la cobertura vegetal de la superficie terrestre, esto para figurar el potencial futuro en contexto de cambio global.

2.2 Marco legal

2.2.1 Constitución de la República del Ecuador

El principal marco legal del presente estudio corresponde a la Constitución de la República del Ecuador (2008), en base a su Art. 14 presente en el Título II Derechos: Capítulo segundo; Derechos del Buen Vivir, sección segunda, Ambiente sano, se establece el derecho del pueblo ecuatoriano a vivir en un entorno sano y ecológicamente equilibrado y que asegure la sostenibilidad ambiental. Por lo que,

se declara prioridad tanto para el Estado como para las comunidades la protección del medioambiente, los ecosistemas en pro de mantener la biodiversidad presente en el país, así como la prevención y reducción de actividades que puedan contaminar el ambiente y recuperación de las áreas que se encuentren degradadas.

Así mismo, en el Título VII del Régimen del Buen Vivir: Capítulo segundo; se refiere a la Biodiversidad y Recursos Naturales en su Art. 365, literal 1, se establece que es responsabilidad del Estado ecuatoriano asegurar la implementación de un modelo de desarrollo sustentable, que provea a los ciudadanos de un ambiente equilibrado y diverso, protegiendo los entornos naturales en función de asegurar que las futuras generaciones dispongan de los servicios y recursos para satisfacer sus necesidades.

Dado que el presente estudio se desarrolló en un parque nacional con un elevado interés ecológico para el país, se revisó el Art. 406, en el que se establece que el Estado será responsable de la protección de ecosistemas que presenten condición de amenaza o por sus características particulares se consideren frágiles, entre los que se incluye el Parque Nacional Cotacachi-Cayapas.

2.2.2 Convenio sobre la Diversidad Biológica

El Convenio sobre la Diversidad Biológica (1995) es un tratado de corte internacional que tiene como objetivo promover medidas de sostenibilidad ambiental en los países participantes, cuyas actividades se sustentan en los siguientes principios: conservación, ecología y uso sustentable de los recursos, en base a estos lineamientos se establece que aquellas áreas que presenten diversidad biológica deberán ser protegidas a través de medidas especiales promovidas por el Estado.

2.2.3 Código Orgánico del Ambiente (COA)

El COA (2017) es una ley marco que regula el campo administrativo y ambiental, y que tiene por objeto reconocer y garantizar tanto el derecho de las personas como

de la naturaleza, en este sentido, en su Art. 30, se establecen las responsabilidades y objetivos del Estado en relación a la protección y conservación de la biodiversidad en el país y al respecto en el literal 2, se define la estructura y constitución de los ecosistemas con especial énfasis en su capacidad de resiliencia y promotor de bienes y servicios en el entorno ambiental. Asimismo, en su Art. 41 se establece que los parques nacionales formarán parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), por lo que es necesario establecer normas de uso en cada una de las zonas establecidas. Asimismo, en su Disposición Transitoria Sexta se establece que la Autoridad Ambiental Nacional será responsable de evaluar la cobertura de suelo en las áreas protegidas, finalmente en su Art. 94 refiere la prohibición de modificar el uso de suelos en zonas establecidas según los planes de ordenamiento territorial, áreas del Patrimonio Forestal Nacional y todas aquellas que se consideren de interés ecológico.

2.2.4 Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD)

El COOTAD (2010), en su Art. 136, establece que es responsabilidad y competencia de los gobiernos autónomos descentralizados la gestión ambiental de sus áreas de influencia, por lo que deben promover acciones específicas para la protección del medioambiente, a través del desarrollo de programas de protección y manejo sustentable, así como la recuperación de suelos que se encuentren degradados o desforestados, los cuales deben ser coordinados con el Gobierno Nacional y los diferentes entes responsables de la protección ambiental. Asimismo, en su Art. 297, establece que a través del ordenamiento territorial se logrará una planificación de las acciones orientadas a la protección ambiental en cada una de las zonas de pertinencia de los GAD.

2.2.6 Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021

En el objetivo 3 del Plan Nacional de Desarrollo, “Toda una vida”, se establece y reconoce los derechos de la naturaleza, estableciendo en su política 3.1 que es

necesario proteger el patrimonio natural del país en función de resguardar los derechos de acceso a estos recursos para futuras generaciones (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017).

2.2.5 Decretos ejecutivos

Se consideró el Decreto ejecutivo N° 1468 promulgado en 1968, en el que establece como reserva ecológica Cotacachi-Cayapas en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), posteriormente en el Acuerdo Ministerial N° 129, se establecieron los límites de esta reserva, los cuales fueron ampliados en el Acuerdo Ministerial N° 0322, y en el AM 072, y alcanzó una extensión de 260 961,46 hectáreas, finalmente en el Acuerdo N° 40, Ministerio de Ambiente se modifica la condición de Reserva Ecológica a Parque Nacional y en el Acuerdo N° 30, se amplía la zona de amortiguamiento de la Reserva en 25.000 hectáreas más.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1 Descripción del área de estudio

El Parque Nacional Cotacachi-Cayapas se ubica al este de la provincia de Esmeraldas y al oeste de Imbabura, tiene una extensión de 272.030 hectáreas. El área fue declarada Reserva Nacional el 29 de agosto de 1968, posteriormente se estableció como Reserva Ecológica el 20 de noviembre de 1979, y en mayo del 2019 cambió de categoría de manejo a Parque Nacional. Es una de las áreas protegidas de mayor riqueza florística y faunística del Ecuador y constituye una de las zonas de conservación más importantes del mundo, por pertenecer a la región Biogeográfica del Chocó, un corredor natural neotropical con una gran biodiversidad. El área de estudio de la presente investigación se ubica en la zona de amortiguamiento altoandina del área protegida, es decir, lo que pertenece a la provincia de Imbabura, en la Tabla 1 se indica las coordenadas geográficas y la Figura 1 presenta la ubicación geográfica del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas.

Tabla 1. Coordenadas del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas.

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Altitud (msnm)
Norte	763167	10099473	516 msnm
Sur	793813	10031928	3.110 msnm
Este	803951	10051560	3.600 msnm
Oeste	727453	10073476	214 msnm

Nota: Proyección Universal transversa de Mercator, Datum WGS 1984, Zona 17 hemisferio sur

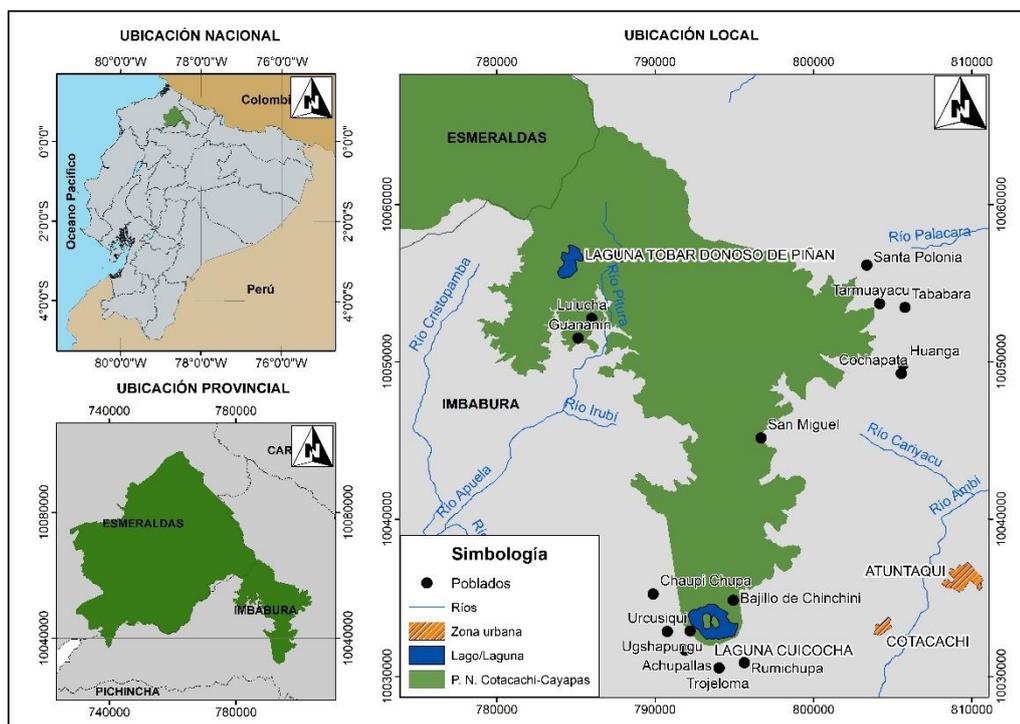


Figura 1. Ubicación geográfica del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas

Para comprender la dinámica de las coberturas vegetales y uso de suelo, ecosistemas y aspectos sociales es necesario incluir la descripción específica del área de estudio. A continuación, se detalla las principales características del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas.

3.1.1 Clima

Se caracteriza por presentar un rango de precipitación media anual entre los 1.000 – 5.000 mm y un rango de temperatura media anual que varía entre los 4 y 24 °C. Según la clasificación de los climas del Ecuador propuesta por la ORSTOM, el área protegida presenta cuatro tipos de climas en la zona alta y se muestran en la Tabla 2 (MAE, 2007).

Tabla 2. Tipos de clima del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas

Tipo de clima	Superficie (ha)	Porcentaje (%)	Rango altitudinal (msnm)	Temperatura media anual (°C)	Precipitación media anual (mm)
---------------	-----------------	----------------	--------------------------	------------------------------	--------------------------------

Tropical megatérmico húmedo	137.673,33	55.82	38 – 600	18 – 24 °C	2.000 y 4.000 mm
Megatérmico lluvioso	56.751,40	23.01	< 600	< 24 °C	4.000 y 5.000 mm
Ecuatorial de alta montaña	30.040,50	12.18	< 3.000	12 °C	1.000 y 2.000 mm
Ecuatorial mesotérmico semihúmedo	22.172,75	8.99	1.000-2.000	18 °C	1.000 y 2.000 mm
Total	246.638,00	100.00			

Fuente: Ministerio del Ambiente del Ecuador, (2007). *Tipos de clima*

3.1.2 Relieve y geomorfología

El área protegida se caracteriza por contar con cinco unidades geomorfológicas que van desde 30 – 1.600 msnm en la zona baja a los 1.601 – 4.939 msnm en la zona alta y son montañas o cumbres volcánicas, páramo, flancos o declives hacia el callejón interandino y hacia la costa llanuras de piedemonte y se encuentra cubierta en un 51% por una combinación de tipos de suelos del orden inceptisol más entisol y un 44% de suelos inceptisol.

El relieve más abrupto del área protegida se ubica en la zona andina, específicamente en la provincia de Imbabura, en donde se ubica también el volcán Cotacachi. Según Jácome et al., (s,f) el relieve y la geomorfología abruptamente pronunciados en este sector del área protegida se deben a la actividad tectónica local durante el cuaternario. Además menciona que la formación del primer edificio, Cotacachi I, es el resultado de dos grandes avalanchas de escombros hace entre 162 y 108 mil años.

Dentro del parque nacional se determinan seis rangos principales de pendientes que son: plana, con un ángulo de 0 a 9% y cubre el 42,67% del área, suavemente ondulada de 9 a 18%, y comprende el 17,6%, ondulada de 18 -37%, con una superficie del 20,71%, montañosa entre 37 a 58% y se distribuye en el 11,9%, muy

montañosa de 58 a 100%, ocupa el 6,37% y finalmente escarpada: con un ángulo mayor al 100%, representando el 0,75% (INABIO, 2019).

3.1.3 Cobertura vegetal y uso de suelo

De acuerdo con la clasificación de los ecosistemas del Ecuador continental, las formaciones vegetales existentes dentro del área protegida se muestran en la Tabla 3. El bosque siempre verde Piemontano de la Costa (bsvPM) es el que presenta mayor representatividad al ocupar un 51,05%, mientras que el herbazal montano y la nieve perpetua son los de menor representatividad, además en la zona de amortiguamiento, la variedad de ecosistemas, tanto en la zona baja como alta, es más diversa al contar con dos coberturas adicionales a las que presenta el área protegida y son: Espinar seco montano intervenido y matorral (MAE, 2007).

Tabla 3. Tipos de clima del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas

Tipo de cobertura vegetal	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Bosque siempre verde piemontano	125.903,09	51,05
Bosque siempre verde de tierras bajas	2.788,06	1,13
Bosque siempre verde montano alto	10.906,24	4,42
Bosque siempre verde montano bajo	43.874,53	17,79
Bosque de neblina montano	43.576,77	17,67
Gelidofitia	227,92	0,09
Páramo herbáceo	18.766,93	7,61
Total	246.638,00	100,00

Fuente: Sierra (1999). *Formaciones vegetales de la Reserva Cotacachi-Cayapas*

En cuanto a la diversidad de flora presente en el área protegida se han registrado 2.017 especies de plantas vasculares, incluyendo la zona de amortiguamiento, lo que representa 13,8 % del número total reportado en el Catálogo de Plantas Vasculares del Ecuador distribuidas en las clases de coberturas mencionadas. Con respecto, al uso de suelo las dos coberturas que predominan en el área son bosque nativo en un 65,35% y pastos con un 31,46% (MAE, 2007).

3.1.4 Hidrografía

Se afirma que la diversidad de pisos ecológicos en el área protegida es posible por la circulación de caudales considerables de agua entre las dos zonas. Existen 24 microcuencas que tienen relación con el parque de las cuales ocho poseen su área total dentro del mismo y los dieciséis restantes tienen la mayor superficie fuera del área protegida. Los ríos más importantes son el río Santiago – Cayapas, Esmeraldas y Mira sin embargo existen algunos ríos en la zona alta como son el Yanayacu, Pichambiche, Pichaví y Ambi, que ofertan agua para consumo de las poblaciones (MAE, 2007).

3.1.5 Demografía

El parque nacional cuenta con 3.922 habitantes que residen dentro del área y en la zona de amortiguamiento se encuentran 46.282 habitantes, resultando un total de 50.204. Las comunidades adyacentes al área protegida en la zona alta son Pucalpa, Peribuela, Quitumbe, Morlan, Colimbuela, Perafan, El Cercado, Alambuela, San Pedro, Asaya Santo Tomás, Topo Grande, Topo Chico, Itaqui, Morocho, Chilcapamba, Andraví y Morales Chupa, en la Tabla 4 se detalla la ubicación de las comunidades mencionadas. Además, tiene tres comunidades indígenas originarias y tres haciendas ganaderas (INABIO, 2019).

Tabla 4. Comunidades adyacentes a la zona alta del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas

Comunidades	Cantón	Parroquia
Andraví	Cotacachi	Quiroga
Alambuela	Cotacachi	El Sagrario
Asaya Santo Tomás	Cotacachi	El Sagrario
Chilcapamba	Cotacachi	Quiroga
Colimbuela	Cotacachi	Imantag
El Cercado	Cotacachi	El Sagrario
Itaqui	Cotacachi	El Sagrario
Morales Chupa	Cotacachi	San Francisco
Morlan	Cotacachi	Imantag

Morochos	Cotacachi	San Francisco
Perafan	Cotacachi	Imantag
Peribuela	Cotacachi	Imantag
Pucalpa	Cotacachi	Imantag
Quitumbe	Cotacachi	Imantag
San Pedro	Cotacachi	El Sagrario
Topo Grande	Cotacachi	El Sagrario
Topo Chico	Cotacachi	San Francisco

3.2 Métodos

3.2.1 Delimitación del área de amortiguamiento de la zona altoandina del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas

Para establecer los criterios de delimitación de la zona de amortiguamiento (ZAM) del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas, se utilizó una adaptación de la metodología del Centro Internacional de Investigación Forestal (CIFOR), de desarrollo de estándares para el manejo forestal sostenible, aplicada por Vilhena et al., (2004) quienes estandarizaron los parámetros para la delimitación y manejo adaptativo de zonas de amortiguamiento en parques nacionales del Cerrado, Brasil en un conjunto de principios, criterios e indicadores que permiten delimitar las zonas de amortiguamiento en áreas protegidas. La metodología propuesta es una herramienta práctica para orientar el proceso de delimitación, evaluación de los límites de zonas de amortiguamiento implementadas y la toma de decisiones sobre el manejo, por medio de la medición e interpretación de los indicadores formulados.

El procedimiento para la aplicación de la metodología consistió en el cruce de variables cartográficas adaptadas al área de estudio como: presencia de comunidades, cobertura y uso de suelo, cuerpos de agua, distancias a las vías, características culturales de la población, predios privados, zonas de restauración y agro-ecosistemas. A continuación, se explica el proceso para la identificación de dichas variables.

3.2.1.1 Revisión bibliográfica y diagnóstico del área

Por medio de una extensa revisión de literatura, se identificaron e interpretaron los criterios específicos de acuerdo con las características propias de la zona de amortiguamiento para la presente área de estudio. Posteriormente se obtuvo las cartas topográficas del Geoportal del Instituto Geográfico Militar del Ecuador (IGM) a escala 1:50.000 que correspondían a cada una de las variables registradas.

