

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES



ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL AVANCE DE LA FRONTERA AGRÍCOLA
HACIA EL ÁREA PROTEGIDA AUTÓNOMA DESENTRALIZADA “TAITA
IMBABURA”

INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PARA
OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO/A EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

AUTORA: Evelin Jadira Cobo Enriquez

DIRECTOR:

Ing. Darío Paúl Arias Muñoz MSc.

Ibarra, 2024



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1004382576		
APELLIDOS Y NOMBRES:	COBO ENRIQUEZ EVELIN JADIRA		
DIRECCIÓN:	Marco Tulio Hidrovo y Hernán González de Saa, Conjunto "Ciudad Blanca"- Ibarra, Imbabura		
EMAIL:	ejcoboe@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	-----	TELF. MOVIL	0984474015

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL AVANCE DE LA FRONTERA AGRÍCOLA HACIA EL ÁREA PROTEGIDA AUTÓNOMA DESENTRALIZADA "TAITA IMBABURA"
AUTORA:	COBO ENRIQUEZ EVELIN JADIRA
FECHA:	01/07/2024
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
CARRERA/PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
DIRECTOR:	ING. DARÍO PAÚL ARIAS MUÑOZ MSc.
ASESORA:	ING. GLADYS NERI YAGUANA JIMÉNEZ MSc.



AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, **Evelin Jadira Cobo Enriquez**, con cédula de identidad Nro. **1004382576**, en calidad de autora y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de integración curricular descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

Ibarra, a los 1 días del mes de julio de 2024

LA AUTORA:

.....
Cobo Enriquez Evelin Jadira



CONSTANCIAS

La autora manifiesta 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 que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 1 días del mes de julio de 2024

LA AUTORA:

.....

Cobo Enriquez Evelin Jadira



CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 01 de julio del 2024

Ing. Darío Paúl Arias Muñoz MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

Ing. Darío Paúl Arias Muñoz, MSc.

C.C.: 1002943544



APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité calificador del trabajo de Integración Curricular **“ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL AVANCE DE LA FRONTERA AGRÍCOLA HACIA EL ÁREA PROTEGIDA AUTÓNOMA DESCENTRALIZADA TAITA IMBABURA”**, elaborado por Evelin Jadira Cobo Enriquez previo a la obtención del título de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

Ing. Darío Paúl Arias Muñoz, MSc.

C.C.: 1002943544

Ing. Gladys Neri Yaguana Jiménez, MSc.

C.C.: 1102511209

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a la vida, a todo lo que nace, crece y vive en los páramos y especialmente al Taita Imbabura, a nuestro Apu que abraza la vida en este territorio.

Montaña verde, montaña sagrada

Montaña del Imbabura

Montaña de mis amores, dame una bendición.

AGRADECIMIENTO

*Con profundo amor por la vida, agradezco a la energía vital por permitirme
atravesar este camino acompañada de gente maravillosa.*

*Un profundo agradecimiento al programa de becas de la fundación Hanns Seidel y a
la coordinación de Azucena Quilumbaqui, por el apoyo económico y formación profesional
que han permitido mi crecimiento como ser humano.*

*Infinitas gracias a la familia Timm, quienes a través de los años me han brindado su
amor y apoyo incondicional.*

*Siempre agradecida con mi estimado Lic. Marco Quiguango. MSc, maestro y amigo,
que siempre confío en mí y se alegra por cada uno de los pasos en mi camino.*

*Un agradecimiento especial a mis compañeras y compañeros de carrera que siempre
han tenido un corazón bondadoso para compartir sus conocimientos y alegría para
acompañarnos en este camino.*

*Gratitud a mis maestras Mónica León, Melissa Layana, Fernanda Herrena, Tania
Oña, Gladys Yaguana por su fuerza femenina y amor en la labor de enseñar.*

*Gratitud a mis maestros Santiago Salazar, Oscar Rosales, Gabriel Jacome por su
integridad y entereza para enseñar y transmitir sus conocimientos.*

*Infinitas gracias al Ing. Darío Paúl Arias MSc., quien ha sido guía en mi proceso de
formación, por su apoyo, dedicación y herramientas necesarias para alcanzar los objetivos
de esta investigación.*

*Agradezco a la Polítoóloga y querida amiga Katherine Sánchez, porque con su
palabra ha inspirado mis procesos de expresión y comunicación.*

*Desde mi corazón infinita gratitud a mi madre, hermanos, que son la luz de mi vida y
mi fortaleza para vivir.*

A mis abuelos y abuelas que me han bendecido y guiado para vivir

*Al amor incondicional de Frederik, quién con su compañía, alegría e inteligencia ha
inspirado mi vida*

A mi querida y vieja amiga Tania, que siempre me ha dado su mano para continuar

Amigos, amigas gracias por su apoyo incondicional

¡Los llevo en mi corazón!

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido	Pg.
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPITULO I INTRODUCCIÓN	1
1.1 Revisión de antecedentes	1
1.2 Problema de investigación y justificación	3
1.3 Objetivos	6
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	6
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	6
1.4 Preguntas directrices de la investigación	6
1.5 Hipótesis de investigación	6
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	7
2.1 Revisión de literatura	7
2.2.1 <i>Suelo y cambio de uso de suelo</i>	7
2.2.2 <i>Avance de la frontera agrícola</i>	7
2.2.3 <i>Áreas protegidas</i>	8
2.2.4 <i>Uso de los SIG en el análisis del cambio de uso de suelo</i>	9
2.2. Marco legal	10
CAPITULO III METODOLOGÍA	14
3.1 Descripción del área de estudio	14
3.1.1 <i>Localización geográfica del área de estudio</i>	14
3.1.2 <i>Componente del medio físico</i>	15
3.1.3 <i>Componente social</i>	16
3.1.4 <i>Componente económico</i>	16
3.2 Métodos.....	16
3.2.1. <i>Etapa 1. Determinación del cambio de uso de suelo en el Área Protegida Descentralizada “Taita Imbabura” 2012-2023.</i>	17
3.2.2. <i>Etapa 2. Establecimiento del avance de la frontera agrícola en zona de amortiguamiento entre los años 2012- 2023.</i>	19
3.2.3. <i>Etapa 3. Propuesta de estrategias de prevención y mitigación del avance de la frontera</i>	19
CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
4.1 Etapa 1. Análisis del avance de la frontera agrícola hacia el área protegida	21
4.1.1 <i>Análisis multitemporal de cobertura y uso de suelo, 2012 y 2018</i>	21
4.1.2 <i>Análisis multitemporal de cobertura y uso de suelo, 2018 y 2023</i>	23

4.1.3 <i>Análisis multitemporal de cobertura y uso de suelo período 2012-2023</i>	25
4.2. Etapa 2. <i>Análisis del avance de la frontera agrícola en zona de amortiguamiento</i>	27
4.2.1 <i>Análisis multitemporal de la cobertura y uso de suelo, 2012 y 2018</i>	28
4.2.2 <i>Análisis multitemporal de la cobertura y uso de suelo, 2018 y 2023</i>	29
4.2.3 <i>Análisis multitemporal de cobertura y uso de suelo período 2012 - 2023</i>	31
4.2.4 <i>Análisis multitemporal de cobertura y uso de suelo en el área protegida y zona de amortiguamiento, 2012 y 2018</i>	34
4.2.5 <i>Análisis multitemporal de cobertura y uso de suelo en el área protegida y zona de amortiguamiento, 2018 y 2023</i>	36
4.2.6 <i>Análisis multitemporal de cobertura y uso de suelo en el área protegida y zona de amortiguamiento período 2012-2023</i>	39
4.3 Etapa 3. <i>Propuesta de estrategias de prevención y mitigación del avance de la frontera agrícola</i>	42
4.3.1 <i>Estrategia de prevención: Integración del páramo del complejo volcánico Cubilche en la zona de protección del APADTI</i>	45
4.3.2 <i>Estrategia de mitigación: Regulación las actividades de producción y extracción de madera mediante Pagos por Servicios Ambientales (PSA)</i>	47
CAPITULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
6.1 Conclusiones	51
6.2 Recomendaciones	53
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	54
ANEXOS	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valorización del coeficiente Kappa	18
Tabla 2. Esquema del modelo Presión-Estado-Respuesta	20
Tabla 3. Cambio de uso de suelo en el área protegida Taita Imbabura 2012 y 2018	22
Tabla 4. Cambio de uso de suelo en el área protegida Taita Imbabura 2018 y 2023	24
Tabla 5. Cambio de uso de suelo en el área protegida Taita Imbabura período 2012-2023...26	
Tabla 6. Cambio de uso de suelo en la zona de amortiguamiento del Taita Imbabura 2012 y 2018.....	28
Tabla 7. Cambio de uso de suelo en la zona de amortiguamiento del Taita Imbabura 2018 y 2023.....	30
Tabla 8. Cambio de uso de suelo de la zona de amortiguamiento del Taita Imbabura período 2012 -2023	32
Tabla 9. Cambio de uso de suelo en el área protegida y zona de amortiguamiento 2012 y 2018.....	35
Tabla 10. Cambio de uso de suelo en el área protegida y zona de amortiguamiento 2018 y 2023.....	37
Tabla 11. Cambio de uso de suelo en el área protegida y zona de amortiguamiento período 2012 -2023	39
Tabla 12. Diseño de estrategias a través del modelo PER (Presión-Estado-Respuesta).....	44
Tabla 13. Estrategia de prevención contra el avance de la frontera agrícola.....	46
Tabla 14. Estrategia de mitigación contra el avance de la frontera agrícola	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sustento legal de investigación referente al uso de suelo en Ecuador – Pirámide de Kelsen	11
Figura 2. Mapa de ubicación del Área Protegida Autónoma Descentralizada “Taita Imbabura”	15
Figura 3. Cobertura y uso de suelo del área protegida Taita Imbabura año 2012	22
Figura 4. Cobertura y uso de suelo del área protegida Taita Imbabura año 2018	25
Figura 5. Cobertura y uso de suelo del área protegida Taita Imbabura año 2023	27
Figura 6. Cobertura y uso de suelo de la zona de amortiguamiento año 2012	29
Figura 7. Cobertura y uso de suelo de la zona de amortiguamiento año 2018	31
Figura 8. Cobertura y uso de suelo de la zona de amortiguamiento año 2023	33
Figura 9. Mosaico agropecuario en el páramo del Complejo Volcánico Cubilche año 2023	34
Figura 10. Cobertura y uso de suelo del área protegida y zona de amortiguamiento año 2012	36
Figura 11. Cobertura y uso de suelo del área protegida y zona de amortiguamiento año 2018	38
Figura 12. Cobertura y uso de suelo del área protegida y zona de amortiguamiento año 2023	40
Figura 13. Cobertura y uso de suelo año 2023	41

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Fotografía de uso de suelo en el Complejo Volcánico Cubilche, 2023 _____	62
Anexo 2. Fotografía de uso de suelo en el Complejo Volcánico Cubilche 2023	62
Anexo 3. Principales cultivos; chocho (<i>Lupinus mutabilis</i>), papa (<i>Solanum tuberosum</i>), cebada (<i>Hordeum vulgare</i>) bajo los 3300 msnm en el Cubilche	63
Anexo 4. Plantaciones forestales de pino (<i>Pinus patula</i>) en el pie de monte del Cubilche y volcán Imbabura 2023.....	63
Anexo 5. Validación del mapa de cobertura y uso de suelo del área protegida y zona de amortiguamiento del Taita Imbabura 2023	64
Anexo 6. Validación del mapa de cobertura y uso de suelo del área protegida y zona de amortiguamiento del Taita Imbabura 2018.....	65
Anexo 7. Validación del mapa de cobertura y uso de suelo del área protegida y zona de amortiguamiento del Taita Imbabura 2012.....	66
Anexo 8. Matriz de transición para el área protegida y zona de amortiguamiento, 2012 y 2018	67
Anexo 9. Matriz de transición para el área protegida y zona de amortiguamiento, 2018 y 2023	68
Anexo 10. Matriz de transición para el área protegida y zona de amortiguamiento período 2012- 2023	69
Anexo 11. Matriz de transición para el área protegida, 2012 y 2018.....	70
Anexo 12. Matriz de transición para el área protegida, 2018 y 2023	71
Anexo 13. Matriz de transición para el área protegida período 2012-2023	72
Anexo 14. Matriz de transición para la zona de amortiguamiento, 2012 y 2018.....	73
Anexo 15. Matriz de transición para la zona de amortiguamiento, 2018 y 2023	74
Anexo 16. Matriz de transición para la zona de amortiguamiento período 2012-2023	75

RESUMEN

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL AVANCE DE LA FRONTERA AGRÍCOLA HACIA EL ÁREA PROTEGIDA AUTÓNOMA DESENTRALIZADA “TAITA IMBABURA”

La falta de regulación del uso de suelo en los territorios cercanos a áreas protegidas representa una amenaza constante, pues se incrementa la presión del avance de la frontera agrícola y la expansión de actividades productivas en las áreas de conservación. En esta problemática los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son instrumentos que permiten determinar la variación de coberturas vegetales en diferentes extensiones geográficas. El propósito principal de este trabajo fue realizar el análisis multitemporal del avance de la frontera agrícola hacia el Área Protegida Autónoma Descentralizada “Taita Imbabura” y en la zona de amortiguamiento con enfoque en el desarrollo de propuestas de prevención y mitigación de este avance. Para lo cual, se llevó a cabo un estudio espacio temporal utilizando imágenes satelitales *planetscope*, con procesamiento previo. Se realizó el proceso de clasificación supervisada en el software ArcGIS 10.8, definiéndose ocho clases de uso de suelo; bosque nativo, mosaico agrícola, pastos, páramo, plantación forestal, afloramiento de roca, cuerpos de agua y área sin vegetación. Se utilizaron áreas menores a 0,1 hectáreas según el Área Mínima Cartografiable (AMC) para la cartografía respectiva a los años 2012, 2018 y 2023. El proceso de validación se realizó con el índice Kappa, para proceder a determinar la disminución y aumento de coberturas usando matrices de transición en Excel. Los resultados se obtuvieron para el área protegida y la zona de amortiguamiento para el período 2012-2023. En el área protegida no existe avance de la frontera agrícola, pues los valores obtenidos representan menos del uno por ciento en toda la superficie. En la zona de amortiguamiento se identifica el avance de la frontera agrícola hacia el páramo del Complejo Volcánico Cubilche. Se determinó que para el período 2012-2023 las principales presiones que enfrenta el área protegida y su zona de amortiguamiento son las actividades agrícolas y forestales. Por lo que, las estrategias de prevención y mitigación se propusieron con un enfoque de regulación de actividades productivas y de conservación del ecosistema páramo.

Palabras clave: cambio de uso de suelo, áreas protegidas, páramo, Taita Imbabura, zona de amortiguamiento.

ABSTRACT

MULTITEMPORAL ANALYSIS OF THE ADVANCE OF THE AGRICULTURAL FRONTIER INTO THE "TAITA IMBABURA" DE-CENTRALIZED AUTONOMOUS PROTECTED AREA

The lack of land use regulation in territories near protected areas represents a constant threat, as the pressure of the advancing agricultural frontier and the expansion of productive activities in conservation areas increases. In this problem, Geographic Information Systems (GIS) are instruments that allow determining the variation of vegetation cover in different geographic extensions. The main purpose of this work was to carry out a multitemporal analysis of the advance of the agricultural frontier into the Decentralized Autonomous Protected Area "Taita Imbabura" and its buffer zone with a focus on the development of proposals for prevention and mitigation of this advance. For this purpose, a spatio-temporal study was carried out using *planetscope* satellite images, with prior processing. A supervised classification process was carried out in ArcGIS 10.8 software, defining eight land use classes: native forest, agricultural mosaic, pasture, moor, forest plantation, rock outcrop, water bodies and area without vegetation. Areas smaller than 0.1 hectares according to the Minimum Mappable Area (MCA) were used for the respective mapping for the years 2012, 2018 and 2023. The validation process was performed with the Kappa index, to proceed to determine the decrease and increase of coverages using transition matrices in Excel. The results were obtained for the protected area and the buffer zone for the period 2012-2023. In the protected area, there is no advance of the agricultural frontier, as the values obtained represent less than one percent of the entire area. In the buffer zone, the agricultural frontier is advancing towards the Cubilche Volcanic Complex's paramo. It was determined that for the 2012-2023 period, the main pressures facing the protected area and its buffer zone are agricultural and forestry activities. Therefore, prevention and mitigation strategies were proposed with a focus on regulating productive activities and conserving the páramo ecosystem.

Key words: land use change, protected areas, paramo, Taita Imbabura, buffer area

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Revisión de antecedentes

La forma de conservación *in situ* de la diversidad biológica, recursos naturales y culturales a nivel mundial, ha sido establecer áreas protegidas para disminuir las amenazas de ecosistemas terrestres y/o marinos (Sierralta et al., 2011). Las áreas protegidas son una estrategia para conservar la biodiversidad y garantizar el acceso a servicios ecosistémicos protegiendo cuencas hidrográficas en el mundo (Maciej et al., 2016). Estos espacios de protección contribuyen a la mitigación y adaptación al cambio climático (Elbers, 2021). El Informe Planeta Protegido 2020 establece que actualmente existen 202.467 áreas protegidas, que abarcan 22,5 millones de Km² y representan el 16,64% de ecosistemas terrestres y aguas continentales del planeta Tierra y 28,1 millones de Km² (7,74%) de aguas costeras y el océano (PNUMA-WCMC & UICN, 2021).

En Latinoamérica y el Caribe (LAC) se describe 2.300 Áreas Clave para la Biodiversidad (KBA en inglés), de las cuales solo el 21,2% se definen como áreas protegidas, y el 43,9% no se encuentran bajo ninguna figura de protección (Álvarez et al., 2021). A pesar de esto, a través del tiempo se ha incrementado la presión de las actividades antrópicas sobre las áreas protegidas (UICN, 2021). Solo el 42% de territorios protegidos no experimentan influencia por estas actividades (Jones et al., 2018) . El mal uso de los recursos naturales y la carencia de las políticas públicas con relación al uso de la tierra, bosques y vegetación natural, han reducido la proporción de tierra arable en el mundo (Bandy et al., 1994).

En el siglo XX la principal causa de deforestación ha sido la expansión de tierras para la agricultura local y comercial, seguida de la expansión urbana, construcción de nuevas infraestructuras y minería (FAO, 2016). Latinoamérica y el Caribe poseen más de 8,8 millones de Km² en áreas protegidas terrestres y marinas, siendo así la región más protegida del mundo (Álvarez et al., 2021). Las principales amenazas que enfrentan las áreas protegidas en América Latina y el Caribe son: el avance de actividades agrícolas, apropiación ilegal de tierras, la extracción ilegal de madera, introducción de especies invasoras, actividades mineras, petroleras y forestales (Castaño, 2007).

Los ecosistemas de páramo son los más afectados por el avance de la frontera agrícola, pues son sistemas frágiles y altamente vulnerables (Recharte et al., 1997). El avance de la frontera agrícola es el principal peligro que enfrentan los relictos de bosque montano y páramo en Ecuador, provocando afecciones a los componentes bióticos y abióticos de estos ecosistemas (Hofstede et al., 2002). Los páramos son zonas de recarga hídrica, cuando los cultivos avanzan montaña arriba van reduciendo la extensión del páramo, afectando a la calidad y cantidad de producción de agua del sistema, porque disminuye la capacidad y retención de agua del suelo (Hofstede et al., 2003). Al establecer actividades de remoción de cobertura vegetal y suelo, se incrementa la macro-porosidad y la pérdida de nutrientes (Terán-Valdez et al., 2019).

En Ecuador el páramo tiene una extensión aproximada de 1 500 000 ha que representa el 7% del territorio (Durán et al., 2021). Se encuentra en 17 de las 24 provincias y el 73% del mismo se encuentra protegido mediante algún mecanismo de protección (MAATE, 2023). Solo en Ecuador existen alrededor de 10 tipos de páramos, entre ellos el páramo de frailejones, el páramo de pajonal que es el más común y extenso, el páramo seco y el arbustivo (De la Cruz et al., 2009). El Ecuador cuenta actualmente con un Plan de Acción Nacional para la Conservación, Restauración y Uso Sostenible de los Páramos y un Proyecto de Ley Orgánica de Justificación y Protección Integral para los Páramos que fue presentado en la Asamblea Nacional en el año 2021 que se encuentra en trámite (Rivadeneira, 2023).

Chuncho, (2019) los define “los páramos son ecosistemas frágiles neotropicales de alta montaña y proveen servicios ecosistémicos como: recursos hídricos de calidad y sumideros de carbono”. (p.71). Este ecosistema está ubicado entre los 3.000 y los 5.000 msnm aproximadamente (León, 2011). Los suelos de páramo son de origen volcánico y debido a la alta porosidad y baja densidad, permiten la retención y conductividad del agua siendo suelos altamente fértiles (Recharte et al., 1997). Para procurar la protección de los servicios ambientales y el desarrollo sostenible de las comunidades locales en Ecuador se han declarado 76 espacios naturales que integran el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) (MAATE, 2023).

En total suman una superficie de 26 millones de hectáreas, que representan el 19,42 % del territorio nacional conservado por el SNAP (MAATE, 2023a). El Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), está dividido en cuatro subsistemas el Patrimonio de Áreas Naturales del Estado (PANE), el de Áreas Protegidas de Gobiernos Seccionales (APGS), el

de Áreas Protegidas Comunitarias, Indígenas y Afroecuatorianas (APC) y el de Áreas Protegidas Privadas (APPRI) (MAATE, 2023a). Hasta el año 2023 cinco áreas conforman la categoría de Áreas Protegidas Autónomas Descentralizadas o de Gobiernos seccionales (MAATE, 2023a). En esta categoría, desde el 2012 forma parte el Área Protegida Autónoma Descentralizada “Taita Imbabura” (APADTI), con una extensión total de 3 717, 48 ha. La zona de protección o núcleo y zona de amortiguamiento suman una extensión de 10 518, 41 ha (MAATE, 2021).

Para consolidar la declaratoria, se ha creado en el 2018 el Consorcio para la Gestión del Área Ecológica de Conservación Taita Imbabura, integrado por los GAD Municipales de Otavalo, Antonio Ante e Ibarra, y el GPI de la provincia de Imbabura (ECOLEX, 2021). El Área protegida “Taita Imbabura” se encuentra en el territorio de la provincia de Imbabura, territorio que fue declarado Geoparque Mundial de la UNESCO el 17 de abril del 2019 (MINTUR, 2019). El Plan de manejo del ADAPTI menciona que el 99,9 % representa vegetación natural remanente de páramo y bosque andino (ECOLEX, 2021).

1.2 Problema de investigación y justificación

El modelo expansivo y las dinámicas de producción agrícola en el último siglo a nivel global han provocado grandes conflictos socioambientales entre el aprovechamiento del suelo para cultivos locales o monocultivos industriales y las afectaciones ambientales (Schmidt, 2019). El cambio de uso de suelo por el modelo expansivo representa un peligro para cualquier ecosistema, ya que es un sistema de producción que implica el manejo inadecuado de los recursos naturales, ocasionando principalmente la degradación del suelo (Ospina, 2020).

En el caso de Ecuador, la degradación de la tierra está relacionada con los procesos de deforestación y remoción de coberturas vegetales para la agricultura (CNULD, 2014). Las actividades agrícolas se realizan por lo general en los claros de vegetación, con una dinámica de sobreuso y abandono de estas zonas en estado degradado y de baja producción (Armenteras & Rodríguez, 2014). De esta forma se crea la necesidad de desmontar nuevas áreas para cultivos y abandonar las que fueron deterioradas por sobreexplotación (Phalan et al., 2013).

En la actualidad los páramos ecuatorianos presentan procesos de degradación por actividades antrópicas como el sobrepastoreo, pérdida árboles de altura pertenecientes a

relictos de bosques altoandinos y reducción de la capacidad de captación de agua y el uso de suelos para cultivos (Alomía, 2005). La dinámica de cambio de uso de suelo en Ecuador comenzó con el proceso de colonización y las reformas agrarias de 1964 y 1973, que buscaban enfrentar al sistema latifundista de producción y uso de tierra, reivindicando a las comunidades indígenas con el otorgamiento de tierras baldías (Martínez, 2006).

