

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL**

**TESIS PARA OBTENER
EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA FORESTAL**

**EFFECTIVIDAD ACTUAL Y FUTURA DEL ÁREA DE
CONSERVACIÓN PRIVADA HUIQUILLA - AMAZONAS,
PERÚ**

**Autor: Bach. Liseña Jovita Mestanza Caruajulca
Asesores: M.Sc. Ingrid Aracelli Cassana Huamán
Mg. Nilton Beltrán Rojas Briceño**

Registro:(....)

CHACHAPOYAS - PERÚ

2023

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM



ANEXO 3-H

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM

1. Datos de autor 1

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): Mestanza Carvajulca Liseña Jovita
DNI N°: 72926283
Correo electrónico: 7292628362@untrm.edu.pe
Facultad: de Ingeniería y Ciencias Agrarias
Escuela Profesional: Ingeniería Forestal

Datos de autor 2

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): _____
DNI N°: _____
Correo electrónico: _____
Facultad: _____
Escuela Profesional: _____

2. Título de la tesis para obtener el Título Profesional

Efectividad Actual y Futura del área de Conservación Privada Huigrilla - Amazonas, Perú.

3. Datos de asesor 1

Apellidos y nombres: Cassana Huamán Ingrid Araceli
DNI, Pasaporte, C.E N°: 42700594
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) 0000-0002-1843-5630

Datos de asesor 2

Apellidos y nombres: Rojas Briceño Milton Beltrán
DNI, Pasaporte, C.E N°: 72648444
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) 0000-0002-5352-6140

4. Campo del conocimiento según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos- OCDE (ejemplo: Ciencias médicas, Ciencias de la Salud-Medicina básica-Inmunología)

https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html 4.07.02 Forestal

5. Originalidad del Trabajo

Con la presentación de esta ficha, el(la) autor(a) o autores(as) señalan expresamente que la obra es original, ya que sus contenidos son producto de su directa contribución intelectual. Se reconoce también que todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal.

6. Autorización de publicación

El(los) titular(es) de los derechos de autor otorga a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), la autorización para la publicación del documento indicado en el punto 2, bajo la *Licencia creative commons* de tipo BY-NC: Licencia que permite distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial por lo que la Universidad deberá publicar la obra poniéndola en acceso libre en el repositorio institucional de la UNTRM y a su vez en el Registro Nacional de Trabajos de Investigación-RENATI, dejando constancia que el archivo digital que se está entregando, contiene la versión final del documento sustentado y aprobado por el Jurado Evaluador.

Chachapoyas, 17 Enero, 2021



Firma del autor 1

Firma del autor 2



Firma del Asesor 1

Firma del Asesor 2

DEDICATORIA

Queridos padres,

Al terminar mi tesis, quiero expresarles mi más profundo agradecimiento por su amor incondicional y apoyo constante. Vuestra confianza en mí y vuestra dedicación han sido la fuerza impulsora detrás de mi éxito académico. Cada página escrita en esta tesis lleva impreso vuestro legado y vuestra pasión por el aprendizaje. Sin ustedes, nada de esto sería posible. Gracias por ser mis guías y maestros en esta travesía.

Con todo mi amor y gratitud.

Liseña Jovita Mestanza Caruajulca

AGRADECIMIENTO

Agradecer a los asesores M.Sc. Ingrid Aracelli Cassana Huamán y Mg. Nilton Beltrán Rojas Briceño por su apoyo y orientación en el desarrollo de mi tesis. Ellos me proporcionaron las facilidades necesarias y dedicaron tiempo para guiarme tanto en el conocimiento práctico como científico de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) aplicados a la gestión y manejo de bosques en áreas de conservación.

También expresar mi agradecimiento a los docentes miembros del jurado, Mg.Sc. Eli Pariente Mondragón, Dr. Jorge Alberto Condori Apfata y Mg.Sc. Alex Joel Vergara Anticona, por su valioso aporte y recomendaciones en cada etapa de mi proyecto de tesis, desde el informe inicial hasta el informe final. Su participación me brindó la oportunidad de aclarar mis ideas y presentarlas de manera comprensible para cualquier lector.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ
DE MENDOZA DE AMAZONAS**

Ph.D. Jorge Luis Maicelo Quintana

Rector

Dr. Oscar Andrés Gamarra Torres

Vicerrector Académico

Dra. María Nelly Lujan Espinoza

Vicerrectora de Investigación

Dr. Erick Aldo Auquiñivín Silva

Decano de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias

VISTO BUENO DEL ASESOR 1 DE LA TESIS6654



ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Efectividad Actual y Futura del Área de Conservación Privada Huigraña - Amazonas, Perú. del egresado Lisena Javita Mestanza Carvajalca de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Ingeniería Forestal de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.



Chachapoyas, 11 de Octubre de 2023

Firma y nombre completo del Asesor

Ingrid Araceli Cassana Huamán

VISTO BUENO DEL ASESOR 2 DE LA TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM ()/Profesional externo (X), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada EFFECTIVIDAD ACTUAL Y FUTURA DEL AREA DE CONSERVACION PRIVADA AUIQUILLA - AMAZONAS, PERÚ; del egresado Liseña Soita Mestama Carvajalca de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Ingeniería Forestal de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

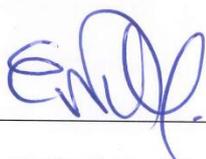


Chachapoyas, 11 de Octubre de 2023

Firma y nombre completo del Asesor

Nilton B. Rojas Brizano
DNI: 72648444

JURADO EVALUADOR DE LA TESIS



Mg.Sc. Eli Pariente Mondragón

Presidente



Dr. Jorge Alberto Condori Apfata

Secretario



Mg.Sc. Alex Joel Vergara Anticona

Vocal

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS



ANEXO 3-Q

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

EFFECTIVIDAD ACTUAL Y FUTURA DEL ÁREA DE CONSERVACION
PRIVADA HUANILLA - AHAJONAS, PERÚ.

presentada por el estudiante ()/egresado (x) Lisena Jovita Restanza Casajika
de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal

con correo electrónico institucional 7192628362@untrm-edu.pe

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- La citada Tesis tiene 22 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (x) / igual () al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- La citada Tesis tiene _____ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.



Chachapoyas, 30 de noviembre del 2023

CLW A.
SECRETARIO

[Signature]
PRESIDENTE

[Signature]
VOCAL

OBSERVACIONES:

.....
.....

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL

PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-5

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 19 de Diciembre del año 2023, siendo las 16:00 horas, el aspirante: L. Señora Jovita Hestanza Carvajulca, asesorado por Ing. Ms. Ingrid Ara celi Cassina Huamán defiende en sesión pública presencial () / a distancia () la Tesis titulada: Efectividad actual y futura del área de conservación privada Huiguita - Amazonas, Perú, para obtener el Título Profesional de Ingeniera Forestal, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: Hg. Sc. Eli Pariente Mondragón

Secretario: Dr. Jorge Alberto Condori Apata

Vocal: M. Sc. Alex Joel Vergara Anticona

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.



Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado () por Unanimidad () / Mayoría () Desaprobado ()

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 16:00 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

Condori A.
SECRETARIO

Apata
VOCAL

Pariente
PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

ÍNDICE GENERAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS.....	v
VISTO BUENO DEL ASESOR 1 DE LA TESIS.....	vi
VISTO BUENO DEL ASESOR 2 DE LA TESIS.....	vii
JURADO EVALUADOR DE LA TESIS.....	viii
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS	ix
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS.....	x
ÍNDICE GENERAL.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
I. INTRODUCCIÓN.....	17
II. MATERIAL Y MÉTODOS.....	21
2.1. Área de estudio.....	21
2.2. Variables de estudio	21
2.3. Secuencia metodológica.....	22
2.4. Mapeo de la cobertura y uso del suelo del suelo del ACP Huiquilla y su área periférica en los años 1990, 2006 y 2022.....	23
2.4.1. Delimitación de área periférica.....	23
2.4.2. Búsqueda y tratamiento de imágenes de satélite.....	23
2.4.3. Generación de imagen multibanda.....	24
2.4.4. Categorización en CUS de la imagen multibanda.....	25
2.4.5. Determinación de la precisión temática.....	25
2.4.6. Elaboración de matrices de transiciones de CUS.....	27
2.5. Modelamiento de la cobertura y uso del suelo del suelo del ACP Huiquilla y su área periférica en los años 2038 y 2054	27
2.5.1. Esquema de modelamiento.....	27

2.5.2. Variables predictoras.....	28
2.5.3. Validación del modelamiento.....	29
2.6. Estimación del índice de efectividad del ACP Huiquilla para contener las tasas de transición de uso y cobertura del suelo en el período 1990 – 2054.....	29
III. RESULTADOS	31
3.1. Cobertura y uso de suelo en el ACP Huiquilla y su área periférica en los años 1990, 2006 y 2022.....	31
3.1.1. Precisión de la categorización 2022.....	31
3.1.2. Mapas de cobertura y uso de suelo en 1990, 2006 y 2022.....	31
3.1.3. Transición de cobertura y uso de suelo en 1990 – 2006.....	33
3.1.4. Transición de cobertura y uso de suelo en 2006 – 2022.....	34
3.2. Cobertura y uso de suelo en el ACP Huiquilla y su área periférica en 2038 y 2054	36
3.2.1. Mapas de cobertura y uso de suelo en 2038 y 2054.....	36
3.2.2. Transición de cobertura y uso de suelo en 2022 – 2038.....	37
3.2.3. Transición de cobertura y uso de suelo en 2038 – 2054.....	38
3.3. Índices de efectividad	39
IV. DISCUSIÓN	43
V. CONCLUSIONES	46
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
ANEXOS	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Imágenes de satélite filtradas	23
Tabla 2. Índices espectrales, sus ecuaciones y citas	24
Tabla 3. Matriz de confusión	26
Tabla 4. Matriz de transiciones	27
Tabla 5. Matriz de confusión para el mapa de CUS del año 2022.....	31
Tabla 6. Cobertura y uso del suelo en el ACP Huiquilla y su Área Periférica (AP), en 1990, 2006 y 2022.....	33
Tabla 7. Transición (en ha y tasa β) de la cobertura y uso del suelo en el ACP Huiquilla y su Área Periférica (AP), 1990 – 2006.....	35
Tabla 8. Transición (en ha y tasa β) de la cobertura y uso del suelo en el ACP Huiquilla y su Área Periférica (AP), 2006 – 2022.....	35
Tabla 9. Cobertura y uso del suelo en el ACP Huiquilla y su Área Periférica (AP), en 2022, 2038 y 2054	37
Tabla 10. Transición (en ha y tasa β) de la cobertura y uso del suelo en el ACP Huiquilla y su Área Periférica (AP), 2022 – 2038.....	39
Tabla 11. Transición (en ha y tasa β) de la cobertura y uso del suelo en el ACP Huiquilla y su Área Periférica (AP), 2038 – 2054.....	39
Tabla 12. Superficie transformada (ST) y tasas de transición (β) de las ST, en el ACP Huiquilla y su Área Periférica (AP).....	41
Tabla 13. Diferencia entre la tasa de transición (β) en el ACP Huiquilla, su Área Periférica (AP) y Ecosistemas (ECO).....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. ACP Huiquilla en la provincia Luya (Amazonas, Perú).....	21
Figura 2. Secuencia metodológica por objetivo específico de la investigación.....	22
Figura 3. Establecimiento de años y períodos de análisis.....	23
Figura 4. Flujograma del modelamiento a futuro de la cobertura y uso del suelo del suelo.....	28
Figura 5. Mapas de cobertura y uso de suelo en el ACP Huiquilla, 1990, 2006 y 2022....	32
Figura 6. Transición de la cobertura y uso del suelo en el ACP Huiquilla y su Área Periférica en los períodos 1990 – 2006 y 2006 – 2022.....	34
Figura 7. Mapas de cobertura y uso de suelo en el ACP Huiquilla, 2038 y 2054.....	36
Figura 8. Transición de la cobertura y uso del suelo en el ACP Huiquilla y su Área Periférica en los períodos 2022 – 2038 y 2038 – 2054.....	38
Figura 9. Tasas de cambio a nivel regional de los ecosistemas que abarca el ACP Huiquilla.....	40
Figura 10. Índices de efectividad (IE) en el ACP Huiquilla, antes y después de su creación.....	40

RESUMEN

El monitoreo de los cambios en el uso y la cobertura del suelo mediante teledetección y Sistema de Información Geográfica permite evaluar la efectividad de las áreas protegidas para conservar los bosques. El objetivo de este estudio fue modelar la efectividad actual y futura del Área de Conservación Privada (ACP) Huiquilla, en Amazonas, para contener los procesos de cambios de cobertura natural a uso antrópico. Para lo cual, se mapearon el uso y la cobertura del suelo del ACP y su área periférica en los años 1990, 2006 y 2022, mediante clasificación supervisada de imágenes satelitales. Luego, se modeló el uso y la cobertura del suelo para los años 2038 y 2054, utilizando una red neuronal artificial. Además, se estimó el índice de efectividad del ACP en cuatro períodos entre 1990 y 2054. De las cinco categorías reconocidas, la cobertura bosque cubre >74% y >29% del ACP Huiquilla y en su área periférica, respectivamente, en los 64 años de análisis. En todos los años de análisis, las superficies de herbazal/pajonal húmedo, pasto/cultivo, vegetación arbustiva/herbácea, y urbano/vial fueron mayores en el área periférica, con respecto al ACP Huiquilla. Las tasas de transición de cobertura natural a uso antrópico disminuyeron tanto en el ACP como en su área periférica, pero en el ACP lo hizo con mayor intensidad. Se concluyó que el índice de efectividad es mayor después de haberse creado el ACP, lo cual evidencia que la creación del ACP influyó positivamente en la conservación de coberturas naturales.

Palabras clave: Área protegida, biodiversidad, Colcamar, Luya, teledetección

ABSTRACT

Monitoring changes in land use and cover through remote sensing and Geographic Information Systems allows evaluating the effectiveness of protected areas to conserve forests. The objective of this study was to model the current and future effectiveness of the Huiquilla Private Conservation Area (ACP), in Amazonas, to contain the processes of changes from natural cover to anthropic use. For this, the land use and coverage of the ACP and its peripheral area were mapped in the years 1990, 2006 and 2022, through supervised classification of satellite images. Land use and land cover were then modeled for the years 2038 and 2054, using an artificial neural network. In addition, the effectiveness index of the ACP was estimated in four periods between 1990 and 2054. Of the five recognized categories, forest cover covers >74% and >29% of the Huiquilla ACP and its peripheral area, respectively, in the 64 years of analysis. In all the years of analysis, the areas of grassland/wet grass, pasture/crop, shrub/herbaceous vegetation and urban/road were greater in the peripheral zone, with respect to the Huiquilla ACP. The transition rates from natural cover to anthropic use decreased both in the ACP and in its peripheral zone, but in the ACP it did so with greater intensity. It was concluded that the effectiveness index is higher after the ACP was created, which shows that the creation of the ACP had a positive influence on the conservation of natural coverage.

Keywords: Protected area, biodiversity, Colcamar, Luya, remote sensing

I. INTRODUCCIÓN

En la última década, la biodiversidad ha enfrentado desafíos importantes debido a la pérdida de bosques causada por los seres humanos y al impacto del cambio climático (Sala et al., 2000). La modificación y ocupación de la tierra, que implica la deforestación de bosques naturales, tiene un papel fundamental en el deterioro del ambiente a nivel global, regional y local (Ruiz et al., 2013). Por tanto, llevar a cabo un monitoreo constante de los cambios de la cobertura natural y el uso antrópico del suelo, proporciona información actualizada que permite evaluar las tendencias y tomar medidas apropiadas (Sotelo-Caro et al., 2015). Además, se han creado áreas de conservación como una estrategia clave para conservar la naturaleza y disminuir la pérdida de biodiversidad (Geldmann et al., 2019). Las áreas de conservación tienen como finalidad conservar los procesos dentro de los ecosistemas y sus especies (Figueroa et al., 2011), y han reportado tasas de deforestación menos significativas que los paisajes no conservados o protegidos (Spracklen et al., 2015).

Actualmente, conocer la efectividad de las áreas de conservación es un aspecto urgente en la agenda de conservación a diferentes escalas (Figueroa & Sánchez-Cordero, 2008). Esto, considerando que los cambios de uso y la cobertura vegetal del suelo que se dan en las áreas de conservación también pueden generar significativas pérdidas de bosques, interactuando cada vez más con el cambio climático. Una manera de cuantificar la efectividad de las áreas de conservación consiste en evaluar su integridad ecológica a través de diversos indicadores (Lee & Abdullah, 2019), entre los cuales se incluye: i) el cambio de uso de suelo y de la cobertura vegetal; ii) la evaluación cuantitativa de diferentes aspectos de la vegetación como la deforestación, iii) la fragmentación o los cambios de uso de suelo y la vegetación; entre otros (Sanchez-Azofeifa et al., 2001). En ese sentido, para generar y actualizar mapas sobre cambios de uso y la cobertura del suelo, se utilizan datos de teledetección y herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Varios autores han contribuido con publicaciones sobre cambios de uso y la cobertura del suelo y efectividad de áreas de conservación. Por ejemplo, Figueroa et al. (2011), calcularon la efectividad de 44 áreas protegidas federales mexicanas para evitar cambios en el uso y la vegetación del suelo. Para lo cual, calcularon un índice de efectividad basado en la superficie alterada en 2002 y su tasa de cambio entre 1993 y 2002, tanto en las áreas protegidas, como en sus áreas periféricas y en sus respectivas ecorregiones. En 2002, el 77% de las áreas protegidas tuvieron una superficie alterada menor al 20%; cerca del 30% de las áreas

protegidas mostraron una disminución en la superficie alterada, simultáneamente en otro 30%, el aumento en la superficie alterada fue superior que la tasa promedio de todas las áreas protegidas analizadas. Poco más del 70% de las áreas protegidas mostraron tasas de transición de uso y la cobertura del suelo menores a las de sus áreas periféricas y en 80% de las áreas protegidas, las tasas fueron menores que en sus ecorregiones.