3.2.1.2 Sistematización de criterios

Los criterios fueron organizados en un estándar preliminar para conocer la información funcional para la delimitación es así, que con el apoyo del software ArcGIS v10.4 se depuró todos los datos cartográficos para el área protegida. Posteriormente con la data organizada se procedió a añadir cada *shape* en el polígono del Parque Nacional y mediante el uso de las herramientas “*Intersect*” y “*Unión*” se obtuvo un polígono final que comprendía todos los criterios establecidos en la metodología. En el presente estudio se consideraron los parámetros para la delimitación y manejo que corresponden a la dimensión biofísica y socioeconómica, según se indican en la Tabla 5.

Tabla 5. Principios y criterios para delimitación de la zona de amortiguamiento

Aplicación	Dimensión	Principios	Criterios
Delimitación	Biofísica	La ZAM involucra elementos del paisaje que protegen el PN de las amenazas externas	1.1. En la ZAM, los elementos del paisaje se integran en un espacio geográfico que influye directamente sobre la biodiversidad del PN.
	Socioeconómica	La ZAM involucra a las comunidades humanas que ejercen impacto directo sobre el PN	1.2. La ZAM involucra a las comunidades humanas que demandan de recursos del ecosistema protegido.
Manejo	Biofísica	La ZAM involucra elementos del paisaje que protegen el PN de las amenazas extremas.	1.3. El manejo garantiza el mantenimiento de la cantidad y calidad de cobertura vegetal remanente en la ZAM.

	<p>El manejo de la ZAM favorece el mantenimiento de los procesos ecológicos establecidos en el PN.</p>	<p>1.4. Las actividades productivas en las propiedades rurales colindantes con el PN son compatibles con los objetivos de conservación.</p> <p>1.5. Los disturbios ambientales en la ZAM ocurren con frecuencia e intensidad aceptable como para que el proceso ecológico se mantenga y/o reestablezcan.</p> <p>1.6. Las especies alóctonas criadas en la ZAM no utilizan recursos del PN.</p> <p>1.7. Los recursos naturales utilizados en la ZAM son manejados de manera favorable a su manutención.</p>
Socioeconómica	<p>El manejo de la ZAM proporciona un desarrollo integrado a la conservación.</p>	<p>1.8. Existen oportunidades de ingreso por medio de prácticas agroecológicas.</p> <p>1.9. Existe un reconocimiento local de la importancia de la conservación ambiental.</p> <p>1.10. La presencia de la fauna silvestre no compromete las actividades productivas de la ZAM.</p> <p>1.11. La cultura es preservada y valorizada por medio de incentivos locales.</p> <p>1.12. Se contemplan los requisitos básicos en la comunidad residente en la ZAM.</p>
Manejo	<p>La estabilidad y la distribución demográfica permiten una mayor aproximación al uso sustentable de los recursos naturales.</p>	<p>1.13. En la ZAM existen mecanismos que contribuyen para una mejor distribución demográfica, se controla el crecimiento desordenado de los centros urbanos.</p>
	<p>El PN genera beneficios efectivos para la comunidad local.</p>	<p>1.14. Las comunidades locales se apropian de los beneficios socioeconómicos generados por el PN.</p>

Fuente: Vilhena et al., (2004). *Principios y criterios resultantes en el estándar final para la delimitación y manejo de zonas de amortiguamiento.*

3.2.1.3 Reconocimiento en campo

Una vez establecidos los criterios para la delimitación del área de estudio, se realizaron dos recorridos de campo por la zona, uno de ellos por el sector de Quiroga y el segundo por la entrada al Distrito de Piñán, en donde se asignaron puntos de control mediante GPS, con el fin de reconocer los procesos y coberturas vegetales actuales, además se observó e identificó en base a los criterios biofísicos y socioeconómicos establecidos el uso de suelo actual en los puntos de control registrados. Finalmente, con el apoyo del navegador GPS se determinaron las coordenadas UTM para cada una de las zonas.

3.2.1.4 Sistematización de la información de campo

La información de campo recolectada en cada una de las salidas de campo (Cuicocha y Piñán), fue organizada sistemáticamente en tablas con el motivo de facilitar la interpretación y análisis; cada tabla incorpora una fila superior que indica consecutivamente la numeración ascendente para cada punto de control, seguido del nombre al que hace referencia, coordenadas en X, Y, y finalmente la altitud de cada punto registrado, posteriormente mediante el uso del software ArcGIS v10.4 se añadió los datos y se verificó la ubicación de cada punto. Finalmente se elaboró cartografía temática georreferenciada, la cual cuenta con la información registrada durante las salidas de campo realizadas en el área de estudio.

3.2.1.5 Elaboración de cartografía temática

Para la elaboración de mapas temáticos se utilizaron las cartas topográficas digitales obtenidas del Geoportal del Instituto Geográfico Militar del Ecuador (IGM) a escala 1:50.000; y se realizó la cartografía mediante el software ArcGIS v10.4, en donde se superpuso la información digital obtenida. La cartografía elaborada consistió en: mapa de ubicación, mapa base, mapa de verificación de puntos GPS y mapa de cobertura vegetal y uso de suelo.

3.2.1.6 Propuesta de delimitación de la Zona de Amortiguamiento

Finalmente, mediante la aplicación de la metodología descrita anteriormente y con base a los distintos mapeos establecidos según las dimensiones biofísicas y socioeconómicas basadas en la metodología del CIFOR se definió los límites de la Zona de Amortiguamiento para el Parque Nacional Cotacachi-Cayapas, los mismos que se muestran en la cartografía respectiva.

3.2.2 Análisis multitemporal de los factores que influyen en los cambios de la cobertura vegetal

3.2.2.1 Adquisición de imágenes satelitales

La adquisición de datos se realizó por medio de la búsqueda y descarga de dos imágenes del satélite Landsat, de los sensores TM (Thematic Mapper) y ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) con 30 m de resolución espacial (multiespectral), a través del portal web del Servicio Geológico de los Estados Unidos (United States Geological Survey – USGS <https://www.usgs.gov>), y utilizando el visor Earth Explorer (USGS, 2019). Durante la adquisición de las imágenes satelitales y metadatos asociados, se consideró la información relativa a la plataforma, calibración del sensor, proyección, cobertura, resolución, nubosidad y otra información relevante.

3.2.2.2 Preprocesamiento digital de imágenes satelitales

Posteriormente a la adquisición de imágenes satelitales se procedió a procesar y mejorar la calidad de las imágenes, para ello se utilizó el software ENVI, en el que se aplicaron las correcciones radiométrica y atmosférica; para la corrección de bandeo se utilizó la extensión *Landsat Gapfill*, con el tipo de procesamiento triangulación; conjuntamente, se eliminaron las distorsiones que la atmósfera introduce en los valores de radiancia, mediante el uso de la herramienta *Radiance With Atmospheric Correction*. Las imágenes resultantes del preprocesamiento

fueron aptas para realizar la clasificación de las imágenes y finalmente se aplicó la validación de la clasificación (IGAC, 2013).

3.2.2.3 Procesamiento digital de imágenes satelitales

Para el procesamiento de las imágenes se estableció categorías para cada uno de los píxeles y se clasificó con las diferentes formaciones vegetales, poniendo en práctica una serie de técnicas de reconocimiento de patrones espaciales y espectrales, para obtener cartografía de cobertura vegetal. El procedimiento consistió en la combinación de bandas en el espectro visible y en el espectro infrarrojo, recorte de imágenes con el polígono de la zona de amortiguamiento, clasificación supervisada y validación de la clasificación supervisada (Roa, 2007).

3.2.2.4 Clasificación supervisada de imágenes satelitales

Para realizar la clasificación supervisada fue necesario el uso de los puntos de control GPS y las observaciones tomadas en campo para interpretar los distintos elementos encontrados en el área de estudio como: tipos de vegetación, uso de suelo, áreas incendiadas, áreas de deforestación y presencia de plantaciones forestales, con el fin de que las firmas espectrales de los objetos identificados sean ajustadas a la realidad.

Posteriormente mediante el software ArcGIS v10.4 se crearon 100 puntos aleatorios con el fin de identificar las clases de las imágenes correspondientes a los años 1990 y 2019, se asignaron las clases y se crearon las zonas de influencia o áreas de entrenamiento para cada campo, seguidamente se obtuvieron las firmas espectrales para cada elemento identificado en las imágenes; el software caracterizó a los píxeles de la imagen con las firmas espectrales, y se obtuvo datos de superficie de cada elemento combinado con el conocimiento que se tiene del área. Finalmente, para la validación de la clasificación se diseñó la matriz transicional o de confusión y el coeficiente Kappa (Cartaya et al., 2015).

3.2.2.5 Validación de la clasificación supervisada

Para realizar la validación de los resultados obtenidos en la clasificación, se elaboró una matriz de contingencia, los tipos de exactitud a utilizar fueron: la precisión general de la clasificación se calculó dividiendo el número de valores correctos en las diagonales de la matriz por el número total de valores tomados como punto de referencia; la precisión del productor se obtuvo dividiendo el número de píxeles correctos en una clase dividido por el número total de píxeles derivado de los datos de referencia; la precisión del usuario se calculó dividiendo los píxeles clasificados correctos por el número total de píxeles y el coeficiente Kappa que mide la concordancia entre el mapa de clasificación y los datos de referencia, las categorías de los valores de concordancia se presentan en la Tabla 6 (Bishop y Fienberg, 2007).

Tabla 6. Categoría de concordancias de validación para el coeficiente Kappa

Valor K	Concordancia
0	Nula
0,01 – 0,02	Leve
0,21 – 0,40	Aceptable
0,41 – 0,60	Moderada
0,61 – 0,80	Considerable
0,81 – 1	Casi perfecta

Fuente: Bishop y Fienberg (2007). *Concordancias de validación para el coeficiente Kappa*

La validación de los cambios de cobertura vegetal y uso de suelo es importante ya que garantiza que la clasificación supervisada es significativa y generalmente se realiza mediante la aplicación de la matriz de confusión y el índice Kappa que según Flores (2019), son una herramienta utilizada para evaluación de la calidad temática de cualquier tipo de dato espacial y reconocida en la Norma Internacional ISO 19157 como un mecanismo para ofrecer los resultados de la calidad temática de procesos de clasificación por teledetección y fotointerpretación.

3.2.2.6 Análisis multitemporal de la zona de amortiguamiento andina del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas en el período 1990-2019

El análisis multitemporal se realizó utilizando las coberturas finales de la clasificación supervisada, se obtuvo mapas resultantes del análisis para cada año de estudio, en los que se determinaron diferentes clases de vegetación existentes, en base a la información cartográfica generada para posteriormente cuantificar los cambios en las superficies de la zona de amortiguamiento andina del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas.

3.2.2.7 Cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

El cálculo del índice de vegetación o índice verde (NDVI) se obtuvo por medio de los valores de intensidad de radiación de las bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite, y se calculó mediante la combinación matemática de bandas para reflejar las condiciones fisiológicas y biométricas de la vegetación a través del uso de la herramienta “*Image Analysis*” en el software ArcGIS v10.4 mediante la siguiente ecuación (1):

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1)$$

Donde:

NIR: Banda infrarroja cercana

RED: Banda roja

En el presente estudio se utilizaron imágenes de los satélites Landsat 5 y 7, por lo tanto, se emplearon las bandas 4 y 3, que corresponden a la banda infrarroja cercana y banda roja respectivamente. A continuación, se ejecutó la herramienta “*Reclassify*” y mediante el método manual se digitalizaron los rangos de valores que se indican en la Tabla 7.

Tabla 7. Rangos del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

Clase	Rango
1	0 – 0,125
2	0,125 – 0,25
3	0,25 – 0,50
4	> 0,50

3.2.3 Evaluación de la tasa de cambio cobertura vegetal mediante técnicas de percepción remota

Para la evaluación de la tasa de cambio en la cobertura vegetal en la zona de amortiguamiento alto andina del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas se aplicó la matriz de transición para conocer la tasa de variación de la cobertura vegetal y además se calcularon dos métricas que indican la tasa de deforestación en el periodo de estudio; a continuación, se explica detalladamente el procedimiento.

3.2.3.1 Cálculo de la tasa de variación de la cobertura vegetal y uso del suelo en el período 1990 – 2019

Para determinar las tasas de variación de la cobertura vegetal se elaboró una matriz de transición o también denominada matriz de tabulación cruzada del tiempo con el número de hectáreas de cada clase de cobertura vegetal para cada año, con el uso del Software Idrisi y mediante la aplicación de la herramienta “*Crosstab*” o también llamado cruce de tablas, es el proceso de sobre posición que en términos generales, indica la posibilidad que tiene una categoría de uso de suelo y vegetación de mantener su condición o de cambiar a otra categoría (Maass y Regil, 2010). Lo que permitió obtener patrones de cambio mediante filas y columnas que representan el tiempo inicial y final respectivamente de los periodos, es decir se determinó la pérdida, ganancia y persistencia (diagonal principal) de cada una de las coberturas analizadas (en porcentajes).

3.2.3.2 Aplicación de las métricas de deforestación

Se aplicó el cálculo de la tasa de deforestación propuesta por el MAE (2012), en la Línea base de deforestación del Ecuador Continental, documento en el que se propone una serie de ecuaciones integradas que permitió combinar las matrices de cambio, y las fechas de referencia ajustadas linealmente para calcular las distintas métricas de deforestación. La primera métrica de deforestación corresponde a la deforestación total anual promedio para un período determinado, mediante la ecuación 2 (Puyravaud, 2003).

$$R = \frac{A_1 - A_2}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

Donde:

A_1 y A_2 : Áreas de la cobertura

t_2 y t_1 : Fecha final e inicial

Adicionalmente, se realizó el cálculo de la tasa de cambio anual, que se obtuvo comparando el área cubierta por la cobertura en las dos épocas mediante la ecuación 3 (Puyravaud, 2003).

$$q = \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^{1/(t_2 - t_1)} - 1 \quad (3)$$

Donde:

A_1 y A_2 : Áreas de la cobertura

t_2 y t_1 : Fecha final e inicial

3.3 Materiales y equipos

En la Tabla 8 se detallan los materiales y equipos utilizados en la investigación.

Tabla 8. Materiales y equipos

Materiales	Equipos
Software ArcGIS v10.4	Vehículo transporte
Software ENVI (Última versión)	Cámara fotográfica Digital
Imágenes satelitales: LANDSAT sensores TM y ETM, con resolución espacial de 30m recuperadas del servidor Earth explorer	Computadora portátil
Imagen del satélite: SENTINEL 2A, con resolución espacial de 10m recuperadas del servidor Earth explorer	Navegador GPS
Cartas topográficas digitales a escala 1:50.000	
Cartas digitales del área de estudio recuperadas del ex IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano) a escala 1:50.000.	

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Delimitación del área de amortiguamiento de la zona altoandina del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas

Durante el proceso de aplicación de la metodología propuesta en la investigación, se realizó un análisis selectivo de los criterios y parámetros que esta comprende, con el fin de dirigir los resultados específicamente a la delimitación de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas. En ese contexto, se obtuvo un principio y un criterio para la dimensión biofísica y socioeconómica respectivamente. Además, para el manejo adaptativo de la zona, se aplicaron dos principios y tres criterios para la dimensión biofísica, mientras que en la dimensión socioeconómica se analizaron tres principios y ocho criterios.

Según Vilhena et al., (2004) la dimensión biofísica incluye las variables que se relacionan con las funciones ecológicas de las zonas de amortiguamiento y también los aspectos relevantes para la delimitación, mientras que la dimensión socioeconómica incluye los aspectos relacionados con las actividades humanas como el uso y de conservación. En la Tabla 9 se evidencian los resultados de los criterios definidos para el área de estudio, con los cuales se obtuvo un archivo *shape* que representa la propuesta para el establecimiento de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas.