Las poblaciones de la región interandina expandieron sus cultivos tierras arriba, e intensificaron el pastoreo en zonas bajas de los páramos, en aquella época denominadas “tierras baldías” (Laforge, 2016). En estas tierras baldías se talaron y quemaron extensiones de bosques de páramos andinos y extensiones selváticas para demostrar que eran tierras trabajadas y de esa forma ser privatizadas (Rosero et al., 2021). Para Hofstede et al. (2002) estos procesos causaron el mal uso de los pisos ecológicos de páramo, deteriorando los hábitats boscosos y vegetación natural del callejón interandino del Ecuador, provocando daños irreversibles.

Los ecosistemas de altura eran manejados como un sistema complejo que combinaba elementos rituales, administrativos, ecológicos. Eran considerados sitios de producción no intensiva donde solo se recolectaba hierba, leña y plantas medicinales o se cazaba conejos, venados y tórtolas (De la Cruz et al., 2009). El uso de tecnologías convencionales para la producción agrícola, junto con el uso de agroquímicos son producto de procesos históricos como la colonización, la reforma agraria y revolución verde (Rosero & Beltrán, 2021).

Este sistema de producción está deteriorando el suelo y contaminando las fuentes de agua subterránea, poniendo en riesgo la soberanía alimentaria y la calidad de vida de los habitantes de esta zona. La economía de la población de las comunidades en el cantón de Ibarra y Otavalo está basada principalmente en la agricultura. El páramo ha sido fuente de grandes variedades de tubérculos andinos y en algunas localidades variedades únicas de papas, mellocos, ocas y mashuas que han garantizado por siglos la soberanía alimentaria de los pueblos indígenas y más delante de la población mestiza (De la Cruz et al., 2009).

El avance de la frontera agrícola de territorios que colindan con áreas protegidas es una amenaza latente, pues es una problemática actual entre el Patrimonio de Áreas Naturales del Ecuador (PANE) y la falta de regulación del uso de suelo (Castaño, 2007). Las áreas protegidas ubicadas en la región andina enfrentan conflictos de gobernanza territorial, por el uso, acceso y control de los recursos naturales que se encuentran en el área, pues tienen

estrecha relación con los asentamientos de poblaciones que limitan con las áreas protegidas (Rivas, 2006).

En el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) del Cantón Ibarra 2019-2040 se plantea incrementar el aprovechamiento del suelo y los componentes de la cuenca hidrográfica, para potenciar el sector productivo primario y el desarrollo económico del cantón (Jácome, 2020). En el cantón Otavalo, las actividades agrícolas y pecuarias ejercen directamente presión sobre el páramo y los componentes bióticos de flora y fauna silvestre de este territorio (Reyes, 2020). En el cantón de Antonio Ante, las principales actividades económicas están basadas en el área textil, la agricultura y ganadería representan solo 5% del 66% del aporte de las actividades económicas de este cantón (Mayorga, 2020).

La declaratoria y zonificación de Áreas Protegidas en Ecuador representan una posible solución al conflicto de uso de tierra (MAATE, 2023a). La zona núcleo responde al manejo estricto y en la zona de amortiguamiento se permiten en cierto grado actividades para el aprovechamiento de los recursos del AP (Moscoso, 2003). En relación con el Plan de Gobierno 2021-2025 creando oportunidades y la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible, el presente estudio se enmarca directamente en el eje social y el eje de transición ecológica (CEPAL, 2022).

Los tres objetivos del eje de transición ecológica se enmarcan en la gestión y aprovechamiento racional de los recursos naturales, conservación de ecosistemas y en el fortalecimiento del modelo de desarrollo sostenible para adaptación y mitigación del cambio climático (CEPAL, 2022). El objetivo ocho del eje social se enfoca en la creación de ciudades y comunidades sostenibles, promoviendo el bienestar de las zonas rurales (CEPAL, 2022). El presente estudio pretende generar información aplicando teledetección para evaluar el cambio de uso de suelo provocado por el avance de la frontera agrícola en el Área Protegida Autónoma Descentralizada “Taita Imbabura” (APADTI).

Debido a que desde que el área ha sido declarada Área Protegida Autónoma Descentralizada Taita Imbabura, no se han realizado estudios que evalúen el cambio de uso de suelo en este periodo de tiempo. Por medio del análisis multitemporal entre los años 2012 y 2023 se puede conocer la evolución de los procesos de cambio de uso de suelo del APADTI y las implicaciones para el área protegida. A la vez, los habitantes de los cantones de Ibarra, Otavalo y Antonio Ante podrán tener acceso a esta información para comprender la

dimensión de la degradación de los recursos naturales por los procesos de expansión agrícola y la afectación directa a la calidad de vida.

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Analizar el avance de la frontera agrícola en el Área Protegida Descentralizada “Taita Imbabura” y la zona de amortiguamiento entre los años 2012-2023, con el fin de proponer estrategias de prevención y mitigación.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar el avance de la frontera agrícola en Área Protegida Autónoma Descentralizada “Taita Imbabura” entre los años 2012- 2023.
- Establecer el avance de la frontera agrícola en zona de amortiguamiento entre los años 2012- 2023
- Proponer estrategias de prevención y mitigación del avance de la frontera agrícola.

1.4 Preguntas directrices de la investigación

¿Cuál es la variación del uso del suelo en el Área Protegida Autónoma Descentralizada “Taita Imbabura” entre los años 2012 y 2023?

¿Cuál es la variación del uso del suelo en la zona de amortiguamiento del Área Protegida Autónoma Descentralizada “Taita Imbabura” entre los años 2012 y 2023?

¿Cuáles estrategias de prevención y mitigación del avance de la frontera agrícola son aplicables en el Área Protegida Autónoma Descentralizada “Taita Imbabura”?

1.5 Hipótesis de investigación

La expansión progresiva de las actividades agrícolas entre los años 2012 y 2023, han provocado el cambio de uso del suelo en el Área Protegida Autónoma Descentralizada “Taita Imbabura” y su zona de amortiguamiento.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Revisión de literatura

2.2.1 Suelo y cambio de uso de suelo

El suelo es la capa superior de la tierra o corteza terrestre, compuesto por minerales, materia orgánica, aire, agua, macro y microorganismos, donde se enraízan las plantas para producir alimentos (FAO, 2013). El suelo se considera un recurso natural no renovable y funciona como soporte físico para el desarrollo de la vida de los seres humanos, animales y plantas (Jaramillo, 2002). Para Abad (2020) el uso de suelo es la forma de manejo o utilidad que se le dé a una extensión de superficie terrestre y a la cobertura vegetal, donde las actividades socioeconómicas antrópicas están directamente relaciones con el uso de suelo.

El uso de suelo es el aprovechamiento de la tierra, sea agrícola o no, pero que tienen una gran influencia en los procesos de formación y regeneración del suelo (FAO, 2009). El cambio de uso de suelo sucede cuando las áreas de vegetación boscosa o arbustiva se reducen, para realizar actividades extractivas, agrícolas o expansión de urbanizaciones (Helmut & Lambin, 2002). Los ecosistemas terrestres se ven directamente afectados por los cambios de uso de suelo y cobertura vegetal (Marengo et al., 2011).

Al existir cambios de uso de suelo se altera la cobertura vegetal, modificando las propiedades físicas, químicas y microbianas del suelo (Huang et al., 2006). Para Ruiz et al. (2013) el monitoreo de los cambios de uso de suelo permite determinar la extensión geográfica, evaluar la cobertura vegetal y entender las dinámicas socio económicas que influyen en estos cambios a nivel local, regional y global.

2.2.2 Avance de la frontera agrícola

La frontera agrícola es un área que atraviesa procesos continuos de cambio de vegetación y transición de organización productiva con fines agropecuarios (Salizzi, 2020). Al hablar de frontera agrícola se alude a esa delgada línea imaginaria o definida geográficamente que separa el bosque de los cultivos (Mendoza, 2004). En este contexto se contempla el cambio de uso de suelo que, en el caso de América Latina se ha convertido en un territorio de estudio de consecuencias del avance de la frontera agraria (Gligo & Morello, 1981).

En la actualidad el cambio de uso de suelo se convierte en uno de los enfoques principales para estudiar la relación entre las actividades antrópicas y la vulnerabilidad de los ecosistemas ante el cambio climático (Damián et al., 2018). Los cambios de uso de suelo están relacionados con causas directas como la conversión de selvas y bosques para expandir la frontera agrícola, urbanización y extracción, y causas subyacentes que son más complejas, como la alternancia política y crecimiento poblacional (CNULD, 2017).

El resultado del cambio de uso de suelo es la fragmentación del ecosistema, que es la afectación a la funcionalidad del ambiente físico y ecológico de los ecosistemas naturales (Navarro et al., 2015). La fragmentación se origina por la perturbación del paisaje para expandir zonas de cultivo o urbes, reduciendo la superficie terrestre, el aislamiento de especies de flora y fauna, y el aumento del efecto del borde (Williams et al., 2002). El cambio de uso de suelo no solo tiene implicaciones negativas en la biodiversidad que albergan los ecosistemas, sino también a la cantidad de los recursos naturales disponibles y al cambio climático a nivel regional (Sahagún & Reyes, 2018).

El cambio de uso de suelo ejerce gran presión en el recurso hídrico porque el suelo es un componente esencial en el ciclo hidrológico, por lo que su degradación afecta directamente a la calidad y cantidad de agua (Crespo et al., 2008) e incluso puede propiciar la erosión hídrica (Arias-Muñoz et al., 2023). El suelo es una fuente y sumidero de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico, uno de los gases sustanciales del efecto invernadero, por lo que el cambio de uso de suelo por actividades antrópicas es la segunda causa de emisiones a la atmósfera (Cantú Silva et al., 2018).

2.2.3 Áreas protegidas

La UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza), es la primera institución ambiental a nivel mundial creada el 05 de octubre de 1948 en la ciudad de Fontainebleau, Francia (UICN, 2023). En el informe sobre Directrices para la aplicación de las categorías de gestión de áreas protegidas de la UICN editado por Dudley. (2008) se expone la definición actual de áreas protegidas como *“Un espacio geográfico claramente definido, reconocido, dedicado y gestionado, mediante medios legales u otros tipos de medios eficaces para conseguir la conservación a largo plazo de la naturaleza y de sus servicios ecosistémicos y sus valores culturales asociados”* (p. 10).

La UICN ha trabajado en la creación de áreas protegidas a nivel mundial, para facilitar la aplicabilidad a nivel regional y entre países, en 1994 se crea la Asamblea General

de la UICN que clasifica a las áreas protegidas en un sistema de 6 categorías (Ponce & Curonisy, 2008). En el informe sobre Directrices para la aplicación de las categorías de gestión de áreas protegidas de la UICN editado por Dudley (2008) se nombran las 6 categorías de manejo de las áreas protegidas de la UICN, las cuales son: “(I) *Reserva Científica/Reserva Natural Estricta*, (II) *Parque Nacional*, (III) *Monumento Natural*, (IV) *Área de Manejo de Hábitat/Especies*, (V) *Paisaje Terrestre y Marino Protegido* y (VI) *Área Protegida con Uso Sostenible de Recursos Naturales*” (p. 4).

A través del tiempo el enfoque de la gestión de las áreas protegidas ha variado, desde obtener una base de información actualizada de estas áreas, a ser en la actualidad una herramienta para la gobernanza y gestión territorial a nivel local y regional (Dudley, 2008). De esta forma, se han convertido en una estrategia para la conservación de la biodiversidad y la protección de los servicios ecosistémicos para los seres vivos mediante la planificación y conservación de usos de suelo y de agua (Oviedo, 2008).

2.2.4 Uso de los SIG en el análisis del cambio de uso de suelo

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten analizar y representar elementos o variables especialmente localizadas en la superficie terrestre, es decir el manejo de información geográfica (Baxendale, 2015). La identificación de tipos de uso de suelo es una de las aplicaciones más efectivas de la teledetección aplicando técnicas de clasificación supervisada y procesamiento de datos multiespectrales, garantizando la fiabilidad de los SIG (Da Silva et al., 2013). De esta forma, el hecho de utilizar simultáneamente varias variables con información espacial proporciona un diagnóstico más preciso del área de estudio (Briceño et al., 2019).

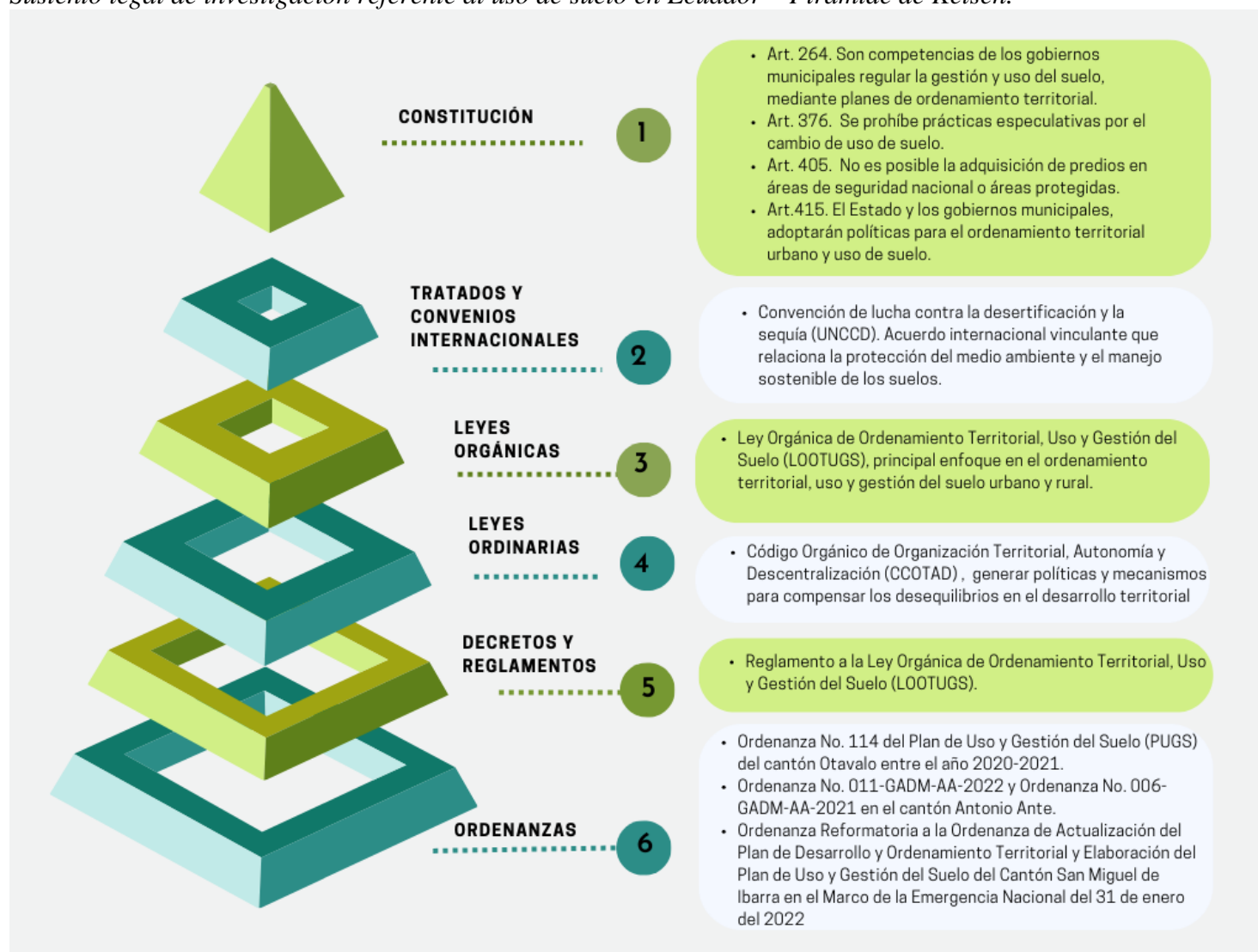
El cambio de uso de suelo es un indicador ambiental que refleja el impacto o presión de las actividades antrópicas sobre el componente suelo y los recursos naturales (Rodríguez Pérez et al., 1999). Esta información del recurso suelo favorece a la planificación y gestión territorial del uso del suelo a escalas locales y regionales (Da Silva et al., 2013). Las indagaciones estadístico-espaciales con sistemas de información geográfica (SIG) tienen el propósito de identificar las razones y efectos asociados al cambio climático y los procesos de deforestación en las regiones tropicales (Sandoval & Real, 2005).

2.2. Marco legal

En el Art. 425 de la Constitución de la República del Ecuador 2008, se establece que la aplicación de las normas se aplicará en orden de jerarquía: Constitución de la República del Ecuador; tratados y convenios internacionales, leyes orgánicas, leyes ordinarias, normas regionales y ordenanzas distritales, decretos y reglamentos, ordenanzas, acuerdos y resoluciones y demás actos y decisiones de los poderes públicos. En referencia al uso de suelo en Ecuador se establece un orden jerárquico de aplicación de las normas a nivel Nacional, basado en un análisis de la estructura de la Pirámide de Kelsen (Figura 1).

Figura 1

Sustento legal de investigación referente al uso de suelo en Ecuador – Pirámide de Kelsen.



Elaboración propia

En la figura 1 se expresa lo señalado en el artículo 264 y 376 de la Constitución que se refiere a la responsabilidad de los gobiernos municipales para regular el uso y ocupación del suelo. Establece que de acuerdo con la ley se evite que personas naturales o jurídicas obtengan provecho de los cambios de uso del suelo y así garantizar el derecho a la vivienda y a la conservación del ambiente (Constitución, 2008). Así también en la misma relación de responsabilidad, que en el artículo 415 los gobiernos autónomos descentralizados y el estado central generarán políticas integrales para el ordenamiento territorial y urbano y de uso de suelo (Constitución, 2008).

En lo que respecta al uso de suelo en áreas del SNAP, el artículo 405 de la sección tercera referente al Patrimonio natural y ecosistemas, sostiene que las personas naturales o jurídicas no tienen permitido adquirir títulos o concesiones de pertenencia dentro de áreas de seguridad nacional y tampoco en áreas del SNAP, para garantizar la conservación, biodiversidad y funciones ecológicas. Exceptuando a pueblos y nacionalidades que han habitado territorios ancestralmente, tienen derecho a su propia gestión y administración (Constitución, 2008).

El convenio de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD, 2017) es un tratado internacional que aborda los desafíos de la sequía y desertificación a nivel mundial, promoviendo la responsabilidad de gobiernos, comunidades, sectores públicos y privados para restaurar y gestionar la tierra del mundo (ONU, 2023). La Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo en Ecuador (LOOTUGS), trata de garantizar el uso correcto y sostenible del suelo en Ecuador con enfoque en la equidad, sostenibilidad ambiental y desarrollo integral del territorio (LOOTUGS, 2016). El Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD) de Ecuador proporciona un marco legal a los gobiernos locales del Ecuador para su gestión y en especial la base para la organización territorial (COOTAD, 2019).

Respecto a políticas públicas en referencia a los cantones donde se encuentra el Área Protegida Autónoma Descentralizada “Taita Imbabura” se relacionan las ordenanzas. La Ordenanza del Plan de Uso y Gestión del Suelo (PUGS) del cantón Otavalo entre el año 2020-2021 establece un marco regulatorio para ordenar el crecimiento urbano y rural, garantizar la soberanía alimentaria y desarrollo sostenible del cantón (Ordenanza No.114, 2022).

En el cantón Antonio Ante la Ordenanza No. 011-GADM-AA-2022, Ordenanza que regula la legalización y titularización del derecho de dominio de los predios consolidados en las Áreas urbanas y rurales en el Cantón Antonio Ante, para garantizar la seguridad jurídica de la tenencia de predios y acceso a servicios básicos y otros beneficios (Ordenanza No.011, 2022).

También así, la Ordenanza No. 006-GADM-AA-2021, Ordenanza de actualización y formulación del Plan De Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón PDYOT 2020-2030 y el Plan de Uso y Gestión del Suelo (PUGS) del Gobierno Autónomo Descentralizado Antonio Ante que establece las directrices y políticas para guiar el desarrollo urbanístico y territorial del cantón (Ordenanza No.006, 2021).

En el cantón Ibarra, la ordenanza más actual en relación con el uso de suelo es la Ordenanza Reformatoria a la Ordenanza de Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial y Elaboración del Plan de Uso y Gestión del Suelo del Cantón San Miguel de Ibarra en el Marco de la Emergencia Nacional del 31 de enero del 2022. Esta ordenanza trata adaptar el marco normativo y los planes de desarrollo y gestión del suelo del cantón San Miguel de Ibarra a circunstancias en una emergencia nacional, para garantizar el desarrollo ordenado, sostenible y resiliente del territorio (Ordenanza reformatoria, 2022).

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 Descripción del área de estudio

3.1.1 Localización geográfica del área de estudio

El APADTI se encuentra en el norte del Ecuador continental, con dirección a la cordillera oriental de los Andes sobre vegetación herbácea de matorral, pajonal y relictos de bosques característicos de la sierra ecuatoriana (ECOLEX, 2021). Tiene una extensión total de 10 518,41 hectáreas y un perímetro de 40,15 kilómetros lineales, se ubica sobre los 3 000 msnm rodeando al estrato volcán Imbabura y en algunas zonas cerca de los 3 600 msnm (ECOLEX, 2021).

El APADTI se localiza en la provincia de Imbabura, en los cantones Antonio Ante, Ibarra y Otavalo (ECOLEX, 2021). En el cantón Antonio Ante abarca un área de 10,93 % que se ubica entre las parroquias Andrade Marín, San Francisco de Natabuela y San Roque. En el cantón Ibarra se encuentra el 40,07 % de la superficie, en las parroquias de Caranqui, San Antonio y sectores de la Esperanza y Angochagua. Las parroquias de Peguche, San Juan de Ilumán y San Pablo del Lago del cantón Otavalo que ocupa el 49% de la superficie del área de estudio (ECOLEX, 2021).

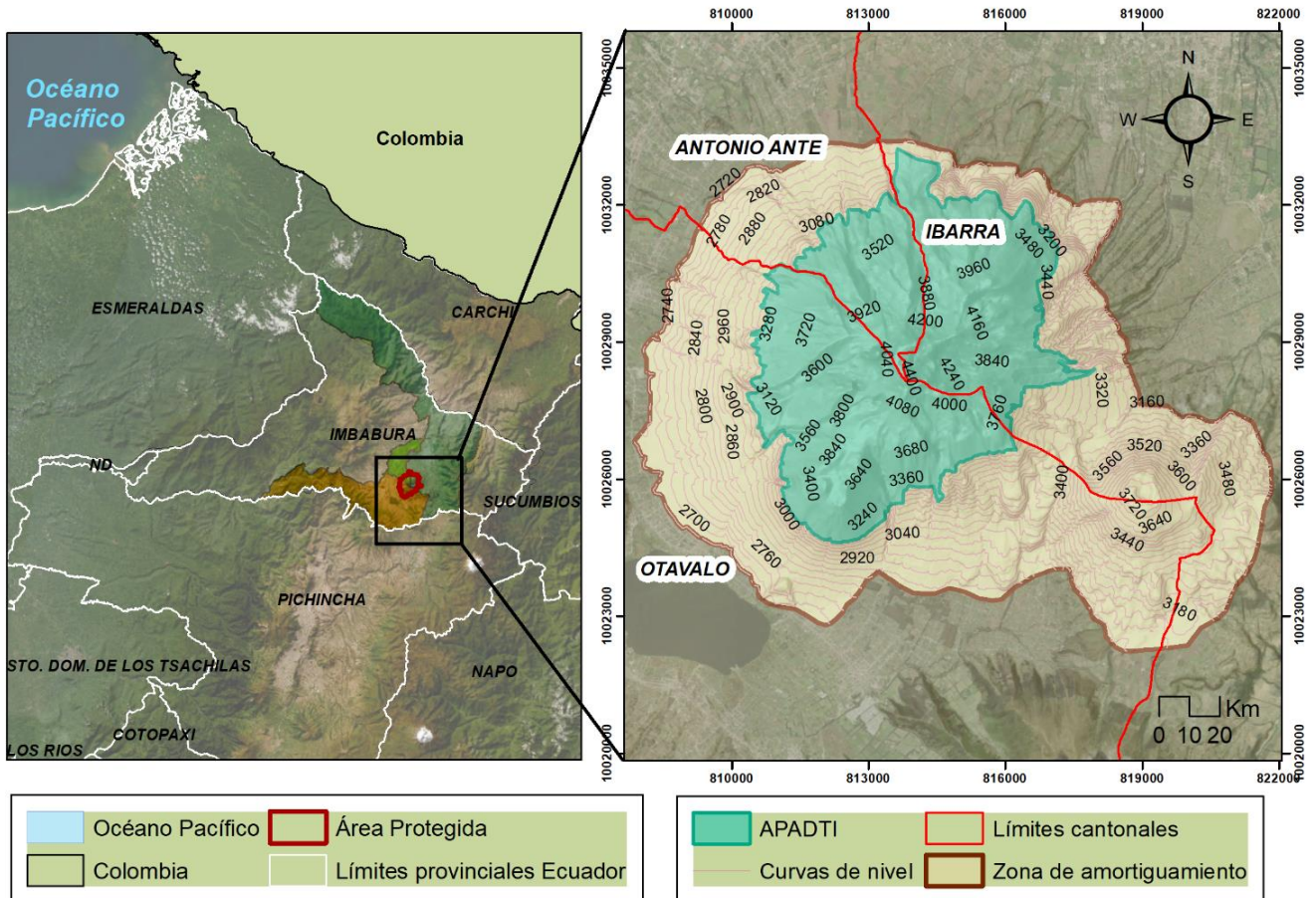
En la zona de amortiguamiento principalmente se encuentra el Complejo Volcánico Cubilche (3826 msnm) que se ubica a 10 km al sur de la ciudad de Ibarra (78°7'48"W, 0°13'48"N) (Jácome-Aguirre & Mejía Burbano, 2020). El cubilche es una formación geológica de gran interés tanto científico como turístico (ECOLEX, 2021). El complejo incluye la cumbre de Panga Ladera y Domo Cunrru, también las lagunas superficiales que dependen de la época lluviosa o seca (Senescyt, 2019). La vegetación varía desde páramo hasta bosque montano (Roverato et al., 2018).