Miranda et al. (2016), evaluaron las áreas protegidas en la Amazonía peruana a principios de la década de 2000 y encontraron que las áreas protegidas reducen la deforestación; afirmando así que son la piedra angular para preservar y conservar los bosques en los países en desarrollo y que se sabe poco sobre sus efectos en el cambio de la cubierta forestal o el estado socioeconómico de las comunidades locales. No obstante, (Sallustio et al., 2017), afirman que la conservación de especies y hábitats está cada vez más amenazada por los impactos antropogénicos, en particular el cambio de uso del suelo, desde escalas locales a globales.

Wang et al. (2022), analizaron el cambio de uso del suelo de un área de conservación ecológica al Oeste de Beijing (China); utilizando ArcGIS 10.2, índice de patrón de paisaje y múltiples estadísticas matemáticas para analizar la variación temporal y espacial del uso de la tierra desde 2000 hasta 2020. Los principales descubrimientos fueron: (i) De 2000 a 2020, el suelo de construcción creció constantemente, y el área de tierra cultivada y pastizales descendió significativamente; (ii) La predicción del uso del suelo en 2030 muestra que los bosques, pastizales y agua son aproximadamente iguales que en 2020, pero el suelo de construcción aumentará constantemente al ocupar suelos cultivados periféricas.

Cabral et al. (2018), evaluaron cuán efectivas son las áreas de protección para conservar el área forestal en la Amazonía Legal Brasileña. Para ello, compararon patrones de deforestación, fuera y dentro de las áreas de protección, mediante métricas de paisaje calculadas en Patch Analyst y V-LATE de un SIG. Así también, los niveles de fragmentación asociados a patrones de deforestación se evaluaron con un índice modelado utilizando un conjunto de métricas de paisaje no correlacionadas, y se analizaron las tendencias asociadas y los factores de cambio. Los resultados mostraron que hay una mayor fragmentación en ciertas áreas de protección localizadas en los estados de Mato Grosso y Pará, especialmente aquellas cercanas al “arco de deforestación”, y que las Tierras Indígenas Yanomami tienden a una mayor fragmentación. Algunas áreas de protección se encuentran en estado crítico.

Rosa-Velázquez et al. (2017), evaluaron la efectividad de un área de protección costera, estimando el cambio de uso de la tierra dentro y fuera de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla. Encontraron que la mayor pérdida fue en el bosque inundable (48%), la reducción fue similar dentro y alrededor de la reserva. La cobertura de vegetación nativa bajo protección disminuyó en un 65% durante 24 años; mientras que las tierras agrícolas y ganaderas se duplicaron, incluso dentro de las áreas centrales de conservación. Es así que, se concluye que, la gestión eficaz de la reserva se ha visto socavada por prácticas de gestión deficientes, capacidad y recursos limitados y un diseño de zonificación inadecuado.

Sánchez-Reyes et al. (2017), analizaron los cambios de uso y cobertura del suelo en el interior y exterior del Área Natural Protegida Altas Cumbres, al noreste de México, en los últimos 42 años. Utilizaron imágenes satelitales Landsat de 1973, 1986, 2000, 2005 y 2015 y se clasificaron en siete categorías mediante un análisis de segmentación y máxima verosimilitud. Luego, realizaron una tabulación cruzada para determinar el gradiente de sucesión. Como resultados obtuvieron que hacia el interior del área protegida se encontró una reducción significativa de la vegetación tropical y, en menor medida, de los bosques templados, así como un aumento de la cobertura de matorral desde 1973 hasta 2015. Además, hacia el interior del del área protegida, los procesos de perturbación y recuperación en su mayoría no fueron lineales, mientras que en el área exterior adyacente se evidenció la presencia de vegetación secundaria con distinto tiempo definido de sucesión. Los resultados indican la necesidad de evaluar las consecuencias de estas modificaciones en las especies.

Sahagún-Sánchez & Reyes-Hernández (2018), estimaron el impacto del cambio en la cobertura vegetal y el uso de suelo en las áreas naturales protegidas de la zona central de México, en la Sierra Madre Oriental. Se realizó una observación espacial pasada y una predicción de escenarios de cambio probable. Para esto, utilizaron imágenes de satélite en la elaboración de mapas de cambio en cubiertas vegetales, entre 1989, 2000 y 2005. También, se predijo un escenario de cambio al 2025 en base conjunto de variables biofísicas y socioeconómicas. Luego, la tasa de cambio de las coberturas vegetales se determinó en el periodo de estudio. Las tasas fueron 0.54%, 0.22% y 0.23% en selvas, bosques y matorrales, respectivamente, en la región central de la Sierra Madre Oriental; mientras que en las áreas naturales protegidas fue 0.60% y 0.34% para bosques y selvas, correspondientemente. Además, en este periodo se perdieron 1578.26 ha de selvas, bosques y matorrales, al interior de las áreas naturales protegidas. Es así que, de mantenerse las tendencias actuales de deforestación, otras 4542.17 ha estarán en riesgo de eliminarse en un futuro próximo.

En Amazonas, se calculó la dinámica espaciotemporal (1987–2018) de las transiciones de cubierta vegetal y usos antrópicos del suelo en la microcuenca del río El Tingo (provincia Luya), identificando que la expansión agrícola y ganadera migratoria a pequeña escala (beneficiada por la accesibilidad con nuevas carreteras, el asentamiento poblacional y el impulso de la actividad turística) fue la principal causa de la pérdida de bosques (Urquía, 2019). Resultados similares se obtuvieron en la evaluación multitemporal y predictiva del cambio de uso del suelo antrópico y pérdida de cubierta vegetal en la microcuenca del río Yuyac (provincia Chachapoyas) (Zumaeta, 2019). Además de estos estudios, se ha evaluado el distrito Leimebamba (Mendoza et al., 2017), distrito Florida (Salas et al., 2016), ACP Hierba Buena-Allpayacu y su área periférica (Delgado, 2018), ACP Tilacancha (Salas et al., 2018) y la provincia Rodríguez de Mendoza (Rojas-Briceño et al., 2019). Sin embargo, estos estudios no han incorporado/elaborado propuestas o estrategias para conservar, proteger y/o recuperar espacios deforestados.

No obstante, solo se encontraron dos estudios previos que evaluaron la efectividad de ACP para la contención de procesos de cambios de cobertura natural a uso antrópico. Delgado et al. (2021) evaluaron la efectividad de cuatro ACP (Hierba Buena-Allpayacku, Copallín, Tilacancha y Huaylla Belén-Colcamar) gestionadas por comunidades campesinas, aplicando el Índice de Efectividad Compuesto (efectividad del diseño, la integridad ecológica y la gestión). Los resultados mostraron sistemas de gestión con una efectividad media, tres de las cuatro ACP (Huaylla Belén-Colcamar, Tilacancha y Copallín) reportan un diseño efectivo, y la evaluación de la integridad ecológica indica que las ACP presentan menor superficie transformada (deforestada) internamente que, en sus áreas periféricas, esencialmente el ACP Tilacancha. Marín (2023) encontró que el ACP Abra Patricia–Alto Nieva (en Bongará) ha sido efectiva ecológicamente al contener procesos de cambios de cobertura y uso del suelo, después de su creación.

Esta investigación tuvo como objetivo general modelar la efectividad actual y futura del ACP Huiquilla – Amazonas, Perú. Para ello, los objetivos específicos establecidos fueron (a) mapear el uso y la cobertura del suelo del ACP Huiquilla y su área periférica en los años 1990, 2006 y 2022; (b) modelar el uso y la cobertura del suelo del ACP Huiquilla y su área periférica en los años 2038 y 2054; y (c) calcular el índice de efectividad del ACP Huiquilla para contener las tendencias de transición de cobertura natural y uso antrópico del suelo, durante el período 1990–2054.

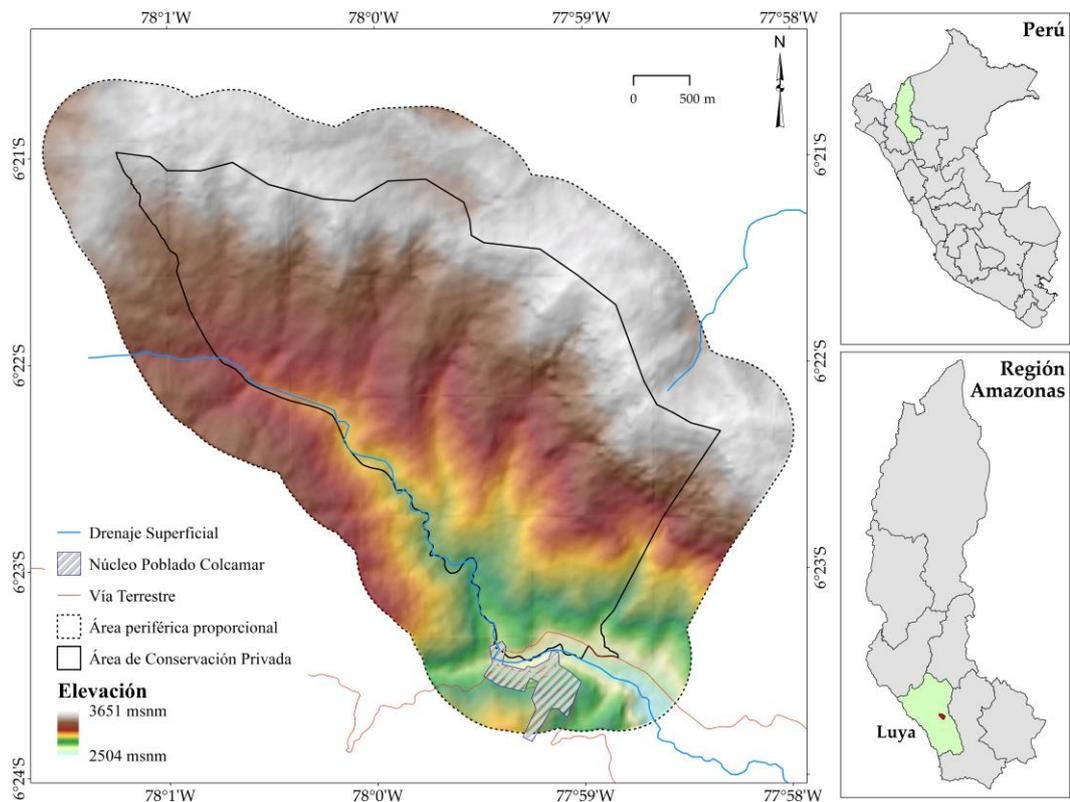
II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

El ACP Huiquilla es de las más antiguas de Amazonas, creada mediante R.M N° 1458-2006-AG. Esta se ubica en el km 17 de la carretera hacia el centro arqueológico Kuélap en el distrito de Longuita, provincia de Luya (Figura 1). Con una superficie de 1140.54 ha en conservación, 75% con bosque de neblina y 25% por pajonales (cobertura de jalca). Su rango altitudinal varía desde los 2500 a 3600 msnm. Debido a alta diversidad biológica y cultural presente, durante los últimos cinco años se inició la promoción activa de turistas resaltando la importancia de la implementación de estrategias de conservación como medio de verificación de la efectividad de las áreas de conservación. Para este estudio, el límite del ACP que se utilizó fue obtenido del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP, 2022).

Figura 1.

ACP Huiquilla en la provincia Luya (Amazonas, Perú)



2.2. Variables de estudio

El Índice de efectividad del ACP (variable dependiente) se calcula con cuatro parámetros (variables independientes), establecidos por Figueroa et al. (2011):

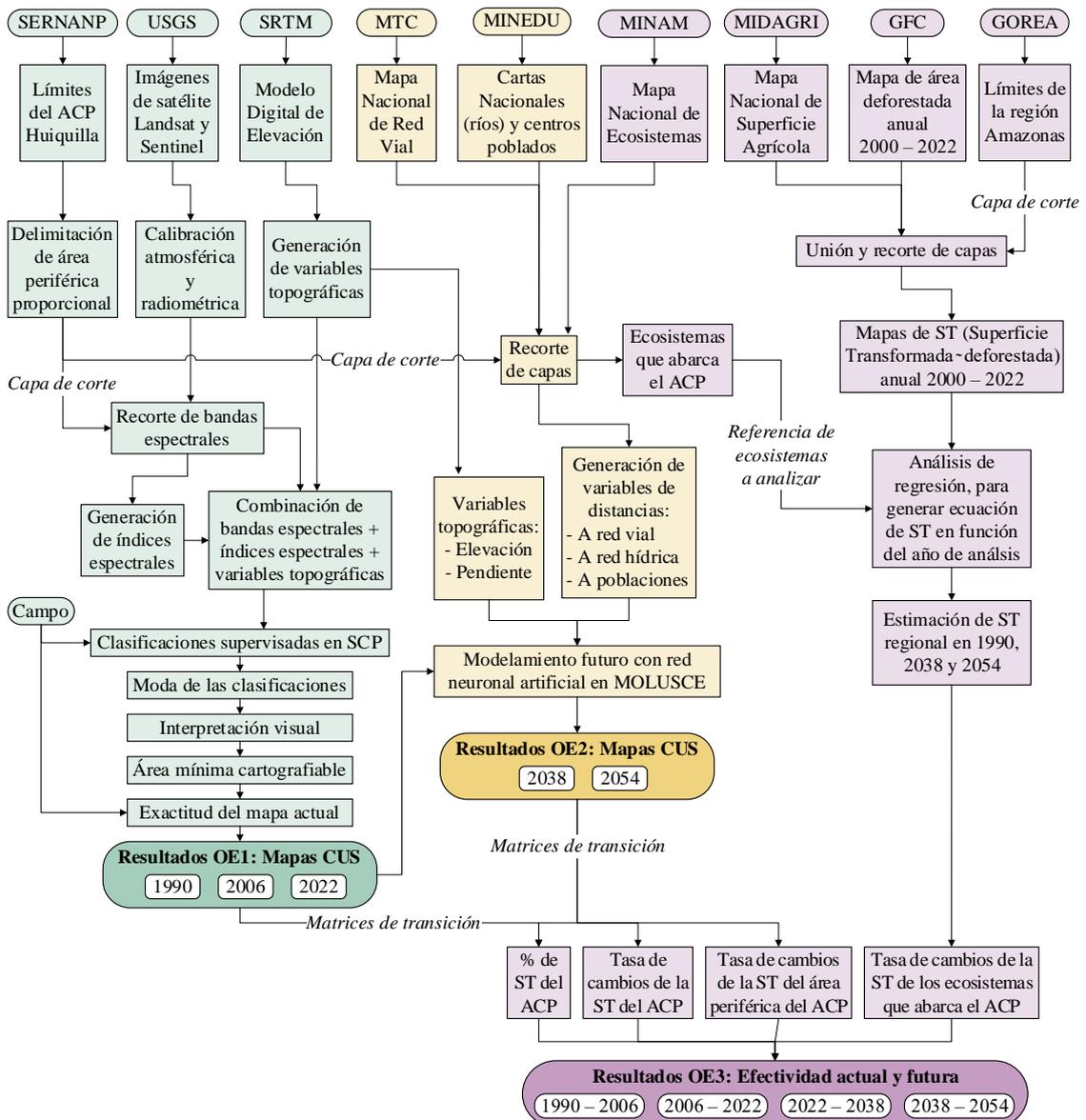
- Porcentaje de Superficie Transformada (deforestada) del ACP.
- Tasa de cambios de la Superficie Transformada del ACP.
- Tasa de cambios de la Superficie Transformada del área periférica del ACP.
- Tasa de cambios de la Superficie Transformada de los ecosistemas que abarca el ACP.

2.3. Secuencia metodológica

Para modelar la efectividad del ACP Huiquilla, se siguió la secuencia metodológica de la Figura 2. Las tres primeras variables, a nivel del ACP y su área periférica, fueron calculadas con mapeos CUS en los objetivos específicos OE1 (verde) y OE2 (amarillo). La cuarta variable, a nivel regional, fue calculada con información secundaria (OE3, morado).

Figura 2.

Secuencia metodológica por objetivo específico de la investigación



2.4. Mapeo de la cobertura y uso del suelo del suelo del ACP Huiquilla y su área periférica en los años 1990, 2006 y 2022

2.4.1. Delimitación de área periférica

De acuerdo a la metodología seguida en la investigación (Figuroa et al., 2011), el área de estudio incluyó un área periférica al ACP (Figura 1). Esta área periférica se delimitó considerando el criterio de Delgado (2018): delimitar un área proporcional al área del ACP para que se puedan realizar las comparaciones.

2.4.2. Búsqueda y tratamiento de imágenes de satélite

Se utilizaron imágenes multiespectrales (bandas visibles e infrarrojo) de los programas Landsat y Sentinel (Tabla 1), las cuales fueron obtenidas vía el servidor del USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos, <https://earthexplorer.usgs.gov/>) y los criterios de selección fueron: poseer un máximo de 10% de nubes y sombras en el área de estudio, no presentar errores ni distorsiones y haber sido tomadas en la misma época del año (Rojas-Briceño et al., 2019). Los años de análisis fueron 1990, 2006 y 2022, y se establecieron considerando como año central al año de creación del ACP (Figura 3).