Tabla 9. Aplicación de los principios y criterios para la delimitación de la zona de amortiguamiento

Principios	Criterios	Fuente
La ZAM involucra elementos del paisaje que protegen el PN de las amenazas externas.	Ecosistemas naturales	MAE 2018 1:100000
La ZAM involucra a las comunidades humanas que ejercen impacto directo sobre el PN	Poblados que ubican dentro del área de estudio.	IGM 1.50000

La ZAM involucra elementos del paisaje que protegen el PN de las amenazas externas.	Bosques plantados e intervenidos	MAE 2012, 1:100.000
	Tierra agropecuaria Plantaciones forestales	
	Agroecosistemas	IGM, 1:100.000
El manejo de la ZAM favorece el mantenimiento de los procesos ecológicos establecidos en el PN.	Zonas de restauración Predios Socio-Bosque	MAE, 2012 1:50.000
	Clases agrológicas	MAE, 2012 1:50.000
El manejo de las ZAM proporciona un desarrollo integrado a la conservación.	Uso de suelo	SNI, 2012 1:100.000
	Cobertura vegetal	
	Socio Bosque/ Poblados	MAE, 2012 1:50.000 IGM 1:50.000
La estabilidad y la distribución demográfica permiten una mayor aproximación al uso sustentable de los recursos naturales	Red vial	IGM 1:50.000
	Zonas urbanas, cabeceras cantonales y parroquiales	IGM 1:50.000
El PN genera beneficios efectivos para la comunidad local	Parroquias propuestas dentro del PMA.	Plan de manejo de Reserva Ecológica Cotacachi-Cayapas

En una investigación similar realizada por Méndez (2012), para la delimitación de la zona de amortiguamiento de la Reserva Natural Otamendi se aplicó la metodología Principio, Criterio, Indicador (PC&I), en la que se interpretaron diferentes criterios biofísicos y socioeconómicos que a su vez tuvieron una función específica dentro del área. Posterior a ello, el autor realizó un cruce de información de los criterios obtenidos, comparados con indicadores de fuentes secundarias e indicadores propios del área de estudio, para finalmente obtener información cartográfica que resultó en la propuesta final de delimitación de la zona de amortiguamiento para la Reserva Natural Otamendi, con una menor extensión y mayor homogeneidad en sus componentes, lo que facilita la gestión y administración del área protegida (Méndez, 2012).

La investigación anteriormente descrita emplea una metodología similar a la del presente estudio al obtener la delimitación de la zona de amortiguamiento mediante

la identificación cartográfica de criterios biofísicos y socioeconómicos del área incluyendo variables ecológicas, uso y conservación. Así pues, para implementar una metodología para la delimitación de zonas de amortiguamiento que sea exitosa se consideró todos los factores que influyen en el manejo del área y por ende esta información servirá para desarrollar una correcta zonificación de las áreas de amortiguamiento en el Ecuador.

4.1.2 Reconocimiento y sistematización de la información de campo

Mediante las salidas de campo en los sectores de Cuicocha y Piñán se obtuvo la valoración de las distintas coberturas vegetales y uso del suelo actual. En la Tabla 10 se presentan los resultados obtenidos en la primera salida de campo en el sector de Cuicocha. En resumen, durante el registro de la información:

- **Punto 1:** se ubicó en Quiroga y correspondió a la zona urbana con presencia de actividades comerciales y socioeconómicas.
- **Puntos 2, 3, 4, 5:** se registró la presencia de cultivos de ciclo corto como maíz (*Zea mays*), fréjol (*Phaseolus vulgaris*) y papa (*Solanum tuberosum*), además se registró una concentración dispersa de viviendas y minas artesanales de extracción de arena y material pétreo.
- **Puntos 6, 7, 8:** se registró la presencia de pastos cultivados como kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), además de la presencia de actividades ganaderas y plantaciones forestales, razón por la que se evidenciaron también amplias extensiones de pastos degradados como consecuencia del sobrepastoreo y erosión del suelo.
- **Punto 9:** se ubicó en el límite del Parque Nacional Cotacachi- Cayapas en donde se registró la presencia de pastos cultivados degradados y áreas incendiadas en recuperación con pequeñas parcelas de cultivos de ciclo corto, además de la presencia de plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus*).

- **Puntos 10, 11, 12, 13, 14:** Se registró una mayor dispersión de viviendas con pequeñas parcelas de cultivos de ciclo corto, además de la presencia de plantaciones forestales, actividades agrícolas y pecuarias.

Tabla 10. Puntos de control salida de campo Cuicocha. Proyección UTM, Zona 17 Sur.

N°	Puntos de control	Coordenada X	Coordenada Y	Altitud (msnm)
1	Quiroga	802235	10031304	2.505
2	Comunidad Cuicocha	800744	10030953	2.599
3	Comunidad Cuicocha	799416	10030983	2.692
4	Guitarra-Ucu	800778	10031043	2.605
5	San Bartolo-Cuicocha	796916	10031414	2.849
6	Límite fronterero agrícola	795876	10032504	2.960
7	Ucshupungo	792998	10032100	3.172
8	Urcusiqui	790252	10033997	3.324
9	Límite Parque Nacional con divisoria de aguas	796963	10032913	2.942
10	Morochos	798028	10032626	2.796
11	Comunidad Morochos	798720	10032691	2.782
12	Chilcapamba	800163	10032596	2.666
13	Iltaqui	800316	10033660	2.678
14	Topo	801421	10034563	2.661

En la Tabla 11 se presentan los datos obtenidos en la segunda salida de campo en el sector de Piñán. A continuación, se indica el registro de la información:

- **Punto 1, 2:** se registró la presencia de pastos cultivados, plantaciones forestales de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), vegetación arbustiva como supirrosa (*Lantana camara*), lechero (*Euphorbia laurifolia*), y mora silvestre (*Rubus adenotrichos*) y vegetación de páramo.
- **Punto 3, 4, 5:** se registró predominancia de vegetación natural, herbácea, arbustiva y de páramo en estado de conservación. Además, existen especies arbóreas de bosque nativo: arrayán (*Myrtus communis*), encenillo (*Weinmannia tomentosa*) y pumamaqui (*Oreopanax ecuadorensis*) con presencia de pequeños parches de pastos cultivados como cortadera (*Cortaderia selloana*) y paja. Es un área en la que no se evidencia erosión del suelo.

- **Punto 6:** se registró la presencia de especies arbóreas como pumamaqui (*Oreopanax ecuadorensis*), palo de rosa (*Aniba roseadera*) y yagual (*Polylepis incana*).
- **Punto 7, 8:** se ubican dentro del ecosistema páramo, razón por la que se registró la presencia de especies como chuquiragua (*Chuquiraga jussieui*), romerillo blanco (*Bidens pilosa*) y cortadera (*Cortaderia selloana*) con pastos naturales en la parte baja.

Tabla 11. Puntos de control salida de campo vía Piñán. Proyección UTM, Zona 17 Sur.

Nº	Puntos de control	Coordenada X	Coordenada Y	Altitud (msnm)
1	Entrada a Piñán	806013	10044624	2.600
2	Cauce del río Cariyacu	803483	10044491	2.552
3	Campamento del Ministerio del Ambiente	799415	10044658	2.993
4	Cota 3100 m.s.n.m	799295	10044996	3.100
5	Cota 3200 m.s.n.m	799189	10045258	3.209
6	Cota 3300 m.s.n.m	798543	10045225	3.303
7	Cota 3400 m.s.n.m	798014	10045253	3.403
8	Cota 3500 m.s.n.m	797374	10044669	3.505

4.1.3 Propuesta de delimitación de la Zona de Amortiguamiento

La interpolación de los archivos *shape* obtenidos del Geoportal del Instituto Geográfico Militar del Ecuador (IGM) a escala 1:50.000 resultó en el polígono que representa la propuesta para la delimitación de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas que se muestra en la Figura 2. Resulta importante hacer mención el resultado obtenido en el estudio realizado por Gómez y Ramírez (2019), en el que para obtener el polígono que represente la delimitación de la zona de amortiguamiento del páramo de Murillo se utilizaron archivos *shape* correspondientes al área de estudio, los cuales fueron obtenidos del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) a escala 1:50.000.

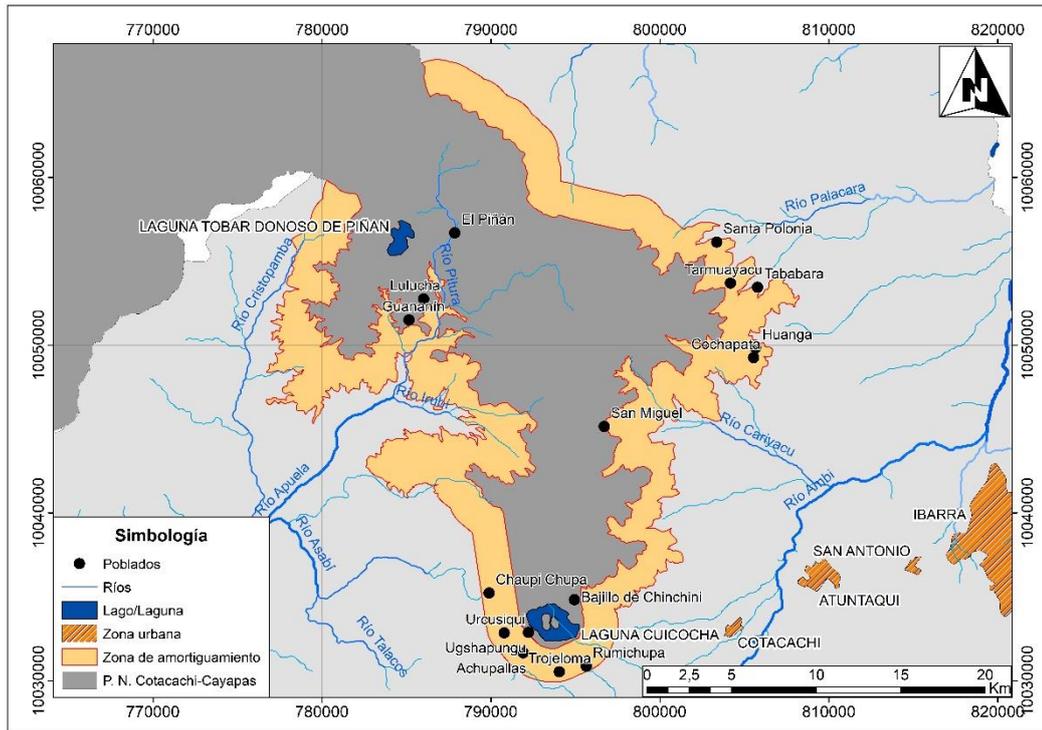


Figura 2. Propuesta de delimitación de la Zona de Amortiguamiento del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas

La zona de amortiguamiento altoandina del parque nacional comprende un área de 24.683,90 hectáreas que se ubican alrededor del área protegida y que a su vez están delimitadas por el límite provincial de Esmeraldas e Imbabura. La Tabla 12 indica los límites de la zona de amortiguamiento altoandina.

Tabla 12. Coordenadas de la zona de amortiguamiento altoandina del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Altitud (msnm)
Norte	786803	10067023	2.966 Msnm
Sur	793781	10029928	2.951 Msnm
Este	776685	10046679	3.001 Msnm
Oeste	808246	10052860	2.381 Msnm

Nota: Proyección Universal transversa de Mercator, Datum WGS 1984, Zona 17 hemisferio sur

Como resultado de la verificación de puntos de control, diez puntos registrados en el sector de Cuicocha y los puntos uno y dos vía Piñán no se localizaron dentro de la zona de amortiguamiento altoandina del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas, sin embargo, se consideraron como información importante porque al estar próximos al área permitieron tener una clara visión de las actividades que se producen; el resultado de la ubicación de los puntos de control se presenta en la Figura 3.

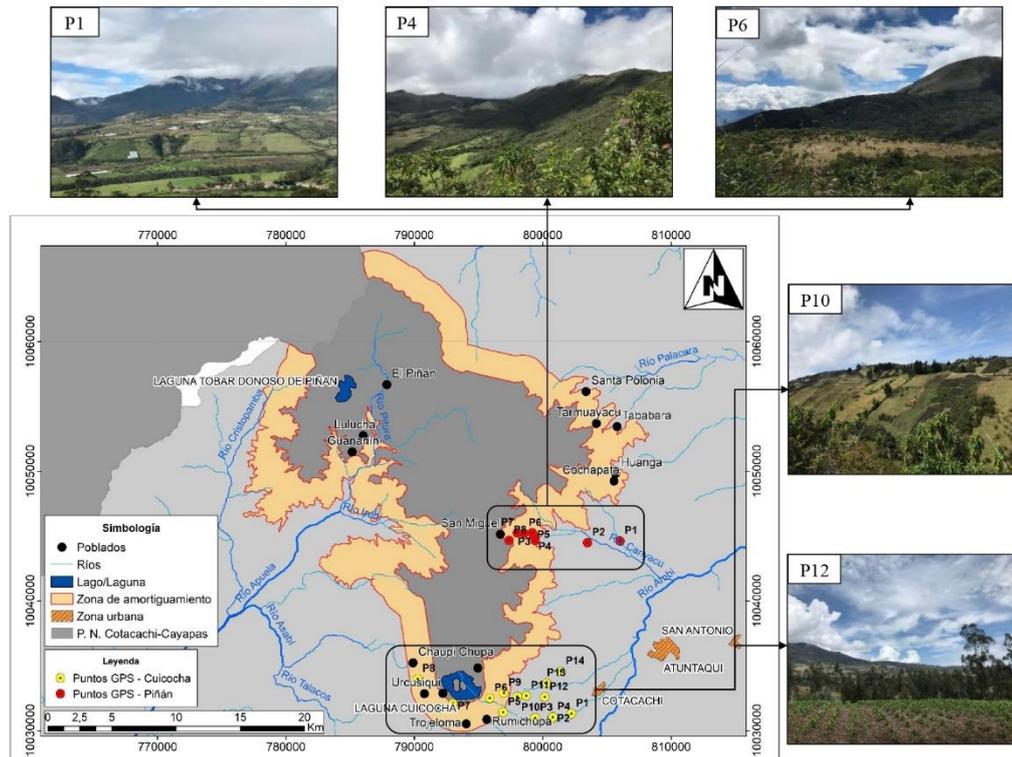


Figura 3. Verificación de puntos de control

4.1.4 Elaboración de cartografía temática

Dentro de la zona de amortiguamiento del PNCC se determinó la existencia de seis ecosistemas naturales: Bosque siempreverde montano de la cordillera occidental de los Andes que presentó predominancia al ocupar una extensión de 6.338,57 hectáreas; seguido del Bosque siempreverde montano alto de la cordillera occidental de los Andes que cuenta con 4.268,13 hectáreas. Asimismo, se determinó que el ecosistema herbazal del páramo ocupa una superficie de 3.998,62 hectáreas, mientras que el arbustal siempreverde y herbazal del páramo posee 1.573,84

hectáreas, finalmente el arbustal siempreverde montano del norte de los Andes tiene 144,73 hectáreas y se presentan en la Figura 4.

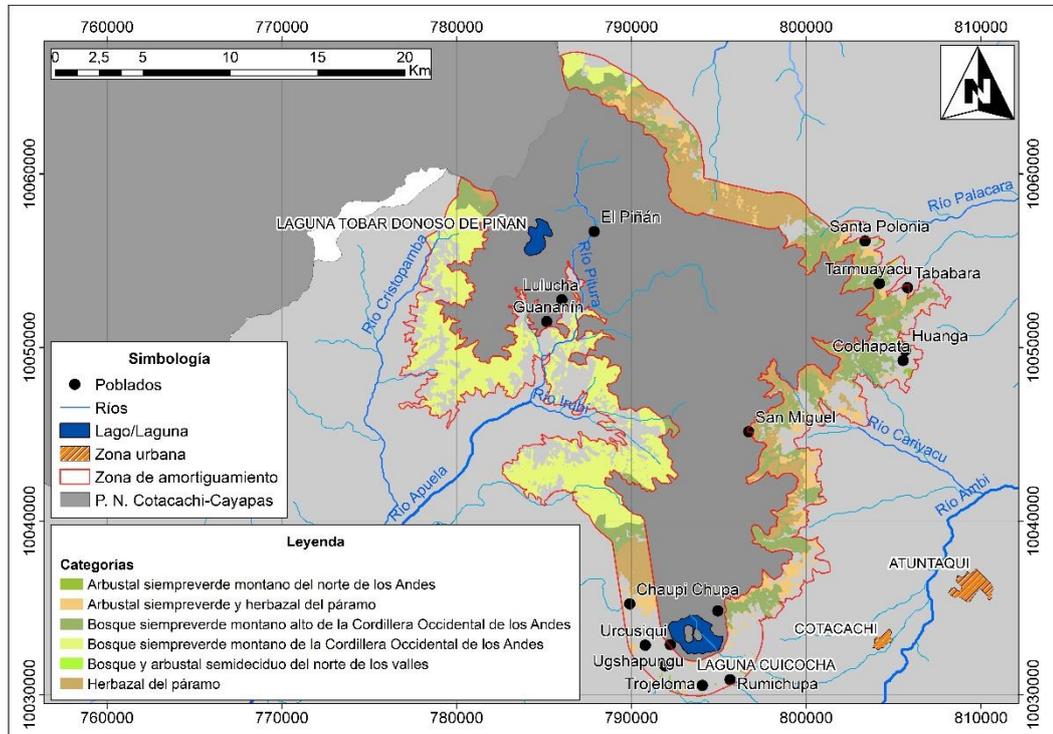


Figura 4. Ecosistemas naturales de la zona de amortiguamiento altoandina del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas

Las zonas de amortiguamiento poseen diversidad de ecosistemas naturales comparables a los que se establecen dentro de las áreas protegidas, sin embargo, la diferencia reside en que aquellos ecosistemas tienen la función de regular las actividades de aprovechamiento orientadas hacia el desarrollo sustentable. Es decir, se pueden utilizar y explotar los recursos naturales que aquellos ecosistemas provean, siempre y cuando no se pierdan o degraden, por ende, es importante incluir estrategias de conservación (Íñiguez et al., 2014).