Sin embargo, el Complejo Volcánico Cubilche enfrenta amenazas debido a la expansión agrícola, deforestación y desarrollo urbano. Bajo los 3200 msnm del Complejo Volcánico se encuentran las comunidades de Paniquindra, Chaupilán y el Abra de la parroquia de la Esperanza, cantón Ibarra. Mediante salidas de campo se determinó que el paisaje está dominado por mosaico agropecuario con cultivos, principalmente de papa (*Solanum tuberosum*), chocho

(*Lupinus mutabilis*), cebada (*Hordeum vulgare*), melloco (*Ullucus tuberosus*), oca (*Oxalis tuberosa*), quinua (*Chenopodium quinoa*), arveja (*Pisum sativum*), avena (*Avena sativa*), haba (*Vicia faba*) y pastos naturales para el ganado.

Figura 2

Mapa de ubicación del Área Protegida Autónoma Descentralizada “Taita Imbabura”



Elaboración propia

3.1.2 Componente del medio físico

El APADTI se encuentra ubicada en la gran cuenca del océano Pacífico, sus aguas se dirigen a la cuenca del río Mira que desemboca en el límite entre Ecuador y Colombia. En la parte baja del área protegida se encuentra el lago San Pablo que almacena el agua de las quebradas sur y sur oriental del Taita Imbabura, para llevarlas al río Itambi (ECOLEX, 2021). En el Área Protegida la temperatura disminuye con la altitud, presentando una media de entre 4 y 8°C, una mínima de 0°C, y temperaturas máximas que superan los 20°C, por lo que este clima

tiene lluvias interanuales que fluctúan entre 800 y 2000 mm de precipitación, la humedad relativa promedio es superior al 80% lo que indica que el aire contiene gran humedad (ECOLEX, 2021).

3.1.3 Componente social

Según el Censo de Población y Vivienda 2022, realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), la población del cantón Ibarra es de 217 569 habitantes, del cantón Antonio Ante es de 53 771 habitantes y de Otavalo 114 303 habitantes (INEC, 2022). En el piedemonte del APDATI se encuentran asentamientos de pueblos y nacionalidades indígenas ancestrales de Kichwa Otavalo, Kichwa Kayampi, Kichwa Karanki y Kichwa Natabuela (MAATE, 2021). Para la cosmovisión de estas comunidades el volcán Taita Imbabura representa a un guardián protector de este territorio (Senescyt, 2019).

Los asentamientos humanos de los tres cantones en el piedemonte del volcán Imbabura se convierten en zonas de intensa presión ambiental porque se incrementan las actividades de pastoreo y cultivos (ECOLEX, 2021). En los tres cantones andinos los principales cultivos son de ciclo corto, cebada (*Hordeum vulgare*), trigo (*Triticum ssp.*), papas (*Solanum tuberosum*), mellocos (*Ullucus tuberosus*), frejol (*Phaseolus vulgaris*) y maíz (*Zea Mays*) (Jácome, 2020).

3.1.4 Componente económico

En el sector primario de la Población Económicamente Activa (PEA) de la provincia de Imbabura se encuentra en las actividades agrícolas, ganaderas y de pesca; en el sector secundario se destaca el cantón de Antonio Ante el sector de manufactura (Mayorga, 2020); en el sector terciario las actividades de comercio al por mayor y menor principalmente el cantón de Ibarra (Gobierno Provincial de Imbabura (GPI), 2020). En el cantón San Luis de Otavalo las principales actividades productivas son agrícolas, siendo el cantón que lidera las actividades de ocupación de mano de obra (Gobierno Provincial de Imbabura (GPI), 2020).

3.2 Métodos

La presente investigación se enmarca en el tipo no experimental longitudinal, por lo que el proceso metodológico fue dividido en tres etapas para alcanzar los tres objetivos planteados.

3.2.1. Etapa 1. Determinación del cambio de uso de suelo en el Área Protegida Descentralizada “Taita Imbabura” 2012-2023

Para la cuantificación del avance de la frontera agrícola en el Área Protegida Descentralizada “Taita Imbabura” para los años 2012, 2018 y 2023 se analizó el cambio de uso de suelo en un entorno SIG. Para ello, se utilizaron tres imágenes compradas de tipo *PlanetScope* (<https://www.planet.com/company/#team>). Las imágenes tienen una resolución espectral de 4 bandas RGB y NIR, resolución espacial de 4,7 metros y resolución radiométrica de 16 bits.

El nivel de procesamiento incluye un pre-tratamiento y tratamiento de las imágenes satelitales. El pre-tratamiento consiste en el desarrollo de las correcciones radiométricas, geométricas y topográficas, mientras que, para el tratamiento se desarrolló una clasificación supervisada. En el método de clasificación supervisada se seleccionaron áreas representativas de las clases de cobertura de uso de suelo presentes en el área de estudio, con el fin de asignarles una firma espectral o categoría. Se identificaron 8 clases de cobertura de uso de suelo: páramo, bosque nativo que incluye a matorral, plantación forestal, pastos, cuerpos de agua, área sin vegetación, mosaico agropecuario que representa la asociación de cultivos y pequeñas áreas urbanas no consolidadas pues al ser superficies pequeñas se excluyeron de acuerdo con el Área Mínima Cartografiada (AMC) (Briceño et al., 2019).

Este procedimiento consiste en asignar píxeles similares en la imagen que se relacionan con los patrones vinculados a las diversas categorías de cobertura identificadas (Da Silva et al., 2013). El proceso de validación se realizó para las tres imágenes satelitales con el software ArcMap 10.8. La escala de análisis de los mapas fue de 1:25 000 y se excluyeron las áreas menores a 0.1 hectáreas de acuerdo con el AMC. La validación de la clasificación se realizó mediante el empleo del índice Kappa para determinar la exactitud de la clasificación como lo recomiendan Ortega & Arias (2022) en su estudio de cambio de cobertura de suelo del paisaje boscoso en la cuenca del río Cayapas.

Se realizó el mismo procedimiento para generar los tres mapas de uso y cobertura vegetal correspondientes a cada año. Cada mapa muestra las diversas coberturas que se distinguen en la extensión del Área Protegida Autónoma Descentralizada Taita Imbabura y la zona de

amortiguamiento, abarcando una amplia variedad de biomas con características físicas y ambientales distintas. Desde bosques nativos, cuerpos de agua, páramo y las coberturas vegetales generadas por la intervención humana, como son las áreas de cultivos, pastos y bosque plantado destinadas a la agricultura, ganadería y extracción forestal.

Para validar las clasificaciones de cada mapa se utilizó el valor calculado por el índice Kappa en <https://marcovanetti.com/pages/cfmatrix/>. El índice Kappa es una medida versátil que puede utilizarse para evaluar la fiabilidad en la clasificación o acuerdo entre dos observadores, independientemente de la complejidad de las categorías o dimensiones involucradas (Abraira, 2001). Los valores del índice Kappa representan la exactitud del mapa generado, a mayor concordancia es mayor el nivel de exactitud (González et al., 2021). Cuanto más se acerca el coeficiente Kappa a +1, mayor es la concordancia entre observadores, mientras que valores cercanos a -1 indican mayor discordancia, y un valor de 0 implica concordancia observada es equivalente a la esperada por el azar (Landis & Koch, 1977).

Tabla 1
Valorización del coeficiente Kappa

Coeficiente Kappa	Fuerza de la concordancia
0,00	Pobre
0,01 - 0,20	Leve
0,21 - 0,40	Aceptable
0,41 - 0,60	Moderada
0,61 - 0,80	Considerable
0,81 - 1,00	Casi perfecta

Fuente: (Landis & Koch, 1977)

Se realizó la sobreposición de los mapas de ocupación del suelo de dos años sucesivamente, con el fin de calcular superficies y porcentajes de las persistencias y transiciones de las coberturas. El valor de los porcentajes se utilizó para generar las matrices de transición, que son las que permitieron realizar el análisis multitemporal en un entorno SIG. El análisis multitemporal se realizó a nivel analítico e interpretativo, centrándose en los rasgos específicos de las clasificaciones establecidas para este estudio.

La matriz de transición permite calcular los cambios, representándolos por pérdidas, ganancias, swap, cambio total y neto (Pontius et al., 2004). La estructura de la matriz de

transición es bidimensional, presentando en sus filas los valores de las categorías de usos y coberturas del año uno, mientras que en las columnas se exhiben las categorías y coberturas del año dos para ser comparadas (Salas & Santana, 2007).

3.2.2. Etapa 2. Establecimiento del avance de la frontera agrícola en zona de amortiguamiento entre los años 2012- 2023.

Se aplicó un mismo procedimiento utilizado en la Etapa 1. Es decir, se utilizaron las imágenes satelitales pretratadas y se delimitó como área de estudio la zona de amortiguamiento. Después se realizó la clasificación supervisada de las coberturas con las firmas espectrales disponibles, se validó la clasificación con la aplicación del índice Kappa y finalmente se crearon las matrices de transición para los años seleccionados.

3.2.3. Etapa 3. Propuesta de estrategias de prevención y mitigación del avance de la frontera

El modelo PER (Presión, Estado, Respuesta) es un modelo precursor de los marcos de ordenadores de indicadores ambientales (CEPAL, 2009). El propósito de un ordenador de indicadores ambientales es organizar los datos y estructurar información limitada de un proceso para crear información comprensible para los usuarios (Schütz et al., 2008) . Este modelo fue desarrollado por Friend y Rapport en la década de 1980, desde ese entonces ha sido difundido por la Organización de Cooperación de Desarrollo Económico (OECD) (Polanco,2006). El origen internacional de este modelo permite que su aplicabilidad sea fácil de comparar y accesible a escala local, regional e internacional (Vázquez & García, 2018).

El modelo PER sirve para cuantificar y sistematizar información de forma efectiva de cualquier proceso, por lo que representa un instrumento importante para la toma de decisiones de entidades y organizaciones (Polanco, 2006). Este modelo se basa en la lógica de causalidad, interrelaciona las actividades humanas que generan presión (presión) sobre el ambiente y estos a la vez modifican la calidad y cantidad de los recursos naturales (estado), el grado de participación y reacción de la sociedad en temas ambientales (respuesta) (Ortiz & Gómez, 2011). Modelo explicado en la tabla 2.

Con la finalidad de generar estrategias de prevención y mitigación del avance de la frontera agrícola en el Área Protegida Autónoma Descentralizada Taita Imbabura. Se utilizó el modelo PER (Presión, Estado, Respuesta). Este modelo responde a tres preguntas: ¿Qué está

ocurriendo con el ambiente?, ¿Por qué está ocurriendo?, ¿Qué se está haciendo al respecto? (Vázquez & García, 2018). La primera pregunta brinda información sobre el estado, es decir se relacionó las condiciones actuales que enfrenta la zona de protección y de amortiguamiento. Para responder la pregunta ¿Porque está ocurriendo? se obtuvo al analizar los principales factores de presión en el área de estudio.

Finalmente, la respuesta en el modelo corresponde a las acciones tomadas por la entidad regulatoria en este caso Consorcio para la Gestión del Área Protegida Autónoma Descentralizada Taita Imbabura. Las estrategias se establecieron tomando en cuenta los principales impulsores del cambio de uso de suelo, mediante la generación de actividades específicas para contrarrestar cada factor de presión definido.

Tabla 2
Esquema del modelo Presión-Estado-Respuesta

<i>Estado</i>	<i>Presión</i>	<i>Respuesta</i>
Actividades humanas que generan la problemática.	Situación actual del medio ambiente.	Acciones realizadas para contrarrestar la problemática
Presiones: energía, transporte, industria, agricultura, otros	Condiciones y tendencias de los recursos naturales -aire, agua, suelo- flora y fauna.	Actores económicos y ambientales, gobiernos, sector privado, individuos y comunidad.

Elaboración propia a partir del modelo propuesto por la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE, 1993)

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Etapa 1. Análisis del avance de la frontera agrícola hacia el área protegida

Esta investigación tuvo como hitos los años 2012, 2018 y 2023. El año 2012 se caracteriza por la declaratoria del Área Ecológica de Conservación Taita Imbabura mediante las ordenanzas de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales de Antonio Ante, Ibarra y Otavalo (ACUERDO MINISTERIAL Nro.33, 2021). Sin embargo, durante estos años no se ha visibilizado medidas de gestión. Esta declaratoria fue un paso crucial para reconocer formalmente la importancia ecológica de la región y marcó el comienzo de esfuerzos significativos para la protección ambiental. En 2018, comenzó la administración por parte del Consorcio para la Gestión del Área Ecológica de Conservación Taita Imbabura, labor que continúa hasta la fecha final del presente estudio, 2023.

Las actividades que se realizaron a partir del año 2018 permitieron la implementación de programas de monitoreo ambiental, restauración y educación comunitaria, fortaleciendo la gestión integrada y colaborativa del área (ECOLEX, 2021). En 2020, esta área fue reconocida como parte del Subsistema Autónomo Descentralizado del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, abarcando 3,717.48 hectáreas (MAATE, 2021). Este reconocimiento permitió el desarrollo de proyectos de conservación y ecoturismo sostenible (ECOLEX, 2021).

4.1.1 Análisis multitemporal de cobertura y uso de suelo, 2012 y 2018

La estructura del uso de suelo para el año 2012 en el Área Protegida se indica en la Tabla 3. La vegetación del 2012 estuvo representada principalmente por la clase bosque nativo 32,29 % y páramo 61,52 %. La clase afloramiento de roca representa el cráter del volcán Imbabura con aproximadamente 5,33 % de la superficie. En segundo orden se encuentran las clases que representan menos del uno por ciento de la superficie, la clase de plantación forestal 0,61%, seguido de pastos 0,11% y mosaico agropecuario 0,09 %. Las clases restantes que corresponden a área sin vegetación y cuerpos de agua 0,01% de la superficie de 3 717, 48 hectáreas.

Tabla 3*Cambio de uso de suelo en el área protegida Taita Imbabura 2012 y 2018*

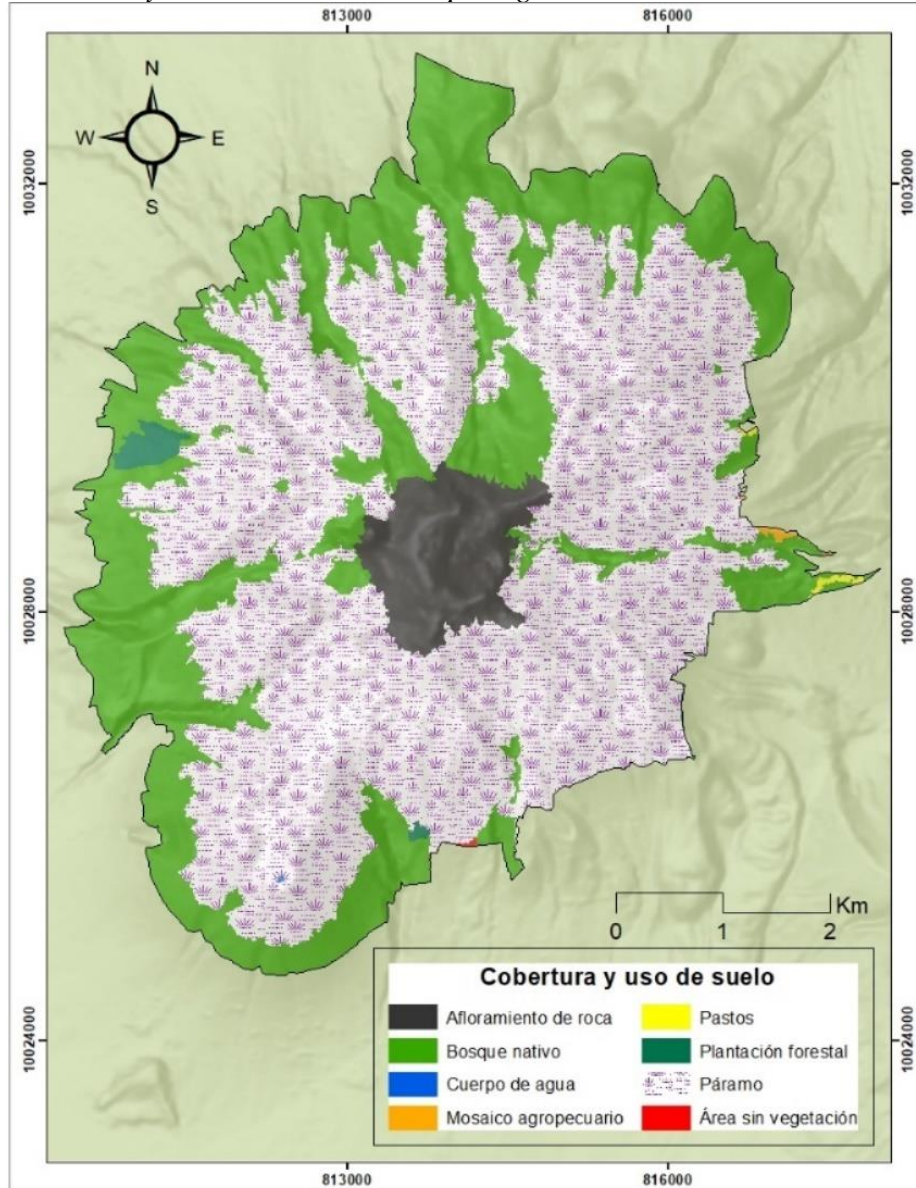
Uso de suelo	Superficie 2012 (ha)	Superficie 2018 (ha)	Diferencia (ha)	Tasa de cambio %	
				Aumento	Disminución
<i>Área sin vegetación</i>	0,66	6,32	5,65	0,15	
<i>Bosque nativo</i>	1200,45	1193,19	7,25		0,2
<i>Cuerpos de agua</i>	0,374	0	0,37		0,01
<i>Mosaico agropecuario</i>	3,464	4,673	1,20	0,03	
<i>Páramo</i>	2287,06	2279,17	7,89		0,21
<i>Pastos</i>	4,15	10,80	6,65	0,18	
<i>Afloramiento de roca</i>	198,65	198,65	0	0	0
<i>Plantación forestal</i>	22,66	24,64	1,98	0,05	
Total	3717,47	3717,46			

Nota: Los valores de tasa de cambio % (aumento y disminución) fueron obtenidos mediante las matrices de transición realizadas en Excel. En el campo “diferencia” se indica el valor en hectáreas del aumento y disminución en relación con la superficie total.

Los valores encontrados sobre el cambio de uso de suelo permiten determinar un cambio de uso de suelo menor al uno por ciento en las ocho clases analizadas. Existe un aumento de la clase pastos 0,18 % y área sin vegetación 0,15 %, seguido de aumento en la clase mosaico agrícola y plantación forestal que representan 0,03% y 0,05% respectivamente. Lo cual al parecer influyó en la disminución de páramo 0,21 %, bosque nativo 0,2% y cuerpos de agua 0,01 % de la superficie. Estos resultados indican las dinámicas de uso de suelo en el área protegida mientras existía la declaratoria de protección. En la Figura 3 se presenta el mapa de cobertura y uso de suelo del año 2012.

Figura 3

Cobertura y uso de suelo del área protegida Taita Imbabura año 2012



Elaboración propia

4.1.2 Análisis multitemporal de cobertura y uso de suelo, 2018 y 2023

La Tabla 4 contiene los valores de uso de suelo durante los años 2018 y 2023. Siendo páramo y bosque nativo las categorías predominantes 61,31% y 12,09 % respectivamente en el año 2018. La clase afloramiento de roca representa el cráter del volcán Imbabura con aproximadamente 5,4 % de la superficie.

En segundo orden se encuentran clases que representan menos del uno por ciento de la superficie, la clase de plantación forestal 0,66%, pastos 0,29%, seguido de área sin vegetación 0,17% y cultivos 0,12%. La clase de cuerpos de agua no se encuentra presente la superficie del año 2018. En la Figura 4 se presenta el mapa de cobertura y uso de suelo del año 2018.

Tabla 4

Cambio de uso de suelo en el área protegida Taita Imbabura 2018 y 2023

Uso de suelo	Superficie 2018 (ha)	Superficie 2023 (ha)	Diferencia (ha)	Tasa de cambio %	
				Aumento	Disminución
<i>Área sin vegetación</i>	6,32	0,024	6,296		0,17
<i>Bosque nativo</i>	1193,198	1213,58	20,382	0,55	
<i>Cuerpos de agua</i>	0	1,039	1,039	0,03	
<i>Mosaico agropecuario</i>	4,673	7,386	2,713	0,07	
<i>Páramo</i>	2279,17	2250,91	28,26		0,76
<i>Pastos</i>	10,805	6,407	4,398		0,12
<i>Afloramiento de roca</i>	198,65	198,65	0	0	0
<i>Plantación forestal</i>	24,643	39,476	14,833	0,4	
Total	3717,5	3717,5			

Nota: Los valores de tasa de cambio % (aumento y disminución) fueron obtenidos mediante las matrices de transición realizadas en Excel. En el campo “diferencia” se indica el valor en hectáreas del aumento y disminución en relación con la superficie total.