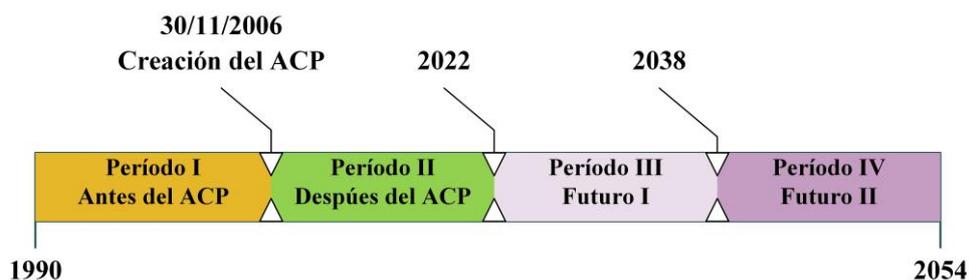
Tabla 1.

Imágenes de satélite filtradas

Día de adquisición	Satélite/Sensor	Path/Row	Bandas espectrales utilizadas	Resolución espacial
02/08/1990	Landsat 4 / Thematic Mapper (TM)	009/064	1, 2, 3, 4, 5, 7	30 m
15/10/2006	Landsat 5 / Thematic Mapper (TM)	009/064	1, 2, 3, 4, 5, 7	30 m
25/10/2022	Sentinel 2 / MultiSpectral Instrument (MSI)	17MRP	2, 3, 4, 8	10 m

Figura 3.

Establecimiento de años y períodos de evaluación



Cada banda espectral de las imágenes de satélite fue calibrada atmosférica y radiométricamente mediante el algoritmo de Substracción de Objetos Oscuros DOS1 (Chavez, 1988) dentro del complemento SCP (Semi-Automatic Classification Plugin), desarrollado por Congedo (2021) para QGIS.

2.4.3. Generación de imagen multibanda

Como estrategia para mejorar la exactitud de los algoritmos de categorización de imágenes, se categorizan imágenes multibanda que agrupan índices espectrales, variables de relieve (topografía) y edafoclimáticas (Tsai et al., 2018). Por ende, se generaron seis índices de vegetación y agua (Tabla 2), manipulando el álgebra de mapas con bandas espectrales. Estos índices se basaron en los empleados para cartografiar la cobertura y uso del suelo por Aguilar et al. (2018).

Tabla 2.

Índices espectrales, sus ecuaciones y citas

Nombre	Ecuación	Cita
Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)	$(NIR - R) / (NIR + R)$	Rouse et al. (1973)
Índice de hoja verde (GLI)	$(2 \times G - R - B) / (2 \times G + R + B)$	Louhaichi et al. (2001)
Índice de vegetación mejorado (EVI)	$2.5 \times (NIR - R) / (NIR + 6 \times R - 7.5 \times B + 1)$	Huete et al. (2002)
Índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI)	$(1 + L) \times (NIR - R) / (NIR + R + L)$ donde $L = 0.5$	Huete (1988)
Índice de agua de diferencia normalizada (NDWI)	$(G - NIR) / (G + NIR)$	Gao (1996)
Índice de vegetación resistente a la atmósfera (ARVI)	$(NIR - (2 \times R) + B) / (NIR + (2 \times R) + B)$	Kaufman & Tanre (1992)

Nota. Bandas espectrales: B=Azul, R=Roja, NIR=Infrarrojo cercano y G=Verde.

A partir del Modelo de Elevación Digital SRTM con 30 m de resolución espacial (Farr et al., 2007), se generaron variables topográficas: mapas de altitud, pendiente y aspecto (orientación). Posteriormente, las bandas espectrales corregidas, los índices espectrales y las variables topográficas, se combinaron para construir imágenes multibanda (Tsai et al., 2018). Sobre las imágenes multibanda se establecieron Puntos de Control Terrestre fotoidentificables en cruces de carreteras o curvas en U. Estos puntos fueron georreferenciados en campo con un receptor GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite). En gabinete, se llevó a cabo la

corrección geométrica mediante el uso de una transformación polinómica de segundo orden, interpolando con el vecino más cercano y garantizando un error cuadrático medio inferior a 0.15 (Chuvienco, 2016).

2.4.4. Categorización en CUS de la imagen multibanda

Mediante recorridos en campo se georreferenciaron 25 Áreas de Entrenamiento, para cada categoría de cobertura y uso del suelo en el ACP y su área periférica, con un receptor GNSS. Las categorías fueron determinadas utilizando la leyenda adaptada para Perú de CORINE Land Cover (MINAM, 2015) y el Mapa Nacional de Ecosistemas (MINAM, 2019). Posteriormente, se realizaron categorizaciones supervisadas utilizando tres algoritmos (Máxima Probabilidad, Mínima Distancia y Mapeo del Ángulo Espectral) del SCP (Congedo, 2021) de QGIS. Para generar un único mapa, se determinó la moda de cada pixel de las categorizaciones. Para mejorar la categorización moda, se compararon visualmente las imágenes con el mapa clasificado de cada año de análisis (FAO, 2001). Los polígonos correspondientes a la primera fecha de cada período de análisis se utilizaron como referencia para interpretar la imagen de la segunda fecha. En la segunda fecha, se realizaron modificaciones en los polígonos donde se identificaron cambios o errores en la categorización. Últimamente, se eliminaron los polígonos de todos los mapas que tenían un área menor a 1.56 hectáreas, con el objetivo de obtener un Área Mínima Cartografiable a una escala de 1:25 000. (IGAC, 1992).

2.4.5. Determinación de la precisión temática

La precisión temática se utiliza para validar los mapas de CUS y se fundamenta en tres etapas: cálculo del número de áreas de referencia, diseño del muestreo y análisis de datos (MINAM, 2014). El cálculo y justificación del número de áreas de referencia en 196 se realizó según Chuvienco (2016). Estas áreas de referencia se distribuyeron mediante un muestreo aleatorio sistemático no alineado estratificado en el mapa CUS correspondiente al último año de análisis (MINAM, 2014). Con el fin de evitar subestimar las áreas de referencia debido a las reducidas áreas relativas de algunas categorías de CUS, se estableció un mínimo de 10 áreas de referencia por cada categoría (Rojas et al., 2019). Las áreas de referencia restantes se distribuyeron proporcionalmente entre todas las categorías de CUS, según la proporción que representan en el área total. Se llevó a cabo la verificación de todas las áreas de referencia mediante salidas al campo. En casos donde la accesibilidad era difícil, se utilizó Google Earth y SAS Planet (Rojas-Briceño et al., 2019). Para

el análisis de los datos de verificación, se elaboró una matriz de confusión, como se muestra en la Tabla 3 (Chuvieco, 2016).

Tabla 3.

Matriz de confusión

Resultados del mapa	Resultados de áreas de referencia en campo				
	Categoría 1	Categoría 2	.....	Categoría n	Total
Categoría 1	Z ₁₁	Z ₁₂	....	Z _{1n}	Z ₁₊
Categoría 2	Z ₂₁	Z ₂₂	....	Z _{2n}	Z ₂₊
.....
Categoría n	Z _{n1}	Z _{n2}	....	Z _{nn}	Z _{n+}
Total	Z ₊₁	Z ₊₂	....	Z _{+n}	196
Exactitud producto	Z ₁₁ / Z ₊₁	Z ₂₂ / Z ₊₂	....	Z _{nn} / Z _{+n}	
Error omisión	1 - Z ₁₁ / Z ₊₁	1 - Z ₂₂ / Z ₊₂	....	1 - Z _{nn} / Z _{+n}	
Exactitud usuario	Z ₁₁ / Z ₁₊	Z ₂₂ / Z ₂₊	Z _{nn} / Z _{n+}	
Error comisión	1 - Z ₁₁ / Z ₁₊	1 - Z ₂₂ / Z ₂₊	1 - Z _{nn} / Z _{n+}	

Utilizando la matriz de confusión, se estimaron el error de omisión, el error de comisión, la exactitud del usuario y la exactitud del productor (Congalton, 1991). Asimismo, se estimaron la exactitud total mediante la Ecuación 1 y el Índice Kappa (k) mediante la Ecuación 2.

$$\text{Exactitud total} = \frac{\sum_{i=1}^r Z_{nn}}{n} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 1)}$$

$$\text{Índice Kappa, } k = \frac{n \sum_{i=1}^r Z_{nn} - \sum_{i=1}^r Z_{n+} Z_{+n}}{n^2 - \sum_{i=1}^r Z_{n+} Z_{+n}} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 2)}$$

Donde:

- r* cifra de columnas en la matriz (número de categorías CUS).
- n* 196, cifra general de áreas de verificación en campo.
- Z_{nn}* cifra de observaciones en la fila *n* y columna *n* (áreas de referencia donde concuerdan el mapa CUS con campo).
- Z_{+n}* y *Z_{n+}* total de marginal de columna *n* y fila *n*, respectivamente (total de áreas de referencia por cada categoría CUS).

El valor de kappa (k) se interpretó según los seis niveles de fuerza de concordancia entre el mapa CUS y los datos de campo (Landis & Koch, 1977). Estos niveles son los siguientes:

- 0.81–1.00: Casi perfecta
- 0.61–0.80: Considerable
- 0.41–0.60: Moderada
- 0.21–0.40: Aceptable
- 0.01–0.20: Leve
- < 0.01: Pobre

2.4.6. Elaboración de matrices de transiciones de CUS

Se superpusieron los mapas de CUS (1990, 2006 y 2022), de par en par, por período de análisis (1990 – 2006 y 2006 – 2022) y se elaboraron mapas de CCUS (Rojas-Briceño et al., 2019). Luego, con algebra de mapas se generaron matrices de transiciones para cuantificar los cambios internos entre las categorías de CUS (Pontius et al., 2004). Estas matrices, en el eje vertical y horizontal indican las categorías de CUS para la fecha 2 y fecha 1, respectivamente (Tabla 4). La diagonal (S_{ij}) representa la superficie de persistencia de la categoría de CUS durante el período de análisis, y las celdas restantes muestran la superficie que experimentó un CCUS. La suma de las áreas de cada categoría de CUS en la fecha 1 (S_{i+}) y fecha 2 (S_{+j}), son la columna y fila final, respectivamente.

Tabla 4.

Matriz de transiciones

Fecha 1	Fecha 2				Total fecha 1 (S_{i+})
	Categoría 1	Categoría 2	.....	Categoría j	
Categoría 1	S_{11}	S_{12}	.....	S_{1j}	S_{1+}
Categoría 2	S_{21}	S_{22}	.....	S_{2j}	S_{2+}
.....
Categoría i	S_{i1}	S_{i2}	.....	S_{ij}	S_{i+}
Total fecha 2 (S_{+j})	S_{+1}	S_{+2}	.....	S_{+j}	Área total

2.5. Modelamiento de la cobertura y uso del suelo del suelo del ACP Huiquilla y su área periférica en los años 2038 y 2054

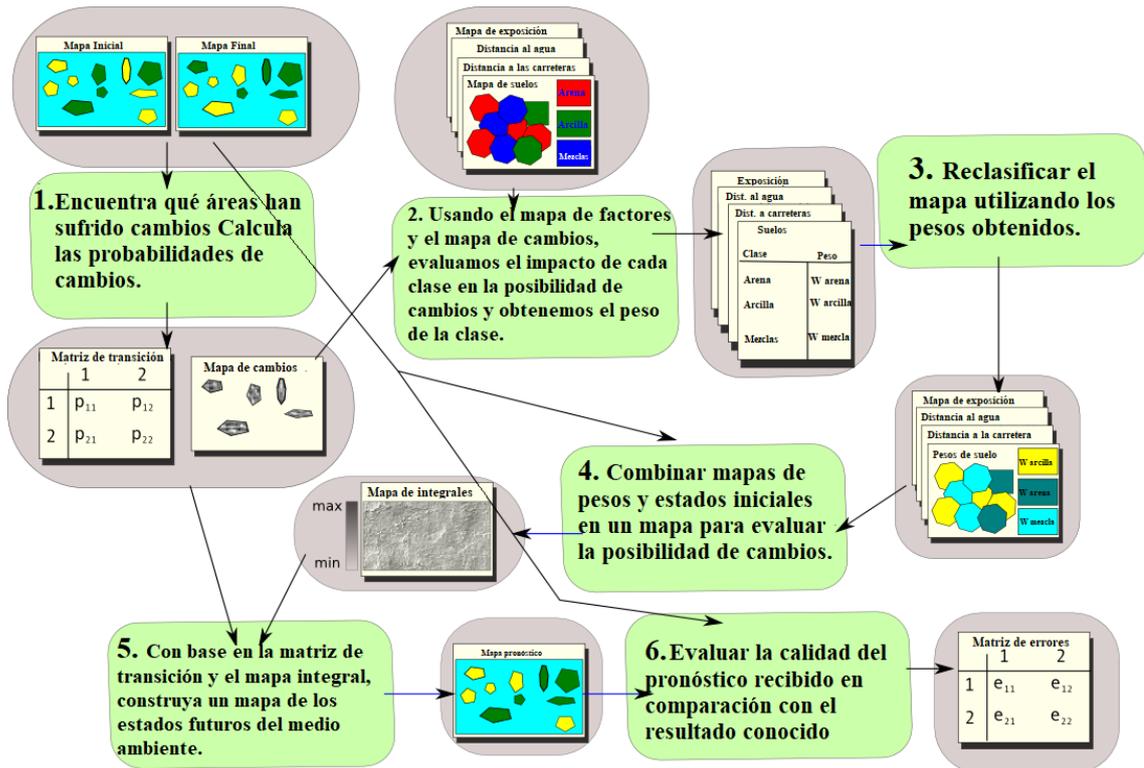
2.5.1. Esquema de modelamiento

El modelamiento de CUS futuro se realizó con MOLUSCE (Modules for Land Use Change Simulations, <https://github.com/nextgis/molusce>), un complemento de QGIS 2.18 desarrollado por Asia Air Survey (<http://www.asiaairsurvey.com>) y NextGIS (<http://nextgis.com>). MOLUSCE mide el porcentaje de cambio del suelo en un lapso de tiempo pasado (mapas CUS pasados); genera una matriz de probabilidades donde identifica el cambio de un uso o cobertura a otro; y según dichas probabilidades, junto a variables predictoras, pronostica el CUS futuro (Figura 4, Muhammad et al., 2022). Los algoritmos que utiliza MOLUSCE son la red neuronal artificial (RNA), evaluación de criterios múltiples, ponderaciones de evidencia y métodos de regresión logística (Alrubkhi, 2017). De estos, se usó la RNA, que es el algoritmo más especializado de MOLUSCE.

Los años futuros (2038 y 2054) se calcularon en función a los periodos pasados evaluados, cada 16 años (Figura 2). Para pronosticar la CUS 2038 se usaron los mapas CUS 2006 y 2022, y para la CUS 2054 se usaron los mapas CUS 2022 y CUS 2038 pronosticado. La configuración de la RNA dentro de MOLUSCE se explica en 2.5.3.

Figura 4.

Flujograma del modelamiento a futuro de la cobertura y uso del suelo del suelo



Nota. Adaptado de <https://gis-lab.info/qa/molusce-intro-ru.html>.

2.5.2. Variables predictoras

Las variables predictoras (Anexo 1, mapas de distancia a la red vial, distancia a la red hídrica, distancia a centros poblados, pendiente y altitud del terreno) son las que permitieron determinar aquellos posibles cambios futuros que va sufrir el ACP y su área periférica. Se utilizó la red vial (nacional–eje, departamental y vecinal) obtenida del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2022). La red vial se trabajó en dos periodos, vías antes de 2006 y vías antes de 2022. Para lo cual, las vías del MTC se editaron manualmente con ayuda de imágenes satelitales históricas de Google Earth Pro. Los ríos se extrajeron de las Cartas Nacionales (escala 1:100 000) del Instituto Geográfico Nacional (IGN), los que se descargaron del Ministerio de Educación (MINEDU, 2023). Los polígonos urbanos se extrajeron del mapa de uso

del suelo del objetivo anterior y los puntos de los centros poblados se descargaron del MINEDU (2023). Luego, las distancias a carreteras, ríos y poblaciones se calcularon utilizando la herramienta de Distancia Euclidiana. Los mapas de altitud y pendiente del terreno se generaron con el Modelo de Elevación Digital SRTM de 30 m de resolución espacial (Farr et al., 2007).

Para evitar la multicolinealidad, se seleccionaron las variables excluyendo una de dos variables altamente correlacionadas (Anexo 1), utilizando variables con correlación de Pearson ≤ 0.8 (Rojas-Briceño et al., 2022).

2.5.3. Validación del modelamiento

Para validación, MOLUSCE genera un Índice Kappa (k) interno del modelamiento, pero también se puede hacer validación externa con mapas de referencia (Muhammad et al., 2022). Entonces, se ensayó la confiabilidad de la configuración de la RNA, generando un mapa CUS 2022 pronosticado, con los mapas CUS 1990 y 2006. En el proceso de aprendizaje de la RNA se eligieron 100 iteraciones y un valor de vecindad de 3×3 píxeles, una tasa de aprendizaje de 0.001, 12 capas ocultas y 0.05 de impulso para proyectar la CUS para 2022 (Anexo 2, Muhammad et al., 2022). Luego, se comparó con el mapa CUS 2022 generado en la etapa anterior, y se encontró un k de 0.96 (Anexo 2). Por tanto, se usó esta configuración para los modelamientos futuros de 2038 y 2054.