Mediante el mapa temático de cobertura vegetal y uso del suelo del área de estudio, se determinó la existencia de seis clases de cobertura vegetal que se presentan en la Figura 5. El Bosque nativo predomina al ocupar una extensión de 10.546,90 hectáreas, las tierras con uso agropecuario con 6.508,87 hectáreas, mientras que la

cobertura de páramo posee 6.149,63 hectáreas, la vegetación arbustiva con 1.415,68 hectáreas. La cobertura que presentó menor extensión fue el área sin vegetación con 37,55 hectáreas.

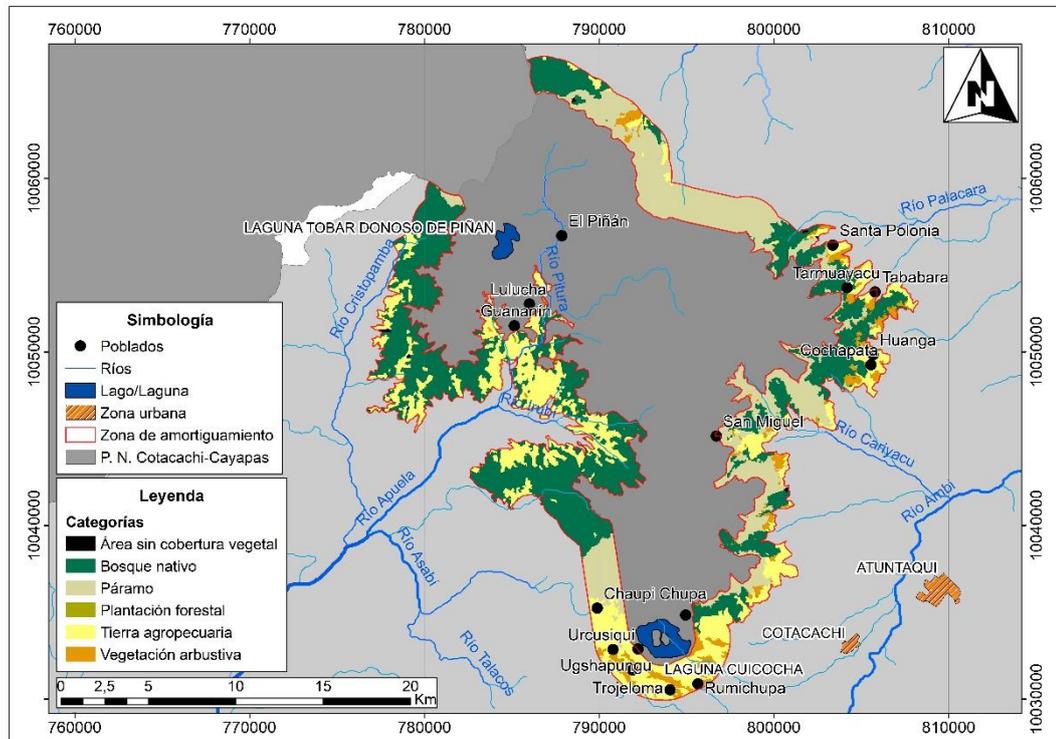


Figura 5. Cobertura vegetal y uso de suelo de la zona de amortiguamiento altoandina del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas

La cobertura de bosque nativo sigue siendo un recurso forestal abundante en esta zona, sin embargo, existe un crecimiento considerable de la actividad agrícola al ser la segunda cobertura del suelo con mayor predominancia. Los resultados obtenidos se corroboran con el estudio de Narváez (2019), quien determinó que en el Parque Nacional Yasuní y su zona de amortiguamiento, la cobertura bosque nativo ocupaba un área de 647.611,11 hectáreas, y a pesar de representar un mayor porcentaje del territorio ha disminuido y se ha transformado hacia tierra agropecuaria que presenta 1.915,29 hectáreas. Esta información se reafirma con el análisis de datos históricos de la superficie de bosques en Ecuador continental, que indican una disminución de su cobertura debido a los cambios de bosque nativo a tierra agropecuaria (MAE, 2017).

Dentro de la zona de amortiguamiento del PNCC las actividades agropecuarias representan uno de los ingresos económicos más importantes para las comunidades cercanas por lo que es considerable la presencia de cultivos de ciclo corto y ganado vacuno, lo cual se comprueba con las observaciones registradas en la fase de reconocimiento de campo. Según INABIO (2019), las amenazas más significativas para el PNCC es la degradación del suelo por agricultura extensiva y sobrepastoreo vacuno, en efecto, la información obtenida por Heredia (2019), mediante el monitoreo de mamíferos silvestres en la parte alta del PNCC y sus alrededores, registró la presencia de ganado vacuno en el área de estudio que influye en la dinámica natural y abundancia relativa de las especies silvestres. Los sistemas pecuarios y silvopastoriles son una alternativa de conservación que al implementarse reduce la erosión y aporta mayor fertilidad al suelo.

Por otra parte, en referencia a las actividades forestales dentro de la zona de amortiguamiento, mediante el reconocimiento de campo se registró la presencia de amplias extensiones de plantaciones, principalmente de pino (*Pinus radiata*). Es así que, esta información se encuentra alineada a la obtenida por MAE (2007), quien cita que los árboles nativos son inexistentes dentro del área a causa de la deforestación y reemplazo de la vegetación nativa con especies de rápido crecimiento y de uso para leña y construcción como el eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y pino (*Pinus radiata*). Considerando el aumento de plantaciones con especies exóticas en la zona de amortiguamiento se debería reforestar el ecosistema con especies nativas arbustivas y arbóreas.

Es por esa razón que, el estudio cartográfico de coberturas vegetales, especialmente en áreas destinadas a la conservación de la biodiversidad, es fundamental para definir estrategias que mitiguen o erradiquen los factores de cambio, de tal manera que se garantice la conservación de los recursos naturales (Haque y Basak, 2017).

4.2 Análisis multitemporal de los factores que influyen en los cambios de la cobertura vegetal

En la Figura 6 se presenta el análisis multitemporal para el periodo (1990 – 2019), el cual permitió comparar y diferenciar los cambios de cada una de las clases establecidas en la clasificación supervisada en el periodo de estudio.

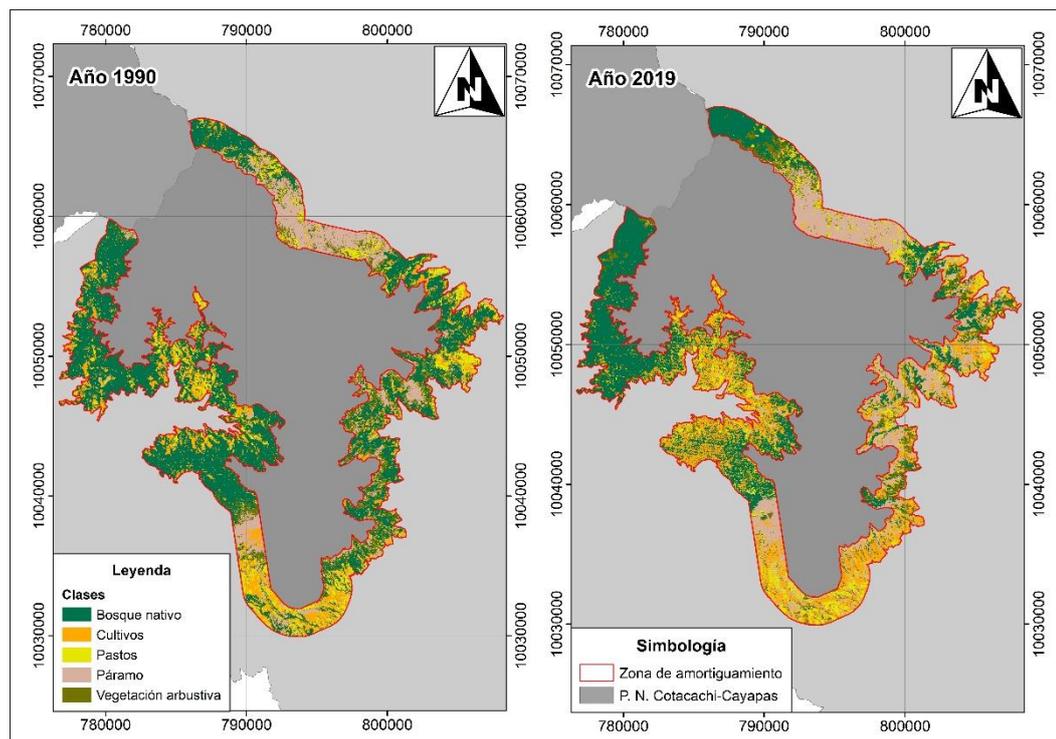


Figura 6. Clasificación supervisada de cobertura vegetal del año 1990 y 2019

La cobertura de bosque nativo fue la que tuvo el cambio más considerable, ya que presentó una disminución de 3.322,12 hectáreas hasta el año 2019, siendo sustituida por la cobertura de cultivos, los cuales llegaron a ocupar una extensión de 2.370,55 hectáreas hasta el año 2019. Este cambio tuvo lugar en el sector de El Tambo y la zona occidental de la zona de amortiguamiento del área protegida, datos que se presentan en la Tabla 13. Con base a los resultados obtenidos se interpreta que la zona de amortiguamiento alto andina del PNCC para el año 2019, presenta remanentes de bosque nativo, pero es un área fragmentada por el avance de la frontera agrícola y pastoril y se debe a la presión ejercida por el aumento de las

actividades antrópicas. Los resultados se corroboran con los citados por Chicaiza (2016), quien en su estudio registró una pérdida considerable de la cobertura de bosque altoandino en el sector de Piñán, la cual pasó de ocupar una extensión de 1.557,02 hectáreas en 1990 a 575,78 hectáreas en el año 2019, lo que representa una pérdida del 63,02%. Sin embargo, con base a los resultados obtenidos en el presente estudio, la cobertura de bosque nativo al año 2019 presenta una pérdida del 28,59% es decir, es un ecosistema que se degrada aceleradamente en el tiempo.

Tabla 13. Áreas de cada clase en el periodo de estudio 1990 - 2019

Clases	Área (ha)	
	Año 1990	Año 2019
Bosque nativo	11.619,6	8.297,48
Cultivos	3.596,13	5.966,68
Pastos	2.414,06	2.739,51
Páramo	3.546,68	5.211,04
Vegetación arbustiva	3.479,21	2.442,07

Además, con base a los resultados obtenidos se puede interpretar también que la cobertura de páramo tuvo un incremento de 1.664,36 hectáreas en el periodo de estudio. Es importante mencionar que el aumento de esta cobertura se debe a que en el área de estudio sucede un proceso de paramización. Morales y Estévez (2006) definen el término paramización como el fenómeno que se presenta cuando las especies de páramo que son altamente competitivas tienden a ocupar niveles altitudinales inferiores a los correspondientes, invadiendo áreas que estaban cubiertas por bosques altoandinos. Este proceso comprende solamente la invasión de las especies típicas del ecosistema páramo como las pertenecientes a la familia de las poaceas, por ejemplo: la macolla (*Myrceugenia leptospermoides*), y también especies de la familia de las asteráceas como las almohadillas (*Werneria nubigena*), más no las funciones características del ecosistema páramo, por lo cual es un proceso de invasión y degradación de otras coberturas naturales.

Un caso particular es el citado por Sánchez (2017), quien analizó la relación entre los procesos de paramización y el cambio climático en el páramo de Montequiva,

Colombia; en donde se logró determinar que el principal precursor de los procesos de paramización es el cambio climático causado por deforestación, establecimiento de cultivos, quemas agrícolas y potrerización de amplias extensiones, puesto que el aumento de 5°C en los últimos 100 años ha causado modificaciones en las migraciones vegetales, razón por la cual los páramos han comenzado a invadir y degradar otros ecosistemas y coberturas vegetales de alta montaña.

Sin embargo, es importante mencionar que el aumento de la cobertura de páramo es influenciado por diferentes factores como el estudio de Cuasquer y Sangurima (2019), quienes realizaron el análisis multitemporal de la cobertura vegetal y uso del suelo en la Reserva Ecológica El Ángel, en el que se registró un aumento en la cobertura de páramo del 1,34% (564,26 hectáreas) en el periodo de 2010-2017 y explican que el aumento del ecosistema se debe a que el tipo de vegetación que compone la cobertura de páramo se considera azonal e inundable, y recibe influencia de las condiciones edáficas y microclimáticas locales, por lo cual tienden a variar su cuantificación en estudios espacio-temporales (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015).

Los resultados descritos anteriormente contrastan con los obtenidos por Dengel y Rollenbeck (2003), quienes indican que los ecosistemas de páramo, al encontrarse expuestos a altas precipitaciones y al mantenerse cubiertos de niebla, se encuentran en un ambiente húmedo de manera permanente por lo que hace difícil su cuantificación.

4.2.3 Matriz de contingencia e índice Kappa

Los resultados de la validación de la clasificación supervisada para las cinco categorías de coberturas vegetales en el área de estudio: bosque nativo, cultivo, pasto, páramo y vegetación arbustiva se presentan en la Tabla 14. Los valores resultantes de la matriz de contingencia para la categoría de cobertura vegetal fueron: uno (bosque nativo) de ocho en usuario y seis en predicción; dos (cultivo) un valor de dos y cinco en predicción; en la categoría tres (pasto) se obtuvo dos tanto en precisión del usuario y de la predicción; cuatro (páramo) siete en usuario y

seis en predicción, finalmente en la última categoría cinco (vegetación arbustiva) se obtuvo seis tanto en precisión del usuario y de la predicción, lo que indica una concordancia considerable entre los datos obtenidos mediante la clasificación supervisada en la imagen satelital de 1990.

Tabla 14. Matriz de contingencia de la clasificación supervisada del año 1990

Usuario	Bosque Nativo (1)	Cultivo (2)	Pasto (3)	Páramo (4)	Vegetación arbustiva (5)	Total	Precisión de la predicción
Bosque Nativo (1)	6	0	0	0	0	6	100%
Cultivo (2)	2	2	0	1	0	5	40%
Pasto (3)	0	0	2	0	0	2	100%
Páramo (4)	0	0	0	6	0	6	100%
Vegetación Arbustiva (5)	0	0	0	0	6	6	100%
Total	8	2	2	7	6	25	
Precisión del usuario	75%	100%	100%	85,71%	100%		

Para el año 1990 se obtuvo una precisión de 88% y un valor de 0,84 en el índice Kappa; de la misma manera al obtener la matriz de contingencia de la clasificación supervisada del año 2019, se alcanzó una precisión de 72% y un valor para el índice Kappa de 0,63 el valor resultante en este año es menor por la presencia de nubosidades, lo que dificultó interpretar las coberturas, sin embargo el análisis multitemporal realizado se encuentra entre las categorías de considerable a casi perfecto de acuerdo a las concordancias de validación.

Los resultados obtenidos coinciden con el estudio de Salazar (2015), en el que se realizó el análisis multitemporal de la cobertura vegetal de la microcuenca del río Pisque, como resultado del cálculo del índice Kappa fue de 0,82 y se validó el análisis para el periodo 2013.

4.2.1 Cálculo del Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI)

La Figura 7 presenta los resultados de la aplicación del índice NDVI para cada uno de los años de estudio. Es así como, en el año 1990 los valores que indican vegetación escasa iniciaron en 0,069 mientras que para el año 2019 estos valores iniciaron en -0,11 indicando vegetación aún más escasa que en el inicio del análisis. Algo semejante ocurre con los valores que indican vegetación densa, puesto que en el año 1990 los valores del NDVI alcanzan el 0,87, mientras que para el año 2019 alcanzaron un valor de 0,82. En el año 1990 la cobertura vegetal se presentó densa con respecto al año 2019, esto debido a la cantidad de píxeles que se encuentran por encima del rango 0,4 en coloración verdosa, a excepción de los sectores de San Alberto y San Vicente, los cuales presentan cantidades considerables de píxeles en colores rojizos que incluso se encuentran por debajo del cero, indicando una vegetación muy escasa o incluso nula.