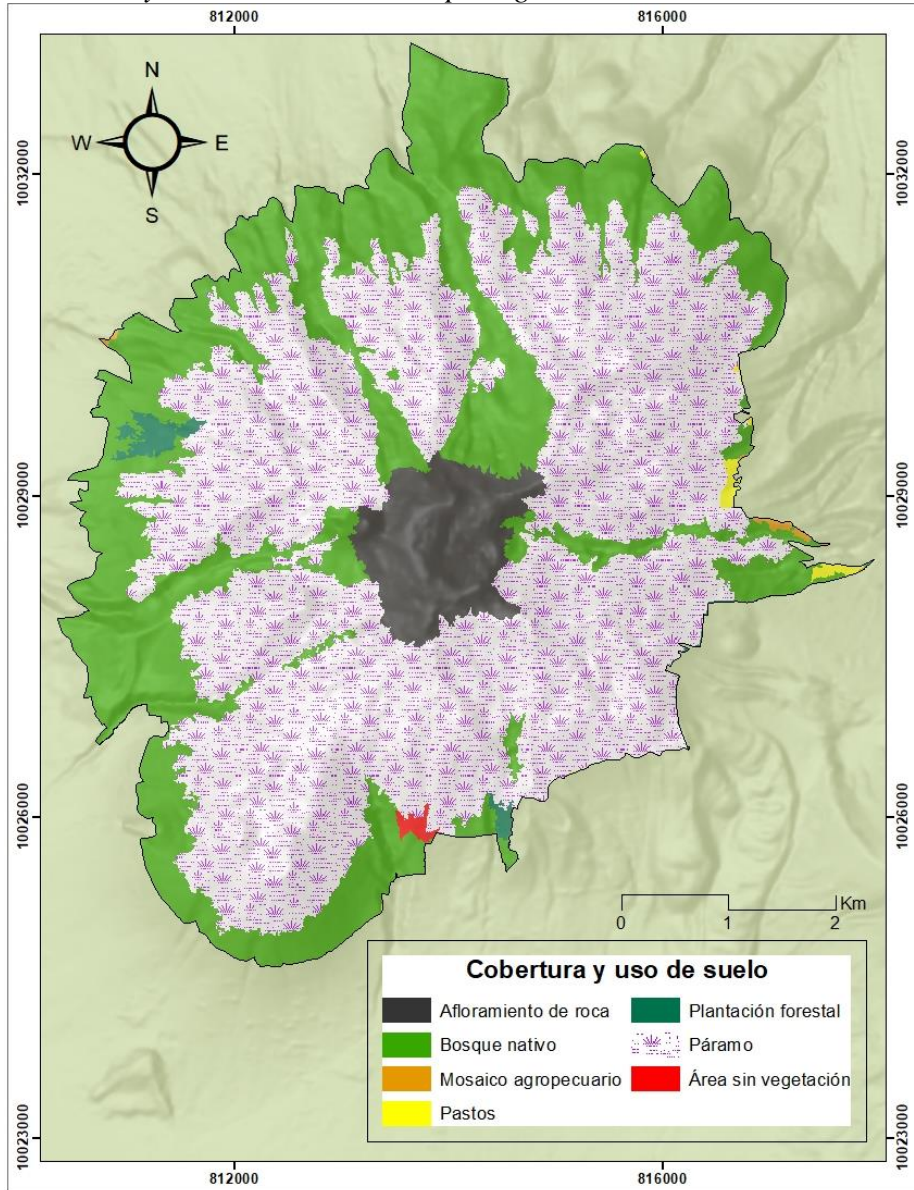
Todos los valores son menores que el uno por ciento de la superficie. Sin embargo, representan un aumento en la clase bosque nativo y plantación forestal 0,5 % y 0,4 % respectivamente, seguido de la clase agrícola 0,07 y cuerpos de agua 0,03 %. Lo que influye directamente en la disminución de páramo 0,76 %, pastos 0,12 % y área sin vegetación 0,17%. El aumento en la clase bosque nativo, se atribuye a actividades de conservación realizadas en el área protegida. Por ejemplo, en la comunidad el Abra, donde se realizó exoneración de impuestos a dueños de predios de plantaciones forestales que se encontraban dentro del área protegida y zona de amortiguamiento, con el fin de restaurar estas áreas como parte del Proyecto Socio Bosque II (PSBII) según ha indicado Tituaña (comunicación personal, 2024).

El Proyecto Socio Bosque es una iniciativa ambiental ecuatoriana de incentivos ambientales ejecutada desde el año 2008 (Zurita & Cotacachi, 2019). Tiene como objetivo la conservación de remanentes de bosque o vegetación nativa, páramos y manglares (MAATE,

2022). La exoneración de impuestos reduce o elimina impuestos sobre propiedades rurales u otros gravámenes relacionados con el uso de suelo (Acuerdo Ministerial 69, 2011).

Figura 4

Cobertura y uso de suelo del área protegida Taita Imbabura año 2018



Elaboración propia

4.1.3 Análisis multitemporal de cobertura y uso de suelo en el período 2012-2023

La Tabla 5 detalla la disposición del uso de suelo en el Área Protegida para el año 2023, principalmente ocupada por la categoría de páramo 0,11% y bosque nativo 0,35%. La clase afloramiento de roca representa el cráter del volcán Imbabura con aproximadamente 5,4 %.

En segundo orden se encuentran las clases que representan menos del uno por ciento de la superficie. La clase plantación forestal 0,45%, mosaico agropecuario 0,11%, pastos 0,06% y área sin vegetación 0,63%. La clase de cuerpos de agua 0,02 % presente la superficie total de APADTI de 3 717, 48 hectáreas en el año 2023.

Tabla 5

Cambio de uso de suelo en el área protegida Taita Imbabura período 2012-2023

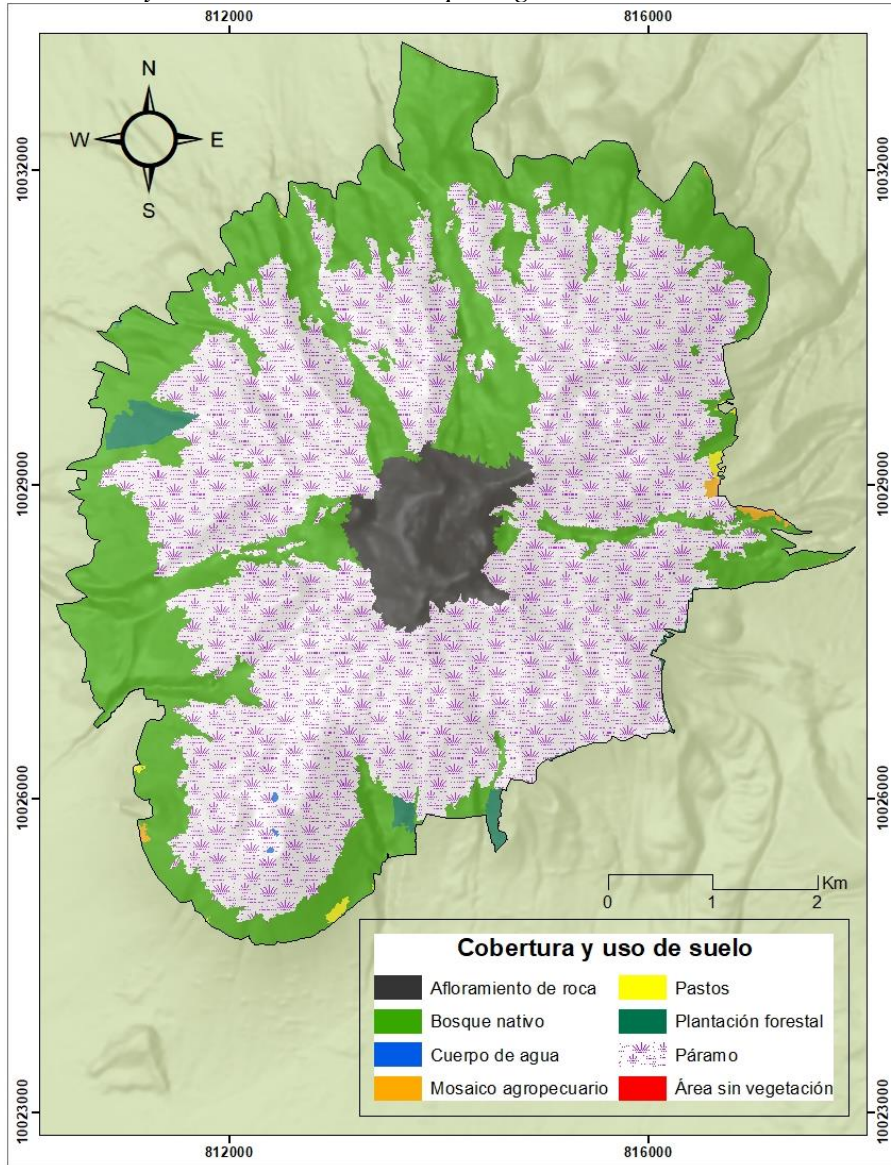
Uso de suelo	Superficie 2012 (ha)	Superficie 2023 (ha)	Diferencia (ha)	Tasa de cambio %	
				Aumento	Disminución
<i>Área sin vegetación</i>	0,661	0,024	0,637		0,02
<i>Bosque nativo</i>	1200,45	1213,58	13,13	0,35	
<i>Cuerpos de agua</i>	0,374	1,039	0,665	0,02	
<i>Mosaico agropecuario</i>	3,464	7,386	3,922	0,11	
<i>Páramo</i>	2287,06	2250,91	36,15		0,97
<i>Pastos</i>	4,151	6,407	2,256	0,06	
<i>Afloramiento de roca</i>	198,65	198,65	0	0	0
<i>Plantación forestal</i>	22,66	39,476	16,816	0,45	
Total	3717,5	3717,5			

Nota: Los valores de tasa de cambio % (aumento y disminución) fueron obtenidos mediante las matrices de transición realizadas en Excel. En el campo “diferencia” se indica el valor en hectáreas del aumento y disminución en relación con la superficie total.

Para el período 2012-2023 en la zona de protección se muestra que no hubo avance de la frontera agrícola. Pues los valores de aumento y disminución son menores al uno por ciento en todas las clases. Sin embargo, estos valores muestran áreas que pueden ser susceptibles a cambios en el futuro. Se distingue el aumento en la clase bosque nativo y plantación forestal 0,35 % y 0,45 % respectivamente. Seguido de mosaico agropecuario 0,11%, pastos 0,06% y cuerpos de agua +0,02 %. Influyendo en la disminución de páramo 0,97 % y área sin vegetación 0,01% de la superficie. En la Figura 5 se presenta el mapa de cobertura y uso de suelo del año 2023.

Figura 5

Cobertura y uso de suelo del área protegida Taita Imbabura año 2023



Elaboración propia

4.2. Etapa 2. Análisis del avance de la frontera agrícola en zona de amortiguamiento

Las zonas de amortiguamiento de las áreas protegidas son áreas periféricas que rodean a las zonas núcleo de protección (Garcés Jaramillo, 2008). Estas zonas tienen un papel crucial en la conservación y en la mitigación de los impactos negativos de las actividades antrópicas que se desarrollan en los alrededores de las áreas protegidas (Moscoso, 2003). El correcto diseño y manejo de estas zonas es fundamental para asegurar la sostenibilidad de los ecosistemas y el bienestar de las comunidades locales (Oviedo, 2008).

4.2.1 Análisis multitemporal de la cobertura y uso de suelo, 2012 y 2018

En el año 2012 como indica la Tabla 6, la clase mosaico agropecuario representa el 51,05 % y plantación forestal 18,12 %, seguido de bosque nativo 12,67 %. En segundo orden las clases de pastos 8,56 %, páramo 6,75 % y área sin vegetación 12,81%. La clase cuerpo de agua representa menos del uno por ciento de la superficie de la zona de amortiguamiento de 6 800 hectáreas de superficie. En la Figura 6 se observa el mapa de cobertura y uso de suelo del año 2012.

Tabla 6

Cambio de uso de suelo en la zona de amortiguamiento del Taita Imbabura 2012 y 2018

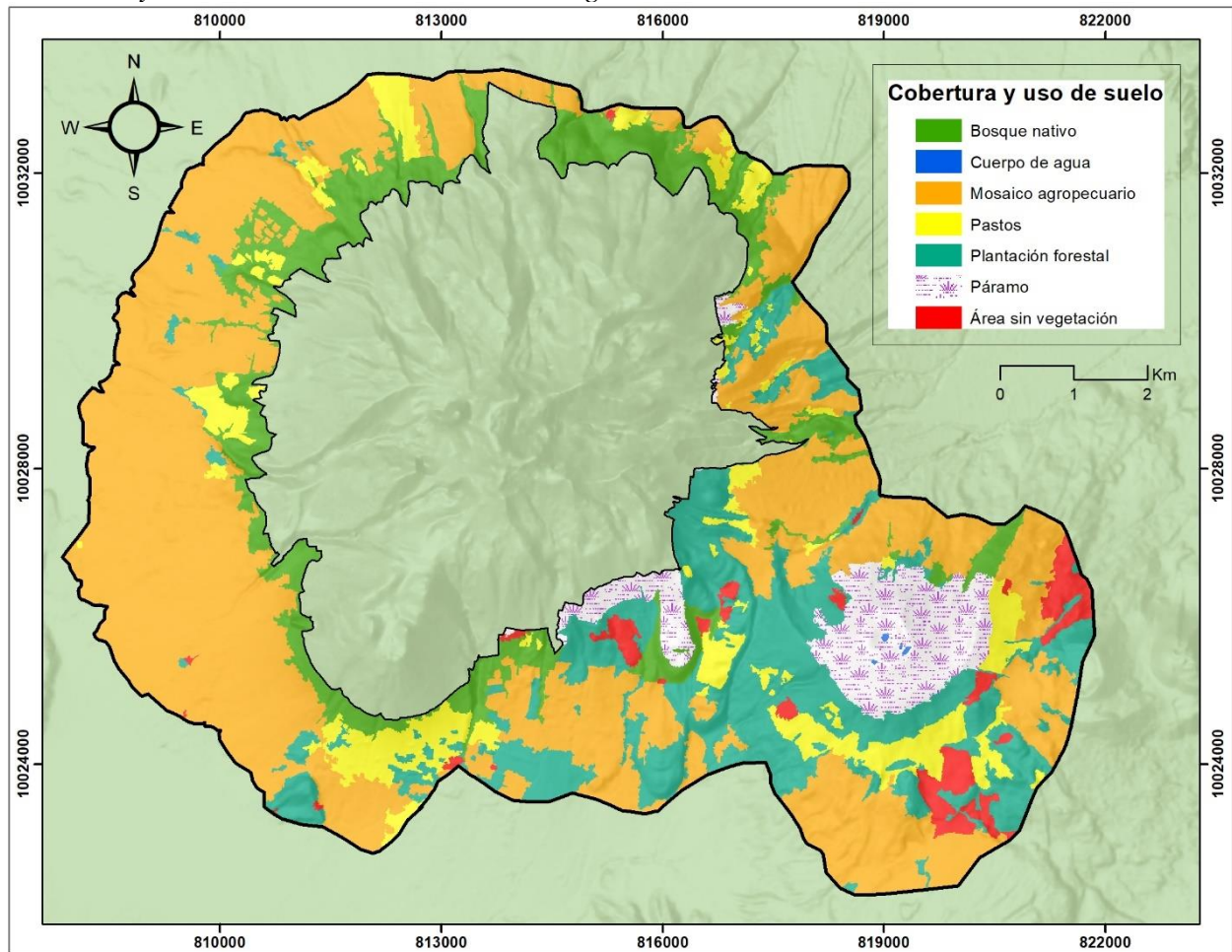
Uso de suelo	Superficie 2012 (ha)	Superficie 2018 (ha)	Diferencia (ha)	Tasa de cambio %	
				Aumento	Disminución
Área sin vegetación	191,054	199,083	8,029	0,12	
Bosque nativo	861,372	778,232	83,14		1,22
Cuerpos de agua	2,372	1,904	0,468		0,01
Mosaico agropecuario	3470,56	3621,237	150,677	2,2	
Páramo	458,934	366,01	92,924		1,37
Pastos	582,102	505,709	76,393		1,12
Afloramiento de roca	0	0	0	0	0
Plantación forestal	1231,96	1327,879	-95,919	1,41	
Total	6798,35	6800,054			

Nota: Los valores de tasa de cambio % (aumento y disminución) fueron obtenidos mediante las matrices de transición realizadas en Excel. En el campo “diferencia” se indica el valor en hectáreas del aumento y disminución en relación con la superficie total.

Este periodo representa el cambio de uso de suelo desde el año 2012 declaratoria del Área Ecológica para la conservación Taita Imbabura. La mayoría de los valores son mayores al uno por ciento. Se encontró el aumento en la clase agropecuaria y forestal, de 2,2 % y 1,41 % respectivamente. Lo que influyó directamente en la disminución de áreas de páramo 1,37 % y bosque nativo 1,22 %, seguido de la pérdida de pastos 1,12%. Las clases que representan menos del uno por ciento, pero indican valores de aumento son la clase de área sin vegetación 0,12% y cuerpos de agua 0,01 % en la zona de amortiguamiento.

Figura 6

Cobertura y uso de suelo de la zona de amortiguamiento año 2012



Elaboración propia

4.2.2 Análisis multitemporal de la cobertura y uso de suelo, 2018 y 2023

Como se muestra en la Tabla 7, en el año 2018 se identificó predominancia de la clase mosaico agropecuario 53,25 % y plantación forestal 19,52 %, seguido de bosque nativo 11,44 %. En segundo orden las clases de pastos 7,437 %, páramo 5,38 % y la clase área sin vegetación 2,92%. La clase cuerpo de agua representa un área menor al uno por ciento de la superficie total de amortiguamiento 6 800 hectáreas. Mapa de cobertura y uso de suelo del año 2018 (Figura 7).

Tabla 7*Cambio de uso de suelo en la zona de amortiguamiento del Taita Imbabura 2018 y 2023*

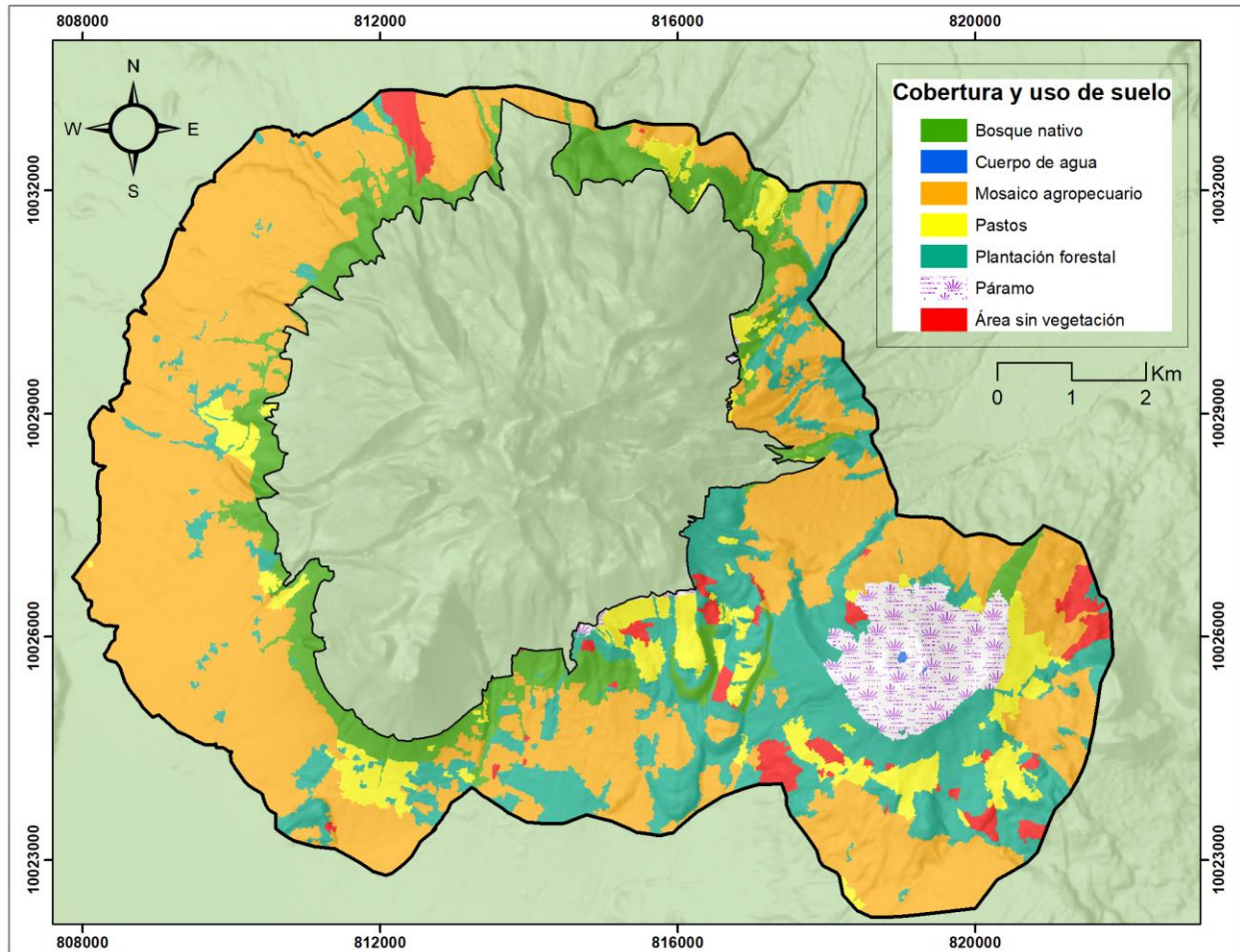
Uso de suelo	Superficie 2018 (ha)	Superficie 2023 (ha)	Diferencia (ha)	Tasa de cambio %	
				Aumento	Disminución
<i>Área sin vegetación</i>	199,083	135,778	63,305		0,93
<i>Bosque nativo</i>	778,232	653,162	125,07		1,84
<i>Cuerpos de agua</i>	1,904	2,3204	0,4164	0,01	
<i>Mosaico agropecuario</i>	3621,237	3584,56	36,677		0,54
<i>Páramo</i>	366,01	338,57	27,44		0,4
<i>Pastos</i>	505,709	422,763	82,946		1,22
<i>Afloramiento de roca</i>	0	0	0		0
<i>Plantación forestal</i>	1327,879	1662,8	334,921	4,93	
Total	6800,1	6800,0			

Nota: Los valores de tasa de cambio % (aumento y disminución) fueron obtenidos mediante las matrices de transición realizadas en Excel. En el campo “diferencia” se indica el valor en hectáreas del aumento y disminución en relación con la superficie total.

En la gestión del Consorcio para la Gestión del Área Ecológica de Conservación Taita Imbabura que comienza en el año 2018 se identifica el aumento en la clase plantación forestal en 4,93 %. Que influyó en la disminución de pastos 1,22 % y bosque nativo 1,84 %. Las clases menores a uno por ciento pero que indican variación y aumento de la superficie son, área sin vegetación 0,93% y cuerpos de agua de 0,01%. A la vez la disminución en la clase páramo 0,4 % y mosaico agropecuario 0,54%. Pese a que los cambios son mínimos, en este período de tiempo definitivamente las plantaciones forestales han expandido su superficie aún más que el mosaico agropecuario.

Figura 7

Cobertura y uso de suelo de la zona de amortiguamiento año 2018



Elaboración propia

4.2.3 Análisis multitemporal de cobertura y uso de suelo período 2012 - 2023

La Tabla 8 muestra que el año 2023 está representado principalmente por la clase mosaico agropecuario 52,71 % y plantación forestal 24,45 %, seguido de bosque nativo 9,60 %. En segundo orden las clases de pastos 6,217 %, páramo 4,97 % y área sin vegetación 1,99 %. La clase cuerpo de agua representa menos del uno por ciento de la superficie de la zona de amortiguamiento de 6 800 hectáreas. En la Figura 8 se visualiza el mapa de cobertura y uso de suelo del año 2023.

