

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



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

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

**EFFECTIVIDAD DEL ACP ABRA PATRICIA–ALTO NIEVA  
(YAMBRASBAMBA, AMAZONAS) PARA CONTENER  
PROCESOS DE CAMBIOS DE COBERTURA Y USO DEL  
SUELO (1994 – 2020)**

**Autor : Bach. Nalda Julissa Marín Caruajulca  
Asesores : Mg. Nilton Beltrán Rojas Briceño  
Mg. Dany Alexander Cotrina Sánchez**

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): Marín Carvajalca Nalda Julissa  
DNI N°: 70157221  
Correo electrónico: 7015722143@untrm.edu.pe  
Facultad: Ingeniería Civil y Ambiental  
Escuela Profesional: Ingeniería Ambiental

#### 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

EFFECTIVIDAD DEL ACP ABRA PATRICIA - ALTO NUEVA (YAMBRASBAMBA, AMAZONAS) PARA CONTENER PROCESOS DE CAMBIOS DE COBERTURA Y USO DE SUELO (1991-2020)

#### 3. Datos de asesor 1

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>) (<https://orcid.org/0000-0002-5352-6140>)

#### Datos de asesor 2

Apellidos y nombres: Cotina Sánchez Dany Alexander  
DNI, Pasaporte, C.E N°: 46444406  
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) (<https://orcid.org/0000-0003-0868-9511>)

#### 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](https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html)  
2.07.00-Ingeniería ambiental.2.07.04-Sensores remotos

#### 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, 20 / julio / 2023

  
Firma del asesor 1

  
Firma del Asesor 1

Firma del autor 2  
  
Firma del Asesor 2

## **DEDICATORIA**

*Quiero dedicar esta tesis a mi familia, en especial a Jorge Marín Cruzado y Marisol Caruajulca Masabel, quienes son mis padres. Es gracias a su sacrificio, comprensión y consejos que he podido formarme y desarrollarme profesionalmente.*

*A mi hijo Iker Culqui Marín quien es mi motor y motivo el que me inspira para seguir adelante.*

*Nalda Julissa Marín Caruajulca*

## **AGRADECIMIENTO**

Me gustaría expresar mi agradecimiento a los Mg. Nilton Beltrán Rojas Briceño y Mg. Dany Alexander Cotrina Sánchez, quienes me proporcionaron orientación y apoyo durante todo el proceso de formulación y ejecución de mi tesis sobre Teledetección y Sistemas de Información Geográfica aplicado a la conservación de los recursos naturales. Agradezco su valiosa contribución, ya que su guía fue fundamental para el éxito de mi trabajo.

Quiero expresar también mi agradecimiento al Ph.D. Ricardo E. Campos Ramos, Ph.D. Ligia Magali García Rosero y M.Sc. Rosalynn Yohanna Rivera López, quienes actuaron como docentes en el jurado de mi tesis. Aprecio enormemente sus valiosos aportes y recomendaciones durante todo el proceso de elaboración del informe inicial e informe final. Gracias a su retroalimentación, pude aclarar mis ideas y presentarlas de manera clara y concisa, lo que facilitará la comprensión de cualquier lector.

## **AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**Ph.D. Jorge Luis Maicelo Quintana**

Rector

**Dr. Oscar Andrés Gamarra Torres**

Vicerrector Académico

**Dra. María Nelly Lujan Espinoza**

Vicerrectora de Investigación

**Ph.D. Ricardo Edmundo Campos Ramos**

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

## VISTO BUENO DEL ASESOR 1 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 (X)/Profesional externo ( ), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Efectividad del ACP Abra Patricia - Alto Niava (Yambrosbanba, Amazonas) para contar procesos de cambios de cobertura y uso del suelo (1994 - 2020); del egresado Nalda Julissa Marin Carvajalca de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental 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, 10 de enero de 2023

Firma y nombre completo del Asesor

Nilton Baltrañ Rojas Bricano

## 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 (X)/Profesional externo ( ), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Efectividad del ACP  
Abra Patricia - Alto Niyva (Yamborasbamba, Amazonas) para contener  
procasos de cambios de cobertura y uso del suelo (1994 - 2020) ;  
del egresado Nalda Julissa Marín Carvajalca  
de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental  
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental  
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, 10 de enero de 2023

  
Firma y nombre completo del Asesor

Dany Alexander Cotrino Sanchez

## JURADO CALIFICADOR



**Ph.D. Ricardo Edmundo Campos Ramos**

Presidente



**Ph.D. Ligia Magali García Rosero**

Secretaria



**M.Sc. Rosalynn Yohanna Rivera López**

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 DEL ACP ABRÁ PATRICIA -ALTO MEVA (YANBRASBAMBA, AMAZONAS) PARA  
CONTENER PROCESOS DE CAMBIOS DE COBERTURA Y USO DEL SUELO (1994 - 2020)  
presentada por el estudiante ( )egresado (X) NALDA JULISSA MARÍN CARUAJULCA  
de la Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL  
con correo electrónico institucional 7015722141@untrm.edu.pe

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

- a) La citada Tesis tiene 23 % 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.
- b) 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, 16 de agosto del 2023

  
SECRETARIO

  
PRESIDENTE

  
VOCAL

OBSERVACIONES:

.....  
.....

# ACTA DE SUSTENTACIÓN DE 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 28 de Agosto del año 2023, siendo las 10:00 horas, el aspirante: Naldo Julissa Marin Carvajalca, asesorado por Mg. Milton Patrón Rojas Biliño y Mg. Dany Cotina Sínchez defiende en sesión pública presencial (U) / a distancia ( ) la Tesis titulada: Efectividad del ACP obra Patricia-Alto Nieva (Yambrosbamba, Amazonas) para controlar procesos de cambios de cobertura y uso del suelo (1994-2020), para obtener el Título Profesional de Ingeniera Ambiental, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: Dr. Ricardo Edmundo Campos Ramos

Secretario: PhD Ligia Nagali Garúa Rosero

Vocal: Mg. Rivera Lopez Rosalynn Yohanna

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 (X) por Unanimidad (X)/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 10:00 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

  
SECRETARIO

  
VOCAL

  
PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

## CONTENIDO

<b>AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO</b>	
<b>INSTITUCIONAL DE LA UNTRM</b> .....	ii
<b>DEDICATORIA</b> .....	iii
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	iv
<b>AUTORIDADES UNIVERSITARIAS</b> .....	v
<b>VISTO BUENO DEL ASESOR 1 DE LA TESIS</b> .....	vi
<b>VISTO BUENO DEL ASESOR 2 DE LA TESIS</b> .....	vii
<b>ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS</b> .....	x
<b>CONTENIDO</b> .....	xi
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	xiii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	xiv
<b>RESUMEN</b> .....	xv
<b>ABSTRACT</b> .....	xvi
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	17
<b>II. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	19
<b>2.1. Área de estudio</b> .....	19
<b>2.2. Flujo metodológico</b> .....	20
<b>2.3. Cartografía de la cobertura y uso del suelo del suelo del ACP AP-AN y su área     circundante en los años 1994, 2007 y 2020</b> .....	20
<b>2.3.1. Obtención y pre-procesamiento de material satelital</b> .....	20
<b>2.3.3. Procesamiento digital</b> .....	23
<b>2.3.4. Cálculo de métricas de exactitud temática</b> .....	23
<b>2.4. Estimación del índice de efectividad del ACP AP-AN para contener las tasas de     cambios de cobertura y uso del suelo en los períodos 1994-2007 y 2007-2020</b> .....	25
<b>2.4.1. Generación de matrices de cambio y tasas de cambio</b> .....	25
<b>2.4.2. Estimación del índice de efectividad</b> .....	26
<b>III. RESULTADOS</b> .....	27
<b>3.1. Mapas de CUS y métricas de exactitud temática</b> .....	27
<b>3.2. Matrices y tasas de cambios y deforestación</b> .....	29
<b>3.3. Índices de efectividad</b> .....	31
<b>IV. DISCUSIÓN</b> .....	34
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	37

<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>38</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>39</b>
<b>VIII. ANEXOS.....</b>	<b>43</b>
<b>Anexo 1.</b> Superficie del ACP AP–AN según ecosistemas que abarca.....	<b>43</b>
<b>Anexo 2.</b> Superficie Transformada (ST) en Amazonas, basada en deforestación anual de Global Forest Change (GFC) y Superficie Agrícola Nacional (SAN), según ecosistemas que abarca el ACP AP–AN. ....	<b>43</b>
<b>Anexo 3.</b> Ecuaciones generadas para el cálculo de superficie transformada en 1994 según ecosistemas que abarca el ACP AP–AN. ....	<b>44</b>
<b>Anexo 4.</b> Tasa de cambios en los ecosistemas para los períodos 1994 – 2007 y 2007 – 2020. 44	
<b>Anexo 5.</b> Panel fotográfico. ....	<b>45</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Imágenes de satélite filtradas para el polígono de estudio. ....	21
Tabla 2. Índices espectrales y sus ecuaciones, que incluyen las bandas espectrales Azul (B), Roja (R), Infrarrojo cercano (NIR) y Verde (G).....	23
Tabla 3. Matriz de confusión. ....	24
Tabla 4. Matriz de transiciones o tabulación cruzada.....	25
Tabla 5. Matriz de confusión para el mapa de CUS del año 2020.....	27
Tabla 6. Dinámica de la cobertura y uso del suelo en el ACP AP–AN y su área circundante en 1994, 2007 y 2020. ....	29
Tabla 7. Matriz de transición y tasas de cambio en el ACP AP–AN y su área circundante, período 1994–2007.....	30
Tabla 8. Matriz de transición y tasas de cambio en el ACP AP–AN y su área circundante, período 2007 – 2020.....	30
Tabla 9. Superficie transformada (ST) (1994, 2007), porcentaje (2007) y tasas de cambio (1994 – 2007) en las ST, en el ACP AP–AN y sus áreas circundantes. ....	32
Tabla 10. Superficie transformada (ST) (2007, 2020), porcentaje (2020) y tasas de cambio (2007 – 2020) en las ST, en el ACP AP–AN y sus áreas circundantes. ....	32
Tabla 11. Resta entre la tasa de cambio en el ACP AP–AN, sus áreas circundantes (buffers) y ecosistemas, respectivamente. ....	32