2.6. Estimación del índice de efectividad del ACP Huiquilla para contener las tasas de transición de uso y cobertura del suelo en el período 1990 – 2054

2.6.1. Parámetros del índice de efectividad

Se estimó el índice de efectividad para el ACP con valores de cuatro parámetros, establecidos por Figueroa et al. (2011): (i) el porcentaje ocupado por la Superficie Transformada (ST= categoría de cobertura y uso del suelo no naturales) inicial dentro del ACP; (ii) la tasa de cambios en el ACP en el período de análisis; (iii) la diferencia entre la tasa de cambios en el ACP y la observada en su área periférica; y (iv) la diferencia entre la tasa de cambio del ACP y la observada en su ecosistema (a nivel regional). Los parámetros i y ii se estandarizaron a valores entre 0 y 1, considerando para ello los valores mínimos y máximos de todos los polígonos estudiados. Por su parte, los parámetros iii y iv adoptaron valores de 0 o 1: 0 cuando el ACP presenta un aumento en la ST mayor que en su área periférica; en caso

inverso, adoptó un valor de 1. Por tanto, el índice está comprendido entre 0 y 4, cercano a 0 es baja efectividad y cercano a 4 es alta efectividad.

2.6.2. Tasas de transición

Las tasas de transición (β) promedio anual de las ST entre los períodos 1990–2006, 2006–2022, 2022–2038 y 2038–2054 se calcularon a partir de la ST inicial (ST_1), ST final (ST_2), superficie total del ACP (S_T) y los años del período de análisis (T) (Sánchez-Cordero & Figueroa, 2007):

$$\text{Tasa de transición } (\beta) = \frac{\frac{ST_2 - ST_1}{S_T}}{T} \times 100 \dots\dots\dots \text{(Ecuación 3)}$$

2.6.3. Superficie transformada de ecosistemas

Se recortó el Mapa Nacional de Ecosistemas (MINAM, 2019) y se calcularon las áreas (en ha y %) de cada ecosistema que presenta el ACP (Anexo 3). Entonces, para el cuarto parámetro del índice de efectividad, se requirió la ST dentro de estos ecosistemas a nivel de la región Amazonas. Para lo cual, se manejaron datos de Global Forest Change (GFC) recortados a nivel regional. GFC es una plataforma elaborada en Google Earth Engine (<https://glad.earthengine.app/view/global-forest-change>) que presenta datos de deforestación anual (2001–2021) trabajados por Hansen et al. (2013) (Anexo 4). Además, para mejorar la precisión del área ST del último año (2022), se acopló la información de GFC con el mapa Superficie Agrícola Nacional (SAN) del Perú (MIDAGRI, 2020). Esta integración fue realizada debido a que estas áreas están categorizadas como no bosque (Anexo 4).

Luego, se realizó un análisis de regresión lineal simple utilizando los datos anuales de GFC+SAN de 2001 a 2021 (Anexo 5), con la finalidad de obtener una ecuación que permita estimar la ST en los años 1990, 2038 y 2054 a nivel regional. Se estimaron dichas ST y se estimaron las tasas de transición (β) promedio anual de las ST entre los períodos 1990–2006, 2006–2022, 2022–2038 y 2038–2054.

III. RESULTADOS

3.1. Cobertura y uso de suelo en el ACP Huiquilla y su área periférica en los años 1990, 2006 y 2022

3.1.1. Precisión de la categorización 2022

La evaluación de la exactitud temática para el mapa categorizado de CUS de 2022 se muestra en la Tabla 5. La precisión global de 92.3% y el índice Kappa de 0.84 indican un nivel de concordancia casi perfecto entre el mapa CUS y las áreas de referencias recorridas en campo. La categoría Bosque (BO) presenta las mayores exactitudes (>95%), tanto de productor como de usuario. Las precisiones inferiores al 86% de las demás categorías es ocasionada por el reducido número de áreas de referencia (<15/196 áreas) con respecto a la categoría BO que tuvo 140/196 áreas. La categoría Vegetación arbustiva/herbácea (VAH), tuvo la menor exactitud de productor (75%) y Urbano/vial (UV) tuvo la menor exactitud de usuario (78.6%).

Tabla 5.

Matriz de confusión para el mapa de CUS del año 2022

Resultados del mapa	Resultados de áreas de referencia en campo					
	BO	HPH	PC	VAH	UV	Total
BO: Bosque	135	1	1	2	1	140
HPH: Herbazal/pajonal húmedo	0	12	1	0	1	14
PC: Pasto/cultivo	1	0	11	1	0	13
VAH: Vegetación arbustiva/herbácea	1	1	0	12	1	15
UV: Urbano/vial	1	1	0	1	11	14
Total	138	15	13	16	14	196
Exactitud de productor (%)	97.8	80.0	84.6	75.0	78.6	
Error de omisión (%)	2.2	2.0	15.4	25.0	21.4	
Exactitud de usuario (%)	96.4	85.7	84.6	80.0	78.6	
Error de comisión (%)	3.6	14.3	15.4	20.0	21.4	

3.1.2. Mapas de cobertura y uso de suelo en 1990, 2006 y 2022

Los mapas de CUS del ACP Huiquilla para 1990, 2006 y 2022 se indican en la Figura 5. De las cinco categorías de CUS mapeadas, la cobertura Bosque (BO) abarca >74% y >32% del ACP Huiquilla y en su área periférica, respectivamente, en los 32 años de análisis (Tabla 6). En todos los años de análisis, las superficies de Herbazal/pajonal húmedo (HPH), Pasto/cultivo (PC), Vegetación arbustiva/herbácea (VAH), y Urbano/vial (UV) fueron mayores en el área periférica, con respecto al ACP Huiquilla.

Figura 5.

Mapas de cobertura y uso de suelo en el ACP Huiquilla, 1990, 2006 y 2022

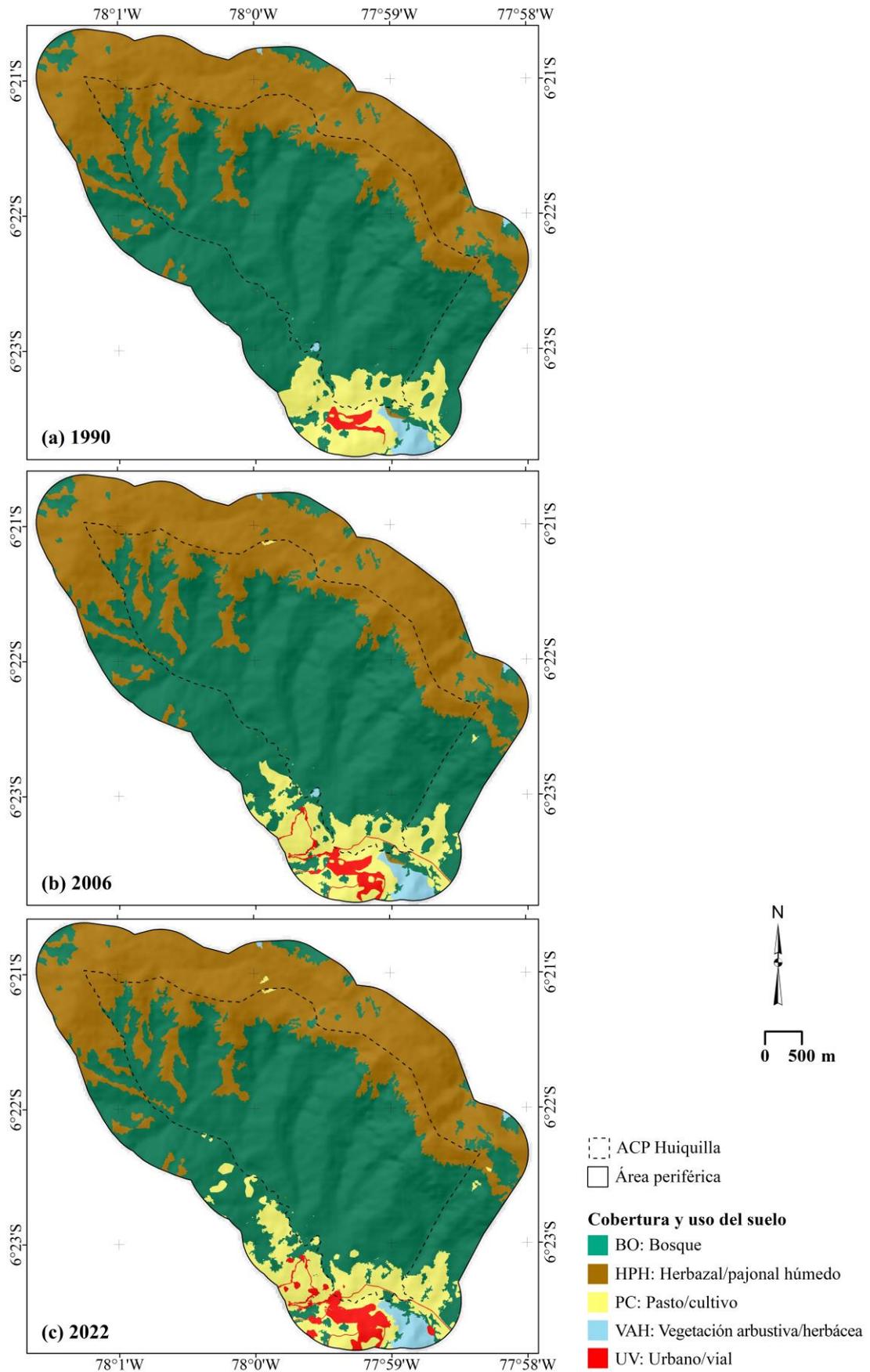


Tabla 6.

Cobertura y uso del suelo en el ACP Huiquilla y su Área Periférica (AP), en 1990, 2006 y 2022

Área	CUS	1990		2006		2022		1990 – 2006	2006 – 2022
		ha	%	ha	%	ha	%	Δ ha	Δ ha
ACP	BO	860.28	75.39	854.09	74.85	850.93	74.57	-6.19	-3.16
	HPH	249.62	21.88	249.01	21.82	249.01	21.82	-0.61	0.00
	PC	31.14	2.73	36.82	3.23	39.19	3.43	5.68	2.37
	VAH	0.05	<0.01	0.05	<0.01	0.00	0.00	0.00	-0.05
	UV	0.00	0.00	1.12	0.10	1.95	0.17	1.12	0.83
	Total	1141.09	100	1141.09	100	1141.09	100		
AP	BO	444.69	37.69	410.20	34.77	383.32	32.49	-34.49	-26.88
	HPH	575.32	48.77	575.31	48.77	573.63	48.62	-0.01	-1.68
	PC	123.80	10.49	142.75	12.10	155.95	13.22	18.96	13.20
	VAH	23.82	2.02	23.82	2.02	24.81	2.10	0.00	0.99
	UV	12.10	1.03	27.64	2.34	42.02	3.56	15.54	14.38
	Total	1179.73	100	1179.73	100	1179.73	100		

Dentro del ACP Huiquilla, durante 1990 – 2006, la superficie de Bosque (BO) se redujo en -6.19 ha, y para 2006 – 2022, la reducción pasó a -3.16 ha (Tabla 6). La reducción de BO en el área periférica fue de -34.49 ha y -26.88 ha, en dichos períodos. Estas pérdidas, se corresponden con las ganancias de los usos Pasto/cultivo (PC) y Urbano/vial (UV). Dentro del ACP Huiquilla, el aumento de PC fue 5.68 ha y 2.37 ha, durante los períodos 1990 – 2006 y 2006 – 2022, respectivamente. El PC aumentó en mayor proporción en el área periférica, con respecto al ACP Huiquilla, siendo 18.96 ha y 13.20 ha, en los períodos I y II, respectivamente. Así también, la extensión de UV aumentó 1.12 ha y 0.83 ha, dentro del ACP, y 15.54 ha y 14.38 ha, en la periferia del ACP. Las demás categorías no presentaron cambios significativos.

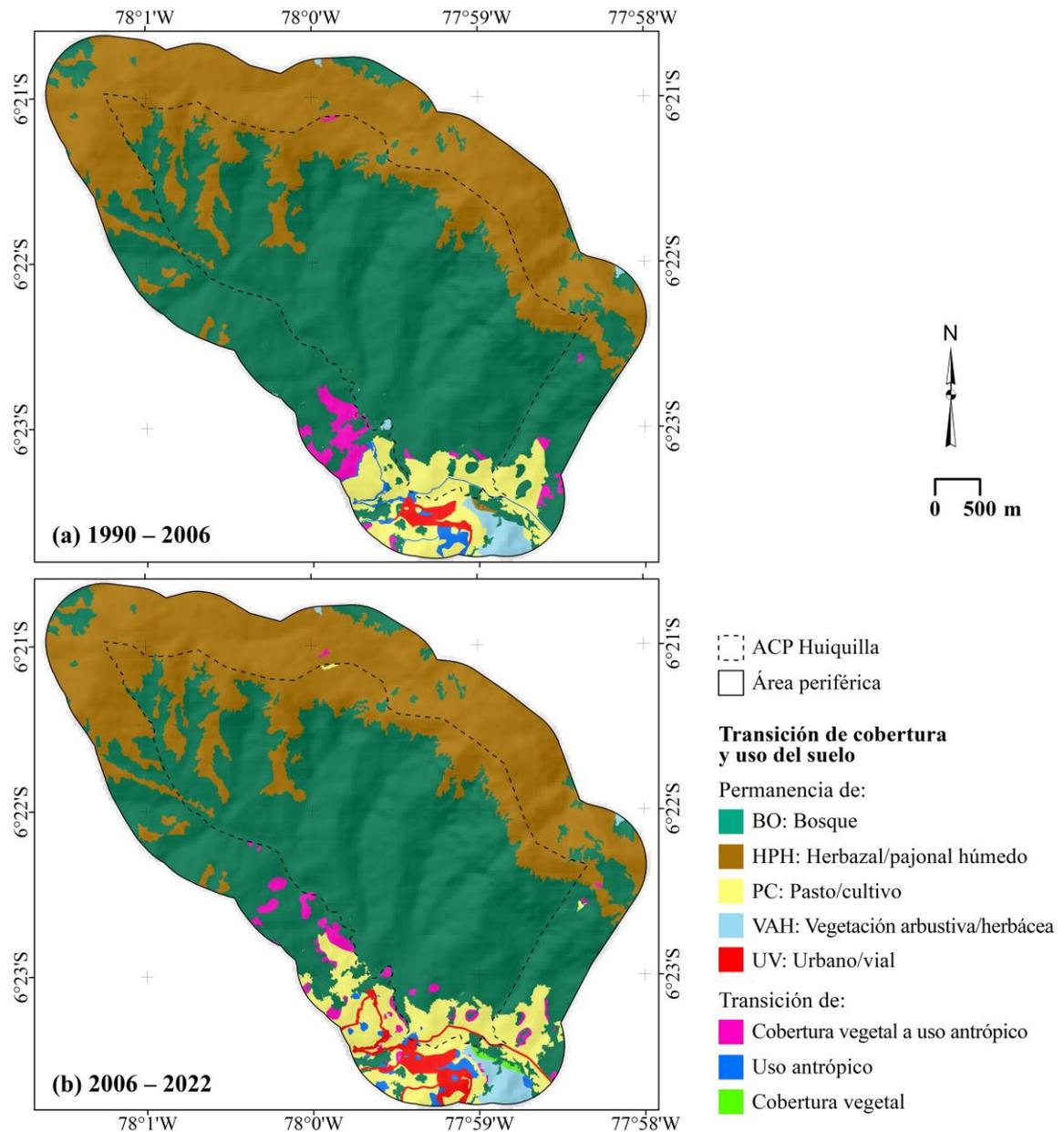
3.1.3. Transición de cobertura y uso de suelo en 1990 – 2006

La Figura 6 muestra la transición de la cobertura y uso del suelo en el ACP Huiquilla y su Área Periférica en los períodos 1990 – 2006 y 2006 – 2022. En el período 1990 – 2006, las tasas de transición (β) positiva lo tuvieron Pasto/cultivo (PC) y Urbano/vial (UV), y fueron mayores en el área periférica (0.100 y 0.082) que dentro del ACP Huiquilla (0.031 y 0.006) (Tabla 7). La categoría Bosque (BO) presentó

tasa de transición (β) negativa de -0.034 dentro del ACP y de -0.183 en su área periférica. La transición de BO fue principalmente a PC.

Figura 6.

Transición de la cobertura y uso del suelo en el ACP Huiquilla y su Área Periférica en los períodos 1990 – 2006 y 2006 – 2022



3.1.4. Transición de cobertura y uso de suelo en 2006 – 2022

En el período 1990 – 2006, después de la creación del ACP, las tasas de transición (β) positiva lo tuvieron Pasto/cultivo (PC) y Urbano/vial (UV), y fueron mayores en el área periférica (0.070 y 0.076) que dentro del ACP Huiquilla (0.013 y 0.005) (Tabla 8). La categoría Bosque (BO) presentó tasa de transición (β) negativa de -

0.017 dentro del ACP y de -0.142 en su área periférica. La transición de BO fue principalmente a PC, y PC se transformó en UV.

Tabla 7.

Transición (en ha y tasa β) de la cobertura y uso del suelo en el ACP Huiquilla y su Área Periférica (AP), 1990 – 2006

Área	1990 (ha)	2006 (ha)					Total 1990	Tasa de transición (β)
		BO	HPH	PC	VAH	UV		
ACP	BO	854.09	–	6.19	–	–	860.28	-0.034
	HPH	–	249.01	0.61	–	–	249.62	-0.003
	PC	–	–	30.02	–	1.12	31.14	0.031
	VAH	–	–	–	0.05	–	0.05	0.000
	UV	–	–	–	–	0.00	0.00	0.006
	Total 2006	854.09	249.01	36.82	0.05	1.12	1141.09	
AP	BO	410.20	–	34.49	–	–	444.69	-0.183
	HPH	–	575.31	0.01	–	–	575.32	0.000
	PC	–	–	108.25	–	15.54	123.80	0.100
	VAH	–	–	–	23.82	–	23.82	0.000
	UV	–	–	–	–	12.10	12.10	0.082
	Total 2006	410.20	575.31	142.75	23.82	27.64	1179.73	

Tabla 8.