Tabla 8*Cambio de uso de suelo de la zona de amortiguamiento del Taita Imbabura período 2012 -2023*

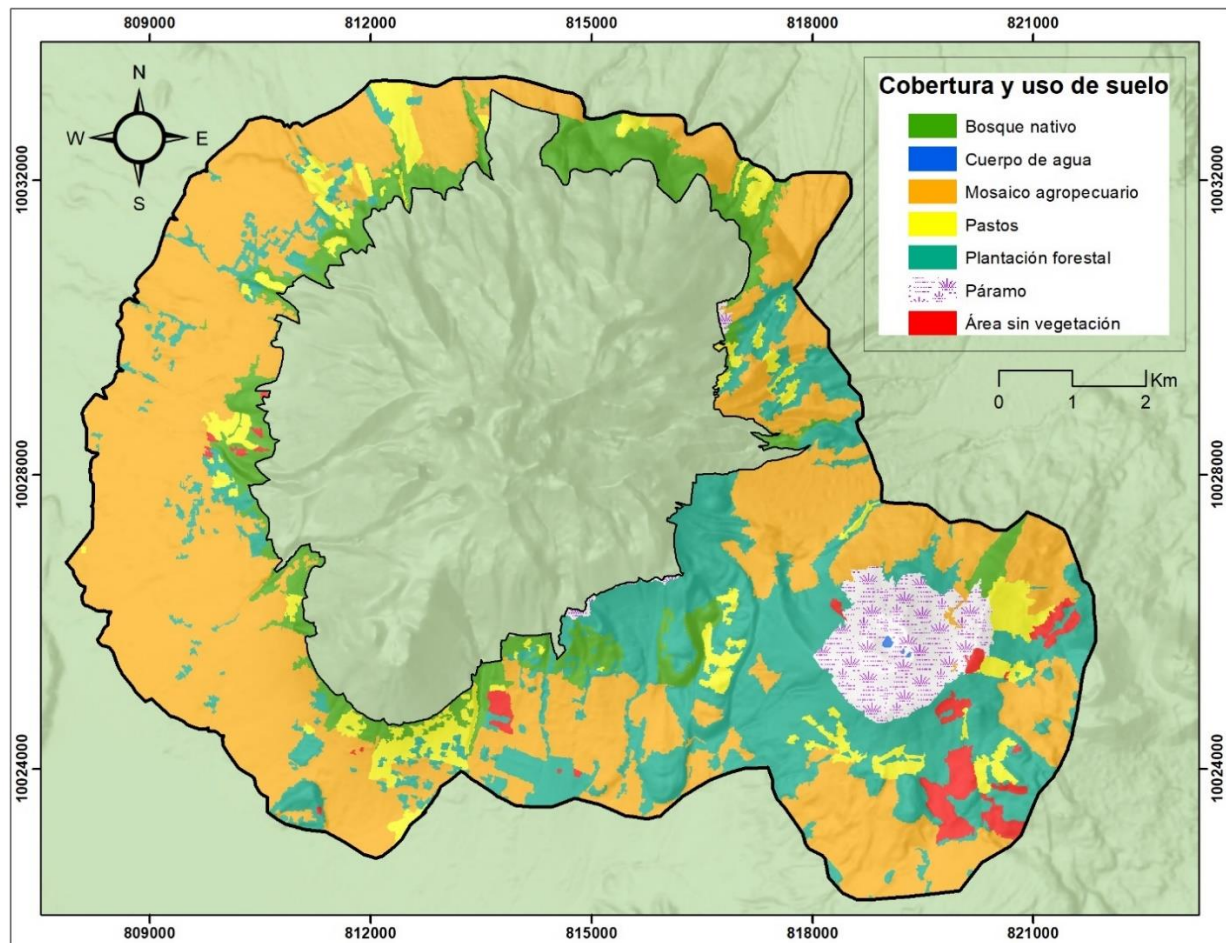
Uso de suelo	Superficie 2012 (ha)	Superficie 2023 (ha)	Diferencia (ha)	Tasa de cambio %	
				Aumento	Disminución
<i>Área sin vegetación</i>	191,054	135,778	55,276		0,81
<i>Bosque nativo</i>	861,372	653,162	208,21		3,07
<i>Cuerpos de agua</i>	2,372	2,3204	0,0516		0
<i>Mosaico agropecuario</i>	3470,56	3584,56	114	1,66	
<i>Páramo</i>	458,934	338,57	120,364		1,77
<i>Pastos</i>	582,102	422,763	159,339		2,35
<i>Afloramiento de roca</i>	0	0	0		0
<i>Plantación forestal</i>	1231,96	1662,8	430,84	6,33	
Total	6798,35	6800			

Nota: Los valores de tasa de cambio % (aumento y disminución) fueron obtenidos mediante las matrices de transición realizadas en Excel. En el campo “diferencia” se indica el valor en hectáreas del aumento y disminución en relación con la superficie total.

La zona de amortiguamiento en el período 2012-2023, presenta cambios visibles en el uso de suelo. El avance de la frontera agrícola principalmente se identifica en el aumento de la clase mosaico agropecuario y plantación forestal, que representa 1,66% y 6,33 % respectivamente. En relación con la disminución de la clase bosque nativo 3,07 %, pastos 2,35%, páramo 1, 77 % y área sin vegetación 0,81 %. En el Plan De Manejo Área Protegida Autónoma Descentralizada Taita Imbabura realizado en el 2021, se establece la visión de proteger el páramo del Área Protegida (ECOLEX, 2021). Sin embargo, en el año 2023 se identifica el avance de actividades agrícolas hacia el páramo del Complejo Volcánico Cubilche que se encuentra en la zona de amortiguamiento, cómo se observa en la Figura 9.

Figura 8

Cobertura y uso de suelo de la zona de amortiguamiento año 2023



Elaboración propia

A los 3350 a 3500 msnm en el área del noreste en el Cubilche, se encuentran parches con características de uso y abandono de tierras junto a pajonal quemado y tierra labrada en dirección comunidad Paquinandra, el principal cultivo identificado fue papa (*Solanum tuberosum*) (0°14'06.5"N, 78°07'35.6"W).

Figura 9

Mosaico agropecuario en el páramo del Complejo Volcánico Cubilche año 2023



Nota. Google Earth Pro (2023).

4.2.4 Análisis multitemporal de cobertura y uso de suelo en el área protegida y zona de amortiguamiento, 2012 y 2018

El valor del índice Kappa para el mapa del año 2012 es de 0,95 % de exactitud, que indica una concordancia casi perfecta. La Tabla 9 señala que el año 2012 está representado principalmente por la clase mosaico agropecuario 33,03% y páramo 26,11%. En segundo orden, la clase bosque nativo 19,60% y plantación forestal 11,93%. Seguido de pastos 5,57 %, área sin vegetación 1,82 y afloramiento de roca 1,88 %. La clase cuerpos de agua representa menos del uno por ciento de la superficie total 10.518,41 hectáreas. Como se observa en el mapa de cobertura y uso de suelo del año 2012 (Figura 10).

Tabla 9*Cambio de uso de suelo en el área protegida y zona de amortiguamiento 2012 y 2018*

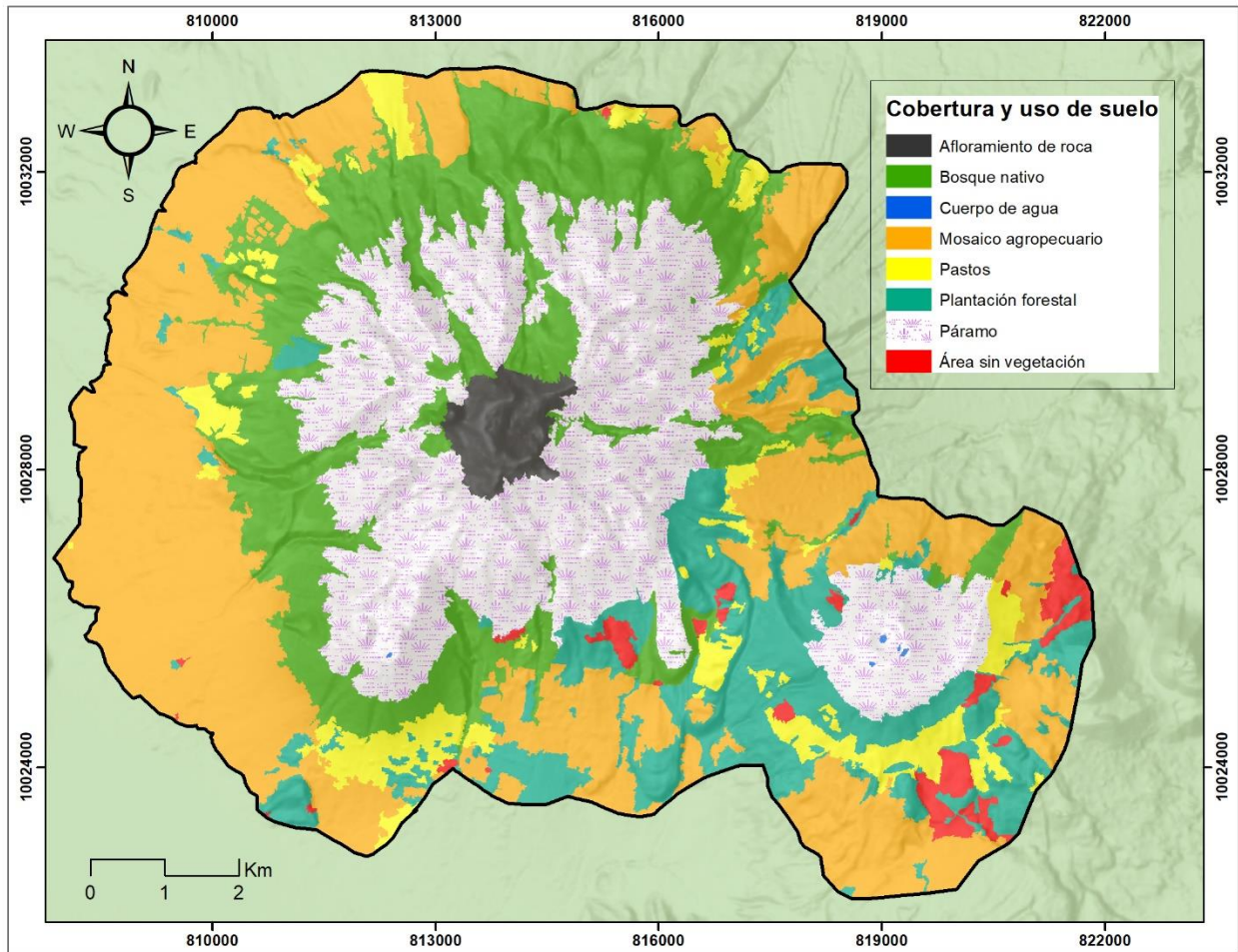
Uso de suelo	Superficie 2012 (ha)	Superficie 2018 (ha)	Diferencia ha	Tasa de cambio %	
				Aumento	Disminución
<i>Área sin vegetación</i>	191,715	205,41	13,695	0,13	
<i>Bosque nativo</i>	2061,82	1971,431	90,389		0,87
<i>Cuerpos de agua</i>	2,747	1,904	0,843		0,01
<i>Mosaico agropecuario</i>	3474,02	3625,91	151,89	1,43	
<i>Páramo</i>	2745,99	2645,185	100,805		0,96
<i>Pastos</i>	586,254	516,514	69,74		0,65
<i>Afloramiento de roca</i>	198,658	198,658	0	0	0
<i>Plantación forestal</i>	1254,62	1352,522	97,902	0,93	
Total	10517,824	10517,534			

Nota: Los valores de tasa de cambio % (aumento y disminución) fueron obtenidos mediante las matrices de transición realizadas en Excel. En el campo “diferencia” se indica el valor en hectáreas del aumento y disminución en relación con la superficie total.

Durante este período de tiempo, el aumento de la clase mosaico agropecuario 1,43 %. Las clases restantes poseen valores menores al uno por ciento de la superficie. Representan un aumento en la superficie, la clase plantación forestal 0,93 %, clase área sin vegetación 0,13%. Disminución de la superficie de páramo 0,96 %, bosque nativo 0,87 %, pastos 0,65 % y cuerpos de agua 0,01%. Se puede determinar que la presión constante que sufren ecosistemas naturales protegidos se debe a las actividades antrópicas que lo rodean. Tal como concluye Arias-Muñoz et al (2024) los cambios de uso de suelo tienen relación directa con el crecimiento urbano, agrícola, ganadero, minero y extracción forestal.

Figura 10

Cobertura y uso de suelo del área protegida y zona de amortiguamiento año 2012



Elaboración propia

4.2.5 Análisis multitemporal de cobertura y uso de suelo en el área protegida y zona de amortiguamiento, 2018 y 2023

El valor del índice Kappa calculado es de 0,89 % de exactitud para el mapa del año 2018, que indica un valor considerable de concordancia. La Tabla 10 señala que el año 2018 está representado principalmente por la clase mosaico agropecuario 34,47% y páramo 25,15%. En segundo orden bosque nativo 18,74% y plantación forestal 12,86%. Seguido de pastos 4,91 % y área sin vegetación 1,95, afloramiento de roca 1,88 %. La clase cuerpos de agua representa un área menor al uno por ciento. En la Figura 11 se presenta el mapa de cobertura y uso de suelo del año 2018.

Tabla 10*Cambio de uso de suelo en el área protegida y zona de amortiguamiento 2018 y 2023*

Uso de suelo	Superficie 2018 (ha)	Superficie 2023 (ha)	Diferencia (ha)	Tasa de cambio %	
				Aumento	Disminución
<i>Área sin vegetación</i>	205,41	135,803	69,607		0,66
<i>Bosque nativo</i>	1971,431	1866,74	104,691		0,99
<i>Cuerpos de agua</i>	1,904	3,35978	1,45578	0,01	
<i>Mosaico agropecuario</i>	3625,91	3591,94	33,97		0,32
<i>Páramo</i>	2645,185	2589,48	55,705		0,53
<i>Pastos</i>	516,514	429,171	87,343		0,83
<i>Afloramiento de roca</i>	198,658	198,658	0	0	0
<i>Plantación forestal</i>	1352,522	1702,27	349,748	3,33	
Total	10517,534	10517,421			

Nota: Los valores de tasa de cambio % (aumento y disminución) fueron obtenidos mediante las matrices de transición realizadas en Excel. En el campo “diferencia” se indica el valor en hectáreas del aumento y disminución en relación con la superficie total.

Durante este periodo se encontró un aumento en la clase plantación forestal del 3,33%. Las clases restantes son áreas menores al uno por ciento de la superficie. Sin embargo, en estas áreas se identifica la disminución de superficies de bosque nativo, pastos y páramo que representan Seguido de la disminución de área sin vegetación y mosaico agropecuario.

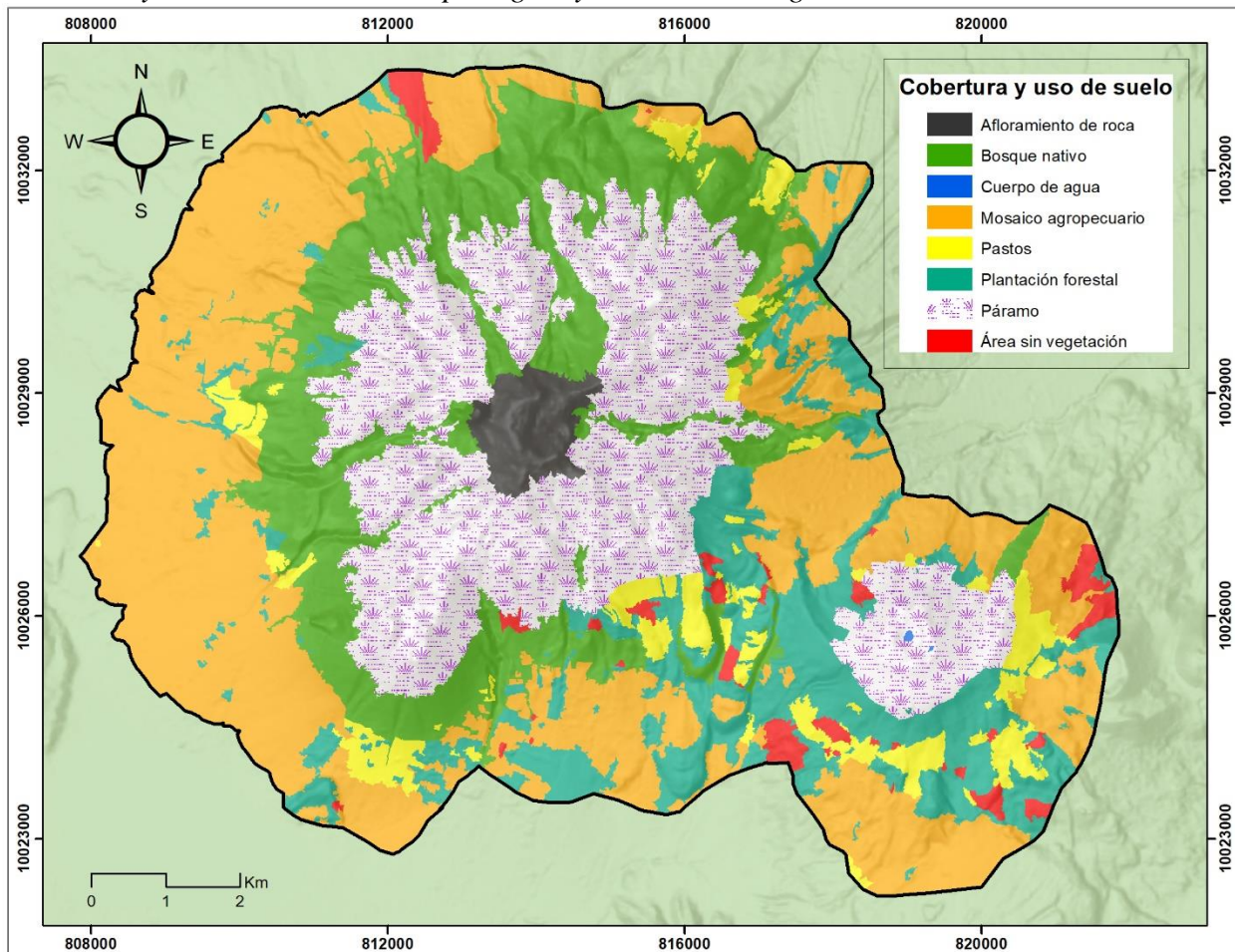
En la gestión del Consorcio para la Gestión del Área Ecológica de Conservación Taita Imbabura desde el año 2018 al 2023, la clase que presenta mayor variación es plantación forestal, que presiona al páramo tanto como las actividades agropecuarias en el APADTI. Confirmando la problemática nacional del período 2014-2016, pues la disminución de páramo en Ecuador se dio principalmente por el cambio a áreas agrícolas y plantaciones forestales (P. Mena et al., 2023).

No existe información actual sobre el manejo de las plantaciones forestales en el APADTI, pero se identifica que la actividad maderera de pino (*Pinus patula*) que se concentran al oeste en el pie de monte del Cubilche (0°13'55"N78°8'48"W) en las comunidades de Topo, Cazco Valenzuela y Alisopamba (0°13'16.9"N 78°08'59.3"W) y sureste del volcán Imbabura

(0°14'17"N78°9'39"W), además plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) (0°13'5.78"N,78°10'44.38"W) en las comunidades de Cusipamba Alto, Agato e Imbaburita de la parroquia de San Pablo del Lago, cantón Otavalo.

Este producto es comercializado en Otavalo y Calderón con las empresas Novopan y Expoforestal (PDYOT, 2015). La misma dinámica de cambio de uso de suelo lo explica el estudio realizado en el páramo del Área Nacional de Recreación Quimsacocha, que determina que las amenazas que enfrenta el páramo es el cambio de vegetación de pajonal en áreas de cultivo de papas, pasto o bosque de pino (Quichimbo et al., 2015)

Figura 11
Cobertura y uso de suelo del área protegida y zona de amortiguamiento año 2018



Elaboración propia

4.2.6 Análisis multitemporal de cobertura y uso de suelo en el área protegida y zona de amortiguamiento período 2012-2023

El valor del índice Kappa calculado es de 0,91 de exactitud para el mapa del año 2023, que indica un valor casi perfecto de concordancia. Este año está representado principalmente por la clase mosaico agropecuario 34,15% y páramo 24,62%.

En segundo orden bosque nativo 17,74% y plantación forestal 16,18%. Seguido de pastos 4,08 %, área sin vegetación 1,29 y afloramiento de roca 1,88 %. (Tabla 11). La clase cuerpos de agua representa un área menor al uno por ciento de la superficie total 10.518,41 hectáreas. En la Figura 12 se puede apreciar el mapa de cobertura y uso de suelo del año 2023.

Tabla 11

Cambio de uso de suelo en el área protegida y zona de amortiguamiento período 2012 -2023

Uso actual de suelo	Superficie 2012 (ha)	Superficie 2023 (ha)	Diferencia (ha)	Tasa de cambio %	
				Aumento	Disminución
Área sin vegetación	191,715	135,803	55,912		0,53
Bosque nativo	2061,82	1866,74	195,08		1,86
Cuerpos de agua	2,747	3,35978	0,61278	0,01	
Mosaico agropecuario	3474,02	3591,94	117,92	1,11	
Páramo	2745,99	2589,48	156,51		1,49
Pastos	586,254	429,171	157,083		1,5
Afloramiento de roca	198,658	198,658	0	0	0
Plantación forestal	1254,62	1702,27	447,65	4,25	
Total (ha)	10517,824	10517,421			

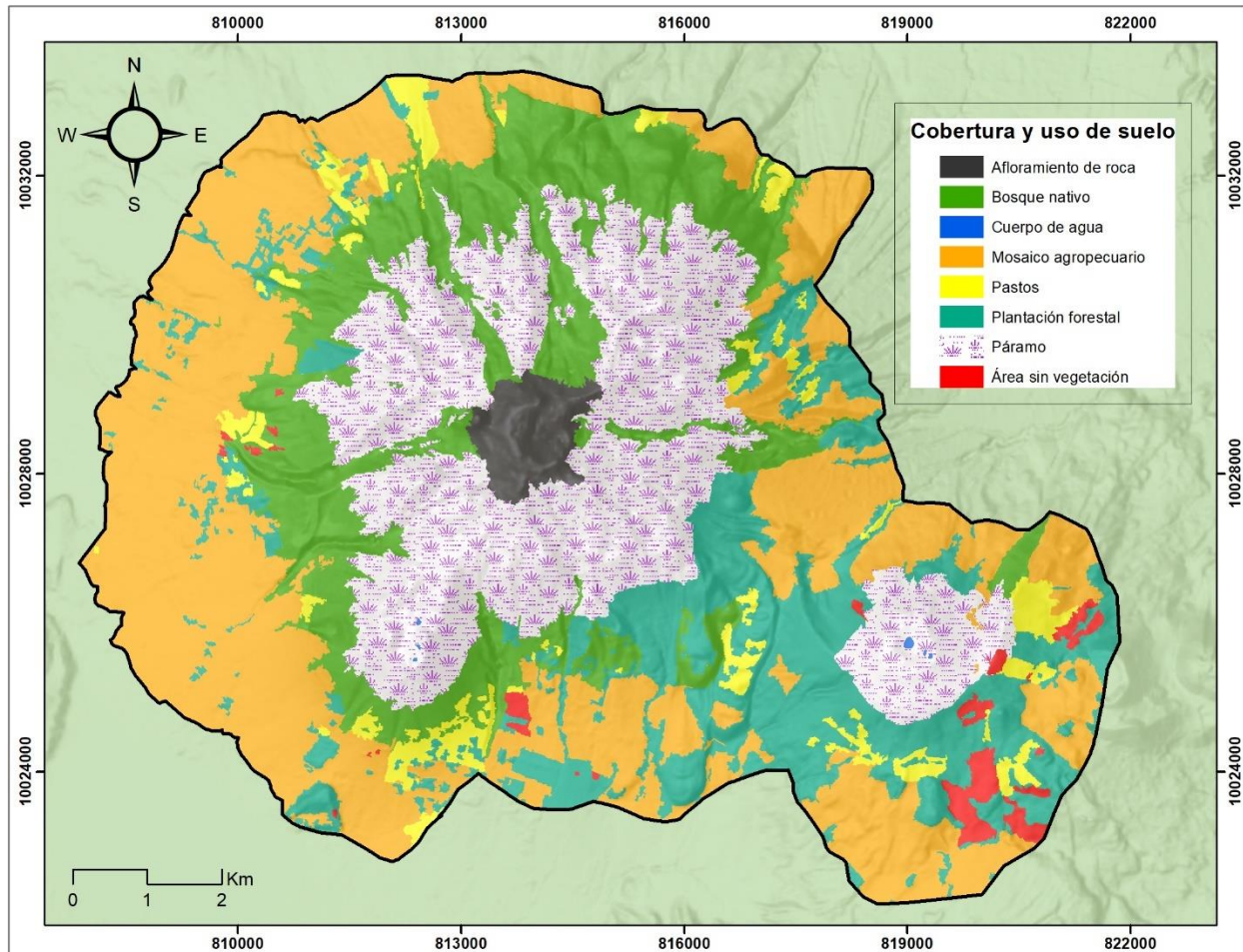
Nota: Los valores de tasa de cambio % (aumento y disminución) fueron obtenidos mediante las matrices de transición realizadas en Excel. En el campo “diferencia” se indica el valor en hectáreas del aumento y disminución en relación con la superficie total.

Este período de tiempo se identifica el aumento en la clase forestal de 4,45 % y en la clase mosaico agropecuario 1,11 %. Que influencia la disminución de la clase bosque nativo de 1,86%, pastos 1,5% y páramo 1,49%. Las clases restantes representan áreas menores al uno por ciento de la superficie, aquí se encuentra la clase de área sin vegetación y cuerpos de agua. Resultados similares se encontraron en el estudio para el sector Guangras en el Parque Nacional Sangay entre los años 1991 y 2016, donde se determinó la disminución de bosque nativo,

páramo, cuerpos de agua y el aumento significativo de pastizal y cultivos agrícolas (Barrero et al., 2022).