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del ACP Abra Patricia–Alto Nieva y su área circundante. ....	19
Figura 2. Flujo metodológico del estudio. ....	20
Figura 3. Definición de años y períodos de análisis. ....	21
Figura 4. Mosaicos de imágenes sin nubes para 1994, 2007 y 2020. ....	21
Figura 5. Índices espectrales con la imagen satelital del 2020 y variables topográficas. ....	22
Figura 6. Mapas de la dinámica de la cobertura y uso del suelo en el ACP AP–AN y su área circundante en 1994, 2007 y 2020. ....	28
Figura 7. Dinámica de la cobertura y uso del suelo en el ACP AP–AN y su área circundante en 1994, 2007 y 2020. ....	29
Figura 8. Procesos de cambio y permanencia de la cobertura y uso del suelo en el ACP AP–AN y su área circundante en los períodos 1994 – 2007 y 2007 – 2020. ....	31
Figura 9. Tasas de cambio regional de los ecosistemas que abarca el ACP AP–AN. ....	31
Figura 10. Índices de efectividad (IE) en el ACP AP–AN y sus áreas circundantes, antes y después de la creación del ACP. ....	33

## RESUMEN

A través de los años, las presiones demográficas sobre los recursos naturales han ido en aumento, lo cual se ve reflejado en las tendencias de los cambios en la cobertura vegetal y uso del suelo (CCUS). Por lo cual, actualmente la utilización de herramientas tecnológicas mediante los Sistemas de Información Geográfica y Teledetección son de vital importancia para un análisis a través de los años y conocer los cambios de coberturas en áreas de conservación y sus espacios circundantes. Se determinó la efectividad del Área de Conservación Privada Abra Patricia–Alto Nieva (Yambrasbamba, Amazonas) para contener procesos de cambios de cobertura y uso del suelo entre los años 1994 – 2020. Para tal fin, se ejecutó un análisis multitemporal de cambios de cobertura del suelo 13 años antes (1984) y 13 después (2020) del establecimiento legal del ACP (2007). Se manipularon imágenes satelitales con una resolución de 30 m (Landsat 5,8) y 10 m (Sentinel 2) e índices espectrales derivados de las mismas, procedimiento realizado a través de computación en la nube a través de Google Earth Engine y clasificadas con el algoritmo Random Forest. A partir de la cuantificación de la superficie por clases de vegetación, calculamos el índice de efectividad, para ello, consideramos tasas de deforestación dentro del ACP y en sus áreas circundantes. Se obtuvo una precisión global de 96.4% y un índice Kappa de 0.86, reflejando así confiabilidad en los datos de CCUS y cuantificación de la pérdida boscosa entre 0.24 ha/año entre 1994 – 2007 y 1.77 ha/año entre 2007 – 2020 respectivamente. De igual manera, la pérdida de bosque en las áreas circundantes del ACP en promedio abarcó entre 60 – 65 hectáreas al 2020 en superficies de 1 a 5 hectáreas. A partir de ello, se identificó que el índice de efectividad de conservación disminuye a medida que se aleja del área circundante del ACP y es positivo dentro de la misma. Finalmente, esta investigación permite identificar y cuantificar los cambios en áreas de conservación, conocer los factores que afectan su efectividad a través de los años; sumado a ello la identificación de las limitaciones y elementos que afectan el cumplimiento para la cual fueron establecidas.

**Palabras clave:** Biodiversidad, GEE, Teledetección, Bongará

## ABSTRACT

Over the years, population pressures on natural resources have been increasing, reflected in trends in changes in vegetation cover and land use (CCUS). Therefore, the use of technological tools through Geographic Information Systems and Remote Sensing is of vital importance for analysis over the years and to know the changes in coverage in conservation areas and their surrounding spaces. Therefore, in this study, we determine the effectiveness of the Abra Patricia-Alto Nieva Private Conservation Area (Yambrasbamba, Amazonas) to contain processes of land cover and land use changes between 1994–2020. To this end, a multitemporal analysis of land cover changes was carried out 13 years before (1984) and 13 years after (2020) the legal establishment of the GPA (2007). We used satellite images with a resolution of 30 m (Landsat 5.8) and 10 m (Sentinel 2) and spectral indices derived from them, a procedure carried out through cloud computing through Google Earth Engine and classified by the Random Forest algorithm. From the quantification of the surface by vegetation classes, we calculate the effectiveness index; for this, we consider deforestation rates within the ACP and in its surrounding areas. An overall accuracy of 96.4% and a Kappa index of 0.86 were obtained, thus reflecting reliability in the CCUS data and quantification of forest loss between 0.24 ha/year between 1994–2007 and 1.77 ha/year between 2007–2020 respectively. Similarly, forest loss in the surrounding areas of the ACP, on average, covered between 60 – 65 hectares by 2020 in sizes of 1 to 5 hectares. From this, it was identified that the conservation effectiveness index decreases as it moves away from the area surrounding the ACP and is positive within it. Finally, this research allows us to identify and quantify changes in conservation areas, to know the factors that affect their effectiveness over the years, and to identify the limitations and elements that affect compliance for which they were established.

**Keywords:** Biodiversity, GEE, Remote Sensing, Bongará



## I. INTRODUCCIÓN

En Perú, las Áreas de Conservación Privada (ACP) protegen 385979.83 hectáreas y son herramientas clave de conservación (SERNANP, 2021). Las ACP (i) aportan al cumplimiento de metas/convenios sobre Diversidad Biológica, (ii) reducen la carga económica de los gobiernos que conservan áreas de administración pública, (iii) posibilitan instituir mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos, (iv) suministran oportunidades para la educación ambiental, investigación y turismo especializado, (v) contribuyen a reducir la deforestación y degradación de bosques, (vi) generan negocios sostenibles basados en la naturaleza, entre otros beneficios (Monteferry, 2019). Sin embargo, las Áreas Protegidas (AP), incluidas las ACP, se encuentran en constantes procesos de degradación, desde la extracción de recursos naturales hasta la conversión completa de los ecosistemas (Sánchez-Cordero & Figueroa, 2007).

En ese sentido, se proponen tres líneas de evaluación de la efectividad de las AP (Ervin, 2003; Lee & Abdullah, 2019): la efectividad del diseño, la efectividad del manejo y la efectividad de la integridad ecológica. Dentro de la integridad ecológica, los procesos de Cambios de Cobertura y Uso del Suelo (CCUS) son los que se utilizan frecuentemente, debido a su dimensión global y a su correspondencia con otros procesos de degradación, como la disminución de diversidad biológica, el cambio climático, la degradación del suelo y la pérdida de servicios ecosistémicos (Figueroa *et al.*, 2011). Aunque no todo CCUS se convierte en una disminución de la integridad ecológica, el desarrollo de CCUS de gran extensión pueden provocar la alteración de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas (Turner *et al.*, 2007).

En México, determinaron la efectividad para evitar procesos de CCUS de 44 áreas protegidas (AP) (Figueroa *et al.*, 2011). Primero, calcularon la Superficie Transformada (ST en %) en 2002 y su razón de cambio entre 1993–2002. Luego, cotejaron las razones de cambio de las AP con las razones de cambio de las áreas circundantes de cada AP y de las concernientes ecorregiones. Además, calcularon un índice de efectividad combinando los valores anteriores y describieron los procesos de CCUS en cada AP. Reportaron que, en 2002, el 77% de las AP tenía menos de 20% de ST; casi 30% mostró una reducción en la ST, mientras que en otro 30%, el incremento en la ST fue mayor

que la razón promedio de las AP evaluadas. También indican que cerca del 70% de las AP expusieron razones de CCUS menores a las de sus áreas circundantes y en 80% de las AP, las razones fueron menores que en sus ecorregiones. Este estudio anterior utilizó una metodología mejorada en comparación con la utilizada para evaluar la efectividad de las AP para evitar procesos de CCUS en varias investigaciones similares previas (Figueroa et al., 2009; Figueroa & Sánchez-Cordero, 2008; Sánchez-Cordero & Figueroa, 2007).

En Perú y en el departamento de Amazonas se han realizado varias investigaciones de CCUS. Por ejemplo, las investigaciones de CCUS en Amazonas han utilizado como área de estudio el ACP Tilacancha (Salas et al., 2018), el ACP Hierba Buena-Allpayacku y su área circundante (Delgado, 2018) y otros límites políticos que incluyen ACP (Mendoza et al., 2015; Rojas et al., 2019; Salas et al., 2014).