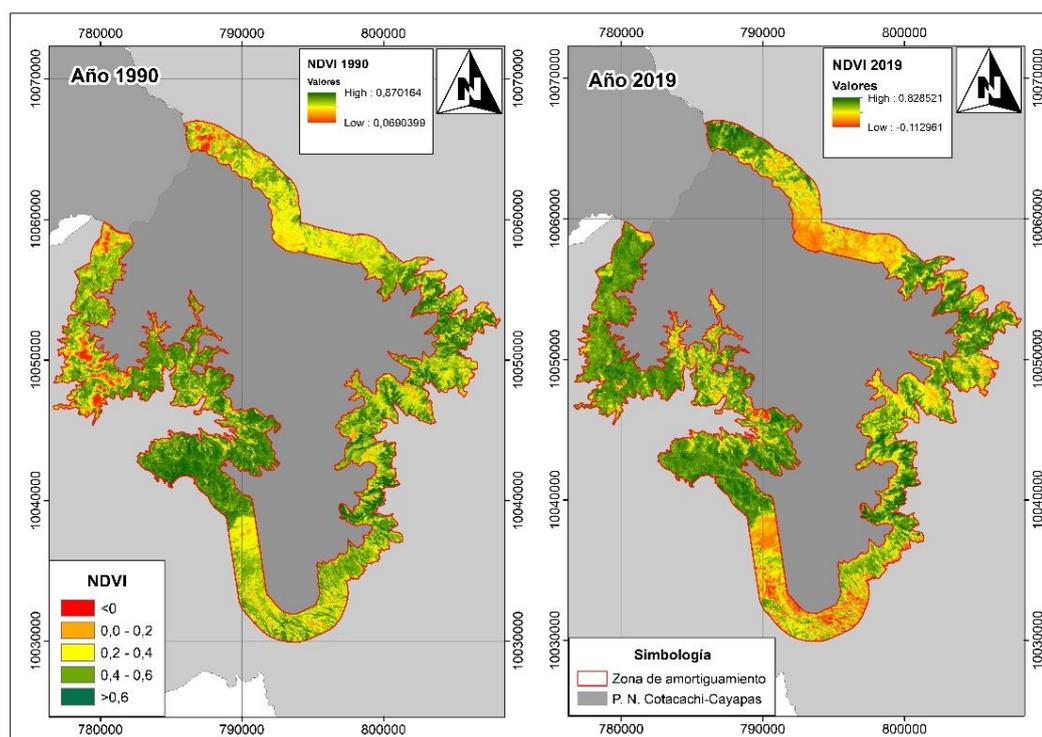


Figura 7. Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI)

Por el contrario, en el año 2019 la cobertura vegetal de los sectores de Cuicocha, Muenala y Urcusiqui presentaron una vegetación escasa, puesto que los valores se

encuentran muy cercanos al cero según la coloración de los píxeles, esto como consecuencia de la ganancia de amplias extensiones de suelo por parte de las poblaciones cercanas y las actividades agropecuarias que se realizan. Los resultados descritos contrastan con los obtenidos en el trabajo realizado por Vera (2019), quien mediante el análisis multitemporal de la cobertura vegetal del cantón Cotacachi mediante imágenes satelitales del periodo 1991 – 2008 – 2015, determinó que los principales factores de cambio de la cobertura vegetal en el sector de Quiroga y Cuicocha fueron las actividades de origen antrópico, entre ellas el avance de la frontera agrícola.

Del mismo modo sucede con la cobertura vegetal en el año 2019 en los sectores de San Francisco de Sachapamba y Chinchiví, en donde la vegetación se presenta en amplias extensiones en color naranja, indicando vegetación moderadamente densa, debido al uso que las comunidades le dan al suelo, ya que Vera (2019), menciona que la principal fuente de ingreso en este sector, son las actividades agrícolas y pecuarias.

Los resultados alcanzados se asemejan con la información obtenida en el estudio realizado por Aldás (2019), quien analizó la evolución de la cobertura vegetal en el Parque Nacional Cotacachi-Cayapas en el periodo 1986 - 2017, en donde se determinó que el establecimiento de esta área protegida, no ha funcionado como herramienta para salvaguardar el parque contra las actividades antrópicas, puesto que los valores más altos en la escala del NDVI, indicadores de vegetación densa correspondieron al año 1986, mientras que para el año 2017 registró una disminución en los valores del NDVI, además de una mayor extensión de áreas sin vegetación, suelo sin cobertura, urbanización y deforestación.

4.3 Evaluación de la tasa de cambio cobertura vegetal mediante técnicas de percepción remota

A continuación, se presenta los resultados obtenidos de la evaluación de la tasa de cambio de cobertura vegetal en la zona de amortiguamiento altoandina del Parque

Nacional Cotacachi-Cayapas en el periodo 1990-2019 que representa al tercer objetivo específico.

4.3.1 Cálculo de la tasa de variación de la cobertura vegetal y uso del suelo en el período 1990 – 2019

La matriz de transición resultó de la intersección de los mapas de los años 1990 y 2019 de la zona de amortiguamiento alto andina del PNCC. Se utilizó cinco categorías de uso de suelo y cobertura vegetal: bosque nativo (1), cultivo (2), pasto (3), páramo (4), vegetación arbustiva (5). En el periodo de estudio se identificó un cambio en las coberturas y uso de suelo, existiendo una transición representativa de bosque nativo a la cobertura de cultivo de 11,10%, lo que se interpreta como pérdida de cobertura boscosa, de igual forma la vegetación arbustiva cambia a la cobertura de cultivos en 3,68% del mismo modo la vegetación arbustiva se convierte a la cobertura de páramo 4,86%, resultados que se representa en la Tabla 15.

Tabla 15. Matriz de transición para el periodo 1990-2019 (%)

		2019					Total 1990-2019	Pérdida
		Bosque nativo	Cultivo	Pasto	Páramo	Vegetación Arbustiva		
1990	Bosque nativo	26.27	11.1	2.55	2.62	4.41	46.95	20,68
	Cultivo	3.29	4.42	2.76	2.23	1.81	14.51	10,09
	Pasto	0.97	3.07	2.52	2.31	0.87	9.74	7,22
	Páramo	0.62	1.83	1.51	9.01	1.34	14.31	5,3
	Vegetación arbustiva	2.37	3.68	1.7	4.86	1.43	14.04	12,61
	Total 2019	33.52	24.1	11.04	21.03	9.86		
	Ganancia	7.25	19.68	8.52	12.02	8.43		

Nota: Los valores marcados de color gris son porcentajes de áreas de las coberturas que se mantienen conforme avanza el tiempo.

En los resultados obtenidos de clasificación supervisada y con la aplicación de la matriz de transición se determinó que el área de estudio presentó ganancias y pérdidas con respecto a las coberturas analizadas. En el periodo 1990-2019 se obtuvo una pérdida de la cobertura de bosque nativo de 20,68% mientras que la cobertura de cultivo presenta ganancia de 19,68%; la vegetación de páramo obtiene un 12,02% de ganancia por el contrario la vegetación arbustiva y pastos presentan una pérdida de 12,61% y 7,22% respectivamente y se representa en la Figura 8.

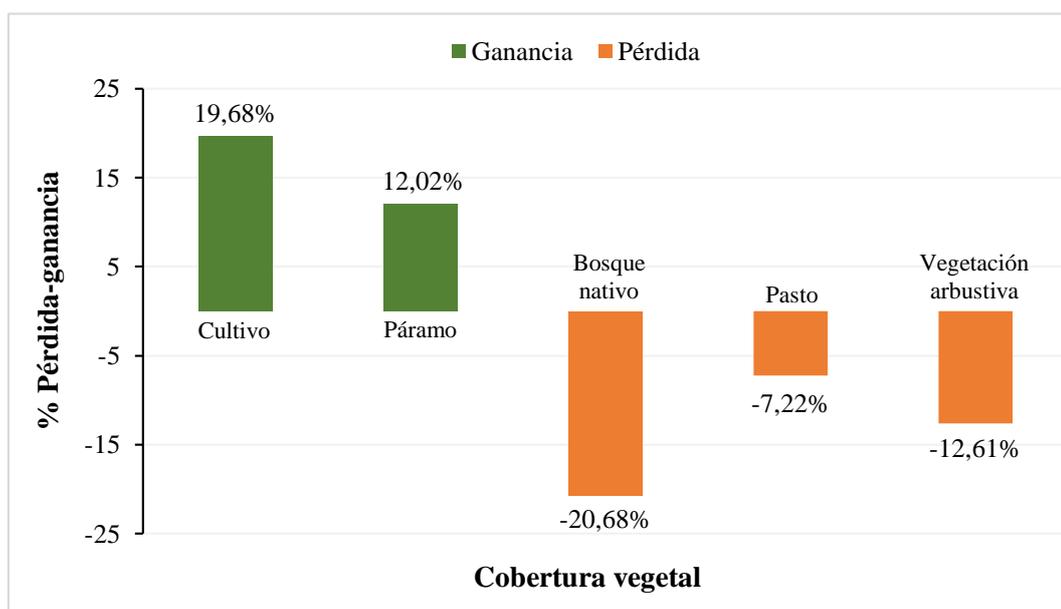


Figura 8. Pérdidas y ganancias en las superficies de cobertura vegetal en el periodo 1990 – 2019

En un estudio similar realizado por Pambi (2019), en el Parque Nacional Yasuní se reportó que la tierra agropecuaria presentó mayores ganancias en relación al resto de coberturas, con una superficie de 5.543 hectáreas, por el contrario, se evidencia que la cobertura de bosque nativo ha sufrido mayores pérdidas en relación al resto de coberturas, con una superficie de 8.423 hectáreas. El Parque Nacional Yasuní tiene una mayor extensión que la del PNCC, sin embargo, la pérdida de bosque es mayor en el área de estudio de la presente investigación al disminuir 3.322,12 hectáreas hasta el año 2019, es decir es un área vulnerable en la que se debe incluir estrategias de conservación inmediatas para frenar la pérdida y degradación de los ecosistemas naturales.

Cuenca et al., (2018) asegura que la deforestación es un tema preocupante en Ecuador al registrar 12,5 millones de hectáreas de bosque nativo en el año 2018, lo que demuestra una disminución constante desde la década del 90 cuando había 14,5 millones de hectáreas, sin embargo, menciona que las áreas protegidas han ayudado a proteger los bosques de Ecuador en un 6 % este dato demuestra que los instrumentos de conservación están funcionando, aunque se podrían mejorar.

4.3.2 Aplicación de las métricas de deforestación

En la zona de amortiguamiento altoandina del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas en el periodo de estudio (1990 – 2019) la mayor tasa de deforestación se registró en la cobertura de bosque nativo, con un valor de 114,56 hectáreas/año y una tasa de cambio del -0,98%, valores que se alinean con las extensiones de la cobertura de bosque nativo en el año 1990 puesto que esta fue de 11.619,60 hectáreas, lo cual representó el 47,13% del territorio, mientras que para el año 2019 la cobertura disminuyó a 8.297,48 hectáreas representado el 33,65%. Lo mismo sucede con los resultados del área de la cobertura de vegetación arbustiva en el periodo de estudio, puesto que en el año 1990 la cobertura ocupaba una extensión de 3.479,21 hectáreas, que representó el 14,11% del territorio, mientras que para el año 2019 la cobertura redujo a 2.442,07 hectáreas, es decir el 9,90% del territorio. La Tabla 16 detalla la tendencia de deforestación.

Tabla 16. Tasa anual de cambio y deforestación promedio en la ZAM

Clase	Periodo 1990 - 2019	
	Tasa anual de cambio (%)	Deforestación anual promedio (ha/año)
Bosque nativo	-0,98	114,56
Cultivos	-0,94	-81,74
Pastos	-0,96	-11,22
Páramo	-0,95	-57,39
Vegetación arbustiva	-0,98	35,76

Nota: Los valores positivos en la tasa anual de cambio representan el cambio de otras coberturas a bosque nativo.

Las coberturas que presentaron valores negativos en lo referente a deforestación fueron: la cobertura de cultivos, páramo y pastos con valores de -81,74, -57,39 y -11,22 respectivamente. Esto indica que estas coberturas incrementaron sus extensiones. Estos resultados se alinean con las áreas obtenidas en el análisis multitemporal, ya que la cobertura de cultivos tuvo un incremento de 2.370,55 hectáreas hasta el año 2019; seguida de la cobertura de páramo que tuvo un incremento de 1.664,36 hectáreas hasta el año 2019 y finalmente la cobertura de pastos que tuvo un incremento de 325,45 hectáreas hasta el año 2019.

Los resultados se alinean con los datos de la tasa anual de deforestación en Ecuador continental al obtener un -0,65% entre 1990 – 2000 y de -0,48% entre 2014 – 2016 (MAE, 2017). Para lo cual los resultados de -0,98% para la cobertura de bosque nativo y vegetación arbustiva, indican que la deforestación en la zona de amortiguamiento altoandina del PNCC han sobrepasado considerablemente las estimaciones hasta el año 2019.

Esta información concuerda con la obtenida por Narváez (2019), quien analizó la tasa de deforestación en el área protegida y no protegida de la parroquia Cononaco en el periodo 1987 – 2017, en donde registró una tasa de deforestación de 87,33 hectáreas/año en la cobertura de bosques, los cuales, a pesar de estar dentro del área protegida, se han transformado en tierras agropecuarias. Asimismo, en el estudio realizado por Aldás (2019), se determinó mediante el análisis de la evolución de la cobertura del PNCC, que los cambios de cobertura en esta área protegida están directamente relacionados con los medios de vida propios de la población circundante, incluyendo las actividades ganaderas, agrícolas y deforestación.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se definieron los límites para la propuesta de la zona de amortiguamiento altoandina del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas con base en la metodología del CIFOR, la cual mediante la sobre posición de variables resultó en una superficie de 24.683,90 hectáreas, ubicadas alrededor del área protegida y que está delimitada por el límite provincial de Esmeraldas e Imbabura; incluyendo los componentes biofísicos, ecológicos, uso y conservación que garantiza la permanencia de los recursos y asegura la provisión de servicios a las poblaciones cercanas a la zona.

Para el periodo de 1990-2019 se registró una pérdida de 3.322,12 hectáreas en la cobertura de bosque nativo, siendo sustituida por la cobertura de cultivos, los cuales llegaron a ocupar una extensión de 2.370,55 hectáreas, esto en el sector de El Tambo y la zona occidental de la zona de amortiguamiento del área protegida; la intervención antrópica fue la principal causa para la pérdida de dicha cobertura causando el desarrollo de la frontera agrícola.

La cobertura de páramo registró un aumento de 1.664,36 hectáreas y un 12,02% de ganancia, a causa de procesos de paramización invadiendo áreas que estaban cubiertas por bosques altoandinos, por ende, al momento existe únicamente dispersión de especies típicas, pero el ecosistema no presenta las funciones características del páramo, por lo cual fue el proceso que ha degradado las coberturas naturales.

Los análisis de la tasa de cambio indicaron que la cobertura de bosque nativo y vegetación arbustiva presentaron valores de deforestación anual de 114,56 y 35,78 hectáreas/año respectivamente, con una tasa anual de cambio de - 0,98%, existiendo una transición representativa hacia la cobertura de cultivo del 11,10%, y 3,68% debido al aumento de zonas agrícolas representadas en su mayoría por cultivos de ciclo corto.

5.2 Recomendaciones

Implementar estrategias de conservación y normativas ambientales legales con el fin de garantizar la calidad de vida silvestres y la provisión de bienes y servicios para la población asegurando la pervivencia de las coberturas vegetales naturales y preservación de la diversidad biológica, recursos genéticos y ecosistemas en el Parque Nacional Cotacachi-Cayapas y la zona de amortiguamiento.

Los resultados del presente estudio pueden ser incluidos en las actualizaciones del Plan de Manejo del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas y, de igual forma se recomienda aplicar la metodología de la investigación para la delimitación de zonas de amortiguamiento de las áreas protegidas del Ecuador en vista de que actualmente no existe información acerca de la temática.

Se recomienda a los encargados de los programas de protección de áreas protegidas que, al momento de diseñar la zonificación, consideren la influencia del desarrollo urbano, agrícola y forestal de la zona de amortiguamiento.

Para desarrollar investigaciones similares se recomienda considerar el acceso a las zonas de estudio y la previa generación de documentos legales necesarios para la investigación dentro de las áreas protegidas.

REFERENCIAS

- Agüero, K., Loría, A., & Hidalgo, J. (2017). *Evaluación de la zona de amortiguamiento en áreas protegidas: caso de Reserva Natural Absoluta Cabo Blanco*.
- Alaniz, A. (2014). *Análisis de los cambios en la cobertura de los ecosistemas de la zona central de Chile (regiones V, RM, VI) asociado a dinámicas de uso de suelo*. Universidad de Chile: Santiago. 2014. 135 pp.
- Aldás, A. P. (2019). *Análisis de la dinámica temporal del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para los años 1986, 2001 y 2017 en la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, Imbabura, mediante el uso de Google Earth Engine*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Albán, A. (2010). *Áreas protegidas y deforestación. Una realidad frente al cambio climático*. CEDA Centro de Derecho Ambiental. Disponible en: https://www.revistajuridicaonline.com/wp-content/uploads/2010/10/151a166_areas_protegidas.pdf
- Aldás, J. (2013). *Estudio de variación de la cobertura vegetal y estado actual del Cerro Imbabura*. Universidad San Francisco de Quito.
- Alvarado, G., & Espinoza, I. (2018). *Evaluación temporal del uso y cobertura vegetal del suelo en la subcuenca del río Llavircay y planteamiento de acciones para su manejo y gestión*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.
- Andrade, D. (2016). *Análisis multitemporal de la cobertura de páramo en la producción de agua en la cuenca alta del río Apuela, Cantón Cotacachi, provincia de Imbabura*. Universidad Técnica del Norte.
- Arozarena, A. (2001). *Teledetección y sistemas de tratamiento digital de imágenes*. Teledetección, 1–47. http://ocw.upm.es/pluginfile.php/1068/mod_label/intro/microsoft-word-teledeteccion_y_sist_tratamiento_digital_imagenes.pdf
- Bishop, Y., & Fienberg, S. (2007). *Discrete multivariate analysis theory and practice*. Cambridge: MIT Press.