Transición (en ha y tasa β) de la cobertura y uso del suelo en el ACP Huiquilla y su Área Periférica (AP), 2006 – 2022

Área	2006 (ha)	2022 (ha)					Total 1990	Tasa de transición (β)
		BO	HPH	PC	VAH	UV		
ACP	BO	850.93	–	3.16	–	–	854.09	-0.017
	HPH	–	249.01	–	–	–	249.01	0.000
	PC	–	–	35.99	–	0.83	36.82	0.013
	VAH	–	–	0.05	0.00	–	0.05	0.000
	UV	–	–	–	–	1.12	1.12	0.005
	Total 2006	850.93	249.01	39.19	0.00	1.95	1141.09	
AP	BO	383.32	–	24.44	1.22	1.23	410.20	-0.142
	HPH	–	573.63	0.31	1.38	–	575.31	-0.009
	PC	–	–	129.60	–	13.15	142.75	0.070
	VAH	–	–	1.60	22.22	–	23.82	0.005
	UV	–	–	–	–	27.64	27.64	0.076
	Total 2006	383.32	573.63	155.95	24.81	42.02	1179.73	

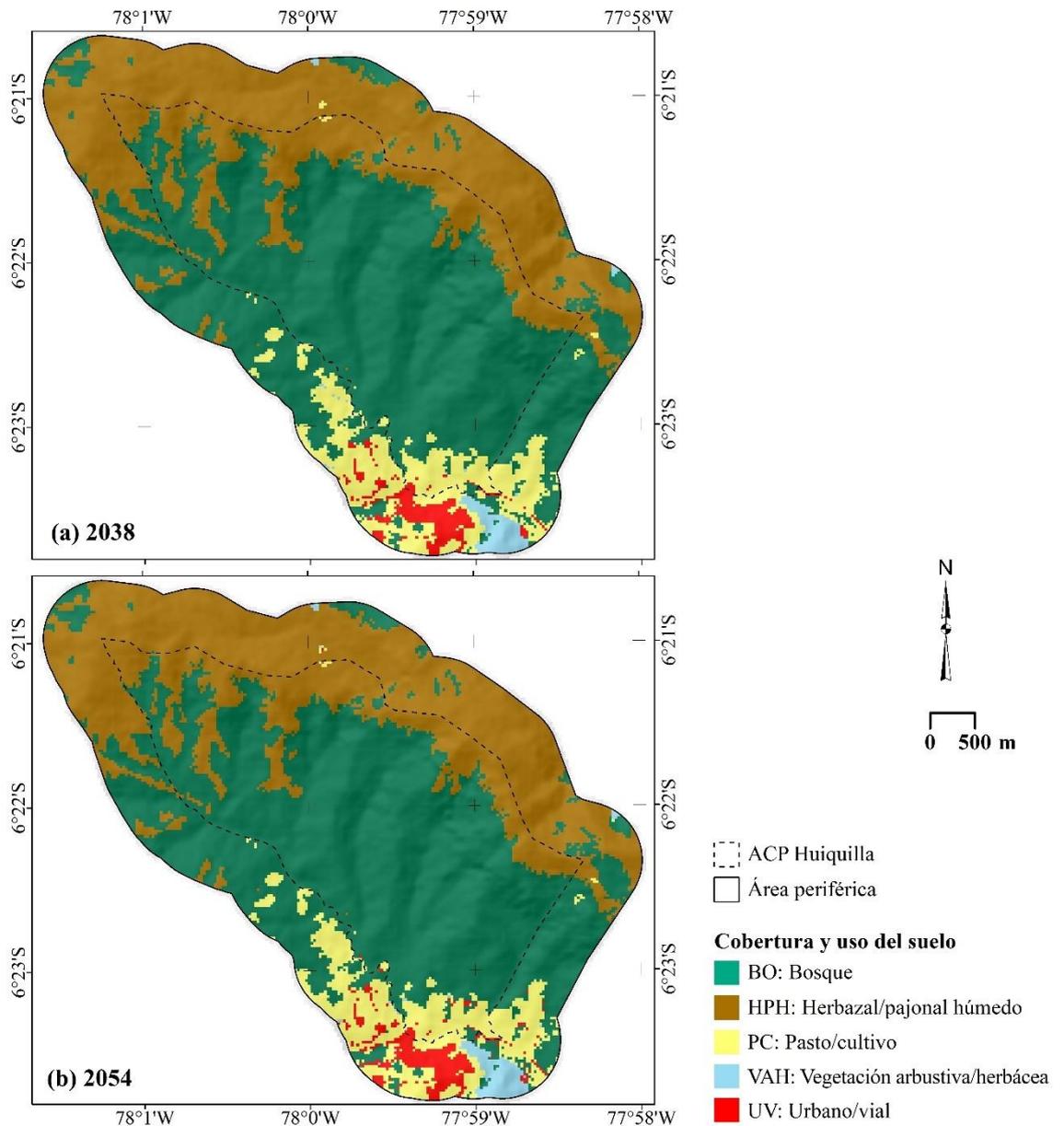
3.2. Cobertura y uso de suelo en el ACP Huiquilla y su área periférica en 2038 y 2054

3.2.1. Mapas de cobertura y uso de suelo en 2038 y 2054

Los mapas de CUS del ACP Huiquilla para 2038 y 2054 se muestran en la Figura 7. De las cinco categorías de CUS proyectadas, se estima que la cobertura Bosque (BO) cubrirá $>74\%$ y $>29\%$ del ACP Huiquilla y en su área periférica, respectivamente, en los 32 años futuros de análisis (Tabla 9). En todos los años de análisis, las superficies de Herbazal/pajonal húmedo (HPH), Pasto/cultivo (PC), Vegetación arbustiva/herbácea (VAH), y Urbano/vial (UV) fueron mayores en el área periférica, con respecto al ACP Huiquilla.

Figura 7.

Mapas de cobertura y uso de suelo en el ACP Huiquilla, 2038 y 2054



Dentro del ACP Huiquilla, durante 2022 – 2038, se estima que la superficie de Bosque (BO) se reducirá en -2.36 ha, y para 2038 – 2054, la reducción será -1.57 ha (Tabla 9). La reducción de BO en el área periférica será de -15.47 ha y -18.66 ha, en dichos períodos. Dentro del ACP Huiquilla, el aumento de PC estimado será 1.78 ha y 0.56 ha, durante los períodos 2022 – 2038 y 2038 – 2054, respectivamente. El PC aumentará en mayor proporción en el área periférica, con respecto al ACP Huiquilla, siendo 15.02 ha y 16.84 ha, en los períodos I y II, respectivamente. Así también, la extensión de UV aumentará 0.04 ha y 0.92 ha, dentro del ACP, y 0.32 ha y 1.32 ha, en la periferia del ACP.

Tabla 9.

Cobertura y uso del suelo en el ACP Huiquilla y su Área Periférica (AP), en 2022, 2038 y 2054

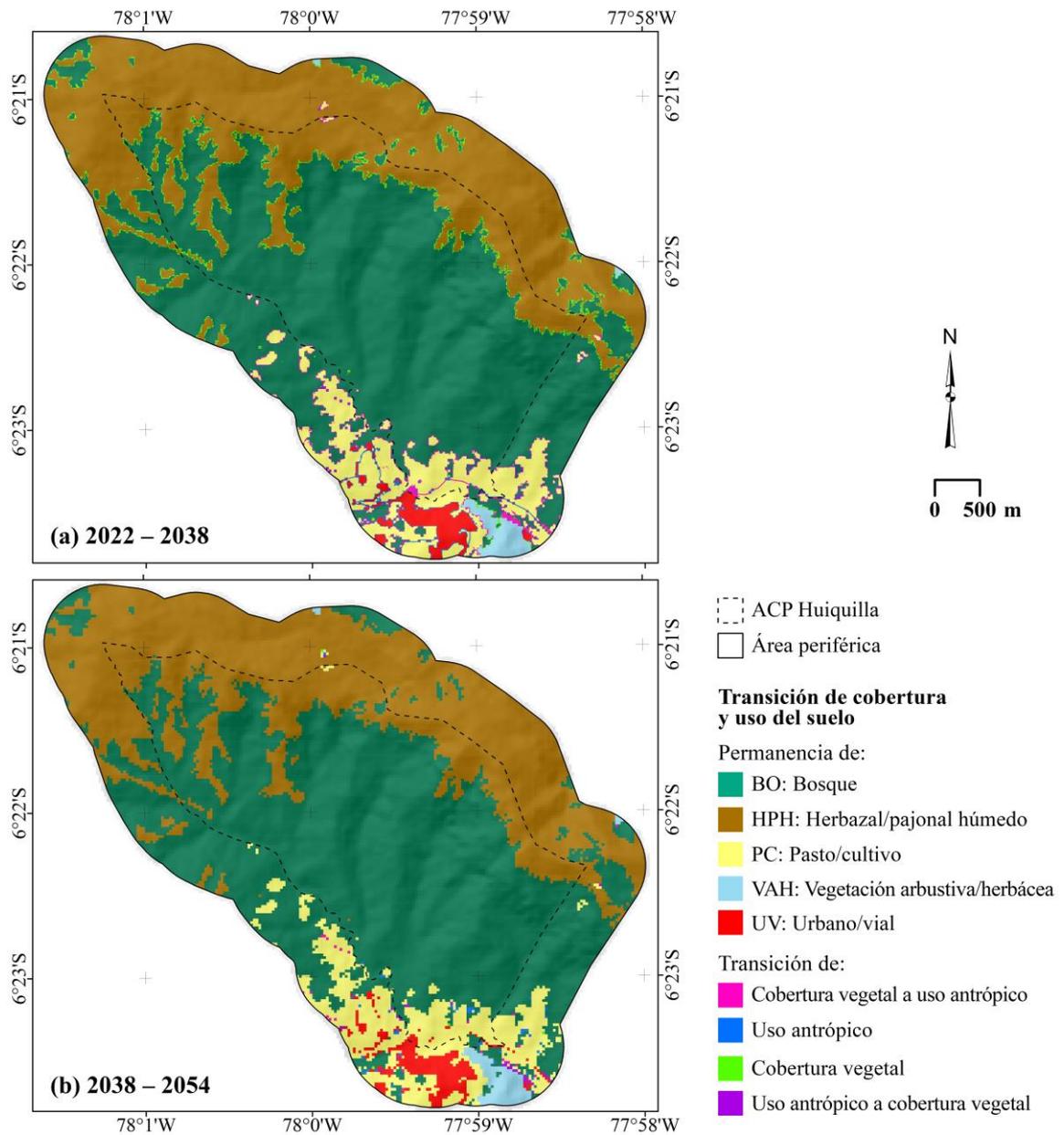
Área	CUS	2022		2038		2054		2022 –	2038 –
		ha	%	ha	%	ha	%	2038 Δ ha	2054 Δ ha
ACP	BO	850.93	74.57	848.57	74.36	847.00	74.23	-2.36	-1.57
	HPH	249.01	21.82	249.38	21.85	249.38	21.85	0.37	0.00
	PC	39.19	3.43	40.97	3.59	41.53	3.64	1.78	0.56
	VAH	0.00	0.00	0.18	0.02	0.27	0.02	0.18	0.09
	UV	1.95	0.17	1.99	0.17	2.91	0.26	0.04	0.92
	Total	1141.09	100	1141.09	100	1141.09	100		
AP	BO	383.32	32.49	367.85	31.18	349.19	29.60	-15.47	-18.66
	HPH	573.63	48.62	573.47	48.61	573.56	48.62	-0.16	0.09
	PC	155.95	13.22	170.97	14.49	187.81	15.92	15.02	16.84
	VAH	24.81	2.10	25.10	2.13	25.49	2.16	0.29	0.39
	UV	42.02	3.56	42.34	3.59	43.66	3.70	0.32	1.32
	Total	1179.73	100	1179.73	100	1179.73	100		

3.2.2. Transición de cobertura y uso de suelo en 2022 – 2038

La Figura 8 muestra la transición de la cobertura y uso del suelo en el ACP Huiquilla y su Área Periférica en los períodos 2022 – 2038 y 2038 – 2054. En el período 2022 – 2038, las tasas de transición (β) positiva lo tendrán Pasto/cultivo (PC) y Urbano/vial (UV), y serán mayores en el área periférica (0.080 y 0.002) que dentro del ACP Huiquilla (0.010 y 0.0002) (Tabla 6). La categoría Bosque (BO) presentará tasa de transición (β) negativa de -0.013 dentro del ACP y de -0.082 en su área periférica. La transición de BO será principalmente a PC, dentro y fuera del ACP.

Figura 8.

Transición de la cobertura y uso del suelo en el ACP Huiquilla y su Área Periférica en los períodos 2022 – 2038 y 2038 – 2054



3.2.3. Transición de cobertura y uso de suelo en 2038 – 2054

En el período 2038 – 2054, las tasas de transición (β) positiva estimadas la tendrán Pasto/cultivo (PC) y Urbano/vial (UV), y serán mayores en el área periférica (0.089 y 0.007) que dentro del ACP Huiquilla (0.003 y 0.005) (Tabla 10). La categoría Bosque (BO) presentará tasa de transición (β) negativa de -0.009 dentro del ACP y de -0.099 en su área periférica. La transición de BO será principalmente a PC, y de PC se transformará en UV.

Tabla 10.

Transición (en ha y tasa β) de la cobertura y uso del suelo en el ACP Huiquilla y su Área Periférica (AP), 2022 – 2038

Área	2022 (ha)	2038 (ha)					Total 1990	Tasa de transición (β)
		BO	HPH	PC	VAH	UV		
ACP	BO	834.32	12.44	4.06	0.08	0.03	850.93	-0.013
	HPH	12.15	236.70	0.15	–	–	249.01	0.002
	PC	2.07	0.23	36.05	0.10	0.74	39.19	0.010
	VAH	–	–	–	0.00	–	0.00	0.001
	UV	0.03	–	0.70	–	1.22	1.95	0.0002
	Total 2006	848.57	249.38	40.97	0.18	1.99	1141.09	
AP	BO	349.12	9.72	22.24	0.87	1.37	383.32	-0.082
	HPH	9.70	563.50	0.29	0.14	–	573.63	-0.001
	PC	8.07	0.18	141.69	1.31	4.70	155.95	0.080
	VAH	0.56	0.08	1.44	22.67	0.06	24.81	0.002
	UV	0.39	–	5.32	0.10	36.21	42.02	0.002
	Total 2006	367.85	573.47	170.97	25.10	42.34	1179.73	

Tabla 11.

Transición (en ha y tasa β) de la cobertura y uso del suelo en el ACP Huiquilla y su Área Periférica (AP), 2038 – 2054

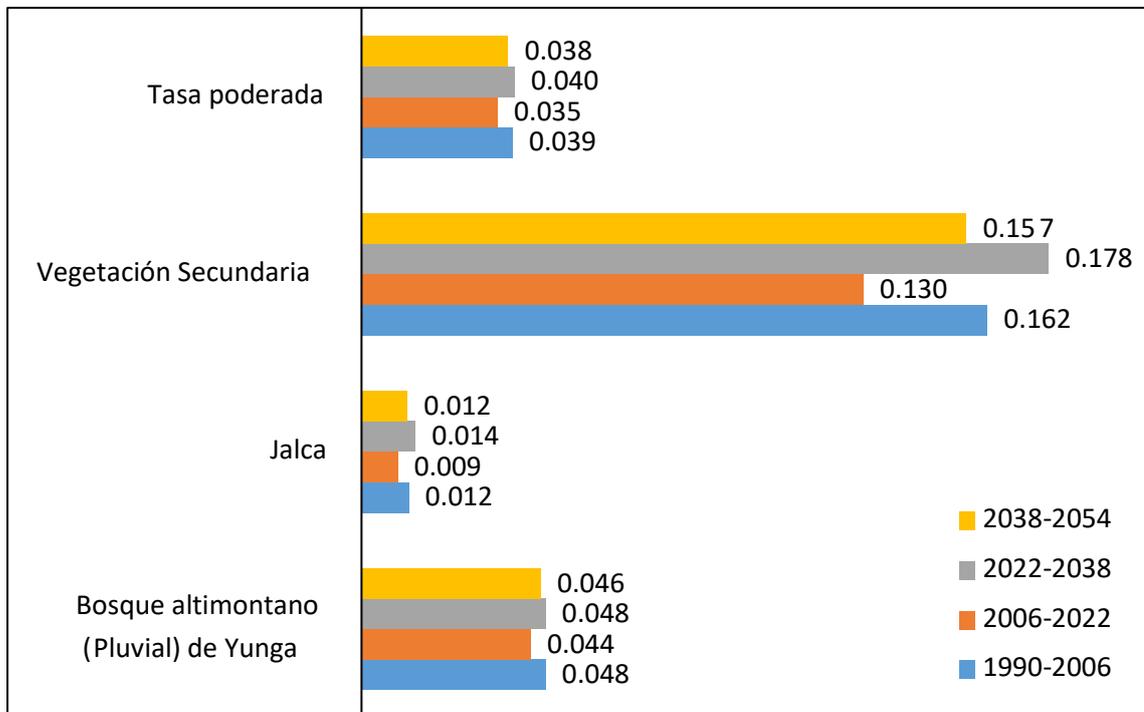
Área	2038 (ha)	2054 (ha)					Total 1990	Tasa de transición (β)
		BO	HPH	PC	VAH	UV		
ACP	BO	846.91	–	1.66	–	–	848.57	-0.009
	HPH	–	249.38	–	–	–	249.38	0.000
	PC	–	–	39.78	0.27	0.92	40.97	0.003
	VAH	0.09	–	0.09	0.00	–	0.18	0.000
	UV	–	–	–	–	1.99	1.99	0.005
	Total 2006	847.00	249.38	41.53	0.27	2.91	1141.09	
AP	BO	348.13	–	19.63	0.09	–	367.85	-0.099
	HPH	–	573.38	–	0.09	–	573.47	0.000
	PC	0.97	0.18	165.79	1.17	2.86	170.97	0.089
	VAH	0.09	–	1.22	23.79	–	25.10	0.002
	UV	–	–	1.18	0.36	40.80	42.34	0.007
	Total 2006	349.19	573.56	187.82	25.49	43.66	1179.73	

3.3. Índices de efectividad

El ACP Huiquilla se corresponde con tres ecosistemas, principalmente Bosque altimontano (Pluvial) de Yunga (72.42%), seguido de Jalca (26.80%) y Vegetación secundaria (0.78%). Las tasas de transición (β) regional estimadas, para estos ecosistemas, se muestran en la Figura 8 y Anexo 4. En promedio, el Bosque

altimontano (Pluvial) de Yunga, la Jalca y Vegetación secundaria tuvieron β de 0.046, 0.012 y 0.157, respectivamente. Las tasas de cambios regional ponderadas variaron entre 0.038 (período 2038 – 2054) y 0.040 (período 2022 – 2038).