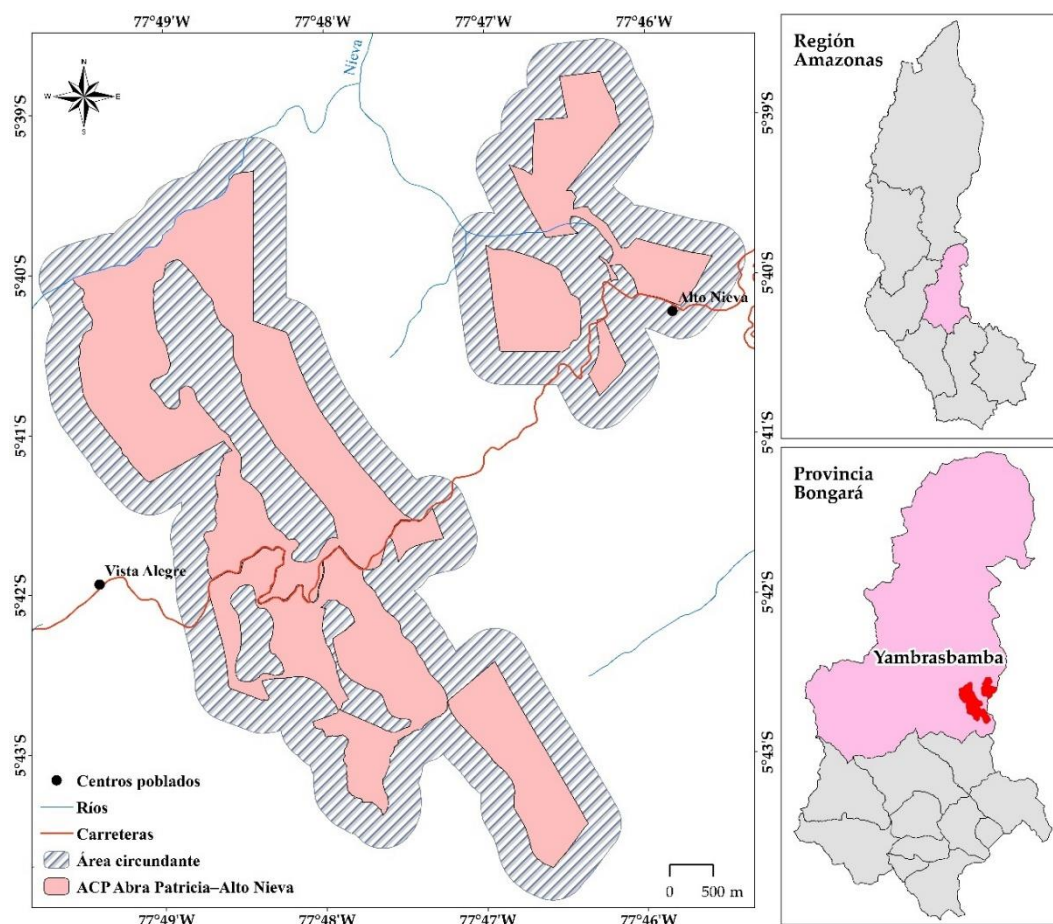
Sin embargo, solo se encontró un antecedente que evaluó la efectividad de las ACP o AP para contener los procesos de CCUS. Delgado et al. (2021) examinaron la efectividad de cuatro ACP dirigidas por comunidades campesinas: Copallín, Hierba Buena-Allpayacku, Huaylla Belén-Colcamar y Tilacancha. El análisis se llevó a cabo mediante la aplicación del Índice de Efectividad Compuesto, que permitió determinar la eficacia del diseño, la integridad ecológica y la gestión. Encontraron que los sistemas de gestión de las ACP evaluadas presentan una eficacia media, y que tres de las cuatro ACP (Copallín, Huaylla Belén-Colcamar y Tilacancha) tienen un diseño efectivo. Además, la estimación de la integridad ecológica indicó que las ACP tienen una menor superficie transformada internamente en comparación con las áreas circundantes, especialmente en el caso de la ACP Tilacancha.

Esta investigación tuvo por objetivo determinar la efectividad del ACP Abra Patricia–Alto Nieva (Yambrasbamba, Amazonas) para contener procesos de cambios de cobertura y uso del suelo (1994–2020). Para lo cual, los objetivos específicos fueron: a) mapear la cobertura y uso del suelo del ACP Abra Patricia–Alto Nieva y su área circundante en los años 1994, 2007 y 2020 y b) estimar el índice de efectividad del ACP Abra Patricia–Alto Nieva para contener las tasas de cambios de cobertura y uso del suelo en el período 1994–2020.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Área de estudio

El ACP Abra Patricia–Alto Nieva (ACP AP–AN) se ubica en el distrito de Yamborasbamba, provincia de Bongará, al este de la región de Amazonas (Figura 1) y tiene una extensión aproximada de 1415.74 hectáreas. El ACP AP–AN fue establecida mediante R.M. N° 621-2007-AG (16/10/2007) con vigencia a perpetuidad y a titularidad de la ONG Ecosistemas Andinos (SERNANP, 2021). Actualmente, el ACP AP–AN sigue sufriendo presiones antrópicas puesto que es atravesada por la carretera asfaltada que conecta las regiones administrativas de Amazonas y San Martín. De acuerdo a la metodología seguida en la investigación (Figuroa *et al.*, 2011), el área de estudio incluirá un área circundante al ACP AP–AN (Figura 1). Esta área circundante se delimitó considerando los criterios de (Delgado, 2018), cuyo principal enfoque fue delimitar un área proporcional al área del ACP para que se puedan realizar las comparaciones de tasas de CCUS.



**Figura 1.** Ubicación del ACP Abra Patricia–Alto Nieva y su área circundante.

## 2.2. Flujo metodológico

Para determinar la efectividad del ACP AP–AN para contener los CCUS, se siguió el flujo metodológico mostrado en la Figura 2. La metodología se basó en Rojas et al. (2019) (mapeo de CCUS) y Figueroa et al. (2011) (del índice de efectividad).

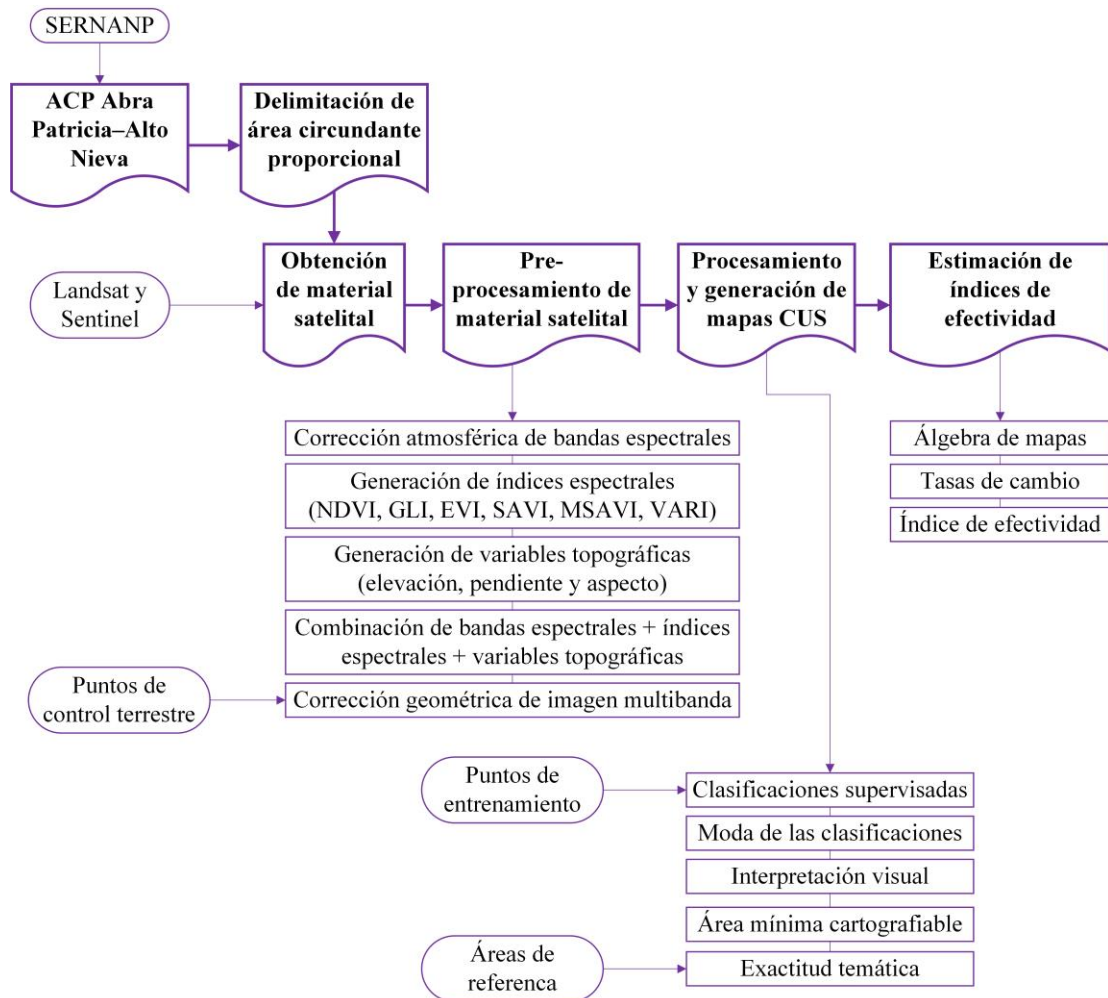


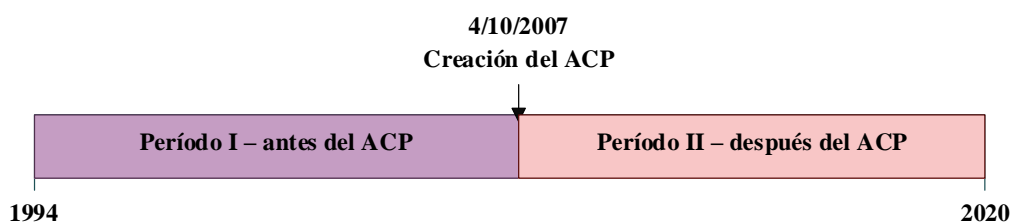
Figura 2. Flujo metodológico del estudio.

## 2.3. Cartografía de la cobertura y uso del suelo del ACP AP–AN y su área circundante en los años 1994, 2007 y 2020

### 2.3.1. Obtención y pre-procesamiento de material satelital

Para generar los mapas de Cobertura y Uso del Suelo (CUS) se buscaron imágenes de los satélites Landsat (resolución espacial: 30 m, Path/Row: 9/64) y Sentinel (resolución espacial: 10 m, Path/Row: 17MRP). Los años de análisis fueron 1994, 2007 y 2020, los cuales se establecieron considerando como año central al año de creación del ACP AP–AN (Figura 3). Se consultó la disponibilidad de imágenes en el United States Geological Survey (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) con los criterios siguientes (Rojas

*et al.*, 2019): capturadas durante la misma temporada del año, no tener más de 10% de nubes y sombras en el área de estudio y no presentar errores ni distorsiones.