Figura 12

Cobertura y uso de suelo del área protegida y zona de amortiguamiento año 2023

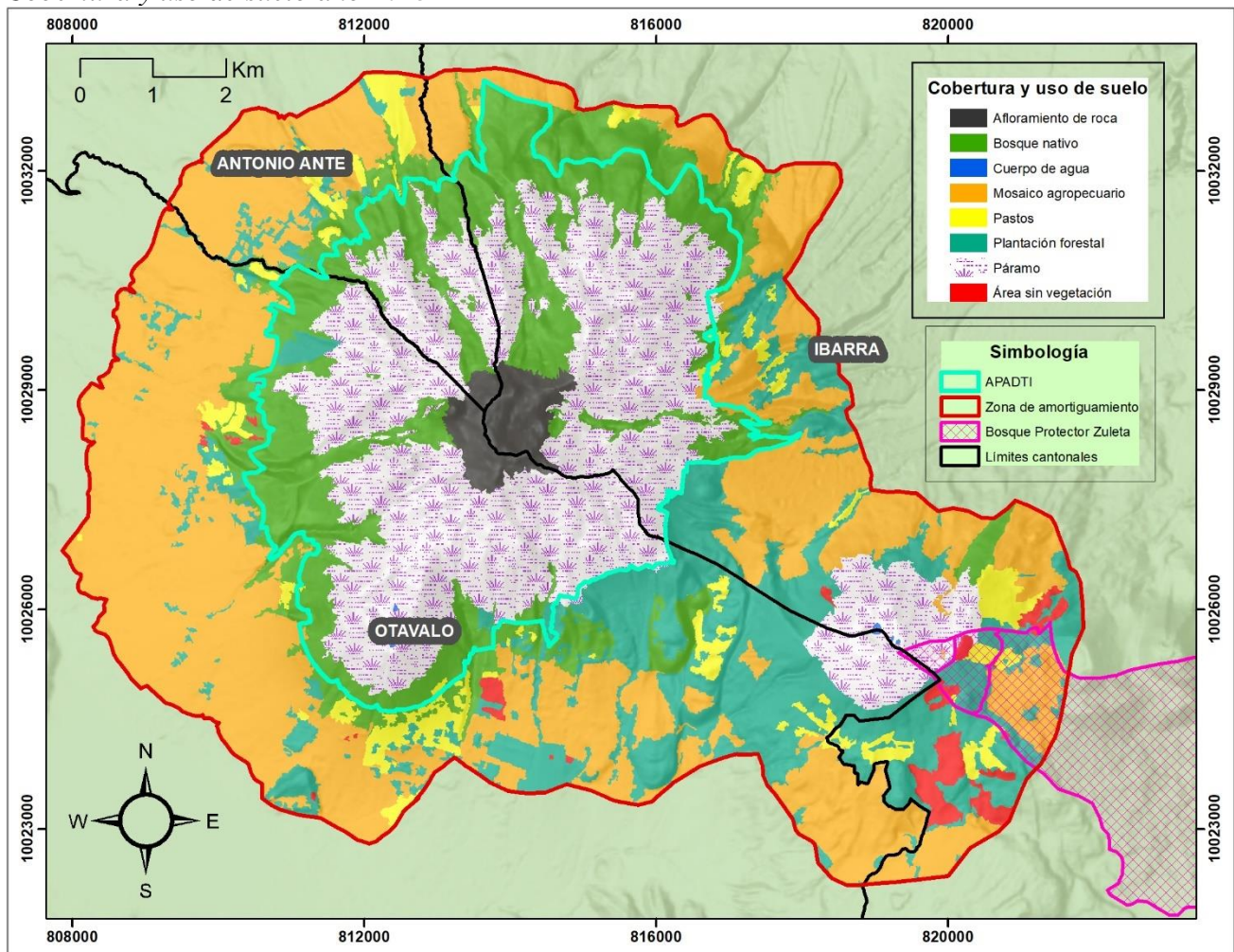


Elaboración propia

En relación con el cantón Ibarra, los sectores de mayor avance de la frontera agrícola son en los sectores del Abra, Chaupilán y Paniquindra de las parroquias de la Esperanza y Angochagua. En el cantón Antonio Ante en las parroquias de Andrade Marín, San Francisco de Natabuela y San Roque predomina el mosaico agropecuario y pastos naturales. Mientras que en las parroquias de Peguche y San Juan de Ilumán y San Pablo del Lago en Otavalo la predominancia es de mosaico agropecuario.

Las franjas de bosque nativo y matorral se encuentran alrededor de la zona de protección, en las parroquias San Antonio, Caranqui, Camuendo, La compañía, Ilumán, San Roque, Natabuela y San Pablo (Figura 13). En el APADTI se encuentran 616 hectáreas que corresponden al bosque protector Zuleta, que actualmente es un área en recuperación (ECOLEX, 2021).

Figura 13
Cobertura y uso de suelo año 2023



Nota: Se puede observar la división cantonal y cambio de uso de suelo en el año 2023, más la intersección con el bosque protector Zuleta que tiene una extensión de 616 hectáreas dentro del APADTI (Jácome, 2020).

4.3 Etapa 3. Propuesta de estrategias de prevención y mitigación del avance de la frontera agrícola

Los páramos a través de la historia de los Andes han sido considerados escenarios de frecuentes disputas por el aprovechamiento de los recursos naturales. Por lo que la aplicación de estrategias y programas en el páramo pueden traer diferentes desafíos (De la Cruz et al., 2009). Desafíos en cuanto a la disponibilidad de información y los conflictos socioambientales que involucran a las comunidades y el sector privado (Hofstede et al., 2003). La protección del páramo en Ecuador no requiere la creación de nuevas leyes sino el compromiso institucional para aplicar las normas ya existentes (Rivadeneira, 2023).

La legislación relacionada con la conservación de la Naturaleza dedica el capítulo siete de la Constitución ecuatoriana 2008 a los derechos de la naturaleza o la Pachamama, en especial los artículos que hacen mención del ecosistema de páramo son el Art. 71, 72 y 73 (Rivadeneira, 2023). El Estado incentivará a proteger la naturaleza y promoverá su respeto integral, mediante la regulación de actividades que provoquen la destrucción de ecosistemas o que alteren sus características y ciclos naturales, garantizando el derecho de los habitantes a un ambiente sano y el acceso a los servicios ambientales (Constitución, 2008).

El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático Ecuador, propone la implementación de medidas de conservación del páramo y la transformación de las actividades ganaderas para proteger las zonas de recarga hídrica ante los efectos del cambio climático (MAATE, 2023). Por lo que, es imperativo que en el Área Protegida Autónoma Descentralizada “Taita Imbabura” se realice un manejo integral de los recursos, se promueva la implementación de prácticas agrícolas sostenibles y se libere paulatinamente al páramo de actividades económicas como la agricultura y extracción de madera.

En la Tabla 12, se identifican los agentes de presión que enfrenta el APADTI entre el período de tiempo analizado 2012-2023. Las estrategias se establecieron tomando en cuenta el principal ecosistema afectado: el páramo y los agentes de presión que son; la producción agrícola y maderera. La presión indirecta para que estos cambios sucedan, se debe a la creciente demanda

de tierras para la producción de alimentos y la extracción de madera para la industria (Elbers, 2021).

El fin de establecer estrategias de prevención y mitigación de las presiones que afectan a ecosistemas sensibles es evitar y reducir los efectos negativos que las actividades humanas pueden ocasionar (CNUCLD, 2014). En similar sentido las medidas de prevención buscan evitar que se produzcan impactos ambientales negativos e irreversibles (Schütz et al., 2008). Las medidas de mitigación se realizan cuando no es posible evitar completamente los impactos negativos de actividades antrópicas al ambiente, es decir buscan reducir su magnitud (Ortiz & Gómez, 2011).

En el presente caso, la estrategia de prevención busca minimizar o eliminar los impactos negativos que enfrenta el páramo del Complejo Volcánico Cubilche ubicado en la zona de amortiguamiento. Por lo que, se propone gestionar la integración del Complejo Volcánico Cubilche dentro de la zona de protección y proteger integralmente al páramo. Mientras, la estrategia de mitigación debe centrarse en limitar paulatinamente el uso y restaurar las áreas sensibles que han sido degradadas en el APADTI.

La finalidad es promover alternativas económicas a propietarios de los predios para reducir la presión que enfrenta el páramo en la zona de protección y zona de amortiguamiento, mediante el Pago por Servicios Ambientales (PSA) o exoneración de impuestos, fomentando el Proyecto Socio Bosque II. Para lo cual, se debe delimitar las áreas que han sido intervenidas, fortalecer el monitoreo y vigilancia para controlar las actividades permitiendo que el ecosistema pueda regenerarse.

Tabla 12*Diseño de estrategias a través del modelo PER (Presión-Estado-Respuesta)*

PRESIÓN	ESTADO	RESPUESTA
Expansión del mosaico agropecuario en el área de la zona amortiguamiento del Taita Imbabura.	Avance de cultivos de papa (<i>Solanum tuberosum</i>) hacia el área del páramo del complejo volcánico Cubilche, ubicado en la zona de amortiguamiento del Taita Imbabura.	<i>Estrategia de prevención:</i> Integración de páramo del complejo volcánico Cubilche dentro de la zonificación de área protegida, mediante la modificación del acuerdo No. 33 Declaratoria del Área Protegida Autónoma Descentralizada Municipal Taita Imbabura
Plantaciones de pino y eucalipto en el área de protección y en la zona de amortiguamiento utilizadas para la producción y extracción de madera.	Variación constante de la cobertura vegetal por las plantaciones de pino (<i>Pinus patula</i>) y eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	<i>Estrategia de mitigación:</i> Regulación de las actividades de plantación y extracción de madera mediante el Pago por Servicios Ambientales (PSA) y exoneración de impuestos del Proyecto Socio Bosque II.

El cambio de uso de suelo altera a los componentes base de los ecosistemas, suelo y vegetación (Ochoa et al., 2016). Se ha reconocido que el cambio de uso de suelo tiene impactos negativos en los paisajes naturales (Ortega & Arias, 2022), intensificado la erosión hídrica (Arias-Muñoz et al., 2023). Otros efectos como, la alteración de los ciclos hidrológicos y la disminución de la oferta hídrica (FAO, 2016). Existe una estrecha relación entre el uso del suelo y las amenazas que generan a las fuentes de agua de consumo humano (Maca et al., 2021). Así lo confirma un estudio realizado en los páramos del nevado Cayambe para determinar la oferta hídrica, que concluyó que el aumento de áreas agrícolas hacia la parte alta de la cuenca del río Blanco incide en el movimiento de las aguas de páramo (Valencia et al., 2014).

La dinámica de los cambios de uso de suelo genera alteraciones en los patrones de los microclimas locales y regionales (CNULD, 2014). Dado que el suelo de páramo actúa como sumidero de carbono y al haber perturbaciones se libera a la atmósfera (Calispa et al., 2023). Se estima que los cambios en el uso del suelo son la segunda fuente de emisiones atmosféricas de

origen antropogénico (FAO, 2016). Por lo que el enfoque de estas estrategias está basado en la conservación del páramo mediante prevención y mitigación valorando su importancia como ecosistema estratégico para la regulación, calidad hídrica y adaptación al cambio climático.

4.3.1 Estrategia de prevención: Integración del páramo del Complejo Volcánico Cubilche en la zona de protección del APADTI

4.3.1.1 Objetivo general

- Preservar el tamaño y las características del ecosistema de páramo del complejo volcánico Cubilche y sus servicios ecosistémicos

4.3.1.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar el estado de conservación, degradación, disturbios y presiones del páramo del Complejo Volcánico Cubilche.
- Gestionar la modificación el Acuerdo-No.33 sobre la declaratoria del Área Protegida Autónoma Descentralizada Municipal Taita Imbabura para la adjudicación del páramo del complejo volcánico Cubilche en la zona de protección
- Desarrollar acciones complementarias a los procesos de conservación del páramo.

Tabla 13*Estrategia de prevención contra el avance de la frontera agrícola*

Proyectos	Actividades	Resultados	Responsables
1. Establecimiento de la línea base sobre el avance de la frontera agrícola Complejo Volcánico Cubilche	<p>1.1 Diagnóstico del estado de conservación -degradación, disturbios y presiones.</p> <p>1.2 Delimitación de cultivos como "áreas sensibles" presentes en el páramo para limitar su uso paulatinamente.</p> <p>1.3 Monitoreo y vigilancia sobre el avance de la frontera agrícola</p>	<p>1.1 El uso del suelo es el principal indicador de resultado y cumplimiento.</p>	<p>Autoridades ambientales Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), Autoridad Nacional de Turismo (MINTUR). Entidades territoriales gubernamentales (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Antonio Ante, Ibarra, Otavalo), Programa Geoparque Imbabura (UNESCO) y Consorcio para la Gestión del Área Ecológica de Conservación Taita Imbabura.</p> <p>Grupos étnicos ocupantes de predios en el Cubilche o sus alrededores.</p>
2. Gestión para la integración del Páramo Cubilche al APADTI	<p>2.1 Gestiones para modificar el Acuerdo-No.-33-Declaratoria del Área Protegida Autónoma Descentralizada Municipal Taita Imbabura y adjudicación del páramo del complejo volcánico Cubilche, con especial interés en la conservación del ecosistema páramo y su reconocimiento como sitio geológico por ser parte del Geoparque Imbabura (UNESCO).</p> <p>2.2 Actualización y reforma en el Plan de Manejo del Área Protegida Autónoma Descentralizada Taita Imbabura para el año 2026, específicamente para la gestión integral del páramo.</p>	<p>2.1 Para el año 2026 el páramo del Cubilche debe ser considerado para integrarse a la zona de protección y no de amortiguamiento.</p> <p>2.2 Frontera agrícola bien definida y que su avance no sea negociable.</p>	
3. Sensibilización ambiental	<p>3.1 Desarrollar actividades complementarias como la sensibilización ambiental, fortalecimiento de gobernanza comunitaria y apoyo en la promoción de productos locales.</p>	<p>3.1 Compromiso ambiental de la comunidad local y la participación en talleres, capacitaciones y reuniones.</p>	

Esta propuesta especificada en la Tabla 13, se fundamenta en que no existe límites claros en la zona de amortiguamiento y esto ha causado la proliferación de actividades agrícolas y forestales intensivas especialmente en la zona de páramo Cubilche, el piedemonte y páramo del volcán Taita Imbabura. Este avance no solo amenaza a la zona de amortiguamiento, sino que también amenaza la integridad del núcleo del área protegida confinándola a ser una zona sensible rodeada de procesos de degradación de suelo. Aunque la zona de amortiguamiento permita el desarrollo de actividades productivas, es preocupante que se encuentren cultivos de papa (*Solanum tuberosum*) en un ecosistema frágil como el páramo del Cubilche.

De esta manera, es necesario modificar el Acuerdo No.3 de la Declaratoria del Área Protegida Autónoma Descentralizada Municipal Taita Imbabura, firmado en el año 2021 y adjudicar el páramo del Cubilche a la zona de protección. Pues por ser parte del Geoparque Mundial de la UNESCO, el interés principal debe estar direccionado a la conservación del ecosistema de páramo. En el artículo 6 de este acuerdo se determina que podrá modificarse en 10 años, y solo por justificaciones legales y técnicas podrá modificarse antes (Acuerdo Ministerial Nro.33, 2021). Sin embargo, en el Plan de Manejo del Área Protegida, se menciona que al cabo de 5 años se realizará una evaluación del plan (ECOLEX, 2021). Es menester que durante este tiempo se considere la exclusión del páramo de cualquier uso productivo agrícola o forestal.

4.3.2 Estrategia de mitigación: Regulación las actividades de producción y extracción de madera mediante Pagos por Servicios Ambientales (PSA)

4.3.2.1 Objetivo general

- Implementar un programa de Pago por Servicios Ambientales (PSA) con enfoque en la conservación del ecosistema páramo.

4.3.2.2 Objetivos específicos

- Establecer un marco normativo para supervisar las actividades forestales actuales.
- Mejorar relaciones comunitarias mediante actividades complementarias a los procesos de conservación del páramo.

Tabla 14*Estrategia de mitigación contra el avance de la frontera agrícola*

Proyectos	Actividades	Resultados	Responsables
1. Programa de Pago por Servicios Ambientales (PSA) con enfoque en la conservación del páramo.	<p>1.1 Generar incentivos económicos a la conservación mediante PSA y exoneración de impuestos. Junto con la creación de acuerdos para disminuir la plantación de especies forestales para la extracción de madera.</p> <p>1.2 Establecer un marco normativo para disminuir las actividades forestales actuales.</p> <p>1.3 Implementar un sistema de registro, desarrollar protocolos de seguimiento y recopilación de datos.</p> <p>1.4 Identificación de predios con plantaciones forestales presentes en la zona de protección y zona de amortiguamiento, para que funcionen como pequeñas áreas de conservación incentivadas por PSA.</p>	<p>1.1 Alianzas y convenios enmarcados en el Plan de Acción Nacional para la Conservación, Restauración y Uso Sostenible de los Páramos.</p> <p>1.2 Reducción de cambios de uso de suelo.</p> <p>1.2.1 Existencia de un sistema de registro y protocolo de seguimiento para actividades forestales.</p> <p>1.3 Mejoramiento del estado de cobertura vegetal y la generación de ingresos para los habitantes de la zona.</p>	<p>Autoridades ambientales Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), Autoridad Nacional de Turismo (MINTUR). Entidades territoriales gubernamentales (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Antonio Ante, Ibarra, Otavalo), Programa Geoparque Imbabura (UNESCO) y Consorcio para la Gestión del Área Ecológica de Conservación Taita Imbabura.</p>
2. Relaciones comunitarias	<p>2.1 Sensibilización ambiental, fortalecimiento de gobernanza comunitaria y apoyo en la promoción de productos locales.</p> <p>2.2 Reportes anuales de gestión que visibilicen los procesos y avances realizados en el área protegida.</p>	<p>2.1 Compromiso ambiental de la comunidad local medido por la participación en talleres, seminarios y encuentros realizados de educación ambiental.</p> <p>2.2 Reportes anuales de gestión de dominio público</p>	<p>Grupos étnicos ocupantes de predios en el Cubilche o sus alrededores.</p>

Es histórico en Ecuador el mal uso de los pisos ecológicos sin criterios de uso que indiquen restricciones. Por lo que en la actualidad se debería aumentar la rigurosidad en las regulaciones de las actividades de producción agrícola y extracción de madera en ecosistemas estratégicos. Más aún si son ecosistemas que se encuentran bajo protección del SNAP. El páramo del APADTI ha tenido una presión permanente de las plantaciones forestales, desde la década de los setenta, que fue la época que en Ecuador empezó a introducir especies exóticas para proyectos gubernamentales de forestación (Mena et al., 2011).

Las actividades forestales localizadas en la zona de protección y zona de amortiguamiento deben ser mitigadas mediante incentivos ambientales con modalidad de enfoque en la conservación y protección hídrica. Con el objetivo de procurar la integridad del páramo y garantizar la calidad y cantidad de agua que el páramo suministra a los acueductos municipales y comunitarios de los cantones de Ibarra, Otavalo y Antonio Ante.

Incentivos ambientales como el Pago por Servicios Ambientales (PSA), es un incentivo económico que los interesados reconocen a los propietarios de predios en ecosistemas estratégicos para proteger los servicios ambientales (Maca et al., 2021). El 70% de los programas de PSA a nivel mundial han desarrollado estrategias para la conservación y protección de recursos hídricos relacionados a ecosistemas estratégicos (Maca et al., 2021). De igual forma promover la exoneración de impuestos para beneficiarse del Proyecto Socio Bosque II (MAATE, 2022). Para lograr la efectividad de los PSA en los páramos, es necesario un enfoque de conservación integral para desarrollar gradualmente programas orientados al cierre de frontera agrícola para salvaguardar el páramo.

Esta estrategia para el APADTI debe alinearse al Plan de Acción Nacional para la Conservación, Restauración y Uso Sostenible de los Páramos (MAATE, 2023) específicamente en el eje estratégico 6, sobre sostenibilidad financiera. Es imperativo mencionar la importancia de la participación de diferentes actores sociales e instituciones y los instrumentos de planificación. La creación de alianzas entre sectores estratégicos, actores institucionales públicos y privados, organizaciones internacionales, gobiernos y comunidad locales. Es por eso, la importancia en la articulación con los diferentes ministerios que pueden implementar estos

mecanismos, principalmente el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), Autoridad Nacional de Turismo (MINTUR) y Programa Geoparque Imbabura (UNESCO).

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Para el periodo 2012-2023, en la zona de protección del APADTI se concluye que no existe avance de la frontera agrícola. Pues coberturas antrópicas como mosaico agropecuario y plantación forestal aumentaron su superficie en menos del 1 %. Esto quiere decir, que el área de un tipo específico de uso de suelo es muy pequeña en relación con el área total. La importancia de este resultado es relativa, pues por un lado indica que no hay cambio de uso de suelo significativo, pero no significa que no existan modificaciones. Más bien, resulta que estas áreas mínimas pueden considerarse como áreas potenciales a cambios de uso de suelo en el futuro.

En la zona de amortiguamiento en el período 2012-2023, se dio el aumento en la superficie de mosaico agropecuario. Si bien es cierto, se permiten actividades productivas en la zona de amortiguamiento, también se evidencia la falta de control de las actividades antrópicas. Pues como hallazgo importante, se encontró el avance de frontera agrícola al noreste del Complejo volcánico Cubilche entre los 3350 a 3500 msnm, en la ubicación 0°14'11.0"N, 78°07'38.3"W. Existen parches con características de uso y abandono de tierras, el cambio de uso de suelo de páramo se dio especialmente por cultivos de papa (*Solanum tuberosum*) en dirección a la comunidad Paniquindra.

A largo del período 2012-2023 el avance de la frontera agrícola en el área protegida y en su zona de amortiguamiento ha generado cambios de uso de suelo que pueden ser identificables. El cantón con mayor superficie dentro del APADTI es el cantón Otavalo, que a la vez presenta mayor predominancia de mosaicos agropecuarios en su territorio y especialmente en las parroquias de San Pablo del Lago, Peguche y San Juan de Ilumán. En el cantón Ibarra, los sectores de mayor influencia agrícola son; comunidad el Abra, Chaupilán y Paniquindra de la parroquia la Esperanza y Angochagua, y en el cantón Antonio Ante en las parroquias de Andrade Marín, San Francisco de Natabuela y San Roque donde predomina el mosaico agropecuario y pastos cultivados.

Estos resultados reflejan que no solo la expansión agrícola está transformando el ecosistema de páramo, sino también las plantaciones forestales de pino (*Pinus patula*) en la parroquia de San Pablo del Lago en las comunidades El Topo y Cazco Valenzuela al noreste del Cubilche y plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) en las comunidades de Cusipamba Alto, Agato e Imbaburita de la parroquia de San Pablo del Lago al Sureste del Volcán Imbabura en la zona de amortiguamiento del cantón Otavalo.

Se puede concluir que, en los años 2012 y 2018, la declaratoria del Área Ecológica para la conservación Taita Imbabura permitió la conservación de páramo y bosque nativo, y evitó el avance de actividades antrópicas a la zona de protección. En el intervalo de tiempo 2018 y 2023 que corresponde a la gestión del Consorcio para la Gestión del Área Ecológica de Conservación Taita Imbabura, se dio el aumento de la clase bosque nativo, esto se asume al proceso de exoneración de impuestos en la comunidad el Abra a comuneros a cambio de no seguir utilizando estas áreas para plantaciones forestales que se encontraban en la zona de protección y amortiguamiento. Esto indica que la gestión del Consorcio ha realizado una acción efectiva para la conservación del área de protección mediante el fomento de incentivos ambientales.