- Cartaya, S., Zurita, S., y Rodríguez, E. (2015). *Clasificación supervisada para la selección de zonas de muestreo de especies cinegéticas en el Refugio de Vida Silvestre, Marino y Costero Pacoche, provincia de Manabí, Ecuador*. Revista de Investigación, 39(85), 52-62. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/3761/376143541004.pdf>
- CDB. (1995). *Convenio sobre Diversidad Biológica*. Quito, Ecuador: Registro Oficial 647.
- Chicaiza, J. (2016). *Análisis multitemporal del recurso hídrico de las microcuencas del río Pantaví y río Piñán, para determinar el caudal de aporte al embalse del Proyecto Multipropósito Piñán-Tumbabiro*. Universidad Técnica del Norte.
- COA. (2017). *Código Orgánico del Ambiente*. Quito, Ecuador: Registro Oficial Suplemento 983.
- COOTAD. (2010). *Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización*. Quito, Ecuador: Registro Oficial Suplemento 303.
- Contreras, S. (2015). *Análisis de la evolución de la gestión, uso y cobertura vegetal del suelo del Bosque Protector Aguarongo y sectores colindantes, Área de estudio: San Juan y Jadán*. Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/11983/1/UPS-CT005749.pdf>
- Cortés, E., Rubio, J., & Gaitán, H. (2010). *Métodos estadísticos de evaluación de la concordancia y la reproducibilidad de pruebas diagnóstica*. Revista Colombiana de Obstetricia y Ginecología Vol. 61 No. 3 , 247-255. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcog/v61n3/v61n3a09.pdf>.
- Cuasquer, F., & Sangurima, A. (2019). *Análisis multitemporal de la cobertura vegetal y uso del suelo en la Reserva Ecológica El Ángel, periodo 1990-2017, Carchi – Ecuador*. Universidad Técnica del Norte.
- Cuenca, P., Robalino, J., Arriagada, R., y Echeverría, C. (2018). *Are government incentives effective for avoided deforestation in the tropical Andean forest?*. *PloS one*, 13(9), e0203545.

- Chuvieco, E. (2002). *Teledetección Ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio*. Barcelona, España: Editorial Ariel S.A. 586 p. Disponible en <http://entornogeografico.com/index.php/EntornoGeografico/article/view/27/28>
- Damian, D., Márquez, C., García, V., Rodríguez, M., & Recalde, C. (2018). *Transiciones sistemáticas en el uso y la cobertura del suelo en una microcuenca alto andina, Ecuador (1991-2011)*. *Revista Espacios*. Vol. 39 (N° 32), 8. Obtenido de <https://www.revistaespacios.com/a18v39n32/18393208.html>
- Dudley, N. (2008). *Directrices para la aplicación de las categorías de gestión de áreas protegidas*. Gland, Suiza
- Ecuador, M. del A. del. (2007). *Plan de Manejo Reserva Ecológica Cotacachi - Cayapas*. Proyecto GEF Ecuador: Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP-GEF)., November 2007.
- Flores, D. (2019). *Análisis multitemporal de la superficie ocupada por la cría de camarón (litopenaeus vannamei) en los manglares del archipiélago de Jambelí, cantón Santa Rosa, provincia de El Oro, Ecuador*. Universidad Nacional de Loja.
- Fonseca, J. y Gómez, S. (2013). *Análisis multitemporal mediante imágenes Landsat caso de estudio: cambio de área laderas de la Ciénega de Tumaradó Paeque Natural Los Katíos*. Universidad Militar Nueva Granada, España.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2000). *Informe principal*. Roma, Italia: FAO
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2016). *El estado de los bosques del mundo 2016. Los bosques y la agricultura: desafíos y oportunidades en relación con el uso de la tierra*. Roma, Italia.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2016). *Global Forest Resources Assessment 2015: How are the World's Forests Changing?*. Roma, Italia: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gómez, C., White, J., & Wulder, M. (2016). *Optical remotely sensed time series*

data for land cover classification: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. Volumen 116, 55-72. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271616000769>

Gómez, J., & Ramírez, M. (2019). *Delimitación de la zona de amortiguamiento del páramo de Murillo, Tolima para la conservación del ecosistema.* Universidad del Bosque.

Haque, I., & Basak, R. (2017). *Land cover change detection using GIS and remote sensing techniques: A spatio-temporal study on Tanguar Haor, Sunamganj, Bangladesh.* The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 1-6. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110982316301533>

Hassan, Z., Shabbir, R., & Saeed, S. (2016). *Dynamics of land use and land cover change (LULCC) using geospatial techniques: a case study of Islamabad Pakistan.* Springerplus 5(1), 812-820. doi:doi: 10.1186/s40064-016-2414-z

Heredia, O. (2019). *Estudio de mamíferos silvestres en ecosistemas de páramo influenciados por el ganado vacuno en la zona alta del Parque Nacional Cotacachi Cayapas.* Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Ibarra.

IGAC. (2013). *Instituto Geográfico.* Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

INABIO. (2019). *Actualización del Plan de Manejo de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas.* Quito, Ecuador: Instituto Nacional de Biodiversidad. Obtenido de <http://inabio.biodiversidad.gob.ec/2019/02/01/61-actualizacion-del-plan-de-manejo-de-la-reserva-ecologica-cotacachi-cayapas/>

Íñiguez, L., Leonor, S., Sosa, J., & Ortega, A. (2014). *Categorías de las áreas naturales protegidas en México y una propuesta para la evaluación de su efectividad.* Investigación y Ciencia, 22(60), 65–70.

Jácome, G., Mejía, J., Guerra, N., Romero, A., Piedmag, V., Padilla, C., Tanaí, I., & Pupiales, N. (s.f). *Los volcanes de Imbabura y su tiempo geológico.* Universidad Técnica del Norte. Ibarra – Ecuador.

Jones, L., & Čivić, K. (2013). *European protected areas: Past, present and future.*

Journal for Nature Conservation. Volume 21, Issue 2, 122-124.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jnc.2012.11.006>

Kamwi, J., Chirwa, P., Manda, S., Craz, P., & Kätsch, C. (2015). *Livelihoods, land use and land cover change in the Zambezi Region, Namibia*. Population and Environment 37(2), 1-6. doi:DOI: 10.1007/s11111-015-0239-2

Leija, E., Reyes, H., Reyes, O., Flores, J., & Sahagún, F. (2016). *Cambios en la cubierta vegetal, usos de la tierra y escenarios futuros en la región costera del estado de Oaxaca, México*. Madera bosques vol.22 no.1, 125-129. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v22n1/1405-0471-mb-22-01-00125.pdf>

López, E, Bocco, G. y Mendoza. M. (2000). *Predicción del cambio de cobertura y uso del suelo. El caso de la ciudad de Morelia*. México (en línea). Disponible en <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n45/n45a5.pdf>

Maass, S., & Regil, H. (2010). *Idrisi como herramienta para la evaluación de áreas naturales protegidas. El caso del Parque Nacional Nevado De Toluca*. Revista Geográfica de América Central, 1(44 E), 127–149.

Medina, M. (2015). *Análisis multitemporal del cambio de la cobertura vegetal y uso de la tierra en el cantón Gualaquiza, 1987 –2015*. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/7166/1/T-UCE-0004-33.pdf>

Martínez, L. (2016). *Análisis de la pérdida en la cobertura vegetal a partir de un estudio multitemporal 2007 - 2013 Parque Nacional Natural Alto Fragua Indi Wasi*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas: Bogotá D.C., 2016. 88 pp.

Méndez, M. (2012). *Propuesta de delimitación para una Zona de Amortiguamiento de la Reserva Natural Otamendi*.

Mendoza, A., Corona, R., Kraxner, F., Leduc, S., & Patrizio, P. (2018). *Identifying effects of land use cover changes and climate change on terrestrial ecosystems and carbon stocks in Mexico*. Global Environmental Change 53, 1-6. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/327605570_Identifying_effects_of

_land_use_cover_changes_and_climate_change_on_terrestrial_ecosystems_and_carbon_stocks_in_Mexico

Ministerio de Ambiente. (2007). *Plan de Manejo Reserva Ecológica Cotacachi-Cayapas*. Quito, Ecuador: Proyecto GEF Ecuador: Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP-GEF).

Ministerio del Ambiente. (2015). *Sistema Nacional de Áreas Protegidas*. Recuperado de: <http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/info-snap>

Ministerio de Ambiente. (2017). *Deforestación del Ecuador Continental periodo 2014-2016*. Quito, Ecuador: Ministerio de Ambiente. Obtenido de eddecuador.ambiente.gob.ec/redd/wp-content/uploads/2019/12/Anexo-5.-Informe-de-Deforestación-Ecuador-Continental-periodo-2014-2016.pdf

Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2012). *Línea base de deforestación del Ecuador continental*.

Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2015). *Quinto Informe Nacional para el Convenio sobre la Diversidad Biológica*. Quito Ecuador. 296p.

Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2011). *Mapa de deforestación histórica en el Ecuador continental (en línea)*. Disponible en: http://www.ambiente.gob.ec/sites/default/files/users/mponce/TasasDeforestacionEcuador.Ver_03.05.11.pdf

Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2014). *Plan de Manejo de la Reserva "Mache-Chindul" (REMACH)*. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec>

Montanarella, L., Pennock, D., & McKenzie, N. (2016). *Estado mundial del recurso del suelo (EMRS) - Resumen Técnico*. FAO, 10. <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>

Morales, J. y Estévez, J. (2006). *El páramo: ¿ecosistema en vía de extinción?*. Revista Luna Azul, núm. 22, enero-junio, 2006, pp. 39-51. Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.

Muñoz, A y Pérez, C. (2006). *Teledetección Nociones y Aplicaciones*. Universidad

de Salamanca. Recuperado de:
https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=SfrGxbO1DT0C&oi=fnd&pg=PA1&dq=teledetecci%C3%B3n+espacial&ots=pFfb-74B8fFY&sig=zfW_bbotH7LASJSp7wHB0HjsW70&redir_esc=y#v=onepage&q=teledetecci%C3%B3n%20espacial&f=true

Mzuza, M., Zhang, W., Kapute, F., & Wei, X. (2018). *The impact of land use and land cover changes on the Nkula Dam in the middle shire River catchment, Malawi*. intechopen: 86452, 1-6. Obtenido de <https://www.intechopen.com/books/geospatial-analyses-of-earth-observation-data/the-impact-of-land-use-and-land-cover-changes-on-the-nkula-dam-in-the-middle-shire-river-catchment-m>

Narváez, M. (2019). *Análisis espaciotemporal de la cobertura vegetal del Parque Nacional Yasuní y su zona de amortiguamiento, sector Cononaco*. Universidad Nacional de Loja. Obtenido de <http://dspace.unl.edu.ec:9001/jspui/bitstream/123456789/22596/1/Mar%C3%ADa%20Fernanda%20Narv%C3%A1ez%20Cuesta..pdf>

Pambi, S. (2019). *Análisis de la pérdida de bosque nativo y fragmentación del paisaje en el Parque Nacional Yasuní y su zona de amortiguamiento, parroquia Curaray*. Universidad Nacional De Loja. Obtenido de: <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/14070>

Pérez, M. y García, M. (2011). *Aplicaciones de la teledetección en degradación de suelos*. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* N.º 61 - 2013, 285-308. Recuperado de http://eprints.ucm.es/32690/1/2013_BAGE_14-PEREZ.pd

Pineda, O. (2011). *Análisis de cambio de uso de suelo mediante percepción remota en el municipio de Valle de Santiago*. Centro de Investigación en Geografía y Geomática.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2002). *Estado Actual de las Áreas Naturales Protegidas de América Latina y el Caribe*. Oficina Regional para América Latina y el Caribe

Puyravaud, J. (2003). *Standardizing the calculation of the annual rate of*

- deforestation*. Forest Ecology and Management, 177(1–3), 593–596.
[https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00335-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00335-3)
- República del Ecuador. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Quito: República del Ecuador.
- Roa, J. (2007). *Estimación de áreas susceptibles a deslizamientos mediante datos e imágenes satelitales: cuenca del río Mocotíes, estado Mérida - Venezuela*. Revista Geográfica Venezolana, 48(2).
- Rodríguez, A. (2011). *Metodología para detectar cambios en el uso de la tierra utilizando los principios de la clasificación orientada a objetos, estudio de caso piedemonte de Villavicencio, Meta*. Bogota, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/5241/1/andresfeliperodriguezvasquez.2011.pdf>
- Rounsevell, M. D. A., Annetts, J. E., Audsley, E., Mayr, T., & Reginster, I. (2003). *Modelling the spatial distribution of agricultural land use at the regional scale*. Agriculture, Ecosystems and Environment, 95(2–3), 465–479.
[https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(02\)00217-7](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00217-7)
- Sacristán, F. (2005). *La teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental*. Revista Científica de La Sociedad Española de Acuicultura, 5(9), 29. <https://doi.org/10.22518/16578953.701>
- Sahagun, F. y Reyes, H. (2018). *Impactos por cambio de uso de suelo en las áreas naturales protegidas de la región central de la Sierra Madre Oriental, México*. Universidad de Guadalajara, Departamento de Políticas Públicas. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/cuat/v12n2/2007-7858-cuat-12-02-6.pdf>
- Salazar, J. (2015). *Análisis multitemporal de la cobertura vegetal de la microcuenca del río Pisque y su incidencia en la producción de agua, en la provincia de Imbabura*.
- Sánchez, G. (2017). *Paramización y cambio climático. Páramo de Monquentiva Guatavita, Colombia. Módulo: Manejo integrado del Medio Ambiente*. Universidad de Manizales, Colombia..
- Scolozzi, R., Schirpke, U., Morri, E., D'Amato, D., & Santolini, R. (2014).

Ecosystem services-based SWOT analysis of protected areas for conservation strategies. Journal of Environmental Management 146, 543-555. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.05.0400301-4797>

Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021 “Toda una Vida”*. Quito Ecuador: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo.

Torres, M., Magaña, O., & Moreno, F. (2016). *Prediction of land use change/forest cover in Mexico Trough transition probabilities.* Agrocienca vol.50 no.6, 1-5. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000600769&lng=es&nrm=iso&tlng=en

USGS. (2017). *Landsat-Sentinel*. Recuperado de. USA: United States Geological Survey (USGS). Obtenido de <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

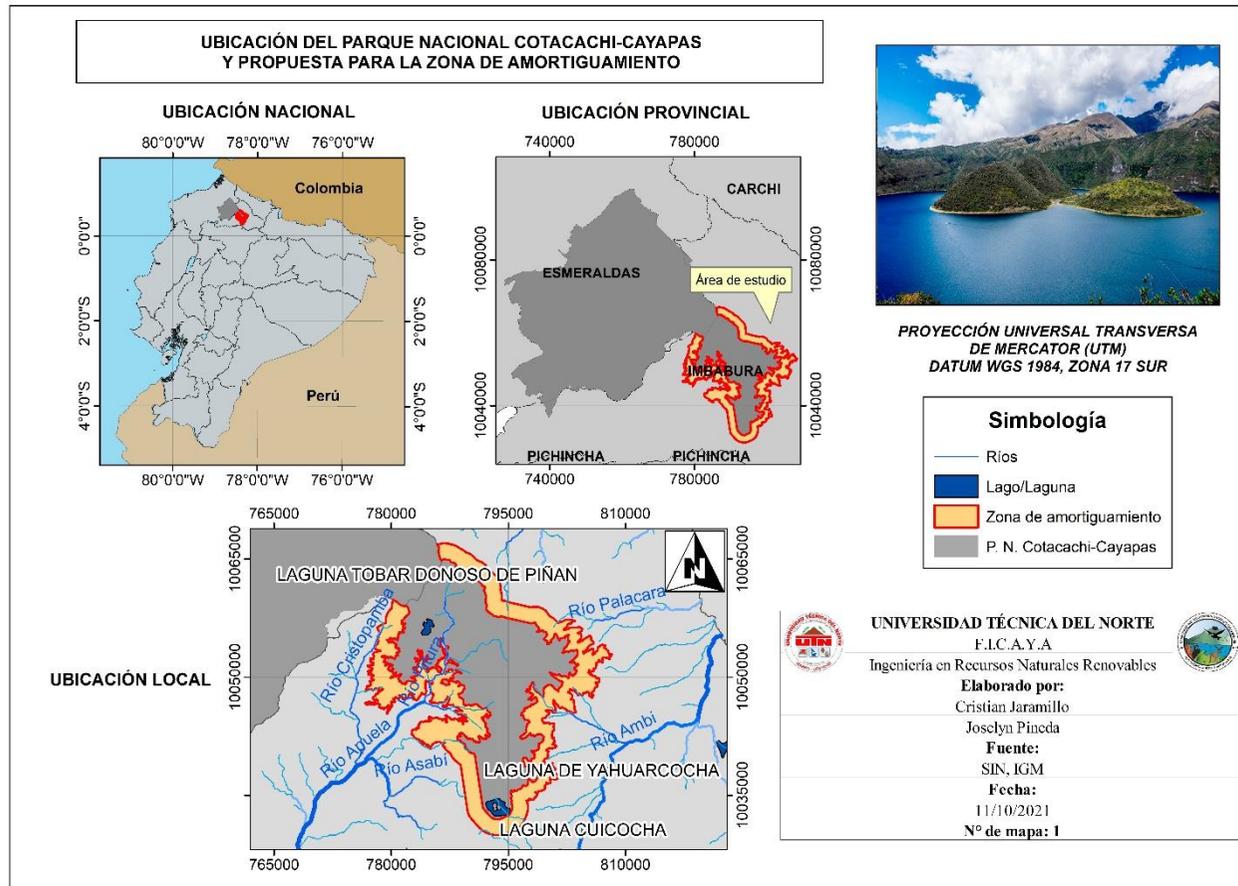
Vega, M. J. (2019). *Análisis multitemporal de cobertura vegetal y la implicación del recurso hídrico en la micro cuenca del río Yanayacu, cantón Cotacachi.* Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Veloza, J. (2017). *Análisis multitemporal de las coberturas y usos del suelo de la reserva forestal protectora-productora “Casablanca” en Madrid Cundinamarca entre los años 1961 y 2015: aportes para el ordenamiento territorial municipal.* Bogota, Colombia: Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.