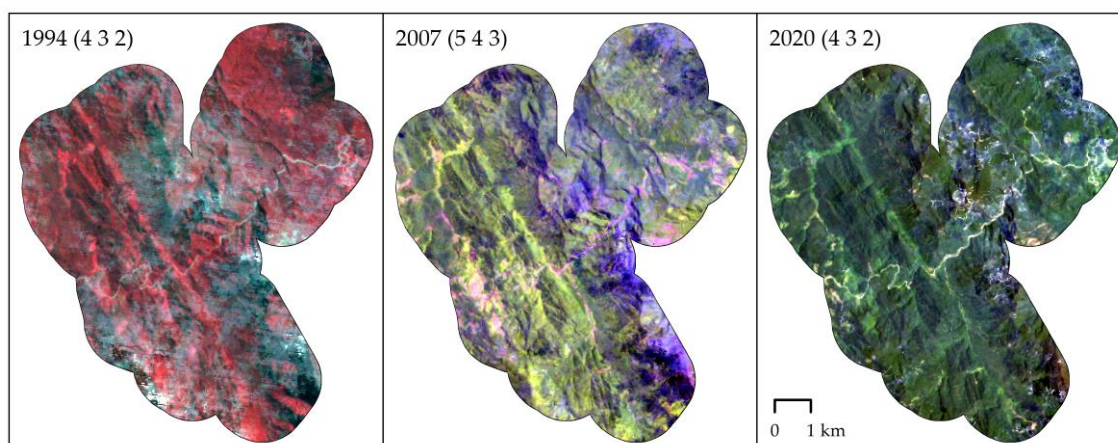


**Figura 3.** Definición de años y períodos de análisis.

Sin embargo, debido al alto porcentaje de nubes en el área de estudio, con apoyo de los asesores, se generaron mosaicos de imágenes libres de nubes en la plataforma Google Earth Engine (Gorelick et al., 2017). Para filtrar las imágenes de las colecciones se consideraron períodos de tiempo centrados y/o próximos a los años de análisis y porcentajes de nubes variables, según mejoras en la calidad del mosaico (Tabla 1 y Figura 4). Se generó un mosaico adicional de mayor resolución espacial en 2021 para el apoyo en el análisis visual y la exactitud temática.

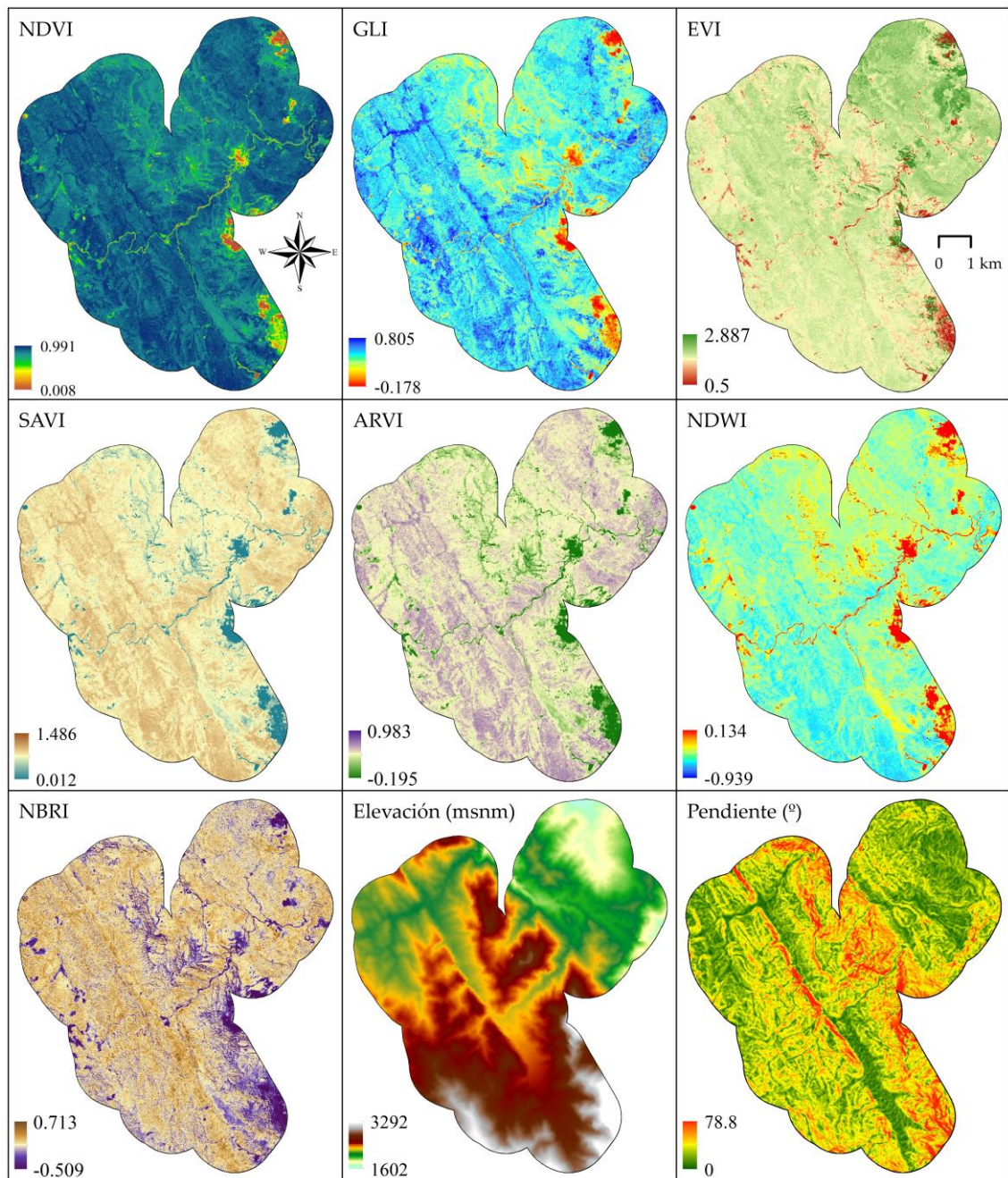
**Tabla 1.** Imágenes de satélite filtradas para el polígono de estudio.

Año de análisis	Colección de imágenes	Filtros	
		Fechas	Nubes
1994	USGS Landsat 5 TM Collection 1 Tier 1 Raw Scenes ID: LANDSAT/LT05/C01/T1	1990-01-01 1994-12-31	< 50%
2007	USGS Landsat 5 TM Collection 1 Tier 1 Raw Scenes ID: LANDSAT/LT05/C01/T1	2005-01-01 2007-12-31	< 60%
2020	USGS Landsat 8 Collection 1 Tier 1 TOA Reflectance ID: LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA	2017-01-01 2021-03-15	< 30%
2021	Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A ID: COPERNICUS/S2_SR	2019-01-01 2021-03-28	< 20%



**Figura 4.** Mosaicos de imágenes sin nubes para 1994, 2007 y 2020.

Para mejorar el desempeño del algoritmo de categorización de imágenes, se implementó una estrategia consistente en aumentar las bandas espectrales (covariables). Para lograr esto, se clasifican imágenes multibanda que integran índices espectrales, variables topográficas y otras variables (Tsai et al., 2018). Para generar los índices espectrales utilizados por Aguilar et al. (2018) (Tabla 2 y Figura 5), se utilizó el álgebra de bandas. Adicionalmente, se empleó un Modelo de Elevación Digital (Farr et al., 2007) para generar mapas de altitud y pendiente del terreno correspondientes al área de estudio.



**Figura 5.** Índices espectrales con la imagen satelital del 2020 y variables topográficas.

**Tabla 2.** Índices espectrales y sus ecuaciones, que incluyen las bandas espectrales Azul (B), Roja (R), Infrarrojo cercano (NIR) y Verde (G).

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

Luego, las bandas espectrales calibradas, las variables topográficas y los índices espectrales, fueron combinados para generar imágenes multibanda para cada año de análisis (Tsai et al., 2018).

### 2.3.3. Procesamiento digital

Mediante salidas a campo se georreferenciaron 129 Áreas de Entrenamiento, para cada clase de CUS en el ACP AP-AN y su área circundante, con un receptor GPS. Estas clases de CUS se identificaron guardando relación con la leyenda CORINE Land Cover adaptada para Perú (MINAM, 2015) y el Mapa Nacional de Ecosistemas (MINAM, 2019). Luego, se ejecutó la clasificación supervisada con el algoritmo Random Forest. Para mejorar las clasificaciones, se compararon visualmente las imágenes satelitales con el mapa clasificado de CUS de cada año de análisis (FAO, 2001). Los polígonos de la fecha 1 de cada período de estudio sirvieron de referencia para corregir la imagen de la fecha 2. En la fecha 2, se alteraron los polígonos donde se suscitaban CCUS o se reconocieron errores de clasificación. Finalmente, de todos los mapas de CUS se eliminaron polígonos con área <1.56 ha, para obtener un Área Mínima Cartografiada a escala 1:25 000 (Vargas, 1992).

### 2.3.4. Cálculo de métricas de exactitud temática

La exactitud temática permite validar mapas de CUS y se basa en tres pasos (MINAM, 2014): cálculo del número de áreas de referencia, diseño del muestreo y

análisis de datos. El número de áreas de referencia se estableció en 196, como lo calcula y justifica (Chuvienco, 2016) en base a la Ecuación 1:

$$N = \frac{z^2 \times p \times q}{E^2} = \frac{1.96^2 \times 85 \times 15}{5^2} = 195.92 = 196 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

- $z$  la coordenada horizontal en la distribución normal corresponde a un nivel de probabilidad o confianza específico. Por ejemplo, para un nivel de confianza del 95%,  $z = 1.96$
- $p$  y  $q$  % de aciertos y errores estimados.  $q = 1 - p$  (cuando el acierto considerado es del 85%, el error estimado es del 15%).
- $E$  nivel máximo permitido de error (5%).

Las 196 áreas de referencia fueron establecidas con un muestreo aleatorio sistemático no alineado estratificado (MINAM, 2014) en el mapa CUS del último año de análisis. Para no subestimar las áreas de referencia por las reducidas áreas relativas de ciertas clases de CUS (Rojas *et al.*, 2019), se consideró un número mínimo de 10 áreas de referencia por cada clase de CUS. Las demás áreas de referencia se repartieron entre todas las clases de CUS según las proporciones que representan del total del área. La verificación de todas las áreas de referencia se realizó mediante salidas al campo, y en caso de difícil accesibilidad se realizó con Google Earth y SAS Planet (Peralta et al., 2015). Para el análisis de datos de la verificación se construyó una matriz de confusión (Tabla 3; Chuvienco, 2016). Con base en la matriz de confusión se calcularon el error de omisión y comisión, exactitud del usuario y del productor (Story & Congalton, 1986). Además, se calcularon la exactitud total (Ecuación 2) el Índice Kappa ( $k$ ) (Ecuación 3).