Sin embargo, el panorama es diferente para la zona de amortiguamiento, pues en los años 2012 y 2018, la clase mosaico agropecuario fue la cobertura predominante en aumento. Pero en los años 2018 y 2023 la clase mosaico agropecuario disminuye y aumenta la cobertura de plantación forestal. Este periodo corresponde al inicio de la gestión del Consorcio para la Gestión del Área Ecológica de Conservación Taita Imbabura y el paso del área para formar parte del Subsistema Autónomo Descentralizado del SNAP. También demuestra que los últimos 5 años no se ha regulado ni limitado la expansión de las plantaciones forestales de pino (*Pinus patula*), eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y cultivos en la zona de amortiguamiento, especialmente en el páramo del Cubilche.

La metodología aplicada para este estudio, resultado de una concordancia fue casi perfecta por el valor del índice kappa de los mapas generados se encuentra entre 0,80 y 1. Esto significa que los mapas generados en este estudio son precisos y fiables, reflejando de manera real las características del uso del suelo del área de estudio. Los niveles de concordancia altos proporcionan confianza en los datos obtenidos y respalda en el desarrollo de estrategias con

relación a los resultados obtenidos. La confianza en SIG permite establecer que el estudio precios y fiables por cuanto la índice kappa estuvo cerca del 1.

La estrategia de prevención y mitigación planteadas facilitarán el control del avance de la frontera agrícola, permitiendo el manejo integral del ecosistema páramo. El fomento de incentivos económicos como PSA y exoneración de impuestos son esenciales para motivar a las comunidades locales y a los propietarios de tierras a adoptar prácticas sostenibles que promuevan la conservación de los recursos naturales y las fuentes hídricas garantizando un futuro sostenible.

6.2 Recomendaciones

Es evidente la relación existente entre actividades agrícolas y el páramo, como lo que ocurre con el Complejo volcánico Cubilche que, al no ser parte de la zona de protección, se permite el avance de la frontera agrícola hacia el páramo. Por lo que es imperativo, integrar al Cubilche dentro de la zona de protección y esperar resultados como los que se obtuvo con la declaración de área protegida en el 2012 para proteger el páramo del Taita Imbabura. Al igual que el fortalecimiento de programas basados en el Proyecto Socio Bosque II y Pago por Servicios Ambientales para garantizar la conservación del páramo a través del tiempo.

Es fundamental establecer alianzas con instituciones gubernamentales e internacionales para sostener los procesos de capacitación, asesoramiento técnico y financiamiento de programas de conservación o educación ambiental que se realicen en el área protegida. Pero para esto, el APADTI necesita demostrar su compromiso y postura hacia la conservación del páramo.

Es esencial llenar los vacíos de conocimiento existentes, especialmente en cuanto a la respuesta de estos ecosistemas ante un entorno cambiante y las crecientes presiones antropogénicas como las que se dan en la zona de amortiguamiento del Taita Imbabura en el volcán Cubilche. A la par, estos procesos deben garantizar que los habitantes tengan acceso a la información sobre el área protegida y no solo acceso a información sobre el valor turístico, sino también sobre sus problemáticas y desafíos para que la población participe activamente en la protección.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad, K. (2020). El cambio de uso del suelo y la utilidad del paisaje periurbano de la cuenca del río Guayllabamba en Ecuador. *Revista de Ciencias Ambientales*, 54(2), 68–91. <https://doi.org/10.15359/RCA.54-2.4>
- Abraira, V. (2001). *El índice kappa*. http://www.hrc.es/bioest/Intro_errores.html
- Acuerdo Ministerial 69. (2011). *INSTRUCTIVO PARA EXONERACION DE IMPUESTO POSESION TIERRAS RURALES*. www.lexis.com.ec
- ACUERDO MINISTERIAL Nro.33. (2021). MINISTERIO DEL AMBIENTE, AGUA Y TRANSICIÓN ECOLÓGICA (Patent Art.6). In (Art.6). <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/09/Acuerdo-No.-33-Declaratoria-del-Area-Protegida-Autonoma-Descentralizada-Municipal-Taita-Imbabura.pdf>
- Alomía, M. (2005, August). Efectos de la producción agropecuaria en los suelos de los páramos: el caso de Guangaje. 65, 175–194. <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/5338/1/RFLACSO-ED65-10-Alomia.pdf>
- Álvarez, M., Lazaro, C., De Lamo, X., Bignoli, D., Cao, R., Bueno, P., Sofrony, C., Maretti, C., & Guerra, F. (2021). *INFORME PLANETA PROTEGIDO 2020: LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE*.
- Arias-Muñoz, P., Saz, M. Á., & Escolano, S. (2024). Tendencias de cambio de usos y coberturas de suelo en la cuenca hidrográfica media-alta del río Mira en Ecuador. *Investigaciones Geográficas*, 81, 155–179. <https://doi.org/10.14198/ingeo.25248>
- Arias-Muñoz, P., Saz, M., & Escolano, S. (2023). EFFECTS OF LAND USE CHANGE ON SOIL EROSION IN THE UPPER-MIDDLE BASIN OF MIRA RIVER IN ANDEAN-ECUADOR. *ACTA GEOGRAPHICA UNIVERSITATIS COMENIANAE (AGUC)*, 67(1), 115–140.
- Armenteras, D., & Rodríguez, N. (2014). DINÁMICAS Y CAUSAS DE DEFORESTACIÓN EN BOSQUES DE LATINO AMÉRICA: UNA REVISIÓN DESDE 1990. *Colombia Forestal*, 17(2), 233–246. <https://doi.org/10.14483/UDISTRITAL.JOUR.COLOMB.FOR.2014.2.A06>
- Barrero, H., Vistín, D., Bastidas, H., Muñoz, E., Zárate, Y., & Guerra, D. (2022). Dynamics of land use change in the Guangras sector of Sangay National Park, Ecuador. *CFORES*, 10(1), 44–58.
- Baxendale, C. (2015). Geografía, ordenamiento territorial y Sistemas de Información Geográfica Articulaciones conceptuales para aplicaciones en la planificación y gestión territorial. In M. Miraglia, N. Caloni, & G. Buzai (Eds.), *Sistemas de Información Geográfica en la investigación científica actual* (p. 280).
- Briceño, N. B. R., Castillo, E. B., Quintana, J. L. M., Cruz, S. M. O., & López, R. S. (2019). Deforestation in the peruvian Amazon: Indexes of Land Cover/Land Use (LC/LU) changes based on GIS. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 81, 1–34. <https://doi.org/10.21138/bage.2538a>
- Calispa, M., Vasconez, F., Santamaría, S., & Samaniego, P. (2023). Los suelos de los páramos del Ecuador. In R. Hofstede, P. Mena-Vásconez, & E. Suárez (Eds.), *Los páramos del Ecuador : Pasado, presente y futuro* (USFQ PRESS, pp. 40–74).

- Cantú Silva, I., Yáñez Díaz, M. I., Cantú Silva, I., & Yáñez Díaz, M. I. (2018). Efecto del cambio de uso de suelo en el contenido del carbono orgánico y nitrógeno del suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(45), 122–151. <https://doi.org/10.29298/RMCF.V9I45.138>
- Castaño, C. (2007). *Diagnóstico y situación actual de las áreas protegidas en América Latina y el Caribe (2007)*. <https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/513/88.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CEPAL. (2022). *Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025 de Ecuador | Observatorio Regional de Planificación para el Desarrollo*. <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/planes/plan-de-creacion-de-oportunidades-2021-2025-de-ecuador>
- Cevallos, M. (2015). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA SAN PABLO*.
- Chuncho, G. (2019). Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una revisión. *Bosques Latitud 0*, 9(2), 71–83. <https://www.researchgate.net/publication/344180955>
- CNULD. (2014). *Sinergias entre degradación de la tierra y cambio climático en los paisajes agrarios del Ecuador: Proyecto Mecanismo Mundial Ecuador “Integrado financiamiento del cambio climático en estrategias de inversión de Manejo Sostenible de la Tierra”* (P. Segarra, Ed.). FLACSO ANDES. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/57189.pdf>
- CNULD. (2017). *PERSPECTIVA GLOBAL DE LA TIERRA*. https://www.unccd.int/sites/default/files/documents/2017-09/GLO_Full_Report_low_res_Spanish.pdf
- CONSTITUCION. (2008). CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR. In *Registro Oficial* (Vol. 449, Issue 20). www.lexis.com.ec
- COOTAD. (2019). *CODIGO ORGANICO DE ORGANIZACION TERRITORIAL, COOTAD*. www.lexis.com.ec
- Crespo, P., Coello, C., Iñiguez, V., Cisneros, F., Cisneros, P., Ramírez, M., & Feyen, J. (2008). EVALUACION DE SWAT2000 COMO HERRAMIENTA PARA EL ANALISIS DE ESCENARIOS DE CAMBIO DE USO DEL SUELO EN MICROCUCENCAS DE MONTAÑA DEL SUR DEL ECUADOR . *XI Congreso Ecuatoriano de La Ciencia Del Suelo*, 13. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/39941275/EVALUACION_DE_SWAT2000_COMO_HERRAMIENTA_20151112-19071-di1l15-libre.pdf?1447359381=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEVALUACION_DE_SWAT2000_COMO_HERRAMIENTA.pdf&Expires=1684379452&Signature=Ma-YS9dyzlBbkByj8-9l~WsW293PH3cvToiFGZx7fyq~9c3L~Mq8z4QD8ekeZCE9LLJbzw8mLi-TvYhkKxqGZaObd5Jv0E2ybxR~8TiFO8Tua61A026wBx~I22lq2okp5GIY~~jjIN2e6IW3mFRHJfvdzsubMryKYMg2-k95INkBrWSBPlyp2jOk17V~4k5fkljvUMjxa6EKZRTeaYdaL04m02iA92qCkxLTn2Kr~duf4Tw3COyI1
- Da Silva, J., Cardozo, D., Odriozola, G., & Bondar, E. (2013). *USOS DEL SUELO: DISTRIBUCIÓN, ANÁLISIS Y CLASIFICACIÓN CON SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)* (Vol. 5, Issue 5). <http://www.gesig->

proeg.com.ar

- DAMIAN, D. A., MARQUEZ, C. O., GARCIA, V. J., RODRIGUEZ, M. V., & RECALDE, C. G. (2018). Transiciones sistemáticas en el uso y la cobertura del suelo en una microcuenca alto andina, Ecuador 1991-2011. *Revista ESPACIOS*, 39(32).
- De la Cruz, R., Mena Vásconez, P., Morales, P., Ortiz, G., Ramón, S., Rivadeneira, E., Suárez, J., Terán, F., & Velázquez, C. (2009). *Gente y ambiente de páramo : realidades y perspectivas en el Ecuador*. EcoCiencia, Proyecto Páramo Andino.
- Dudley, N. (2008). *Directrices para la aplicación de las categorías de gestión de áreas protegidas*. <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/paps-016-es.pdf>
- Durán-López M E, M.-M. O., Pinos-Morocho, D., Morales-Matute, O., & Elisa Durán-López, M. (2021). Suelos de páramo: Análisis de percepciones de los servicios ecosistémicos y valoración económica del contenido de carbono en la sierra sureste del Ecuador Paramo soils: analysis of perceptions of ecosystem services and economic valuation of carbon content in the southeastern sierra of Ecuador. *Trop J Environ Sci* e-ISSN, 55(2), 157–179. <https://doi.org/10.15359/rca.55-2.8>
- ECOLEX. (2021). *CONSORCIO PARA LA GESTIÓN DEL ÁREA ECOLÓGICA DE CONSERVACIÓN TAITA IMBABURA PLAN DE MANEJO ÁREA PROTEGIDA AUTÓNOMA DESCENTRALIZADA TAITA IMBABURA 2021 IMBABURA* "Elaboración de contenidos: CORPORACION DE GESTION Y DERECHO AMBIENTAL ECOLEX.
- Elbers, J. (2021). *Las áreas protegidas de América Latina: Situación actual y perspectivas para el futuro*. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/26025/HUM2-0124.pdf?sequence=1>
- FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos*.
- FAO. (2013). *EL MANEJO DEL SUELO EN LA PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS CON BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS*. www.fao.org/publications
- 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*. <https://www.fao.org/3/i5588s/i5588s.pdf>
- Garcés Jaramillo, S. (2008). Aprendiendo acerca de las áreas protegidas. *Letras Verdes: Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, ISSN-e 1390-6631, ISSN 1390-4280, N° 2, 2008 (Ejemplar Dedicado a: Letras Verdes 2), Págs. 6-7, 2, 6-7. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5444075&info=resumen&idioma=SPA>
- Gligo, N., & Morello, J. (1981). *Perspectivas de la expansión de la frontera agropecuaria en el espacio sudamericano*. CEPAL. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/22020>
- Gobierno Provincial de Imbabura (GPI). (2020). *GOBIERNO PROVINCIAL DE IMBABURA "CONTRATACIÓN DEL SERVICIO DE CONSULTORÍA DE LA AGENDA PRODUCTIVA DE LA PROVINCIA DE IMBABURA."*
- González, A. N., González, F. M. C., Hernández, J. C. M., & González, O. N. (2021). Change of coverage and land use in coastal plain associated with anthropogenic processes: Case san blas, nayarit. *Madera y Bosques*, 27(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2712104>
- Helmut, J., & Lambin, E. (2002). The Causes of Deforestation in Developing Countries. *BioScience*, 75(2), 163–184. <https://doi.org/10.1111/J.1467-8306.1985.TB00079.X>

- Hofstede, R., Coppus, R., Mena Vásconez, P., Segarra, P., Wolf, J., & Sevink, J. (2002). THE CONSERVATION STATUS OF TUSSOCK GRASS PARAMO IN ECUADOR. *3 ECOTROPICOS*, 15(1), 3–18.
- Hofstede, R., Segarra, P., & Mena, P. (2003). *Los Páramos del Mundo. Proyecto Atlas Mundial de los Páramos*. (Global Peatland Initiative, NC-IUCN, & EcoCiencia, Eds.). <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56486.pdf>
- Huang, Z. L., Chen, L. D., Fu, B. J., Lu, Y. H., Huang, Y. L., & Gong, J. (2006). The relative efficiency of four representative cropland conversions in reducing water erosion: evidence from long-term plots in the Loess hilly area, China. *Land Degradation & Development*, 17(6), 615–627. <https://doi.org/10.1002/LDR.739>
- INEC. (2010). Proyecciones poblacionales. *Ecuador En Cifras*.
- Jácome, G. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del GAD de San Miguel de Ibarra*. https://www.ibarra.gob.ec/site/docs/estrategico/PDYOT_2020.pdf
- Jácome-Aguirre, G., & Mejía Burbano, J. (2020). *Los Volcanes de Imbabura y su Tiempo Geológico*. <https://www.researchgate.net/publication/339055058>
- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Universidad Nacional de Colombia. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/147701>
- Jones, K. R., Venter, O., Fuller, R. A., Allan, J. R., Maxwell, S. L., Negret, P. J., & Watson, J. E. M. (2018). One-third of global protected land is under intense human pressure. *Science*, 360(6390), 788–791. https://doi.org/10.1126/SCIENCE.AAP9565/SUPPL_FILE/AAP9565_JONES_SM.PDF
- Laforge, M. (2016). La lucha por la tierra en el Ecuador y los límites de la revolución ciudadana. In H. Cottyn, J. Jahncke, L. Montoya, E. Perez, & M. Tempelmann (Eds.), *Las luchas sociales por la tierra en América Latina: Un análisis histórico, comparativo y global* (pp. 87–91). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. https://www.researchgate.net/publication/305113205_Las_luchas_sociales_por_la_tierra_en_America_Latina_Un_analisis_historico_comparativo_y_global
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33(1), 159. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- León, S. (2011). La flora de los páramos ecuatorianos. In P. S. F. R. H. C. J. S. L. G. M. N. O. y D. O. Mena (Ed.), *Páramo. Paisaje estudiado, habitado, manejado e institucionalizado* (p. 376). <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56325.pdf>
- LOOTUGS. (2016). *LEY ORGÁNICA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL, USO Y GESTIÓN DE SUELO*.
- MAATE. (2021, September 7). *Nueva área protegida en Ecuador: Taita Imbabura – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica*. Boletín N° 351. <https://www.ambiente.gob.ec/nueva-area-protegida-en-ecuador-taita-imbabura/>
- MAATE. (2022). *Proyecto Socio Bosque*. <https://Sociobosque.Ambiente.Gob.Ec/>
- MAATE. (2023a). *BOLETÍN ESTADÍSTICO SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS 2023*.
- MAATE. (2023b). *PLAN DE ACCION NACIONAL PARA LA CONSERVACION RESTAURACION Y USO SOSTENIBLE DE LOS PARAMOS (2023-2030)*.
- MAATE. (2023c). *Plan Nacional de Adaptación al cambio climático (2022-2027)*.
- MAATE. (2023d, September 26). *Boletín N° 110, Ecuador ya cuenta con su Plan de Acción Nacional para la Conservación, Restauración y Uso Sostenible de los Páramos*.

- Maca, S., Bedoya, M., Castro, A., Quijano, J., Borda, C., Quintana, G., Rincón, F., Yavi, A., & Serrano, M. (2021). *Programa Nacional de Pago por Servicios Ambientales (PSA)*.
- Maciej Serda, Becker, F. G., Cleary, M., Team, R. M., Holtermann, H., The, D., Agenda, N., Science, P., Sk, S. K., Hinnebusch, R., Hinnebusch A, R., Rabinovich, I., Olmert, Y., Uld, D. Q. G. L. Q., Ri, W. K. H. U., Lq, V., Frxqwu, W. K. H., Zklfk, E., Edvhg, L. V, ... (2016). *فاطمى, ح. Identificación de los servicios ecosistémicos que proveen las diferentes áreas protegidas en la Orinoquia colombiana. Biodiversidad En La Práctica, 1(1), 343–354. https://doi.org/10.2/JQUERY.MIN.JS*
- Marengo, J. A., Pabón, J. D., Díaz, A., Rosas, G., Montealegre, E., Villacis, M., & Solman, S. (2011). *Climate Change : Evidence and Future Scenarios for the Andean Region. Climate Change an Biodiversity in the Tropical Andes, 110–127. http://www.iaii.int/files/communications/publications/scientific/Climate_Change_and_Biodiversity_in_the_Tropical_Andes/chapter7.pdf*
- Martinez, L. (2006). *Las comunidades rurales pobres y la reforma agraria en el (1ª)*. CEPES. <https://www.researchgate.net/publication/316170045>
- Mayorga, W. (2020). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial – PDOT 2020 Antonio Ante. *GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DE ANTONIO ANTE, 265*.
- Mena, P., Castillo, A., Flores, R., Hofstede, S., Josse, C., Lasso, S., Medina, G., Ochoa, N., & Ortiz, D. (2011). *Páramo : paisaje estudiado, habitado, manejado e institucionalizado*. EcoCiencia.
- Mena, P., Hofstede, R., & Suárez, E. (2023). ¿De qué hablamos al hablar de páramos? In R. Hofstede, P. Mena-Vásquez, & E. Suárez Robalino (Eds.), *Los páramos del Ecuador: Pasado, presente y futuro* (pp. 14–33). USFQ PRESS.
- Mendoza, R. (2004). Un espejo engañoso: imágenes de la frontera agrícola. 265. <https://www.envio.org.ni/articulo/2069>
- MINTUR. (2019, June 25). *Declaración de Imbabura como “Geoparque Mundial” fortalece la imagen turística de Ecuador en el mundo – Ministerio de Turismo. https://www.turismo.gob.ec/declaracion-de-imbabura-como-geoparque-mundial-fortalece-la-imagen-turistica-de-ecuador-en-el-mundo/*
- Moscoso, A. (2003). Desarrollos legales e institucionales sobre áreas protegidas y zonas de amortiguamiento en Bolivia, Ecuador y Perú. In J. Blanes, R. Navarro, U. Drehwald, T. Bustamante, A. Moscoso, F. Muñoz, & A. Torres (Eds.), *Las zonas de amortiguamiento: un instrumento para el manejo de la biodiversidad El caso de Ecuador, Perú y Bolivia* (FLACSO, pp. 35–105). www.flacso.org.ec
- Navarro, M., González, L., Flores, R., & Amparán, R. (2015). *Fragmentación y sus implicaciones: análisis y reflexión documental* (1st ed.). Universidad de Guadalajara. <http://www.cuc.udg.mx/sites/default/files/publicaciones/2015%20-%20Fragmentaci%C3%B3n%20y%20sus%20implicaciones.%20An%C3%A1lisis%20y%20reflexi%C3%B3n%20documental.pdf>
- OCDE. (1993). *CORE SET OF INDICATORS FOR ENVIRONMENTAL*.
- Ochoa, B., Buytaert, W., Célleri, R., Crespo, P., Villacís, M., Llerena, C., Acosta, L., Villazón, M., Guallpa, M., Ríos, J., Fuentes, P., Olaya, D., Viñas, P., Rojas, G., & Arias, S. (2016). Impacts of land use on the hydrological response of tropical Andean catchments. *HYDROLOGICAL PROCESSES, 1–16. https://doi.org/10.1002/hyp.10980*
- ONU. (2023). *Convention to Combat Desertification. Una Tierra Sana Es Fundamental Para*

- El Bienestar de Los Ecosistemas y La Biodiversidad Del Planeta.
- Ordenanza No.006. (2021). *Ordenanza de actualización y formulación del Plan De Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón PDYOT 2020-2030 y el Plan de Uso y Gestión del Suelo (PUGS) del Gobierno Autónomo Descentralizado Antonio Ante.*
- Ordenanza No.011. (2022). *Ordenanza que regula la legalización y titularización del derecho de dominio de los predios consolidados en las Áreas urbanas y rurales en el Cantón Antonio Ante.*
- Ordenanza No.114. (2022). *Ordenanza del Plan de uso y gestión del suelo del cantón Otavalo (2020-2021).*
- Ordenanza reformatoria. (2022). *La Ordenanza Reformatoria a la Ordenanza de Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial y Elaboración del Plan de Uso y Gestión del Suelo del Cantón San Miguel de Ibarra en el Marco de la Emergencia Nacional.* <https://www.ibarra.gob.ec/site/servicios-en-linea/consulta-de-documentos/>
- Ortega, J., & Arias, P. (2022). Análisis de los efectos del cambio de uso de suelo en el paisaje del bosque húmedo: una visión al año 2022 en la cuenca del río Cayapas-Ecuador. *Sathiri*, 17(1), 288–311.
<https://doi.org/https://doi.org/10.32645/13906925.1116>
- Ortiz, F., & Gómez, A. (2011). Lectura socio-ambiental de la Cuenca de Cuitzeo, perspectiva desde indicadores de desarrollo sustentable: presión–estado–respuesta. *Revista Nicolaita de Estudios Económicos*, VI(1), 87–113.
- Ospina, J. (2020, June 20). *La ampliación de la frontera agrícola le abre la puerta a la desertificación | Destacados | DW | 16.06.2020.* La Ampliación de La Frontera Agrícola Le Abre La Puerta a La Desertificación. <https://www.dw.com/es/la-ampliaci%C3%B3n-de-la-frontera-agr%C3%ADcola-le-abre-la-puerta-a-la-desertificaci%C3%B3n/a-53826029>
- Oviedo, G. (2008). Áreas protegidas, desarrollo y cultura. *Letras Verdes, Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales.*
<https://doi.org/10.17141/LETRASVERDES.2.2008.809>
- Phalan, B., Bertzky, M., Butchart, S. H. M., Donald, P. F., Scharlemann, J. P. W., Stattersfield, A. J., & Balmford, A. (2013). Crop Expansion and Conservation Priorities in Tropical Countries. *PLOS ONE*, 8(1), e51759.
<https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0051759>
- PNUMA-WCMC, & UICN. (2021). *Protected Planet Report 2020.*
<https://livereport.protectedplanet.net/chapter-2>
- Polanco, C. (2006). Indicadores ambientales y modelos internacionales para toma de decisiones. *Gestión y Ambiente*, 09(2), 27–41.
- Ponce, C., & Curonisy, Y. (2008). *La Categoría VI de la UICN en América Latina: Área Protegida para el Manejo de Recursos.* <http://www.rlc.fao.org/es/tecnica/parques/>
- Pontius, R. G., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 101(2–3), 251–268. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008>
- Quichimbo, P., Tenorio, G., Borja, P., Cárdenas, I., Crespo, P., & Célleri, R. (2015). EFFECTS ABOUT THE PHYSICAL AND CHEMICAL SOIL PROPERTIES BY THE VEGETAL COVERAGE AND LAND USE CHANGE: PÁRAMO OF QUIMS