Figura 9. Tasas de cambio a nivel regional de los ecosistemas que abarca el ACP Huiquilla



A continuación, la Tabla 12 muestra los dos primeros parámetros para necesarios para calcular el índice de efectividad, estos son: el porcentaje de Superficie Transformada (ST), el cual fue mayor en el área periférica que dentro del ACP, en todos los períodos de análisis, por otra parte, las tasas de transición (β), quienes disminuyeron tanto en el ACP como en su área periférica, pero en el ACP lo hizo con mayor intensidad.

Tabla 12.

Superficie transformada (ST) y tasas de transición (β) de las ST, en el ACP Huiquilla y su Área Periférica (AP)

Área de análisis	ACP	AP
ST 1990 (ha, %)	35.14 ha, 3.08%,	135.89 ha, 11.52%
ST 2006 (ha, %)	37.94 ha, 3.32%,	170.40 ha, 14.44%
ST 2022 (ha, %)	41.14 ha, 3.61%,	197.97 ha, 16.78%
ST 2038 (ha, %)	40.96 ha, 3.59%	198.30 ha, 16.81%
ST 2054 (ha, %)	40.78 ha, 3.57%	197.47 ha, 16.74%
β de ST 1990 – 2006	0.037	0.183
β de ST 2006 – 2022	0.018	0.146
β de ST 2022 – 2038	0.010	0.081
β de ST 2038 – 2054	0.008	0.096

Por su parte, la Tabla 13 muestra los dos parámetros restantes para determinar el índice de efectividad. Todas las diferencias de tasas del ACP y AP resultaron negativas, por ende, adoptaron el valor de 1 en el parámetro estandarizado. Esto implica que el ACP presenta una tasa de transición menor que el de su área circundante, en todos los años de análisis.

Esta condición se repite (diferencia de tasas negativas) al comparar las tasas de transición del ACP con la tasa de transición regional (β ECO) que sufren los ecosistemas que protege, lo cual el parámetro estandarizado también adoptó el valor de 1.

Tabla 13.

Diferencia entre la tasa de transición (β) en el ACP Huiquilla, su Área Periférica (AP) y Ecosistemas (ECO)

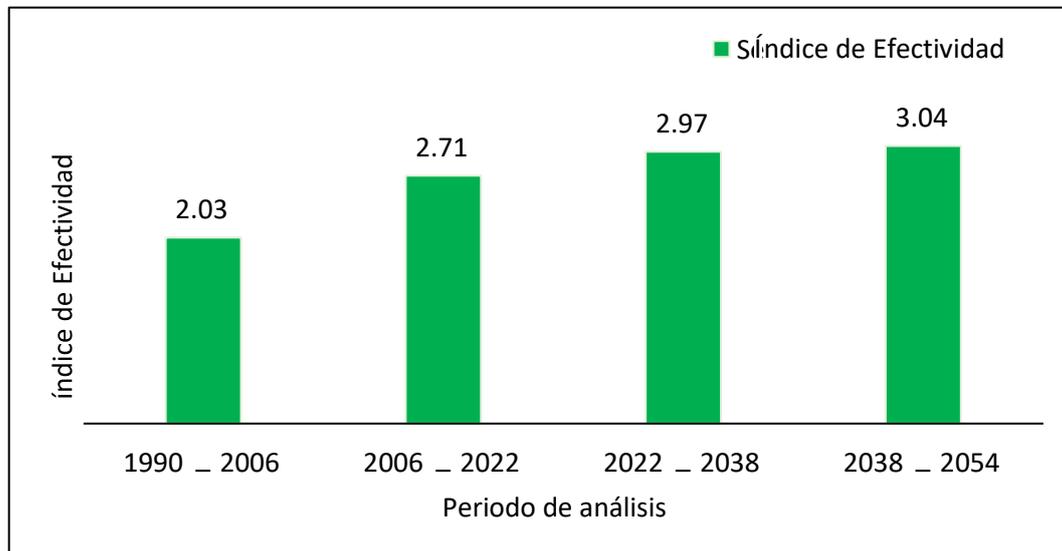
Período	β ACP - β AP	β ACP - β AP estandarizado	β ACP - β ECO	β ACP - β ECO estandarizado
1990 – 2006	-0.1455	1.00	-0.0018	1.00
2006 – 2022	-0.1285	1.00	-0.0177	1.00
2022 – 2038	-0.0714	1.00	-0.0298	1.00
2038 – 2054	-0.0881	1.00	-0.0299	1.00

Finalmente, en la Figura 10 se presentan los índices de efectividad del ACP Huiquilla, tanto antes (1990 – 2006) como después (2006 – 2022) de su creación. Se observa que

el índice de efectividad es mayor después de la creación del ACP, y mantendrá un crecimiento continuo en el futuro (2022 – 2038 y 2038 – 2054).

Figura 10.

Índices de efectividad (IE) del ACP Huiquilla, antes y después de su creación



Basándose en Figueroa et al. (2011), quienes determinan el rango de 0 a 4 para el índice de efectividad, donde 0 es baja y 4 alta efectividad de un área protegida para contener cambios de cobertura y uso de suelo, se demuestra que, la creación del ACP tuvo un impacto positivo en la conservación de los bosques y pajonales, respecto a los cambios que suscitan en su área periférica, y que, a futuro, el ACP seguirá siendo capaz de contener los procesos de cambio de cobertura natural a uso antrópico.

IV. DISCUSIÓN

Al igual que investigaciones previas (Aguilar et al., 2018; Cho et al., 2022; Tsai et al., 2018), donde a través de técnicas de teledetección y SIG determinaron los cambios de cobertura y uso de suelo - CCUS, en esta tesis se determinaron los CCUS utilizando una imagen multibanda compuesta por bandas espectrales, índices espectrales y variables topográficas. Esto, como estrategia de mejora en la clasificación de imágenes y obtención de mapas de CUS. Se sugiere que futuros estudios incorporen esta estrategia.

En esta investigación, el mapa de CUS del año 2022 obtuvo una precisión global de 92.3% y un índice de kappa de 0.84, reflejando así un nivel de concordancia casi perfecto entre el mapa CUS y las áreas de entrenamiento. Aghababaei et al. (2021), con el objetivo de mapear los diferentes tipos de vegetación a través de un dataset preciso, realizaron una clasificación de fecha única y otra multitemporal, los valores de precisión global e índice de kappa fueron de 64% y 0.51 para la clasificación de fecha única, por otro lado, la clasificación multitemporal arrojó valores de 81% y 0.74 para precisión global e índice de kappa, respectivamente.

Cabe recalcar que, las precisiones de los mapas de CUS dependen crucialmente de los parámetros de entrada de la clasificación, por ejemplo, en esta investigación, de todas las clases de cobertura planteadas, la categoría bosque fue la que mayor precisión arrojó (>95%), esto debido a que el número de áreas de entrenamiento ingresado para esa categoría fue mayor, además, esta asignación de mayores áreas de entrenamiento fue porque la categoría bosque predomina en el área de estudio.

Los impulsores de cambios de cobertura y uso de suelo son muy diversos al igual que las tasas de cambio de las distintas coberturas que puede presentar un ecosistema (Talukdar et al., 2020). Generalmente las tasas de cambios de coberturas artificiales (vías, centros urbanos), pastos y cultivos son positivas y con tendencia al alza, en el caso del ACP Huiquilla, la tendencia de estas coberturas también tienden al alza, pero en la tasa de aumento es menor debido a la efectividad para contener los cambios de cobertura y uso de suelo, por ejemplo, antes del establecimiento del ACP, el área urbano vial (UV) aumentó 1.12 ha, luego, después de su establecimiento del ACP, el área UV disminuyó 0.83 ha.

Por otra parte, en África central para un periodo de análisis de 1986 a 2017, Traore et al. (2021), determinaron que, la clase artificializada aumentó con una tasa de 137.06, por su parte, en nuestro análisis de mapeo de CCUS dentro y fuera del ACP Huiquilla, determinamos que, desde 1990 a 2022, dentro del ACP el área urbana aumentó 1.95 Ha, y en su área periférica aumento a 29.92 Ha, respecto a la cobertura de bosque, esta se redujo 9.35 y 61.36 ha dentro y fuera del ACP, respectivamente.

Es de conocimiento que, la pérdida de bosques debido al aumento de la deforestación es conducido principalmente por la expansión de las actividades agrícolas antrópicas (Lambin et al., 2001). Entonces, mediante el cálculo de la matriz de transición de CUS para el ACP Huiquilla determinamos principalmente que, 6.19 y 3.16 ha de bosque se transformaron en pastos y cultivos para los periodos 1990 – 2006 y 2006 – 2022.

Analizar la deforestación actual en áreas protegidas resulta importante, complementario a ello, también se deben analizar los escenarios futuros y tendencias de CUS, permitiendo esto tener una visión completa de las alternativas de desarrollo actuales y futuras (Muhammad et al., 2022).

La tendencia de la pérdida de cobertura vegetal en diversos ecosistemas conduce a la reducción de área boscosa, aumento de pastizales y tierras de cultivos agrícolas, el ACP Huiquilla no es ajena a ello, por ejemplo, se estima que para el 2054 se reducirá 3.95 y 34.13 ha bosque dentro y en su área periférica, respectivamente, a su vez, también para el 2054 las áreas de pastos y cultivos aumentarán 2.34 ha y 31.86 dentro y en su área periférica del ACP. Similar tendencia experimentará un ecosistema en Linyi-China, en la que áreas construidas entre otras infraestructuras aumentarán en áreas a expensas de pérdida de cobertura de bosques y áreas verdes (Muhammad et al., 2022).

Como se mencionó líneas arriba, el aumento y/o disminución de tasas de cambio, se suscitaron en el área periférica del ACP con mayor magnitud, concordando con Figueroa et al. (2011) y Liu et al. (2001), quienes mencionan que el establecimiento de áreas naturales protegidas ayuda a la contención de procesos de cambio y uso de suelo. En el caso del ACP Huiquilla, el índice de efectividad aumentó después del establecimiento legal de la misma.

Este estudio encontró un índice de efectividad de 2.71 en el período posterior (2006 – 2022) a la creación del ACP Huiquilla. Esta efectividad es mayor que los índices de efectividad calculados por Delgado et al. (2021) para cuatro ACP comunales (Copallín,

Hierba Buena–Allpayacku, Tilacancha y Colcamar) de la región Amazonas, y menor que la efectividad encontrada por Marín (2023) para el ACP Abra Patricia–Alto Nieva (en Bongará). Esto se puede explicar, por la administración de las ACP. El ACP Huiquilla, al ser administrada por una familia, tiene mayor nivel de organización que las ACP comunales (Delgado et al., 2021), donde las autoridades cambian cada cierto tiempo y no todos tienen el mismo enfoque de conservación y prioridad por las ACP. Mientras que el ACP Abra Patricia–Alto Nieva fue más efectiva que el ACP Huiquilla, porque es una ACP manejada por una Organización No Gubernamental (ONG) (Marín, 2023), la cual gestiona mejor los recursos económicos para la conservación, a través de cooperación internacional.

Se determinó que la efectividad del ACP Huiquilla, irá en crecimiento en el futuro. Esto, porque el impacto inmediato o directo del ACP no consiste en detener la deforestación o revertir su tendencia, lo cual sería ideal, pero esto no ocurre debido a la persistencia de presiones antrópicas (Monteferry, 2019). Por lo tanto, el impacto de las ACP es reducir la velocidad de los procesos de cambio y deforestación en comparación con las áreas periféricas o ecosistemas que se procuran resguardar.

V. CONCLUSIONES

Se mapearon el uso y la cobertura del suelo del ACP Huiquilla y su área periférica en los años 1990, 2006 y 2022, utilizando imágenes de satélite históricas. Se categorizaron tres coberturas vegetales (BO: Bosque, HPH: Herbazal/pajonal húmedo, VAH: Vegetación arbustiva/herbácea) y dos usos (PC: Pasto/cultivo, UV: Urbano/vial) de suelo. BO cubre >74% y >32% del ACP y en su área periférica, respectivamente, en los 32 años de análisis. La Superficie Transformada (ST, usos del suelo) fue mayor en el área periférica que dentro del ACP, en todos los períodos de análisis. Las tasas de transición (β) disminuyeron tanto en el ACP como en su área periférica, pero en el ACP lo hizo con mayor intensidad.

Se modeló el uso y la cobertura del suelo del ACP Huiquilla y su área periférica para los años 2038 y 2054, utilizando covariables y el simulador MOLUSCE. Se estimó que el área de BO seguirá reduciéndose, a la par que el área PC y UV aumentarán. Estos aumentos o reducciones serán con mayor intensidad en el área periférica del ACP.

Se estimó el índice de efectividad del ACP Huiquilla para contener las tasas de transición de cobertura y uso del suelo desde 1990 a 2054, dividido en cuatro períodos. El índice de efectividad es mayor después de haberse creado el ACP, y mantendrá un crecimiento continuo en el futuro. Esto demuestra que la implementación del ACP tuvo un impacto positivo en la preservación de bosques y pajonales, y se espera que en el futuro sea más efectivo en frenar la conversión de cobertura natural a uso antrópico en comparación con su zona periférica.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aghababaei, M., Ebrahimi, A., Naghipour, A. A., Asadi, E., & Verrelst, J. (2021). Vegetation Types Mapping Using Multi-Temporal Landsat Images in the Google Earth Engine Platform. *Remote Sensing*, 13(22), 4683. <https://doi.org/10.3390/rs13224683>
- Aguilar, R., Zurita-Milla, R., Izquierdo-Verdiguier, E., & A. de By, R. (2018). A Cloud-Based Multi-Temporal Ensemble Classifier to Map Smallholder Farming Systems. *Remote Sensing*, 10(5), 729. <https://doi.org/10.3390/rs10050729>
- Alrubkhi, A. (2017). *Land Use Change Analysis and Modeling Using Open Source (QGIS) Case Study: Boasher Willayat*. Sultan Qaboos University.
- Cabral, A. I. R., Saito, C., Pereira, H., & Laques, A. E. (2018). Deforestation pattern dynamics in protected areas of the Brazilian Legal Amazon using remote sensing data. *Applied Geography*, 100, 101–115. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.10.003>
- Chavez, P. S. (1988). An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, 24(3), 459–479. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90019-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90019-3)
- Cho, K., Goldstein, B., Gounaridis, D., & Newell, J. P. (2022). Hidden risks of deforestation in global supply chains: A study of natural rubber flows from Sri Lanka to the United States. *Journal of Cleaner Production*, 349, 131275. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131275>
- Chuvieco, E. (2016). *Fundamentals of Satellite Remote Sensing* (2nd ed.). Boca Raton: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b19478>
- Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37(1), 35–46. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B)
- Congedo, L. (2021). Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of Open Source Software*, 6(64), 3172. <https://doi.org/10.21105/joss.03172>
- Delgado, E. (2018). *Cambios de uso de suelo y cobertura vegetal en el área de conservación privada Hierba Buena-Allpayacku y su área circundante, Amazonas, 2017* [Título profesional]. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- Delgado, E., Mori, G. M., Barboza, E., Rojas-Briceño, N. B., Guzmán, C. T., Oliva-Cruz, M., Chavez-Quintana, S. G., López, R. S., de la Lama, R. L., Sevillano-Ríos, C. S., & Sarmiento, F. (2021). Effectiveness of Communal Privately Protected Areas in Montane Cloud Forests of Northern Peru. *Pirineos*, 176. <https://doi.org/10.3989/pyrenees.2021.176006>
- FAO. (2001). *Global Forest Resources Assessment 2000 Main report*. Roma: FAO.
- Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., & Alsdorf, D. (2007). The Shuttle Radar Topography Mission. *Reviews of Geophysics*, 45(2), RG2004. <https://doi.org/10.1029/2005RG000183>