**Tabla 3.** Matriz de confusión.

Resultados del Mapa CUS	Resultados de verificación en campo				Total	Exactitud usuario	Error comisión
	Clase 1 en campo	Clase 2 en campo	....	Clase n en campo			
Clase 1 en mapa	$O_{11}$	$O_{12}$	....	$O_{1n}$	$O_{1+}$	$O_{11} / O_{1+}$	$1 - O_{11} / O_{1+}$
Clase 2 en mapa	$O_{21}$	$O_{22}$	....	$O_{2n}$	$O_{2+}$	$O_{22} / O_{2+}$	$1 - O_{22} / O_{2+}$
....	....	....	....	....	....	....	....
Clase n en mapa	$O_{n1}$	$O_{n2}$	....	$O_{nn}$	$O_{n+}$	$O_{nn} / O_{n+}$	$1 - O_{nn} / O_{n+}$
<b>Total</b>	$O_{+1}$	$O_{+2}$	....	$O_{+n}$	<b><math>n</math></b>		
Exactitud productor	$O_{11} / O_{+1}$	$O_{22} / O_{+2}$	....	$O_{nn} / O_{+n}$			
Error omisión	$1 - O_{11} / O_{+1}$	$1 - O_{22} / O_{+2}$	....	$1 - O_{nn} / O_{+n}$			

Fuente: (Chuvienco, 2016)



$$\text{Exactitud total} = \frac{\sum_{i=1}^r O_{nn}}{n} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\text{Índice Kappa, } k = \frac{n \sum_{i=1}^r O_{nn} - \sum_{i=1}^r O_{n+} O_{+n}}{n^2 - \sum_{i=1}^r O_{n+} O_{+n}} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

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

El  $k$  se interpretó siguiendo seis niveles de fuerza de concordancia entre el mapa CUS y campo (Landis & Koch, 1977): Casi Perfecta (0.81–1.00), Considerable (0.61–0.80), Moderada (0.41–0.60), Aceptable (0.21–0.40), Leve (0.01–0.20) y Pobre (0.00).

#### 2.4. Estimación del índice de efectividad del ACP AP–AN para contener las tasas de cambios de cobertura y uso del suelo en los períodos 1994–2007 y 2007–2020

##### 2.4.1. Generación de matrices de cambio y tasas de cambio

Se superpusieron los mapas de CUS, de par en par, por período de análisis y se elaboraron mapas de CCUS (Rojas *et al.*, 2019). Luego, con algebra de mapas se generaron Matrices de Tabulación Cruzada para cuantificar los cambios internos entre las clases de CUS (Pontius *et al.*, 2004). Estas matrices, en el eje vertical y horizontal indican las clases de CUS para la fecha 2 y fecha 1, respectivamente (Tabla 4). La diagonal ( $S_{ij}$ ) representa la superficie de persistencia de la clase 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 clase 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 o tabulación cruzada.

Fecha 1	Fecha 2				Total fecha 1 ( $S_{i+}$ )	Tasa de cambio (s)
	Clase 1	Clase 2	.....	Clase j		
Clase 1	$S_{11}$	$S_{12}$	.....	$S_{1j}$	$S_{1+}$	%
Clase 2	$S_{21}$	$S_{22}$	.....	$S_{2j}$	$S_{2+}$	%
.....	.....	.....	.....	.....	.....	%
Clase i	$S_{i1}$	$S_{i2}$	.....	$S_{ij}$	$S_{i+}$	%
<b>Total fecha 2 (<math>S_{+j}</math>)</b>	$S_{+1}$	$S_{+2}$	.....	$S_{+j}$	<b>Área total</b>	

Fuente: (Chuvienco, 2016)

La tasa de cambios  $s$  para el ACP AP–AN y sus cuatro áreas circundantes (buffers, de aquí en adelante) fueron calculadas con la Ecuación 4. Se calculó el territorio cubierto por Superficies Transformadas (ST = clases de CUS no naturales) en el ACP AP–AN y su área circundante, y la tasa de cambio ( $s$ ) promedio anual de dicha ST entre los períodos 1994–2007 y 2007–2020. Esta tasa se calculó a partir de ST inicial ( $S_1$ ), ST final ( $S_2$ ), superficie total ( $S_t$ ) y los años del período de análisis ( $T$ ) (Sánchez-Cordero & Figueroa, 2007):

$$s = \frac{S_2 - S_1 / S_t}{T} \times 100 \quad \text{Ecuación 4}$$

#### 2.4.2. Estimación del índice de efectividad

Se calculó el índice de efectividad para el ACP AP–AN con valores de cuatro parámetros, establecidos por Figueroa et al. (2011): (i) el porcentaje ocupado por ST inicial dentro del ACP; (ii) la tasa de cambios  $s$  en el ACP en el período de análisis; (iii) la resta entre la tasa de cambios  $s$  en el ACP y la observada en su área circundante; 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 circundante; en caso inverso, adoptó un valor de 1. Por tanto, el índice asumió valores entre 0 y 4, cercano a 0 es baja efectividad y cercano a 4 es alta efectividad.

El ACP AP-AN coincide geográficamente con más de un ecosistema (MINAM, 2019), por lo cual, se computarizó una tasa ponderada, en la que las proporciones del ACP correspondientes a cada ecosistema funcionaron como valores de ponderación (Anexo 1). Para el cálculo de ST en cada ecosistema (a nivel regional) se utilizaron datos de Global Forest Change (GFC), plataforma elaborada en Google Earth Engine (Gorelick et al., 2017) que presenta datos de deforestación (2001–2020) procesados por (Hansen et al., 2013). Adicionalmente, para mejorar la ST del último año, se unió dicha data con el mapa superficie agrícola nacional del Perú (MIDAGRI, 2020), puesto que son áreas categorizadas como no bosque (Anexo 2). Además, debido a que no se contó con data de deforestación para el ecosistema en el año 1994, se realizó un análisis de regresión utilizando los datos de GFC de 2001 a 2020 (Anexo 3).

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Mapas de CUS y métricas de exactitud temática

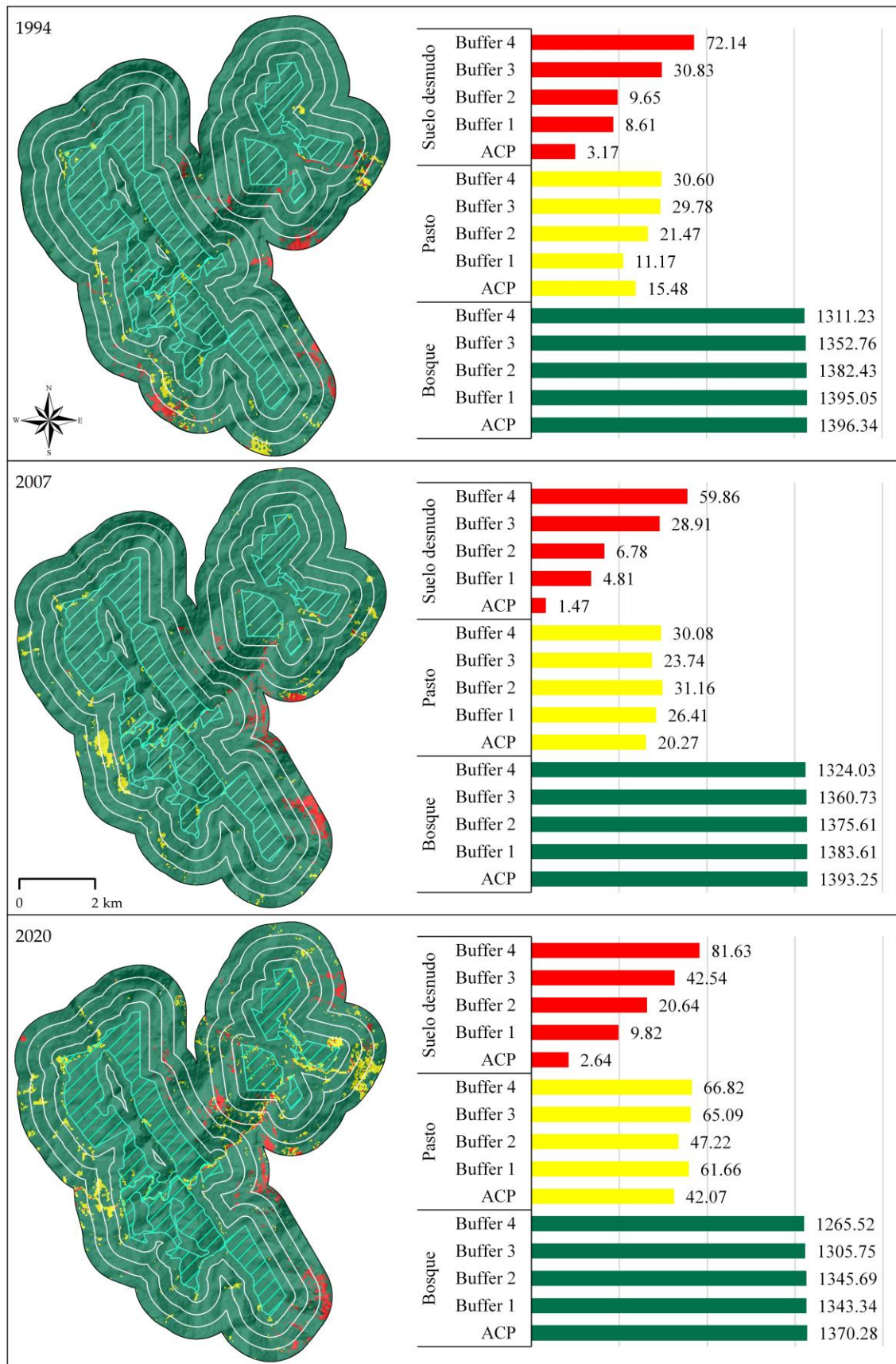
Los resultados de exactitud temática para el mapa de CUS del año 2020 se muestran en la Tabla 5. La precisión global de 96.4% y el índice Kappa de 0.86 indican un nivel de correspondencia casi perfecto entre el mapa CUS y las áreas de referencias recorridas en campo. Para cada clase de CUS, se obtuvieron superiores exactitudes de usuario que de productor. La clase Bosque presenta las mayores exactitudes, mientras que la clase Pasto presenta las menores exactitudes.