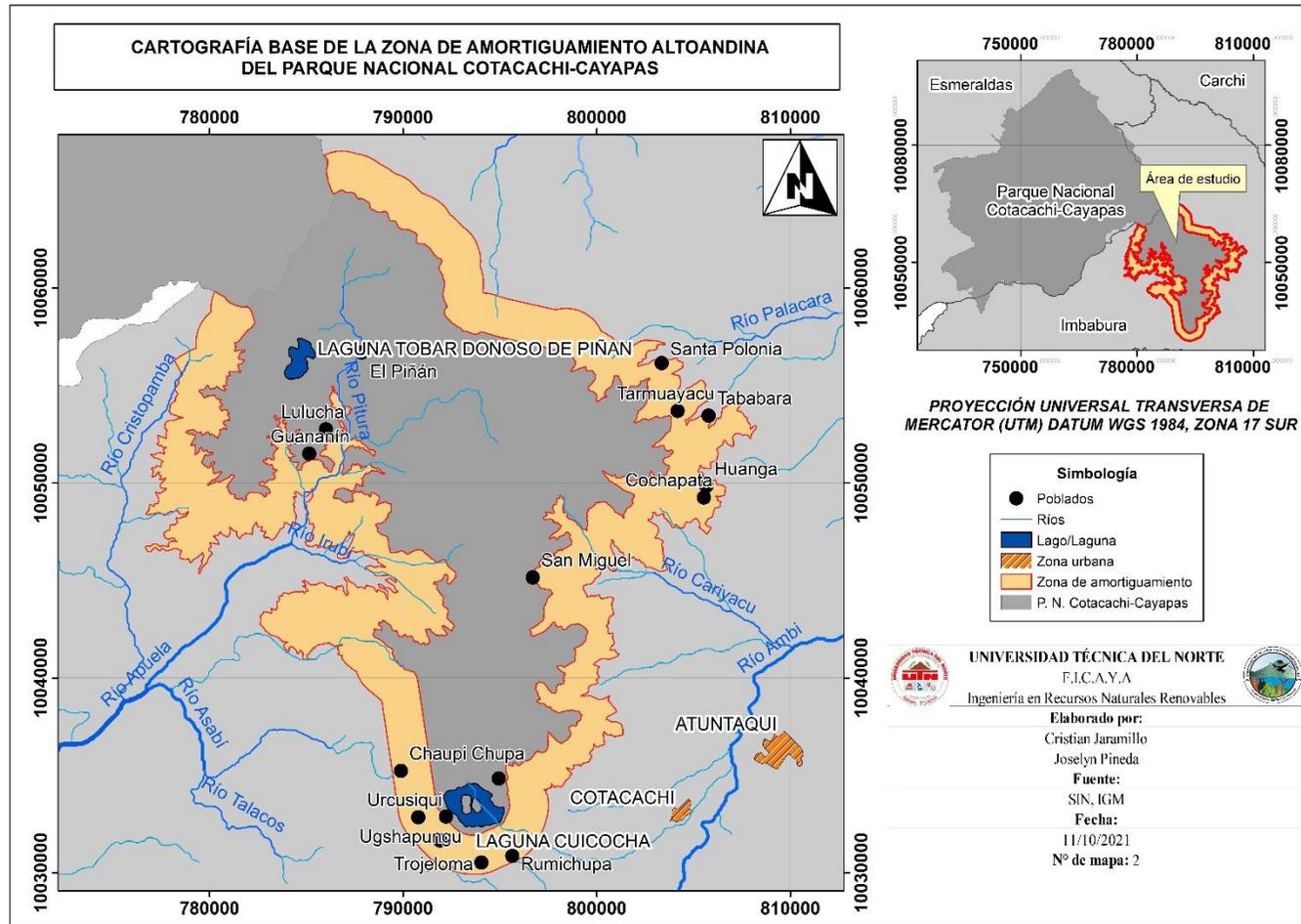
Vilhena, F., Finegan, B., Velásquez, S., & França, B. (2004). *Parámetros para la delimitación y manejo adaptativo de zonas de amortiguamiento en parques nacionales.* Revista Recursos Naturales y Ambiente, 16–24. http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Parametros_amortiguamiento_CerradoID-BbMozCT1pc.pdf

ANEXOS

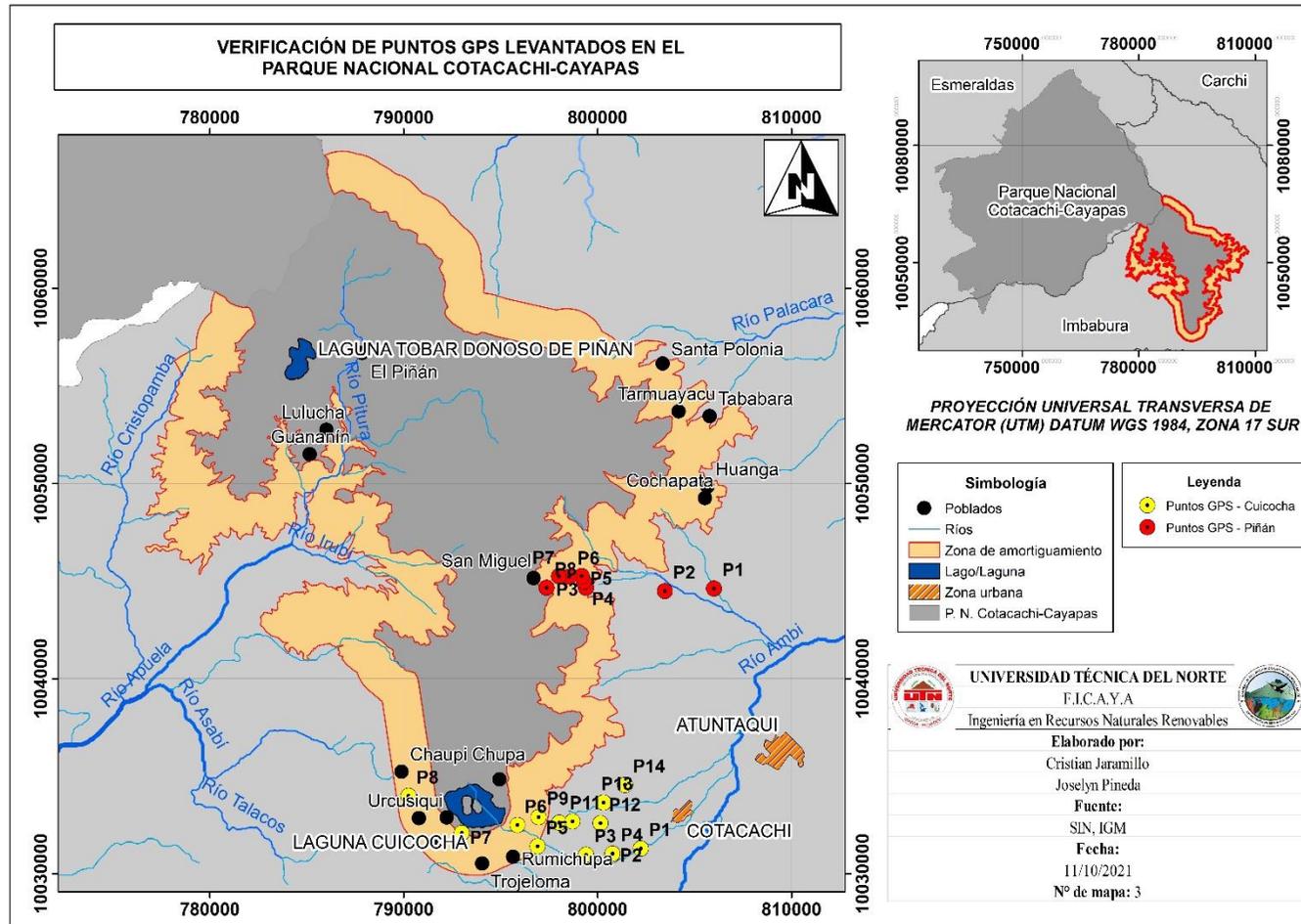
Anexo 1. Mapa de ubicación de la zona de amortiguamiento altoandina del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas.



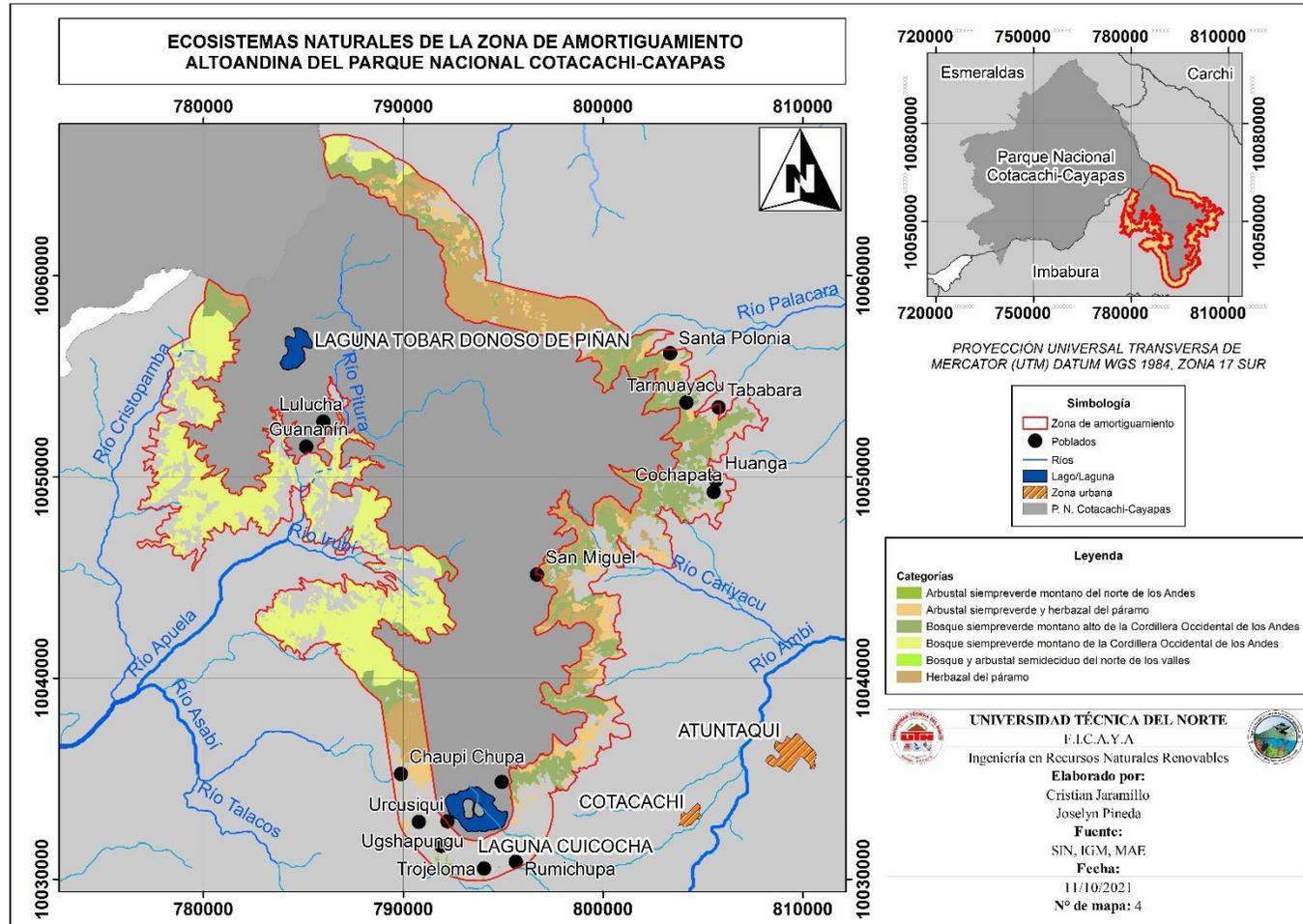
Anexo 2. Cartografía base de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas.



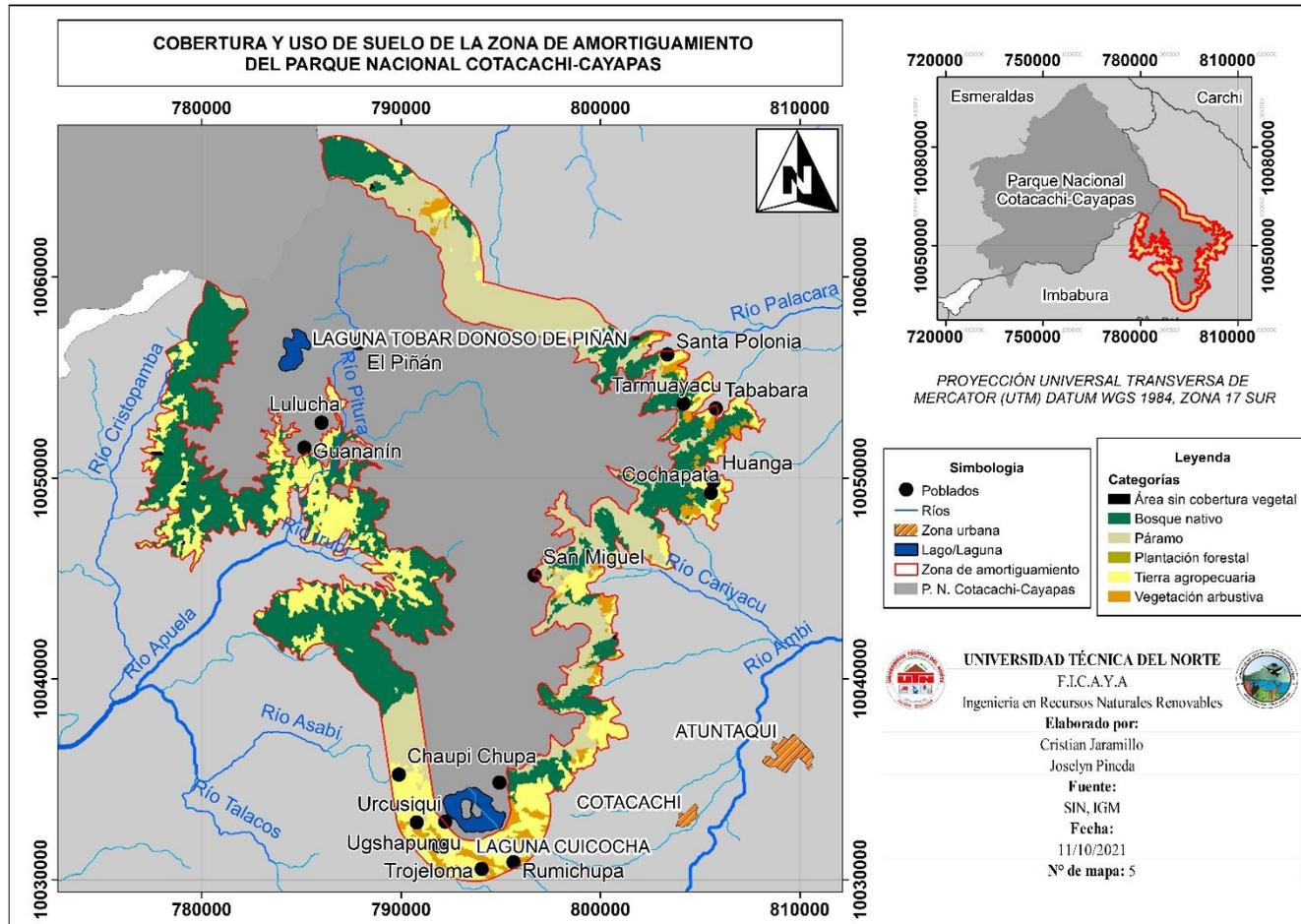
Anexo 3. Mapa de verificación de puntos GPS registrados en campo.