- Figuerola, F., & Sánchez-Cordero, V. (2008). Effectiveness of natural protected areas to prevent land use and land cover change in Mexico. *Biodiversity and Conservation*, *17*(13), 3223–3240. <https://doi.org/10.1007/s10531-008-9423-3>
- Figuerola, F., Sánchez-Cordero, V., Illoldi-Rangel, P., & Linaje, M. (2011). Evaluación de la efectividad de las áreas protegidas para contener procesos de cambio en el uso del suelo y la vegetación. ¿Un índice es suficiente? *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *82*(3). <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.3.768>
- Gao, B. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, *58*(3), 257–266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
- Geldmann, J., Manica, A., Burgess, N. D., Coad, L., & Balmford, A. (2019). A global-level assessment of the effectiveness of protected areas at resisting anthropogenic pressures. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *116*(46), 23209–23215. <https://doi.org/10.1073/pnas.1908221116>
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, S. J., Loveland, T. R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C. O., & Townshend, J. R. G. (2013). High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*, *342*(6160), 850–853. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>
- Huete, A. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, *25*(3), 295–309. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, *83*(1–2), 195–213. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)
- IGAC. (1992). *Análisis y clasificación del uso y cobertura de la tierra con interpretación de imágenes* (G. E. Vargas, Ed.). Santa Fe de Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Kaufman, Y. J., & Tanre, D. (1992). Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, *30*(2), 261–270. <https://doi.org/10.1109/36.134076>
- Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W., Coomes, O. T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P. S., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E. F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P. S., Richards, J. F., ... Xu, J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, *11*(4), 261–269. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(01\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00007-3)
- 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>
- Lee, W. H., & Abdullah, S. A. (2019). Framework to develop a consolidated index model to evaluate the conservation effectiveness of protected areas. *Ecological Indicators*, *102*, 131–144. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.02.034>

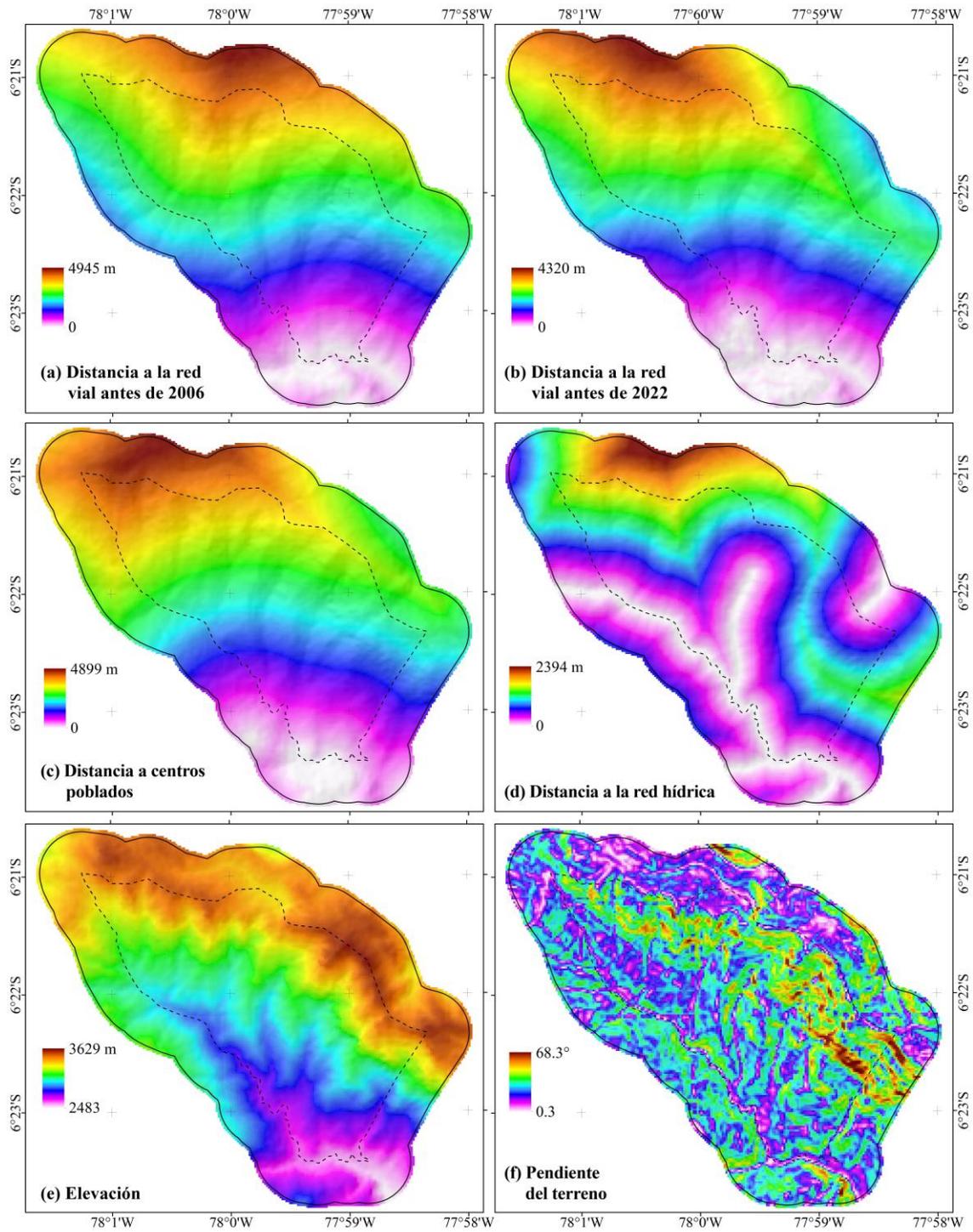
- Liu, J., Linderman, M., Ouyang, Z., An, L., Yang, J., & Zhang, H. (2001). Ecological Degradation in Protected Areas: The Case of Wolong Nature Reserve for Giant Pandas. *Science*, 292(5514), 98–101. <https://doi.org/10.1126/science.1058104>
- Louhaichi, M., Borman, M. M., & Johnson, D. E. (2001). Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. *Geocarto International*, 16(1), 65–70. <https://doi.org/10.1080/10106040108542184>
- Marín, C. N. J. (2023). *Efectividad del ACP Abra Patricia–Alto Nieva (Yambrasbamba, Amazonas) para contener procesos de cambios de cobertura y uso del suelo (1994 – 2020)* [Título profesional]. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- Mendoza, C. M. E., Salas López, R., & Barboza Castillo, E. (2017). Análisis multitemporal de la deforestación usando la clasificación basada en objetos, distrito de Leymebamba (Perú). *INDES Revista de Investigación para el Desarrollo Sustentable*, 3(2), 67–76. <https://doi.org/10.25127/indes.20153.210>
- MIDAGRI. (2020). *Atlas de la Superficie Agrícola del Perú*. SIEA: Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias. <https://siea.midagri.gob.pe/portal/informativos/superficie-agricola-peruana>
- MINAM. (2014). *Protocolo: Evaluación de la Exactitud Temática del Mapa de Deforestación*. Lima: Dirección General de Ordenamiento Territorial.
- MINAM. (2015). *Mapa Nacional de Cobertura Vegetal. Memoria descriptiva*. Lima: Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural.
- MINAM. (2019). *Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú: Memoria descriptiva*. Lima: Ministerio del Ambiente.
- MINEDU. (2023). *Descarga de información espacial del MED*. <https://sigmed.minedu.gob.pe/descargas/>
- Miranda, J. J., Corral, L., Blackman, A., Asner, G., & Lima, E. (2016). Effects of Protected Areas on Forest Cover Change and Local Communities: Evidence from the Peruvian Amazon. *World Development*, 78, 288–307. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.10.026>
- Monteferry, B. (2019). *Áreas de Conservación Privada en el Perú. Avances y propuestas a 20 años de su creación*. Lima: Sociedad Peruana de Derecho Ambiental.
- MTC. (2022). *Descarga de datos espaciales*. <https://portal.mtc.gob.pe/estadisticas/descarga.html>
- Muhammad, R., Zhang, W., Abbas, Z., Guo, F., & Gwiazdzinski, L. (2022). Spatiotemporal Change Analysis and Prediction of Future Land Use and Land Cover Changes Using QGIS MOLUSCE Plugin and Remote Sensing Big Data: A Case Study of Linyi, China. *Land*, 11(3), 419. <https://doi.org/10.3390/land11030419>
- Pontius, R. G., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 101(2–3), 251–268. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008>
- Rojas-Briceño, N. B., Barboza Castillo, E., Maicelo Quintana, J. L., Oliva Cruz, S. M., & Salas López, R. (2019). Deforestación en la Amazonía peruana: índices de cambios de cobertura

- y uso del suelo basado en SIG. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 81. <https://doi.org/10.21138/bage.2538a>
- Rojas-Briceño, N. B., García, L., Cotrina-Sánchez, A., Goñas, M., Salas López, R., Silva López, J. O., & Oliva-Cruz, M. (2022). Land Suitability for Cocoa Cultivation in Peru: AHP and MaxEnt Modeling in a GIS Environment. *Agronomy*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/agronomy12122930>
- Rosa-Velázquez, M. I. D. la, Espinoza-Tenorio, A., Díaz-Perera, M. Á., Ortega-Argueta, A., Ramos-Reyes, R., & Espejel, I. (2017). Development stressors are stronger than protected area management: A case of the Pantanos de Centla Biosphere Reserve, Mexico. *Land Use Policy*, 67, 340–351. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.06.009>
- Rouse, J. W., Hass, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1973). Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *Third Earth Resources Technology Satellite (ERTS) Symposium NASA*, 1, 309–317. <https://doi.org/citeulike-article-id:12009708>
- 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-Sánchez, F. J., & Reyes-Hernández, 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.redalyc.org/articulo.oa?id=441955208001>
- Sala, O. E., Stuart Chapin, F., Armesto, J. J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., Huenneke, L. F., Jackson, R. B., Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D. M., Mooney, H. A., Oesterheld, M., Poff, N. L., Sykes, M. T., Walker, B. H., Walker, M., & Wall, D. H. (2000). Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. *Science*, 287(5459), 1770–1774. <https://doi.org/10.1126/science.287.5459.1770>
- Salas, R., Barboza Castillo, E., & Oliva, M. (2016). Dinámica multitemporal de índices de deforestación en el distrito de Florida, departamento de Amazonas, Perú. *INDES Revista de Investigación para el Desarrollo Sustentable*, 2(1). <https://doi.org/10.25127/indes.20142.59>
- Salas, R., Rojas, N. B., Mamani, J., & Rodríguez, N. Y. (2018). Deforestación en el área de conservación privada Tilacancha: zona de recarga hídrica y de abastecimiento de agua para Chachapoyas. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 2(2), 54. <https://doi.org/10.25127/aps.20182.393>
- Sallustio, L., De Toni, A., Strollo, A., Di Febbraro, M., Gissi, E., Casella, L., Geneletti, D., Munafò, M., Vizzarri, M., & Marchetti, M. (2017). Assessing habitat quality in relation to the spatial distribution of protected areas in Italy. *Journal of Environmental Management*, 201, 129–137. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.06.031>
- Sanchez-Azofeifa, G. A., Harriss, R. C., & Skole, D. L. (2001). Deforestation in Costa Rica: A Quantitative Analysis Using Remote Sensing Imagery1. *Biotropica*, 33(3), 378–384. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2001.tb00192.x>
- Sánchez-Reyes, U. J., Niño-Maldonado, S., Barrientos-Lozano, L., & Treviño-Carreón, J. (2017). Assessment of Land Use-Cover Changes and Successional Stages of Vegetation in the

- Natural Protected Area Altas Cumbres, Northeastern Mexico, Using Landsat Satellite Imagery. *Remote Sensing*, 9(7), 712. <https://doi.org/10.3390/rs9070712>
- SERNANP. (2022). *GEO ANP - Visor de las Áreas Naturales Protegidas*. <https://geo.sernanp.gob.pe/visorsernanp/>
- Sotelo-Caro, O., Chichia-González, J., Sorani, V., & Flores-Palacios, A. (2015). Cambios en la dinámica de deforestación de la subcuenca de un río en México: la imposibilidad de recuperación de los hábitats originales después del cese de la deforestación. *Revista de geografía Norte Grande*, 61, 221–227. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022015000200012>
- Spracklen, B. D., Kalamandeen, M., Galbraith, D., Gloor, E., & Spracklen, D. V. (2015). A Global Analysis of Deforestation in Moist Tropical Forest Protected Areas. *PLOS ONE*, 10(12), e0143886. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143886>
- Talukdar, S., Singha, P., Mahato, S., Shahfahad, Pal, S., Liou, Y.-A., & Rahman, A. (2020). Land-Use Land-Cover Classification by Machine Learning Classifiers for Satellite Observations—A Review. *Remote Sensing*, 12(7), 1135. <https://doi.org/10.3390/rs12071135>
- Traore, M., Lee, M. S., Rasul, A., & Balew, A. (2021). Assessment of land use/land cover changes and their impacts on land surface temperature in Bangui (the capital of Central African Republic). *Environmental Challenges*, 4, 100114. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100114>
- Tsai, Y., Stow, D., Chen, H., Lewison, R., An, L., & Shi, L. (2018). Mapping Vegetation and Land Use Types in Fanjingshan National Nature Reserve Using Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 10(6), 927. <https://doi.org/10.3390/rs10060927>
- Urquía, C. A. D. (2019). *Evaluación de la dinámica multitemporal de los cambios de cobertura vegetal y usos del suelo en la microcuenca El Tingo, Provincia Luya, Amazonas, 1987 – 2018* [Título profesional, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. <https://hdl.handle.net/20.500.14077/1677>
- Wang, J., Zhang, J., Xiong, N., Liang, B., Wang, Z., & Cressey, E. (2022). Spatial and Temporal Variation, Simulation and Prediction of Land Use in Ecological Conservation Area of Western Beijing. *Remote Sensing*, 14(6), 1452. <https://doi.org/10.3390/rs14061452>
- Zumaeta, L. D. L. (2019). *Análisis multitemporal y predictivo del cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal en la microcuenca Yuyac, Amazonas, 2018* [Título profesional]. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

ANEXOS

Anexo 1. Mapa de variables predictoras.



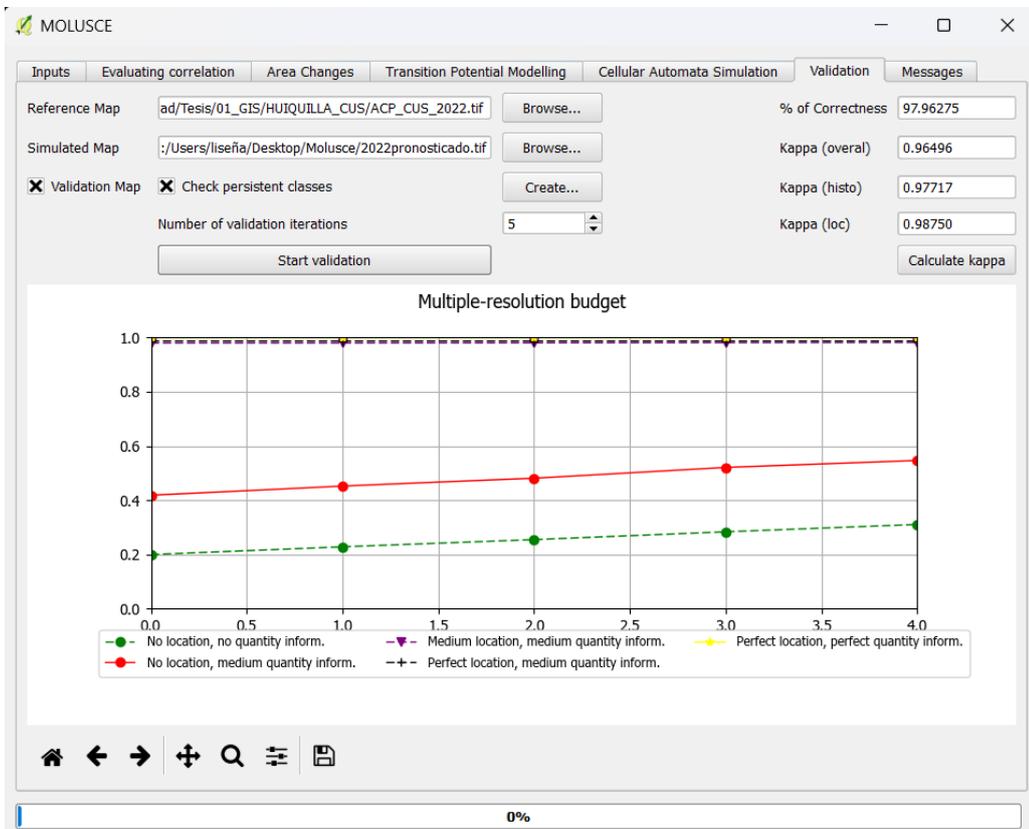
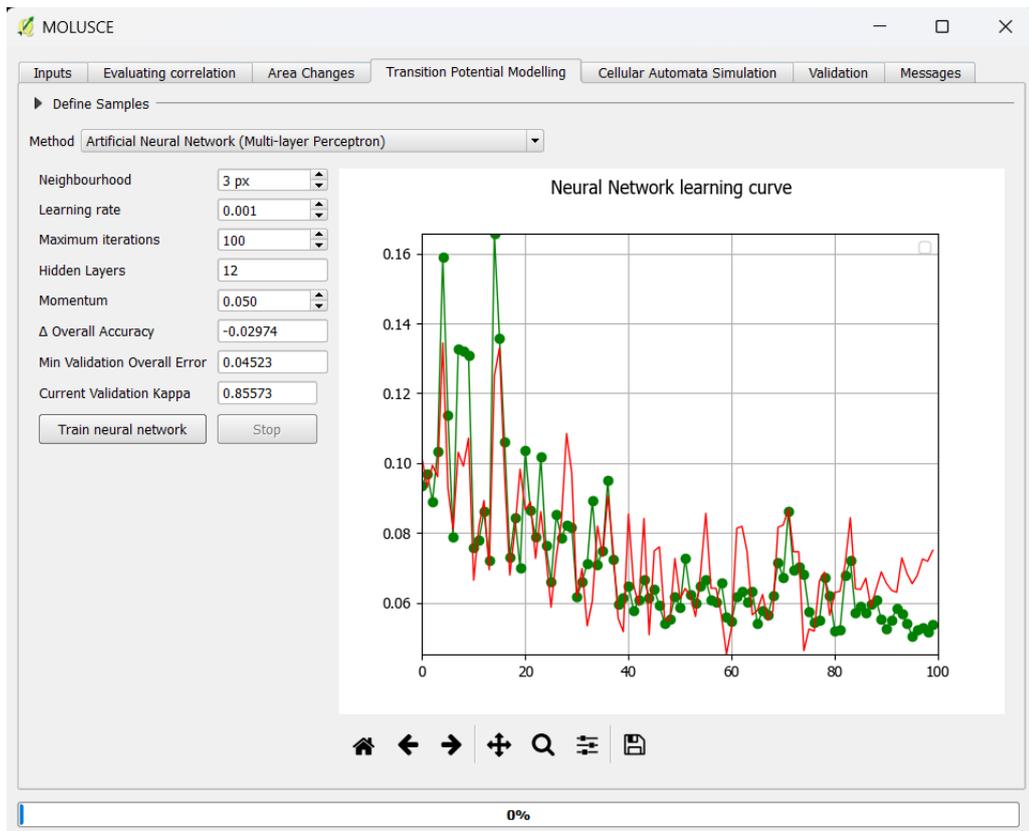
(c)	(d)	(e)	(f)	(a)	
1	0.6746	0.8500	-0.1248	0.9292	(c)
	1	0.6294	-0.1093	0.6591	(d)
		1	-0.0126	0.8413	(e)
			1	-0.1044	(f)
				1	(a)