**Tabla 5.** Matriz de confusión para el mapa de CUS del año 2020.

Resultados del Mapa CUS	Resultados de verificación en campo				Exactitud usuario	Error comisión
	Bosque	Pasto	Suelo desnudo	Total		
Bosque	<b>166</b>	3	1	<b>170</b>	97.6%	2.4%
Pasto y cultivos	1	<b>11</b>	1	<b>13</b>	84.6%	15.4%
Suelo desnudo	1	0	<b>12</b>	<b>13</b>	92.3%	7.7%
<b>Total</b>	<b>168</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>196</b>		
Exactitud productor	98.8%	78.6%	85.7%			
Error omisión	1.2%	21.4%	14.3%			

Los mapas de CUS del ACP AP–AN para 1994, 2007 y 2020 se muestran en la Figura 6. De las tres clases de CUS reconocidas, la cobertura Bosque (BO) cubre >95% y >90% en el ACP AP–AN y en su área circundante, respectivamente, en los 26 años de análisis (Figura 6, Tabla 6). Las superficies de Pasto y cultivos (PC) y Suelo desnudo (SD) fueron mayores, en todos los años de análisis y en todas las áreas circundantes, con respecto al ACP AP–AN.

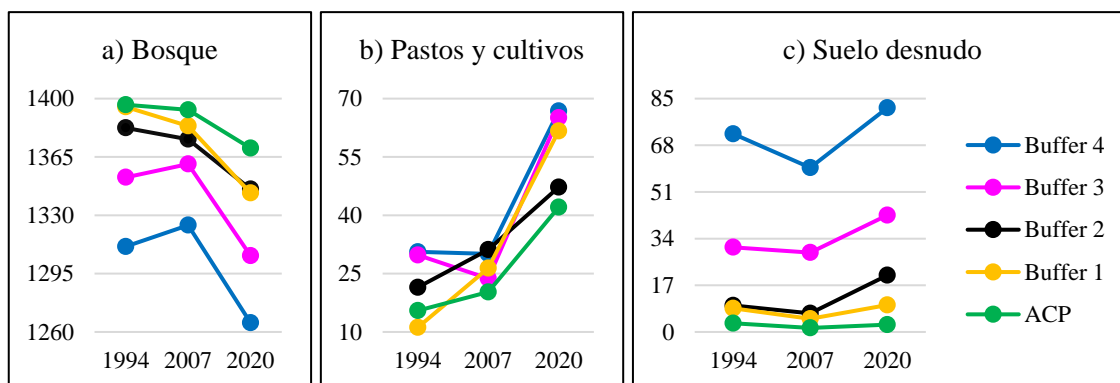
Dentro del ACP AP–AN, durante 1994 – 2007, la superficie de Bosque (BO) se redujo en 3.09 ha (0.2% de la extensión en 1994, a 0.24 ha/año), y para 2007 – 2020, la reducción pasó a -22.97 ha (1.6% de la extensión en 2007, a 1.77 ha/año) (Tabla 6). En ambos períodos de análisis, pérdidas más acentuadas mostró el Bosque en la primera y segunda área circundante (Figura 7). Dentro del ACP AP–AN, la reducción de Bosque coincide con el aumento del Pasto y cultivos (PC), en 4.79 ha (30.9% de la extensión en 1994, a 0.37 ha/año) y 21.80 ha (107.5% de la extensión en 2007, a 1.68 ha/año), durante los períodos 1994 – 2007 y 2007 – 2020, respectivamente. El Pasto y cultivos (PC) aumentó en mayor proporción en las áreas circundantes. El Suelo desnudo tiene extensiones variables, dentro y fuera del ACP, y aumentó para el 2020 (Figura 7).



**Figura 6.** Mapas de la dinámica de la cobertura y uso del suelo en el ACP AP-AN y su área circundante en 1994, 2007 y 2020.

**Tabla 6.** Dinámica de la cobertura y uso del suelo en el ACP AP-AN y su área circundante en 1994, 2007 y 2020.

Clase de CUS	Área geográfica	1994		2007		2020		1994-2007	2007-2020
		ha	%	ha	%	ha	%	Δ %	Δ %
Bosque (BO)	ACP	1396.34	98.7	1393.25	98.5	1370.28	96.8	-0.2	-1.6
	Buffer 1	1395.05	98.6	1383.61	97.8	1343.34	94.9	-0.8	-2.8
	Buffer 2	1382.43	97.8	1375.61	97.3	1345.69	95.2	-0.5	-2.1
	Buffer 3	1352.76	95.7	1360.73	96.3	1305.75	92.4	0.6	-3.9
	Buffer 4	1311.23	92.7	1324.03	93.6	1265.52	89.5	0.9	-4.1
	Buffer total	5441.47	96.2	5443.98	96.3	5260.31	93.0	0.04	-3.2
Pasto y cultivos (PC)	ACP	13.48	1.1	15.23	1.4	46.07	3.0	0.3	1.5
	Buffer 1	11.17	0.8	26.41	1.9	61.66	4.4	1.1	2.5
	Buffer 2	21.47	1.5	31.16	2.2	47.22	3.3	0.7	1.1
	Buffer 3	29.78	2.1	23.74	1.7	65.09	4.6	-0.4	2.9
	Buffer 4	30.60	2.2	30.08	2.1	66.82	4.7	0.04	2.6
	Buffer total	93.02	1.6	111.38	2.0	240.78	4.3	0.3	2.3
Suelo desnudo (SD)	ACP	3.17	0.2	1.47	0.1	2.64	0.2	-0.1	0.1
	Buffer 1	8.61	0.6	4.81	0.3	9.82	0.7	-0.3	0.4
	Buffer 2	9.65	0.7	6.78	0.5	20.64	1.5	-0.2	1.0
	Buffer 3	30.83	2.2	28.91	2.0	42.54	3.0	-0.1	1.0
	Buffer 4	72.14	5.1	59.86	4.2	81.63	5.8	-0.9	1.5
	Buffer total	121.23	2.1	100.35	1.8	154.63	2.7	-0.4	1.0



**Figura 7.** Dinámica de la cobertura y uso del suelo en el ACP AP-AN y su área circundante en 1994, 2007 y 2020.

### 3.2. Matrices y tasas de cambios y deforestación

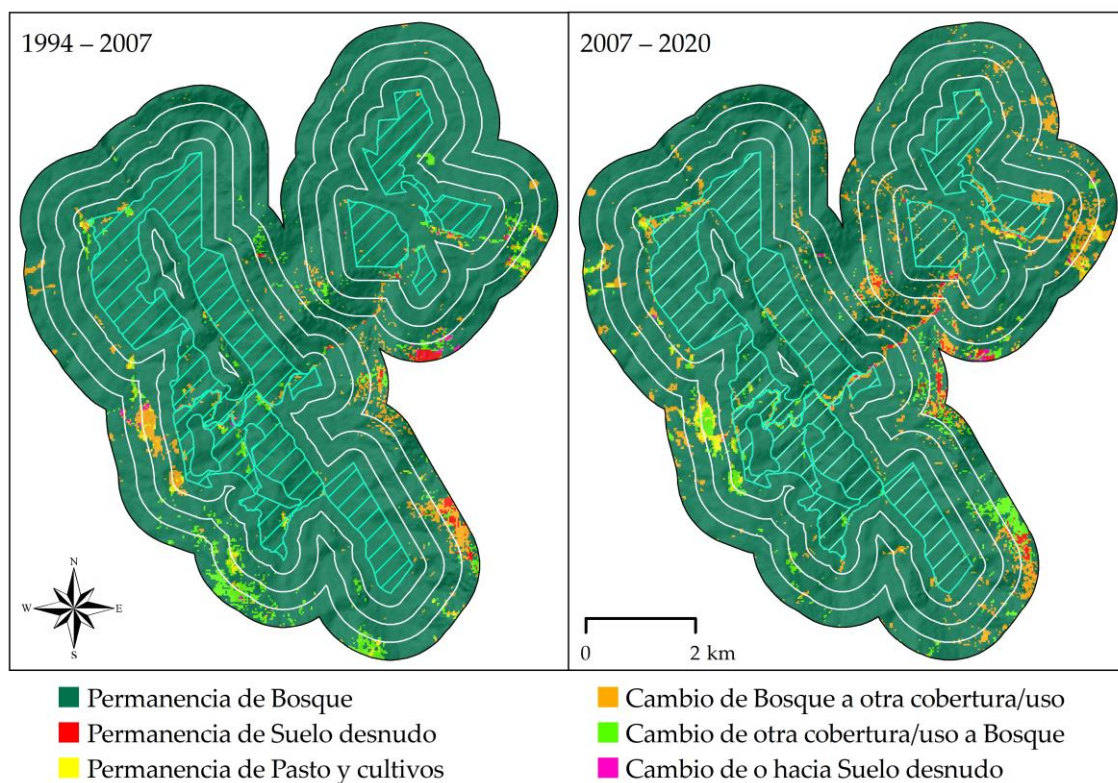
En el período 1994 – 2007, las tasas de cambio positivo lo tuvieron Pasto y cultivos (PC), y fueron mayores en los dos primeros buffers (6.85% y 2.91%) que dentro del ACP AP-AN (2.09%) (Tabla 7, Figura 8). Este mismo comportamiento se dio en el período 2007 – 2020 (Tabla 8), excepto en el Buffer 3 (3.25%), que tuvo menor cambio positivo que dentro del ACP AP-AN (5.78%). Las tasas de cambio positivo de Pasto y cultivos (PC) se incrementaron en el segundo período de análisis, tanto dentro como fuera del ACP AP-AN.