- ACOCHA AT THE SOUTHERN ECUADOR. *Suelos Ecuatoriales*, 42(2), 138–153.
- Quiroga Martínez, R., & United Nations. Economic Commission for Latin America and the Caribbean. (2009). *Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe*. CEPAL.
- Recharte, J., Medina, G., & Bernal, F. (1997). Los Páramos del Ecuador: Una visión panorámica de su condición en 5 zonas del país. *Conferencia Electrónica “Estrategias Para La Conservación y Desarrollo Sostenible de Páramos y Punas En La Ecorregión Andina: Experiencias y Perspectivas*, 6.
http://infoandina.org/infoandina/sites/default/files/publication/files/Los_P_amos_del_Ecuador.pdf
- Reyes, W. (2020). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Otavalo, provincia de Imbabura. 2019-2023*.
- Rivadeneira, M. (2023). El páramo ecuatoriano: la ley que tenemos y la que deberíamos tener. In R. Hofstede & P. Mena-Vásquez E. Suárez (Eds.), *Los páramos del Ecuador Pasado, presente y futuro* (USFQ PRESS, pp. 188–216).
- Rivas, A. (2006). *Gobernanza de los Sistemas Nacionales de Áreas Protegidas en los Andes Tropicales: Diagnóstico regional y análisis comparativo*,
<http://www2.ecolex.org/server2neu.php/libcat/docs/LI/MON-080192.pdf>
- Rodríguez Pérez, J. R., González Vázquez, X P., & Arias Sánchez, P. (1999). Cartografía de usos del suelo por fotointerpretación mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG): análisis comparativo de los sistemas ráster y vectorial. *XI Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica*,.
- Rosero, C., & Beltrán, A. (2021). Análisis histórico de interferencia antropógena por avance de la frontera agropecuaria en la parroquia San Juan – Chimborazo. *Domino de Las Ciencias*, 7(3), 710–734. <https://doi.org/10.23857/DC.V7I3.1963>
- Roverato, M., Larrea, P., Casado, I., Mulas, M., Béjar, G., & Bowman, L. (2018). Characterization of the Cubilche debris avalanche deposit, a controversial case from the northern Andes, Ecuador. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 360, 22–35. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2018.07.006>
- Ruiz, V., Savé, R., & Herrera, A. (2013). Multitemporal analysis of land use change in the Terrestrial Protected Landscape Miraflores Moropotente Nicaragua, 1993-2011. *Ecosistemas*, 22(3), 117–123. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2013.22-3.16>
- Sahagún, F., & Reyes, H. (2018). Impactos por cambio de uso de suelo en las áreas naturales protegidas de la región central de la Sierra Madre Oriental, México. *CienciaUAT*, 12(2), 6–21.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78582018000100006
- Salas, L., & Santana, M. (2007). *Análisis de cambios en la ocupación del suelo ocurridos en sabanas de Colombia entre 1987 y 2001, usando imágenes Landsat* (Issue 7). www.geo-focus.org
- Salizzi, E. (2020). Frontera agraria: (América Latina, segunda mitad del siglo XX – comienzos siglo XXI). In J. Muzlera & A. Salomón (Eds.), *Diccionario del agro iberoamericano* (pp. 173–178). TeseoPress Design (www.teseopress.com).
<https://www.coninagro.org.ar/wp-content/uploads/2020/09/Diccionario-del-Agro-Iberoamericano.pdf#page=595>
- Sandoval, V., & Real, P. (2005). Modelamiento y prognosis estadística y cartográfica del

- cambio en el uso de la tierra. *Bosque (Valdivia)*, 26(1), 55–63.
<https://doi.org/10.4067/S0717-92002005000100006>
- Schmidt, M. A. (2019). *Política Ambiental, Avance de la Frontera Agropecuaria y Deforestación en Argentina: el caso de la ley “De Bosques.”*
<https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/70221>
- Schütz, G., Hacon, S., Silva, H., Moreno Sánchez, A. R., & Nagatani, K. (2008). Principales marcos conceptuales aplicados para la evaluación de la salud ambiental mediante indicadores en América Latina y el Caribe. In *Rev Panam Salud Publica/Pan Am J Public Health* (Vol. 24, Issue 4).
- Senescyt. (2019). *Proyecto Geoparque Imbabura Dossier Indice Dossier*.
- Sierralta, L., Serrano, R., Rovira, J., & Cortés, C. (2011). *Las Áreas Protegidas de Chile Antecedentes, Institucionalidad, Estadísticas y Desafíos*.
www.mma.gob.cl/biodiversidad
- Terán-Valdez, A., Pinto, E., Ortiz, E., Salazar, E., & Cuesta, F. (2019). *Conservación y uso sostenible de los páramos de Tungurahua. Conocer para manejar, Proyecto EcoAndes*.
- Tituaña, M. (2024). *Exoneración de impuestos en la comunidad el Abra*.
- UICN. (2021). . *Conflicto y conservación. La Naturaleza en Un Mundo Globalizado*.
<https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/NGW-001-Es.pdf>
- UICN. (2023). *Acerca de la UICN / IUCN*. <https://www.iucn.org/es/acerca-de-la-uicn>
- Valencia, R., Serrano, D., & Galárraga, R. (2014). Cambios de uso del suelo en cuencas alto andinas y consecuencias en la oferta hídrica. Caso de estudio microcuenca del río Blanco, páramos del Nevado Cayambe, Ecuador. *Revista EPN*, 34(1), 1–9.
https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/download/306/pdf/2244
- Vázquez, R., & García, R. (2018). Indicadores PER y FPEIR para el análisis de la sustentabilidad en el municipio de Cihuatlán, Jalisco, México. *Nóesis*, 27(53), 1–26.
- Williams, G., Manson, R., & Vera, E. I. (2002). La fragmentación del bosque mesófilo de montaña y patrones de uso del suelo en la región oeste de Xalapa, Veracruz, México. *Madera y Bosques*, 8(1), 73–89. <https://doi.org/10.21829/MYB.2002.811307>
- Zurita, L., & Cotacachi, D. (2019). *Comunidades Sostenibles: Análisis Cartográfico y Georeferenciado del Programa Socio Bosque*.

ANEXOS

Anexo 1.

Fotografía de uso de suelo en el Complejo Volcánico Cubilche, 2023



Fotografía propia

Anexo 2.

Fotografía de uso de suelo en el Complejo Volcánico Cubilche 2023



Fotografía propia

Anexo 3.

*Principales cultivos; chocho (*Lupinus mutabilis*), papa (*Solanum tuberosum*), cebada (*Hordeum vulgare*) bajo los 3300 msnm en el Cubilche*



Fotografía propia

Anexo 4.

*Plantaciones forestales de pino (*Pinus patula*) en el pie de monte del Cubilche y volcán Imbabura 2023*



Fotografía propia

Anexo 5.

Validación del mapa de cobertura y uso de suelo del área protegida y zona de amortiguamiento del Taita Imbabura 2023

	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5	Class 6	Class 7	Classification overall	User's accuracy (Precision)	
Classifier results	Class 1	20	2	0	1	3	0	0	26	76.923%
	Class 2	0	235	0	7	9	0	0	251	93.625%
	Class 3	0	0	177	9	0	0	0	186	95.161%
	Class 4	0	0	4	130	2	1	0	137	94.891%
	Class 5	1	4	0	3	97	0	0	105	92.381%
	Class 6	1	1	0	0	0	8	0	10	80%
	Class 7	0	0	0	0	0	0	12	12	100%
Truth overall	22	242	181	150	111	9	12	727		
Producer's accuracy (Recall)	90.909%	97.107%	97.79%	86.667%	87.387%	88.889%	100%			

Overall accuracy (OA):

Kappa¹:

Nota. Elaborado en la página de marcovanetti.com

Anexo 6.

Validación del mapa de cobertura y uso de suelo del área protegida y zona de amortiguamiento del Taita Imbabura 2018

	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5	Class 6	Class 7	Classification overall	User's accuracy (Precision)
Classifier results	Class 1	25	3	3	1	0	0	32	78.125%
	Class 2	1	248	0	4	0	0	253	98.024%
	Class 3	0	0	192	13	0	0	206	93.204%
	Class 4	0	5	6	117	2	0	130	90%
	Class 5	1	11	0	5	81	1	99	81.818%
	Class 6	1	0	0	0	1	12	14	85.714%
	Class 7	0	0	0	0	0	0	12	100%
Truth overall	28	267	201	140	84	13	13	746	
Producer's accuracy (Recall)	89.286%	92.884%	95.522%	83.571%	96.429%	92.308%	92.308%		

Overall accuracy (OA):

Kappa¹:

Nota. Elaborado en la página de marcovanetti.com

Anexo 7.

Validación del mapa de cobertura y uso de suelo del área protegida y zona de amortiguamiento del Taita Imbabura 2012

	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5	Clase 6	Clase 7	Clasificación general	Precisión del usuario (Precisión)
Clase 1	31	0	0	0	0	0	0	31	100%
Clase 2	0	215	0	1	0	0	0	216	99.537%
Clase 3	0	0	192	5	1	0	0	198	96.97%
Clase 4	1	1	3	139	2	0	0	146	95.205%
Clase 5	1	4	0	6	64	1	0	76	84.211%
Clase 6	0	0	0	0	0	15	0	15	100%
Clase 7	0	0	0	0	0	0	12	12	100%
La verdad en general	33	220	195	151	67	16	12	694	
Precisión del productor (Recuerdo)	93.939%	97.727%	98.462%	92.053%	95.522%	93.75%	100%		

Precisión general (OA):

96.254%

Kappa¹ :

0.951

Nota. Elaborado en la página de marcovanetti.com

Anexo 8.

Matriz de transición para el área protegida y zona de amortiguamiento, 2012 y 2018

	AÑO 2: 2018									
	Área sin vegetación	Bosque nativo	Cuerpos de agua	Mosaico agropecuario	Páramo	Pastos	Afloramiento de roca	Plantación forestal	Total 2012	Pérdida
AÑO 1:2012										
Área sin vegetación	0,4310	0,07100		0,26300000	0,00100	0,35900000		0,698000000	1,82	1,39
Bosque nativo	0,0250000	15,63900000 0		1,63000000	1,0440000	0,44200000		0,828000000	19,61	3,97
Cuerpos de agua			0,012000000		0,01400000				0,03	0,0140
Mosaico agropecuario	0,0760000	0,828		29,89700000	0,013	0,5190000000		1,702000000	33,04	3,14
Páramo	0,0280000	1,076	0,006	0,00600000	23,9470000	0,77500000		0,274	26,11	2,17
Pastos	0,6130000	0,445		1,36500000	0,022	2,25000000		0,870000000	5,57	3,32
Afloramiento de roca							1,889000000		1,89	0,00
Plantación forestal	0,780000	0,677		1,308	0,112	0,567		8,487000000	11,93	3,4
Total 2018	1,95	18,74	0,02	34,47	25,15	4,91	1,89	12,86	100,0	17,44
Ganancia	1,52	3,10	0,01	4,57	1,21	2,66	0,00	4,37	17,44	

Nota: matriz elaborada en Excel con valores de la intersección de los mapas del año 1 y 2 en ArcMap, para la obtención de los valores de tasa de cambio % (aumento y disminución).
El valor 100 % en color rojo, muestra el porcentaje del área total del uso de suelo para cada clase en un año específico

Anexo 9.

Matriz de transición para el área protegida y zona de amortiguamiento, 2018 y 2023

AÑO 2: 2023										
	Área sin vegetación	Bosque nativo	Cuerpos de agua	Mosaico agropecuario	Páramo	Pastos	Afloramient o de roca	Plantación forestal	Total 2018	Pérdida
AÑO 1: 2018										
Área sin vegetación	0,1200	0,04200		0,24100000	0,02000	0,43200000		1,09800000 0	1,95	1,83
Bosque nativo	0,0340000	15,15100000 0		1,14400000	0,9390000	0,58000000		0,89800000 0	18,75	3,60
Cuerpos de agua			0,01700000 0		0,0010000 0				0,02	0,0010
Mosaico agropecuario	0,2680000	0,598		30,2040000	0,003	1,113000000 0		2,28200000 0	34,47	4,26
Páramo	0,0590000	1,233	0,015	0,04600000	23,549000 0	0,04100000		0,211	25,15	1,61
Pastos	0,0680000	0,508		0,921000000 0	0,065	1,57700000		1,77100000 0	4,91	3,33
Afloramiento de roca							1,889000000		1,89	0,00
Plantación forestal	0,742000	0,219		1,589	0,047	0,338		9,92300000 0	12,86	2,9
Total 2023	1,29	17,75	0,03	34,15	24,62	4,08	1,89	16,18	100,00	17,57
Ganancia	1,17	2,60	0,02	3,94	1,08	2,50	0,00	6,26	17,57	

Nota: matriz elaborada en Excel con valores de la intersección de los mapas del año 1 y 2 en ArcMap, para la obtención de los valores de tasa de cambio % (aumento y disminución).
El valor 100 % en color rojo, muestra el porcentaje del área total del uso de suelo para cada clase en un año específico

Anexo 10.

Matriz de transición para el área protegida y zona de amortiguamiento período 2012- 2023

AÑO 2: 2023										
	Área sin vegetación	Bosque nativo	Cuerpos de agua	Mosaico agropecuario	Páramo	Pastos	Afloramiento de roca	Plantación forestal	Total 2012	Pérdida
AÑO 1: 2012										
Área sin vegetación	0,6230	0,08500		0,24400000	0,00600	0,14800000		0,71800000 0	1,82	1,20
Bosque nativo	0,0570000	15,23600000 0		1,46400000	1,0080000	0,49800000		1,34500000 0	19,61	4,37
Cuerpos de agua			0,01700000 0		0,0090000 0				0,03	0,0090
Mosaico agropecuario	0,1390000	0,359		29,8800000	0,006	0,518000000 0		2,13000000 0	33,03	3,15
Paramo	0,0580000	1,401	0,015	0,13500000	23,561000 0	0,06300000		0,881	26,11	2,55
Pastos	0,0320000	0,27		1,296000000 0	0,003	2,58300000		1,39100000 0	5,58	2,99
Afloramiento de roca							1,889000000		1,89	0,00
Plantación forestal	0,382000	0,401		1,124	0,034	0,27		9,71900000 0	11,93	2,2
Total 2023	1,29	17,75	0,03	34,14	24,63	4,08	1,89	16,18	100,00	16,49
Ganancia	0,67	2,52	0,02	4,26	1,07	1,50	0,00	6,47	16,49	

Nota: matriz elaborada en Excel con valores de la intersección de los mapas del año 1 y 2 en ArcMap, para la obtención de los valores de tasa de cambio % (aumento y disminución).
El valor 100 % en color rojo, muestra el porcentaje del área total del uso de suelo para cada clase en un año específico

Anexo 11.

Matriz de transición para el área protegida, 2012 y 2018

	AÑO 2: 2018									
	Área sin vegetación	Bosque nativo	Cuerpos de agua	Mosaico agropecuario	Páramo	Pastos	Afloramiento de roca	Plantación forestal	Total 2012	Pérdida
AÑO 1: 2012										
Área sin vegetación	0,0000	0,0160			0,0020				0,02	0,02
Bosque nativo	0,0580	28,9980		0,0600	2,9300	0,0660		0,1810	32,29	3,30
Cuerpos de agua					0,0100				0,01	0,0100
Mosaico agropecuario		0,0230		0,0650	0,0000	0,0050			0,09	0,03
Páramo	0,0510	2,9120		0,0000	58,3440	0,1390		0,0760	61,52	3,18
Pastos		0,0140		0,0000	0,0160	0,0820			0,11	0,03
Afloramiento de roca							5,3440		5,34	0,00
Plantación forestal	0,0620	0,1350			0,0070			0,4060	0,61	0,2
Total 2018	0,17	32,10	0,00	0,13	61,31	0,29	5,34	0,66	100,00	6,76
Ganancia	0,17	3,10	0,00	0,06	2,97	0,21	0,00	0,26	6,76	

Nota: matriz elaborada en Excel con valores de la intersección de los mapas del año 1 y 2 en ArcMap, para la obtención de los valores de tasa de cambio % (aumento y disminución).
El valor 100 % en color rojo, muestra el porcentaje del área total del uso de suelo para cada clase en un año específico

Anexo 12.

Matriz de transición para el área protegida, 2018 y 2023

AÑO 2: 2023										
	Área sin vegetación	Bosque nativo	Cuerpos de agua	Mosaico agropecuario	Páramo	Pastos	Afloramiento de roca	Plantación forestal	Total 2018	Pérdida
AÑO 1: 2018										
Área sin vegetación		0,04700			0,04000			0,084000000	0,17	0,17
Bosque nativo	0,0010000	28,966000 000		0,06200000	2,6330000	0,0930000 0		0,342000000	32,10	3,13
Cuerpos de agua									0,00	0,0000
Mosaico agropecuario		0,049		0,0750000	0	0,0010000 0		0,000000000	0,13	0,05
Páramo		3,396	0,028	0,00600000	57,814000 0	0,0150000 0		0,051	61,31	3,50
Pastos	0,0000000	0,137		0,05600000	0,024	0,0640000 0		0,010000000	0,29	0,23
Afloramiento de roca							5,344000000		5,34	0,00
Plantación forestal		0,051			0,038			0,574000000	0,66	0,1
Total 2023	0,00	32,65	0,03	0,20	60,55	0,17	5,34	1,06	100,00	7,16
Ganancia	0,00	3,68	0,03	0,12	2,74	0,11	0,00	0,49	7,16	

Nota: matriz elaborada en Excel con valores de la intersección de los mapas del año 1 y 2 en ArcMap, para la obtención de los valores de tasa de cambio % (aumento y disminución).
El valor 100 % en color rojo, muestra el porcentaje del área total del uso de suelo para cada clase en un año específico

Anexo 13.

Matriz de transición para el área protegida período 2012-2023

	AÑO 2: 2023								Total 2012	Pérdida
	Área sin vegetación	Bosque nativo	Cuerpos de agua	Mosaico agropecuario	Páramo	Pastos	Afloramiento de roca	Plantación forestal		
AÑO 1: 2012										
Área sin vegetación		0,01400			0,00300			0,000000000	0,02	0,02
Bosque nativo	0,000000 0	28,919000000		0,06600000	2,8360000	0,09900000		0,371000000	32,29	3,37
Cuerpos de agua			0,007000000		0,00300000				0,01	0,0030
Mosaico agropecuario		0,018		0,0710000	0	0,00000000		0,004000000	0,09	0,02
Páramo		3,583	0,021	0,05800000	57,6920000000	0,06200000		0,106	61,52	3,83
Pastos	0,000000 0	0,098		0,00300000		0,01000000			0,11	0,10
Afloramiento de roca							5,344000000		5,34	0,00
Plantación forestal		0,013			0,016			0,581000000	0,61	0,0
Total 2023	0,00	32,65	0,03	0,20	60,55	0,17	5,34	1,06	100,00	7,37
Ganancia	0,00	3,73	0,02	0,13	2,86	0,16	0,00	0,48	7,37	

Nota: matriz elaborada en Excel con valores de la intersección de los mapas del año 1 y 2 en ArcMap, para la obtención de los valores de tasa de cambio % (aumento y disminución). El valor 100 % en color rojo, muestra el porcentaje del área total del uso de suelo para cada clase en un año específico

Anexo 14.

Matriz de transición para la zona de amortiguamiento, 2012 y 2018

	AÑO 2: 2018									
	Área sin vegetación	Bosque nativo	Cuerpos de agua	Mosaico agropecuario	Páramo	Pastos	Afloramiento de roca	Plantación forestal	Total 2012	Pérdida
AÑO 1: 2012										
Área sin vegetación	0,67	0,10100		0,40600000	0,00000	0,55500000		1,080000000	2,81	2,14
Bosque nativo	0,0070000	8,33300000 0		2,48800000	0,0130000	0,6470000000 0		1,182000000	12,67	4,34
Cuerpos de agua			0,01800000 0		0,01700000 0				0,04	0,0170
Mosaico agropecuari o	0,1180000	1,269		46,2100000	0,02	0,80000000		2,633000000	51,05	4,84
Páramo	0,0150000	0,073	0,01	0,01000000	5,13900000	1,12300000		0,383	6,75	1,61
Pastos	0,9480000	0,697		2,11100000	0,025	3,43500000		1,345000000	8,56	5,13
Afloramient o de roca									0,00	0,00
Plantación forestal	1,172000	0,974		2,023	0,17	0,877		12,90500000 0	18,12	5,2
Total 2018	2,93	11,45	0,03	53,25	5,38	7,44	0,00	19,53	100,00	23,29
Ganancia	2,26	3,11	0,01	7,04	0,25	4,00	0,00	6,62	23,29	

Nota: matriz elaborada en Excel con valores de la intersección de los mapas del año 1 y 2 en ArcMap, para la obtención de los valores de tasa de cambio % (aumento y disminución).
El valor 100 % en color rojo, muestra el porcentaje del área total del uso de suelo para cada clase en un año específico

Anexo 15.

Matriz de transición para la zona de amortiguamiento, 2018 y 2023

AÑO 2: 2023										
	Área sin vegetación	Bosque nativo	Cuerpos de agua	Mosaico agropecuari o	Páramo	Pastos	Afloramient o de roca	Plantación forestal	Total 2018	Pérdida
AÑO 1: 2018										
Área sin vegetación	0,19	0,03900		0,37300000	0,00900	0,66800000		1,653000000	2,93	2,74
Bosque nativo	0,0530000	7,59700000 0		1,73600000	0,0130000	0,8460000000 0		1,202000000	11,45	3,85
Cuerpos de agua			0,02600000 0		0,0020000000 0				0,03	0,0020
Mosaico agropecuario	0,4150000	0,898		46,6800000	0,005	1,721000000		3,530000000	53,25	6,57
Páramo	0,0910000	0,05	0,008	0,06900000	4,81300000	0,05500000		0,299	5,39	0,57
Pastos	0,1060000	0,711		1,39500000	0,087	2,40500000		2,734000000	7,44	5,03
Afloramient o de roca									0,00	0,00
Plantación forestal	1,147000	0,311		2,458	0,052	0,523		15,03600000 0	19,53	4,5
Total 2023	2,00	9,61	0,03	52,71	4,98	6,22	0,00	24,45	100,00	23,26
Ganancia	1,81	2,01	0,01	6,03	0,17	3,81	0,00	9,42	23,26	

Nota: matriz elaborada en Excel con valores de la intersección de los mapas del año 1 y 2 en ArcMap, para la obtención de los valores de tasa de cambio % (aumento y disminución).
El valor 100 % en color rojo, muestra el porcentaje del área total del uso de suelo para cada clase en un año específico

Anexo 16.

Matriz de transición para la zona de amortiguamiento período 2012-2023

	AÑO 2: 2023									
	Área sin vegetación	Bosque nativo	Cuerpos de agua	Mosaico agropecuario	Páramo	Pastos	Afloramiento de roca	Plantación forestal	Total 2012	Pérdida
AÑO 1: 2012										
Área sin vegetación	0,963	0,12300		0,37700000	0,00700	0,22900000		1,11000000	2,81	1,85
Bosque nativo	0,0880000	7,75400000 0		2,22800000	0,0090000	0,71600000 0		1,877000000	12,67	4,92
Cuerpos de agua			0,02200000 0		0,0130000 0				0,04	0,0130
Mosaico agropecuario	0,2140000	0,546		46,1830000	0,009	0,80100000 0		3,293000000	51,05	4,86
Páramo	0,0900000	0,207	0,012	0,17800000	4,8950000 0	0,06400000		1,305	6,75	1,86
Pastos	0,0500000	0,364		2,00300000	0,005	3,98900000		2,152000000	8,56	4,57
Afloramiento de roca									0,00	0,00
Plantación forestal	0,592000	0,613		1,739	0,044	0,418		14,71700000 0	18,12	3,4
Total 2023	2,00	9,61	0,03	52,71	4,98	6,22	0,00	24,45	100,00	21,48
Ganancia	1,03	1,85	0,01	6,52	0,09	2,23	0,00	9,74	21,48	

Nota: matriz elaborada en Excel con valores de la intersección de los mapas del año 1 y 2 en ArcMap, para la obtención de los valores de tasa de cambio % (aumento y disminución).
El valor 100 % en color rojo, muestra el porcentaje del área total del uso de suelo para cada clase en un año específico