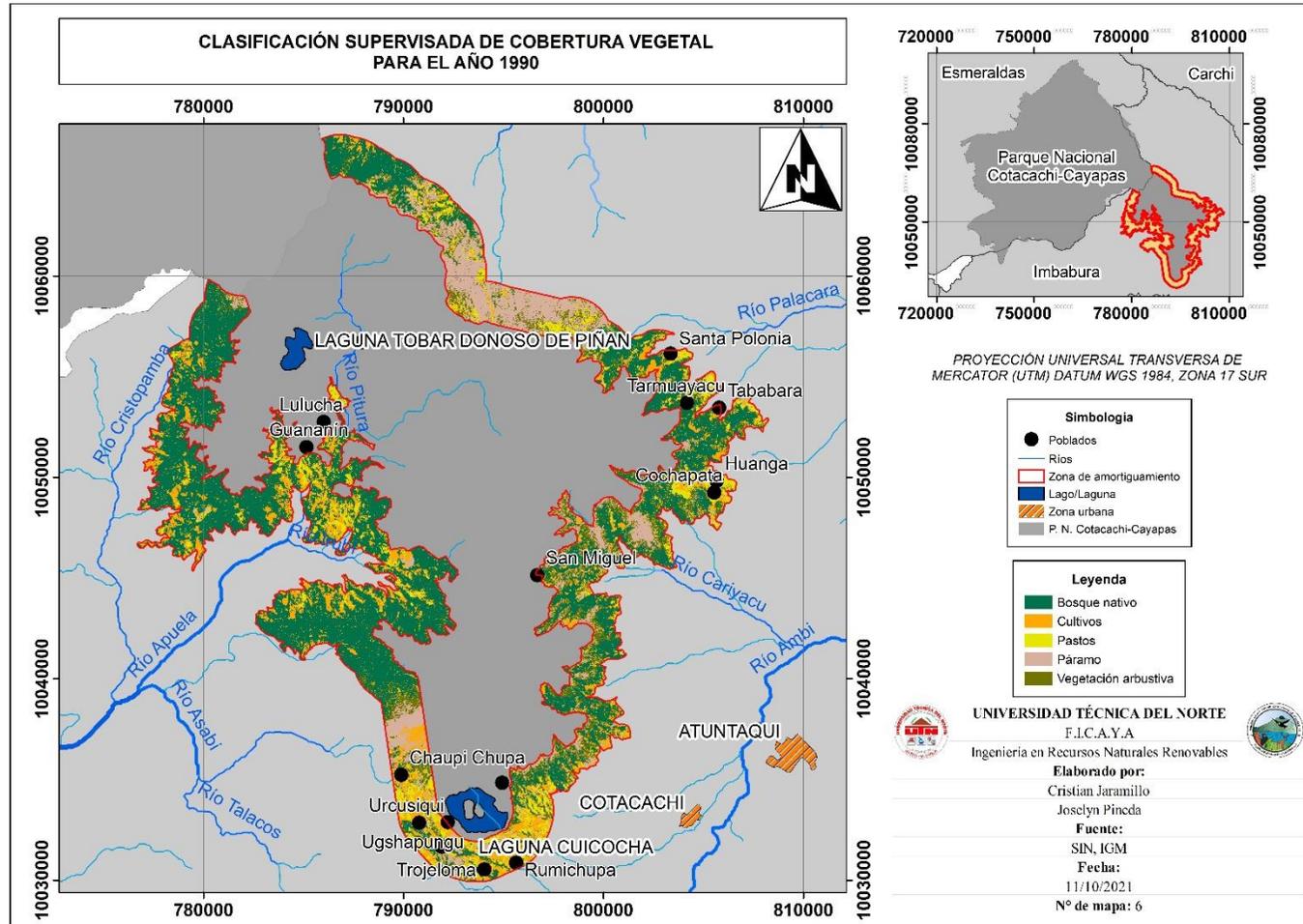
Anexo 4. Mapa de ecosistemas naturales de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas.



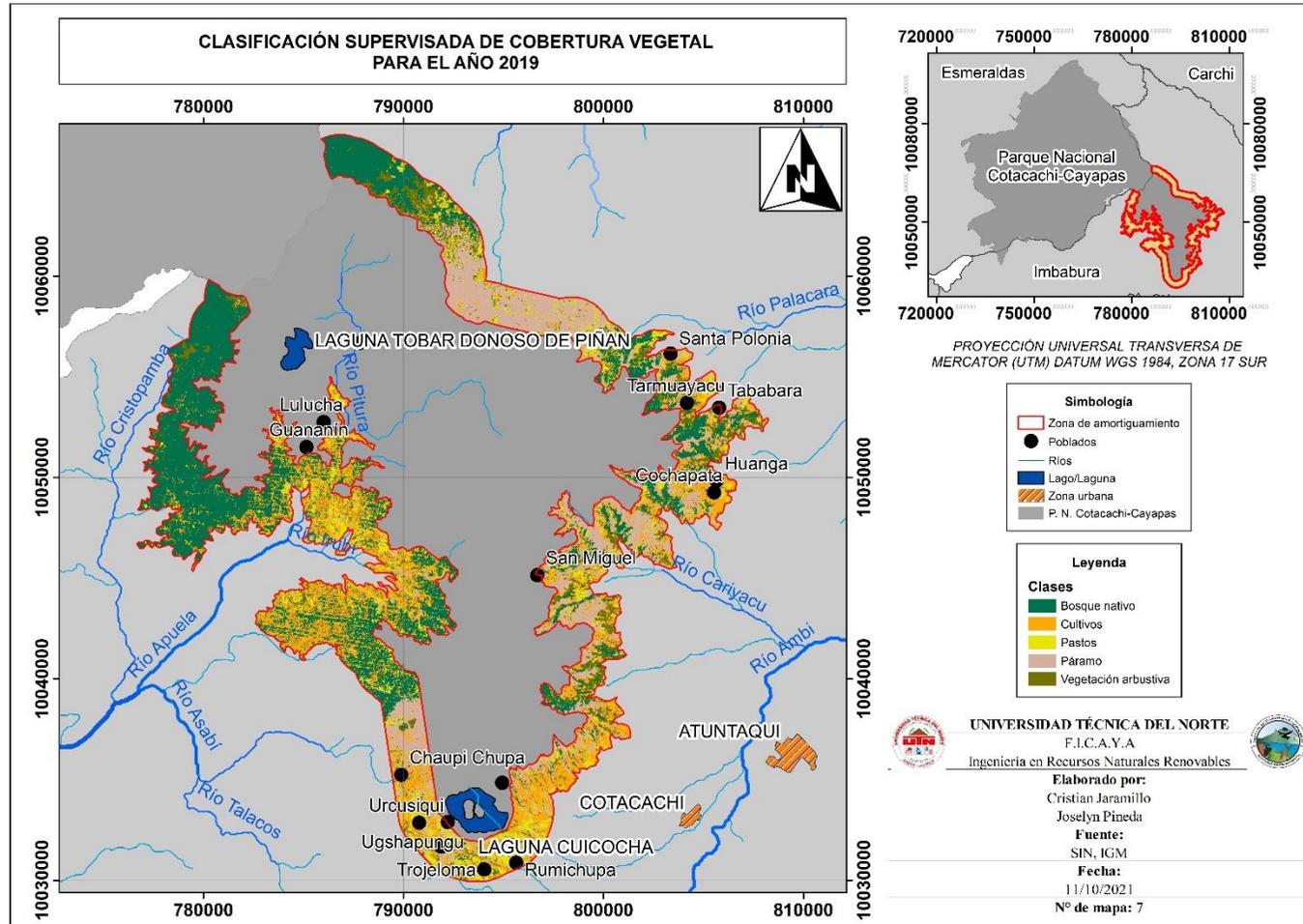
Anexo 5. Mapa de cobertura/uso de suelo de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cotacachi-Cayapas.



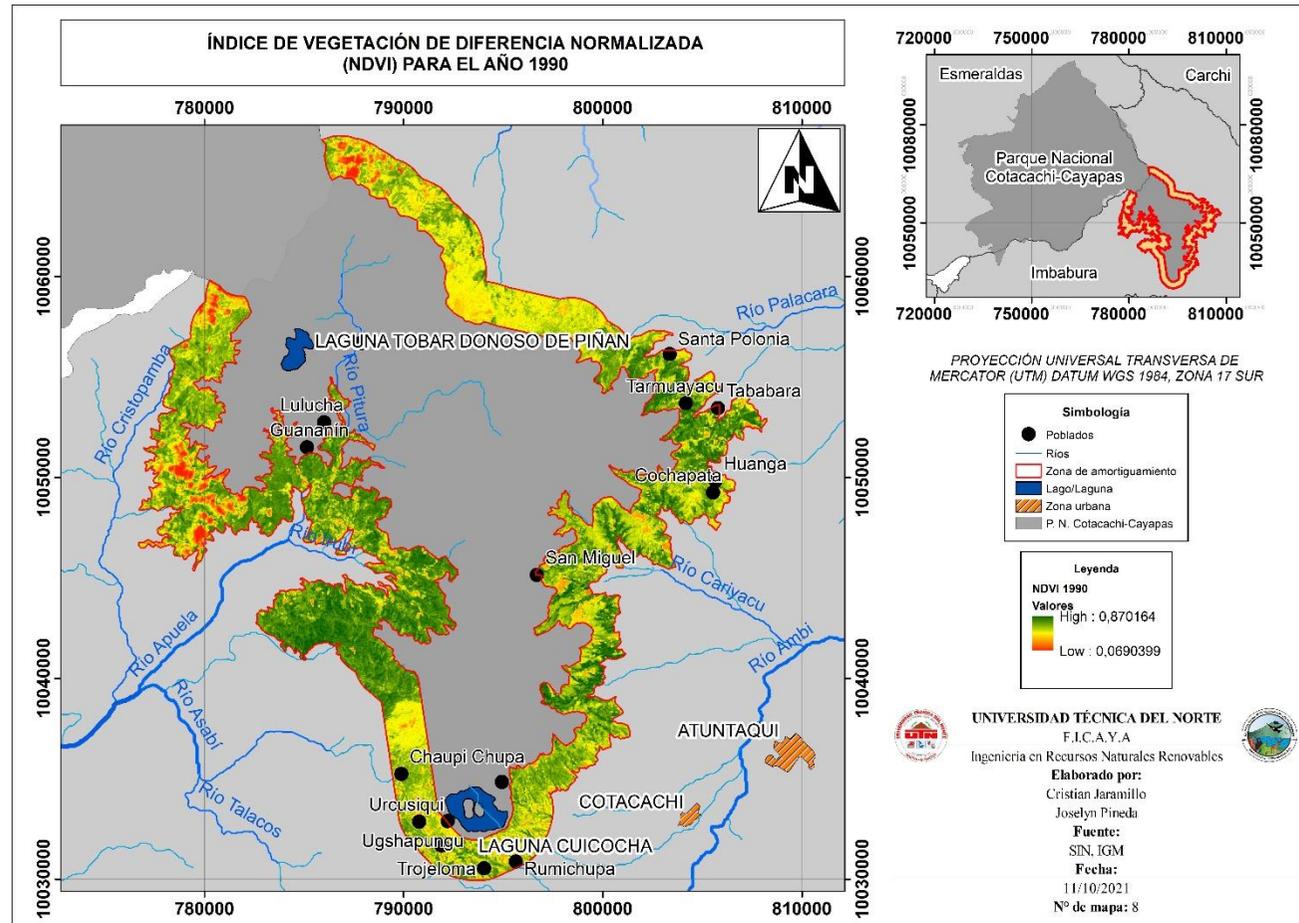
Anexo 6. Clasificación supervisada para el año 1990.



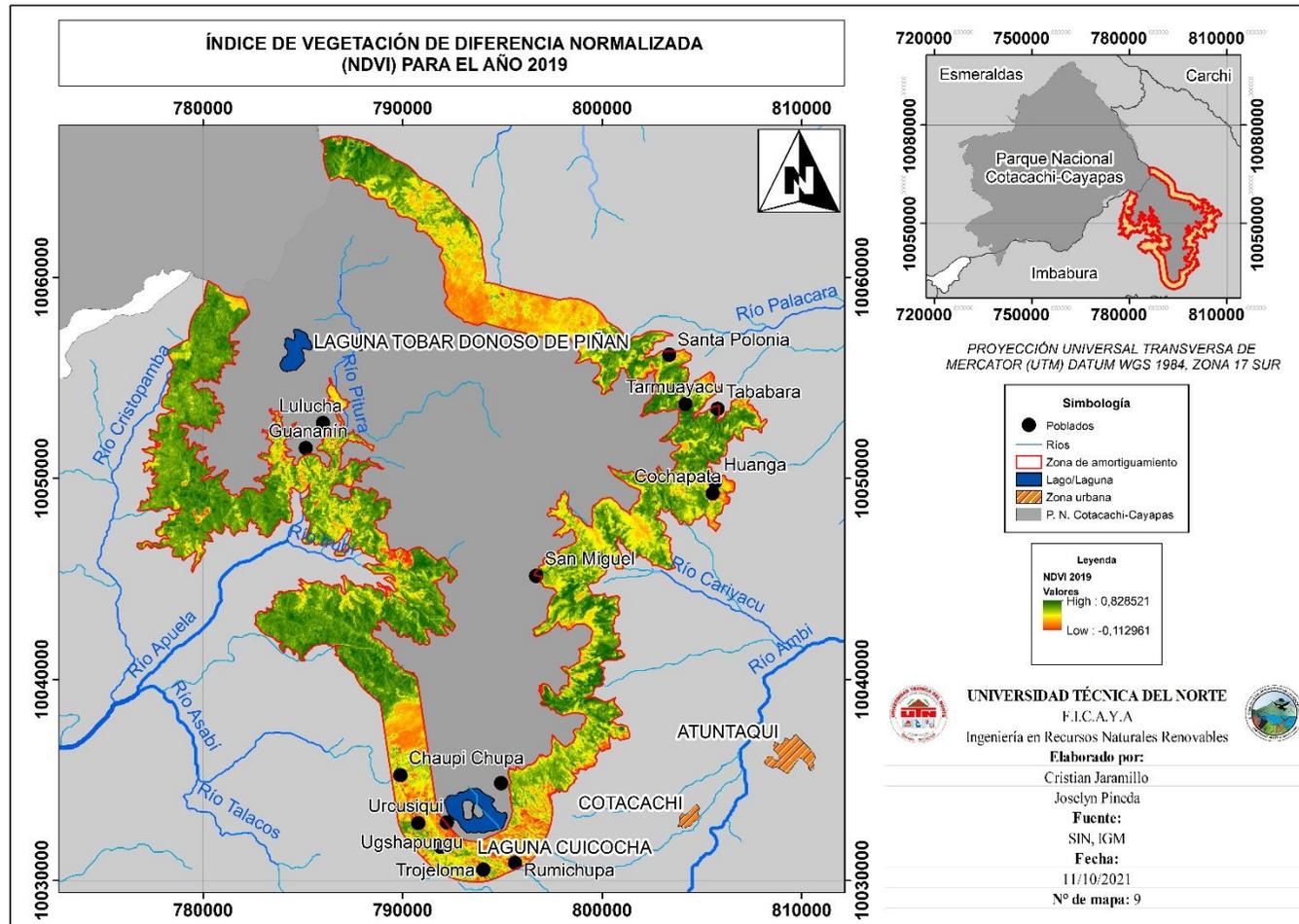
Anexo 7. Clasificación supervisada para el año 2019.



Anexo 8. Aplicación del índice NDVI al año 1990.



Anexo 9. Aplicación del índice NDVI al año 2019.



Anexo 10. Registro fotográfico

Georreferenciación salida de campo Cuicocha



Cultivos de ciclo corto en la comunidad Cuicocha



Límite de la frontera agrícola



Tierra agrícola y plantaciones forestales en la salida de campo Vía Piñán



Cobertura de páramo en la zona de amortiguamiento



Campamento del Ministerio del Ambiente