**Tabla 7.** Matriz de transición y tasas de cambio en el ACP AP–AN y su área circundante, período 1994–2007.

Área de análisis	1994		2007			Total 1994	Tasa de cambio (s)
			BO	PC	SD		
ACP	Bosque	BO	1380.95	14.73	1.40	1397.09	-0.02
	Pasto y cultivos	PC	11.44	4.04	0.00	15.48	2.09
	Suelo desnudo	SD	1.61	1.50	0.06	3.17	-5.75
	<b>Total 2007</b>		<b>1393.25</b>	<b>20.27</b>	<b>1.47</b>	<b>1415.74</b>	
Buffer 1	Bosque	BO	1370.65	21.03	3.37	1395.05	-0.06
	Pasto y cultivos	PC	7.23	3.34	0.00	11.17	6.85
	Suelo desnudo	SD	5.73	1.44	1.43	8.61	-4.38
	<b>Total 2007</b>		<b>1383.61</b>	<b>26.41</b>	<b>4.81</b>	<b>1414.82</b>	
Buffer 2	Bosque	BO	1352.87	24.09	5.47	1382.43	-0.04
	Pasto y cultivos	PC	15.82	5.65	0.00	21.47	2.91
	Suelo desnudo	SD	6.92	1.43	1.31	9.65	-2.68
	<b>Total 2007</b>		<b>1375.61</b>	<b>31.16</b>	<b>6.78</b>	<b>1413.55</b>	
Buffer 3	Bosque	BO	1313.11	13.98	25.67	1352.76	0.05
	Pasto y cultivos	PC	20.80	8.45	0.53	29.78	-1.73
	Suelo desnudo	SD	26.82	1.30	2.70	30.83	-0.49
	<b>Total 2007</b>		<b>1360.73</b>	<b>23.74</b>	<b>28.91</b>	<b>1413.38</b>	
Buffer 4	Bosque	BO	1252.77	18.08	40.38	1311.23	0.07
	Pasto y cultivos	PC	23.73	6.88	0.00	30.60	-0.13
	Suelo desnudo	SD	47.53	5.13	19.48	72.14	-1.43
	<b>Total 2007</b>		<b>1324.03</b>	<b>30.08</b>	<b>59.86</b>	<b>1413.97</b>	

**Tabla 8.** Matriz de transición y tasas de cambio en el ACP AP–AN y su área circundante, período 2007 – 2020.

Área de análisis	2007		2020			Total 2007	Tasa de cambio (s)
			BO	PC	SD		
ACP	Bosque	BO	1358.26	33.61	2.13	1394.00	-0.13
	Pasto y cultivos	PC	12.53	7.74	0.00	20.27	5.78
	Suelo desnudo	SD	0.24	0.72	0.51	1.47	4.61
	<b>Total 2020</b>		<b>1371.03</b>	<b>42.07</b>	<b>2.64</b>	<b>1415.74</b>	
Buffer 1	Bosque	BO	1326.19	49.71	7.70	1383.61	-0.23
	Pasto y cultivos	PC	15.71	10.25	0.45	26.41	6.74
	Suelo desnudo	SD	1.45	1.69	1.67	4.81	5.65
	<b>Total 2020</b>		<b>1343.34</b>	<b>61.66</b>	<b>9.82</b>	<b>1414.82</b>	
Buffer 3	Bosque	BO	1323.03	34.08	18.50	1375.61	-0.17
	Pasto y cultivos	PC	18.74	12.33	0.09	31.16	3.25
	Suelo desnudo	SD	3.92	0.81	2.05	6.78	8.94
	<b>Total 2020</b>		<b>1345.69</b>	<b>47.22</b>	<b>20.64</b>	<b>1413.55</b>	
Buffer 3	Bosque	BO	1271.91	52.40	36.43	1360.73	-0.32
	Pasto y cultivos	PC	12.79	10.59	0.36	23.74	8.07
	Suelo desnudo	SD	21.06	2.10	5.75	28.91	3.02
	<b>Total 2020</b>		<b>1305.75</b>	<b>65.09</b>	<b>42.54</b>	<b>1413.38</b>	
Buffer 4	Bosque	BO	1211.29	50.95	61.79	1324.03	-0.35
	Pasto y cultivos	PC	16.39	12.78	0.91	30.08	6.33
	Suelo desnudo	SD	37.84	3.08	18.93	59.86	2.42
	<b>Total 2020</b>		<b>1265.52</b>	<b>66.82</b>	<b>81.63</b>	<b>1413.97</b>	

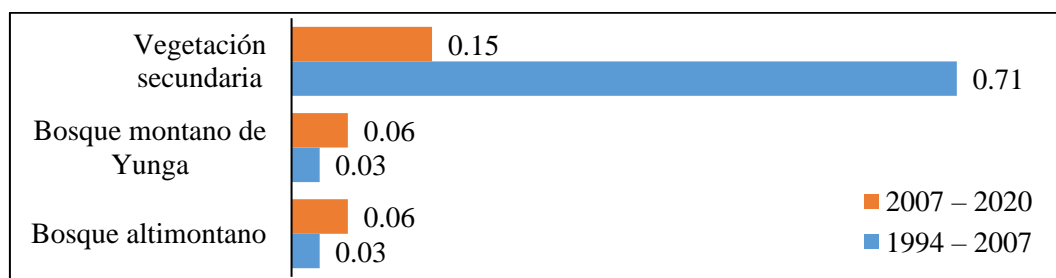


**Figura 8.** Procesos de cambio y permanencia de la cobertura y uso del suelo en el ACP AP-AN y su área circundante en los períodos 1994 – 2007 y 2007 – 2020.

Dentro del ACP AP-AN y en ambos períodos de análisis, el cambio negativo de Bosque (BO) fue principalmente dirigido a Pasto y cultivos (PC), en 14.73 ha y 33.61 ha en los períodos 1994 – 2007 y 2007 – 2020, respectivamente. La misma tendencia, pero en mayor cantidad se dio en todas las áreas circundantes.

### 3.3. Índices de efectividad

El ACP AP-AN abarca tres ecosistemas, los cuales son Bosque altimontano (1%), Bosque montano de Yunga (97%) y Vegetación Secundaria (2%), y cuyas tasas de cambio regional estimadas se muestran en la Figura 9 y Anexo 4. Las tasas de cambios regional ponderadas por los ecosistemas fueron 0.04% y 0.23%, en los períodos 1994 – 2007 y 2007 – 2020, respectivamente.



**Figura 9.** Tasas de cambio regional de los ecosistemas que abarca el ACP AP-AN.

Las Tabla 9 y 10 muestran los dos primeros parámetros del índice de efectividad. El porcentaje de superficie transformada (%ST) fue mayor en todas las áreas circundantes que dentro del ACP en ambos períodos de 1994 – 2007 (Tabla 9) y 2007 – 2020 (Tabla 10).

**Tabla 9.** Superficie transformada (ST) (1994, 2007), porcentaje (2007) y tasas de cambio (1994 – 2007) en las ST, en el ACP AP–AN y sus áreas circundantes.

Área de análisis	ST 1994 (ha)	ST 2007 (ha)	%ST 2007	Tasa de cambio (s) ST	%ST estandarizado	Tasa de cambio (s) ST estandarizado
ACP	13.48	15.23	1.08	0.01	1.00	0.63
Buffer 1	11.17	26.41	1.87	0.05	0.30	0.00
Buffer 2	21.47	31.16	2.20	0.03	0.00	0.26
Buffer 3	29.78	23.74	1.68	-0.02	0.46	1.00
Buffer 4	30.60	30.08	2.13	0.00	0.07	0.74

**Tabla 10.** Superficie transformada (ST) (2007, 2020), porcentaje (2020) y tasas de cambio (2007 – 2020) en las ST, en el ACP AP–AN y sus áreas circundantes.

Área de análisis	ST 2007 (ha)	ST 2020 (ha)	%ST 2020	Tasa de cambio (s) ST	%ST estandarizado	Tasa de cambio (s) ST estandarizado
ACP	15.23	46.07	3.25	0.17	1.00	1.00
Buffer 1	26.41	61.66	4.36	0.19	0.25	0.58
Buffer 2	31.16	63.66	4.50	0.18	0.15	0.84
Buffer 3	23.74	65.09	4.61	0.23	0.08	0.00
Buffer 4	30.08	66.82	4.73	0.20	0.00	0.44

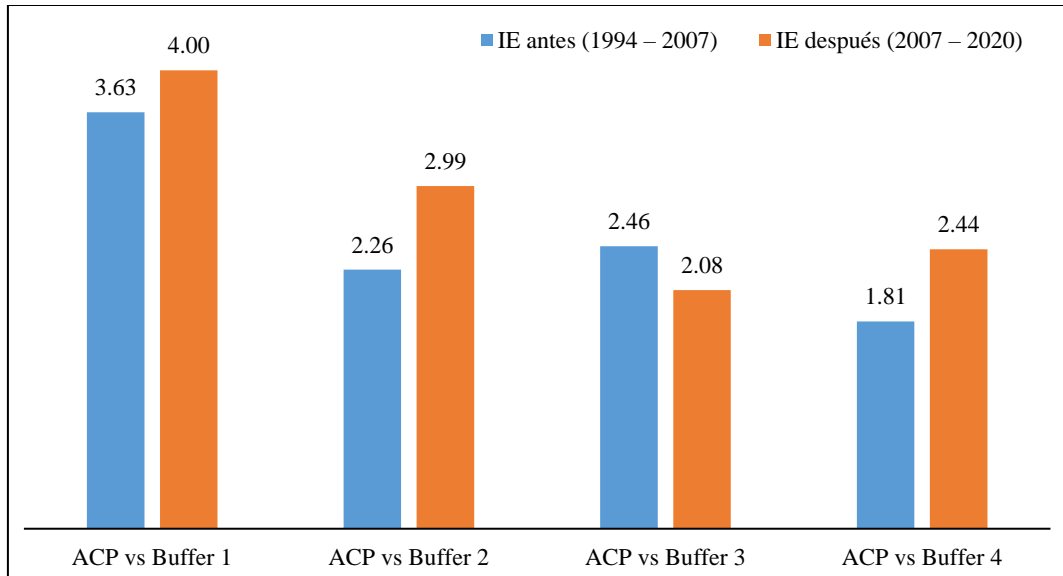
La Tabla 11 muestra los dos segundos parámetros del índice de efectividad. Valores negativos de diferencia se estandarizaron a 1 al momento de calcular el índice, porque indican que el ACP presenta un aumento en la ST menor que en su área circundante. Esta condición no la cumplieron las áreas circundantes 3 y 4 en el período 1994 – 2007. Los ecosistemas también evidenciaron diferencias negativas.

**Tabla 11.** Resta entre la tasa de cambio en el ACP AP–AN, sus áreas circundantes (buffers) y ecosistemas, respectivamente.