(g) Correlación de Pearson para CUS 2022 pronosticado

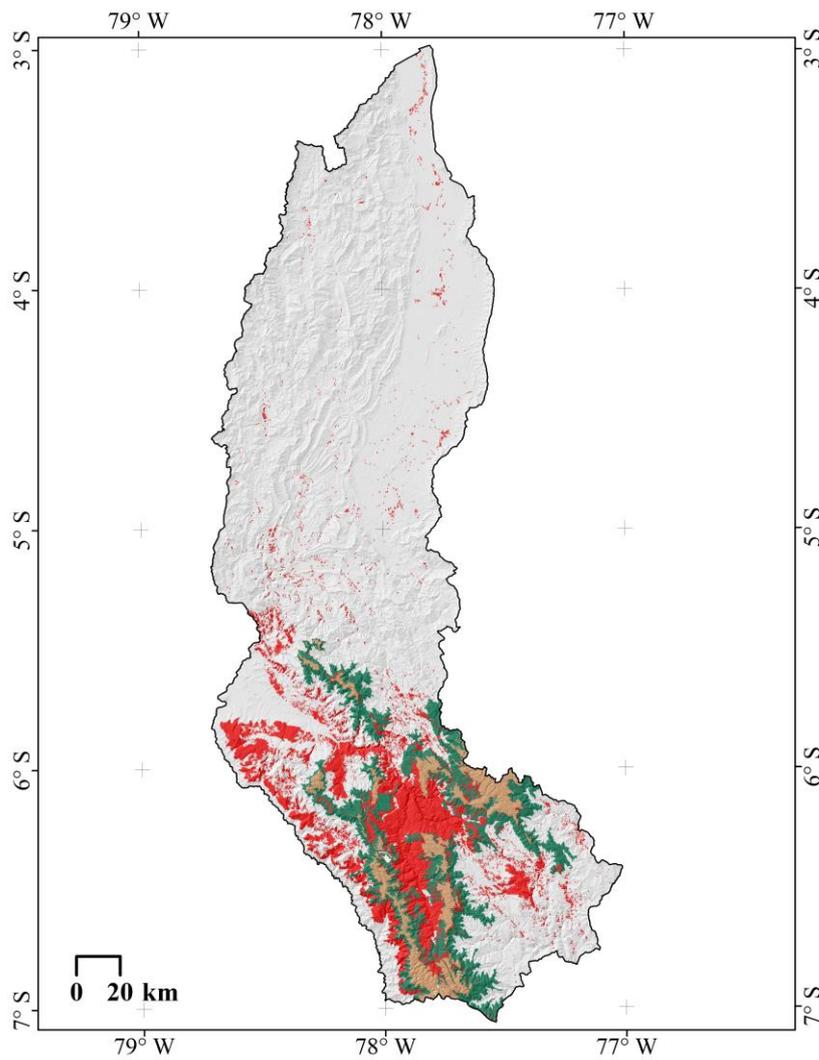
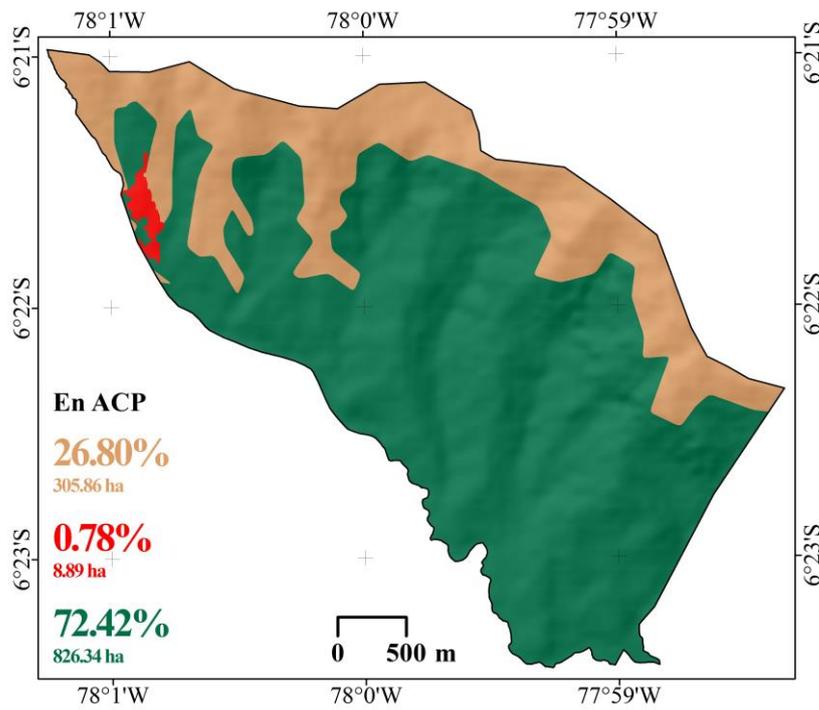
(c)	(d)	(e)	(f)	(b)	
1	0.6746	0.8500	-0.1248	0.9758	(c)
	1	0.6294	-0.1093	0.7091	(d)
		1	-0.0126	0.8461	(e)
			1	-0.1003	(f)
				1	(b)

(h) Correlación de Pearson para CUS futuros

Anexo 2. Configuración de la red neuronal artificial (RNA).



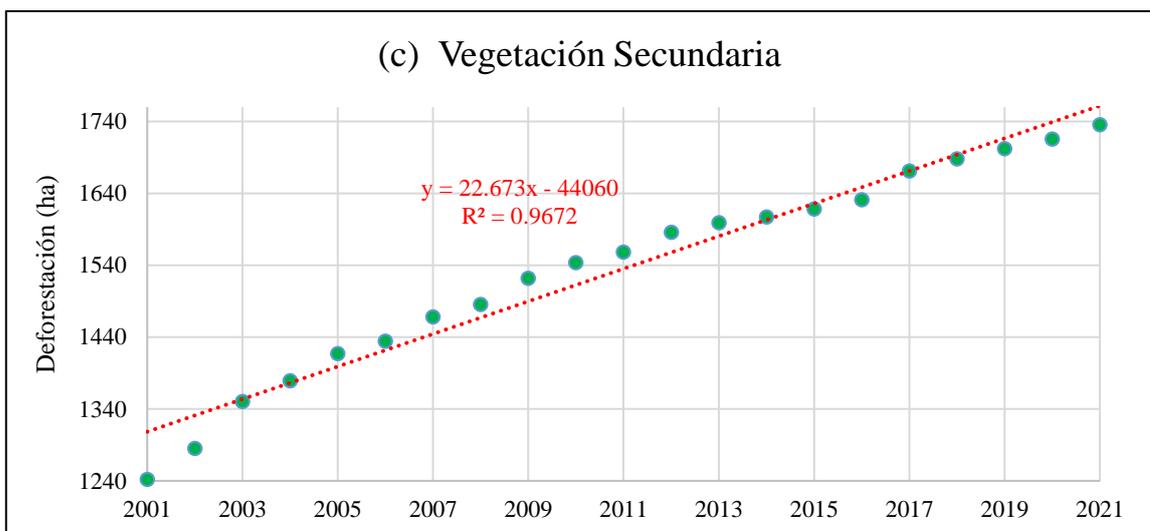
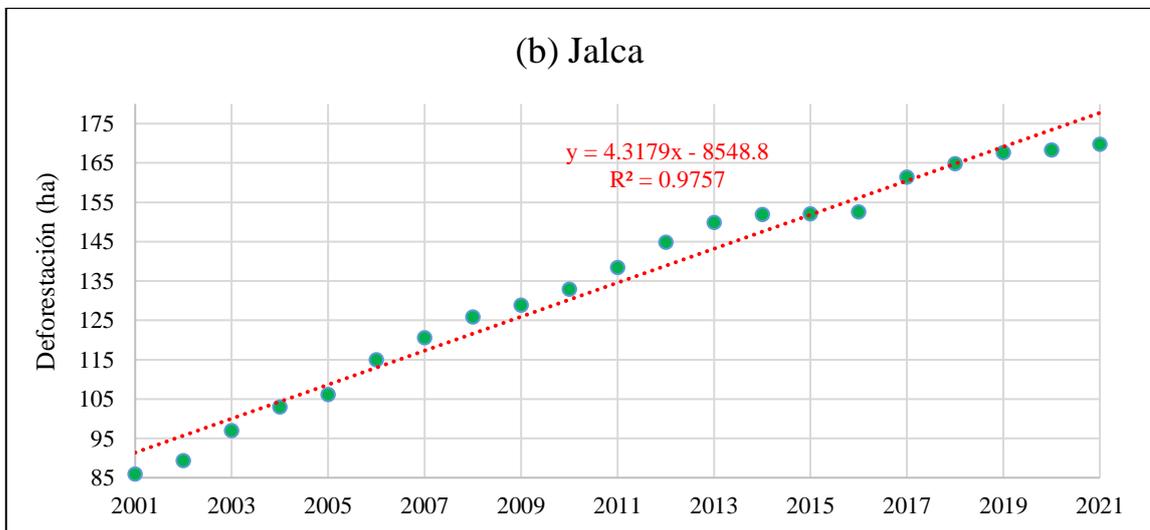
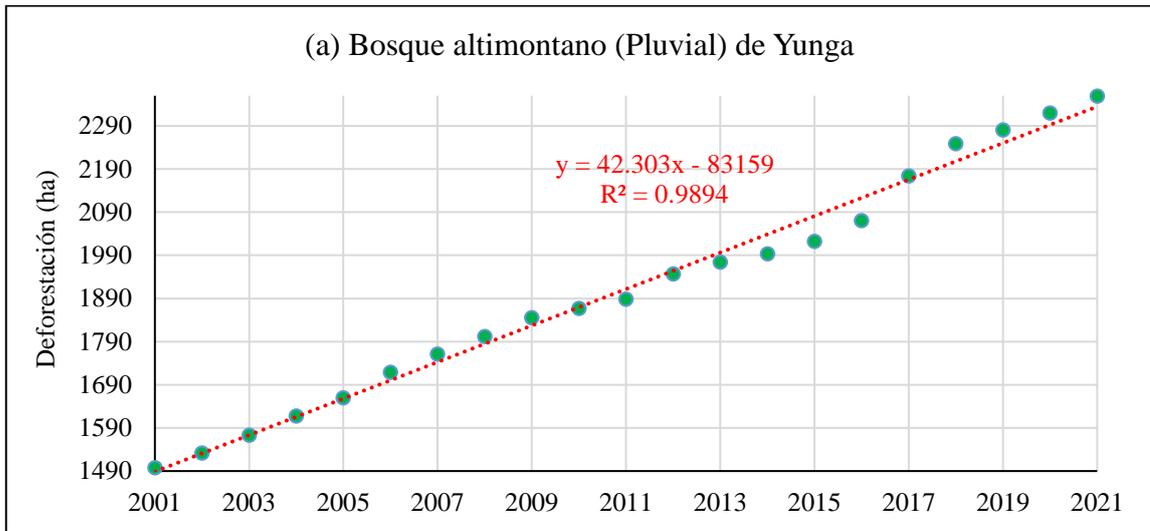
Anexo 3. Ecosistemas en el ACP Huiquilla, y su distribución en Amazonas.



Anexo 4. Superficie Transformada (ST) a nivel de la región Amazonas, de los ecosistemas que abarca el ACP Huiquilla, basada en deforestación anual de Global Forest Change (GFC) y Superficie Agrícola Nacional (SAN).

Año 2000+	Bosque altimontano (Pluvial) de Yunga		Jalca		Vegetación secundaria	
	GFC (ha)	ST (ha)	GFC (ha)	ST (ha)	GFC (ha)	ST (ha)
1	65.06	1497.69	17.18	85.89	31.45	1241.78
2	33.97	1531.66	3.43	89.32	43.41	1285.20
3	41.70	1573.36	7.62	96.94	64.97	1350.17
4	43.81	1617.17	6.00	102.93	29.04	1379.20
5	42.49	1659.67	3.19	106.13	37.72	1416.92
6	59.26	1718.92	8.87	115.00	17.53	1434.45
7	42.11	1761.04	5.55	120.55	33.35	1467.80
8	40.37	1801.41	5.29	125.84	17.39	1485.19
9	43.72	1845.13	3.04	128.88	36.50	1521.69
10	21.85	1866.98	4.03	132.91	21.77	1543.46
11	21.17	1888.15	5.51	138.42	14.66	1558.12
12	58.38	1946.53	6.46	144.87	27.71	1585.84
13	27.57	1974.10	4.96	149.83	13.21	1599.05
14	19.08	1993.17	2.02	151.86	7.89	1606.94
15	28.71	2021.89	0.21	152.07	11.18	1618.12
16	48.21	2070.10	0.51	152.58	12.95	1631.07
17	103.74	2173.84	8.78	161.36	39.86	1670.93
18	75.13	2248.98	3.47	164.82	17.11	1688.05
19	31.14	2280.12	2.81	167.63	14.10	1702.15
20	39.41	2319.53	0.63	168.27	13.28	1715.43
21	38.99	2358.53	1.45	169.72	20.06	1735.50
SAN ∪ GFC acumulada (ha)	2358.53		169.72		1735.50	

Anexo 5. Ecuaciones desarrolladas para el cálculo de Superficie Transformada (ST) en 1990, 2038 y 2054, según ecosistemas que abarca el ACP Huiquilla.



Anexo 6. Tasas de Superficie Transformada (ST) en los ecosistemas para los períodos del estudio.

		Bosque altimontano (Pluvial) de Yunga	Jalca	Vegetación secundaria
Área en la región Amazonas		91160.39	36325.79	14477.59
ST	1990	1023.97	43.82	1059.27
ST	2006	1718.92	115.00	1434.45
ST	2022	2358.53	169.72	1735.50
ST	2038	3054.51	251.08	2147.57
ST	2054	3731.36	320.17	2510.34
Tasa de cambio	1990 – 2006	0.048	0.012	0.162
Tasa ponderada	1990 – 2006		0.039	
Tasa de cambio	2006 – 2022	0.044	0.009	0.130
Tasa ponderada	2006 – 2022		0.035	
Tasa de cambio	2022 – 2038	0.048	0.014	0.178
Tasa ponderada	2022 – 2038		0.040	
Tasa de cambio	2038 – 2054	0.046	0.012	0.157
Tasa ponderada	2038 – 2054		0.038	

Anexo 7. Panel fotográfico.



Fotografía 1. Categoría Vegetación Arbustiva/Herbácea.



Fotografía 2 y 3. Categoría Urbano/Vial.



Fotografía 4. Categoría Bosque.



Fotografía 5. Fotografía de dron que muestra Categoría Bosque dentro del ACP Huiquilla, Pasto/cultivo en la periferia (principalmente papa, cruzando el río) y Herbazal/pajonal húmedo en la parte alta.



Fotografía 6. Fotografía de dron que muestra el ACP y sus categorías Bosque, Pasto/cultivo y Herbazal/pajonal húmedo.



Fotografía 7. Fotografía de dron que muestra el ACP y sus categorías Bosque y Pasto/cultivo. Así como la categoría Urbano/Vial en la periferia, centro poblado de Colcamar.



Fotografía 8. Fotografía de dron que muestra el ACP y sus categorías Bosque, Pasto/cultivo y Herbazal/pajonal húmedo.



Fotografías 9, 10 y 11. Fotografías con el drone usado para las tomas aéreas de las coberturas representativas del ACP y su área periférica.