Área de análisis	1994 – 2007		2007 – 2020	
	ACP - Buffer	ACP - Ecosistemas	ACP - Buffer	ACP - Ecosistemas
ACP vs Buffer 1	-0.04		-0.02	
ACP vs Buffer 2	-0.02		-0.01	
ACP vs Buffer 3	0.02	-0.04	-0.06	-0.06
ACP vs Buffer 4	0.01		-0.03	



La Figura 10 muestra los índices de efectividad en el ACP AP–AN con respecto a sus áreas circundantes, antes y después de la creación del ACP. El índice de efectividad es mayor después de haberse creado el ACP AP–AN en las diferentes áreas circundantes (excepto Buffer 3). Además, el índice de efectividad disminuye conforme el área circundante se aleja del ACP AP–AN. Esto evidencia que la creación del ACP AP–AN influyó positivamente en la conservación de bosques, no solo dentro del mismo ACP, si no en sus diferentes áreas circundantes.



**Figura 10.** Índices de efectividad (IE) en el ACP AP–AN y sus áreas circundantes, antes y después de la creación del ACP.

#### IV. DISCUSIÓN

Esta investigación destaca la importancia del uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), el procesamiento de imágenes satelitales y la clasificación de coberturas con el fin de llevar a cabo un análisis multitemporal de los Cambios en la Cobertura y Uso del Suelo (CCUS), y para comprender los procesos de deforestación y fragmentación del paisaje (Hernández et al., 2013). En la clasificación de imágenes de satélite, se obtuvo un índice Kappa = 0.86, valor superior a estudios previos de análisis de deforestación. Por ejemplo, en la evaluación de la subcuenca del río Yuracyacu (Rioja, San Martín) durante el período 1989 – 2010, obtuvo un índice kappa igual a 0.65 (Gómez-Lora et al., 2021); el kappa fue 0.763 en el análisis de deforestación (1987 – 2016) en el ámbito del distrito de Leymebamba (Mendoza et al., 2015); y el índice kappa fue 0.72 en el estudio CCUS en la provincia de Rodríguez de Mendoza entre los años 1987 – 2016 (Rojas et al., 2019). Con respecto a dichos estudios, en el presente estudio se han considerado nuevas herramientas tecnológicas como la computación en la nube (Google Earth Engine) e índices de vegetación para aumentar la exactitud temática de las clasificaciones. Similar a lo desarrollado en el estudio de variación espaciotemporal (entre los años 1990 – 2020) de los pastizales en las microcuencas ganaderas altoandinas de Pomacochas y Ventilla en el departamento de Amazonas, con índices kappa entre 0.87 – 0.93 (Atalaya et al., 2022).

Para enfrentar la pérdida de la diversidad biológica, en las últimas décadas a nivel mundial ha crecido la creación de la conservación de manera voluntaria en tierras de categoría privada (Roldán et al., 2010). Por ejemplo, en el Perú, mediante R.M. N° 621-2007-AG (16/10/2007) se estableció el ACP Abra Patricia–Alto Nieva (ACP AP–AN) en una superficie de 1415.74 hectáreas (SERNANP, 2021). Sin embargo, dentro del ACP de estudio, de 1994 a 2007, la superficie de Bosque se redujo en -3.09 ha con una tasa de 0.24 ha/año, y para el período 2007 a 2020, la reducción pasó a -22.97 ha con una tasa de 1.77 ha/año. Lo antes descrito, elevadas pérdidas de bosque en los últimos años, guarda relación con el ámbito de estudio, el distrito de Yambrasbamba. Donde la pérdida de bosques en las últimas dos décadas (2001 – 2021) sumó un total de -6681 hectáreas, principalmente en áreas menores a 5 hectáreas (MINAM, 2021). Otro estudio más detallado, indica que la pérdida de bosque en el distrito de Yambrasbamba en el período 2001 – 2019 fue 30648.97 ha, facilitadas por la construcción de vías para acceso

a la agricultura, ganadería y explotación forestal (Chuquibala, 2021). En muchos casos estos cambios se deben a la agricultura migratoria (Shanee et al., 2014), considerando que las ACP principalmente han sido creadas como complemento a las áreas naturales de categoría nacional en áreas donde existe una alta concentración de población asentada o que están sometidas a una fuerte presión debido a procesos migratorios. (Shanee et al., 2017).

Dentro de las ACP se encuentran la Zona de Uso Limitado (parte del terreno que cumple el compromiso de conservación del propietario) y Zona de Uso Múltiple (zona donde se permite la realización de cualquier actividad que no afecte el objetivo de reconocimiento del ACP) (Monteferry, 2019). A partir de la creación del ACP AP-AN en el año 2007, la superficie transformada (ST) abarcó entre 60 – 65 hectáreas en el área circundante (buffer) al 2020, principalmente por la presión de actividades antrópicas; sumado a ello 46.07 hectáreas de afectación dentro del ámbito del ACP. Tal como reportó (Rojas et al., 2019), en su análisis de deforestación en una provincia de Amazonas, las concentraciones de pérdida de cobertura boscosa están colindantes a la red de carreteras y redes hídricas, sumado a la actividad ganadera y la expansión agrícola. De igual manera, similar a los resultados obtenido en este estudio, se muestran las causas de la pérdida de cobertura boscosa y afectación a los objetivos de conservación, en los estudios de deforestación y cambios de cobertura en las ACP Tilacancha, Copallín, Hierba Buena - Allpayacku y Huaylla Belén Colcamar en el departamento de Amazonas (Delgado et al., 2021; Salas et al., 2018).

El índice de efectividad es positivo después de haberse creado el ACP AP-AN; sin embargo, es posible precisar conforme el área circundante se aleja del ACP AP-AN (Del Buffer 1 al Buffer 4), el índice de efectividad disminuye. Este estudio consideró el índice de efectividad ecológico, basándose en cambio de cobertura y uso de suelo, tal como lo hizo (Figueroa et al., 2011) y se concuerda con lo obtenido en los estudios de efectividad del “ACP Comunal En Bosques Montanos Nublados Del Norte de Perú” y su área circundante donde calcularon el índice de efectividad compuesto basado en la efectividad de diseño, de gestión y ecológica (Delgado et al., 2021). Si bien, se evidencia que la creación del ACP AP-AN influye positivamente en la conservación de bosques, es necesario tener en consideración que existen limitaciones de gestión relacionadas para el control y monitoreo de la biodiversidad. Por lo cual, mediante los SIG y Teledetección son herramientas que contribuyen a monitorear la deforestación,

haciendo uso de imágenes satelitales para una adecuada gestión y toma de decisiones del Patrimonio Natural de la Nación (Angulo, 2017; Monteferry, 2019).

Aunque la tasa de deforestación es mayor después de haberse creado el ACP AP-AN (en 0.2% 1994 – 2007 frente a 1.6% en 2007 – 2020), el ACP es efectiva porque el índice de efectividad calculado no depende solo de dicha tasa, también toma en cuenta cuáles han sido los procesos de deforestación fuera del ACP y en los ecosistemas que pretende conservar. Se entiende que, de no haberse creado el ACP, la tasa interna del ACP debería ser igual o seguir la misma tendencia incremental que las tasas de sus buffers o ecosistemas. Por ejemplo, 2.8% en 1994 – 2007 frente a 0.8% en 2007 – 2020 en el Buffer 1. O una tasa incremental similar a los ecosistemas que pasó de 0.04% a 0.23% en los períodos 1994 – 2007 y 2007 – 2020, respectivamente. La repercusión inmediata o directa del ACP no es frenar la deforestación o revertir su tendencia, que fuera lo ideal, pero no se da porque las presiones antrópicas siguen estando presente (Monteferry, 2019). Entonces, la repercusión de las ACP es ralentizar los procesos de cambios y deforestación, frente a los procesos de sus áreas circundantes o ecosistemas que pretenden conservar.

En el distrito de Yambrasbamba (y en todas las ACP del Perú) es importante evaluar la efectividad de las áreas de conservación, no solo a nivel ecológico (como se hizo aquí), sino también a nivel de diseño y de gestión. Pero más importante en este distrito porque dada la intensa actividad antrópica (ganadería, agricultura, minería, explotación forestal), las ACP están teniendo presiones de la misma comunidad campesina. Es el caso que, en 2022, la misma comunidad campesina solicitó la pérdida de reconocimiento de dos ACP, creadas apenas cuatro años antes en 2018. A saber, mediante R.M. N° 118-2022-MINAM se declaró la pérdida de reconocimiento del ACP “Copal Cuilungo”, reconocida mediante R.M. N° 433-2018-MINAM; y mediante R.M. N° 127-2022-MINAM se declaró la pérdida de reconocimiento del Área de Conservación Privada “Monte Puyo (Bosque de Nubes)”, reconocida mediante R.M. N° 349-2018-MINAM.

## V. CONCLUSIONES

El estudio utilizó Sistemas de Información Geográfica y Teledetección para mapear los cambios de cobertura y uso del suelo en el ACP Abra Patricia – Alto Nieva (AP–AN) entre 1994 y 2020, mostrando una reducción de la superficie boscosa. La tasa de reducción fue de -0.24 ha/año entre 1994 y 2007 (-3.09 ha en total), y aumentó a -1.77 ha/año entre 2007 y 2020 (-22.97 ha en total).

El índice de efectividad para contener procesos de cambios de cobertura y uso del suelo en el ACP AP–AN es mayor después de la creación del ACP, y disminuye a medida que se aleja del ACP (desde el Buffer 1 al Buffer 4). Esto sugiere que la creación del ACP influyó positivamente en la conservación de bosques no solo dentro del ACP, sino también en sus áreas circundantes.

El uso de herramientas tecnológicas para evaluar la efectividad, identificar procesos y cuantificar los cambios de cobertura y uso del suelo en áreas de conservación puede contribuir a identificar los factores que afectan la pérdida de biodiversidad y las limitaciones para cumplir los objetivos establecidos en su creación.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Es importante realizar una evaluación comparativa de los cambios de cobertura y efectividad de la conservación entre las áreas de conservación de categoría privada, regional y nacional para conocer la problemática y limitaciones a diferentes escalas de manejo.

Por otro lado, se recomienda hacer uso de herramientas de computación en la nube (Por ejemplo: Google Earth Engine) para un análisis más eficiente y rápido de imágenes satelitales de mediana resolución, así como la combinación con imágenes radar para las áreas en las cuales existe mayor presencia de nubosidad durante todo el año.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, R., Zurita-Milla, R., Izquierdo-Verdiguier, E., & de By, R. A. (2018). A cloud-based multi-temporal ensemble classifier to map smallholder farming systems. *Remote Sensing*, *10*(5). <https://doi.org/10.3390/rs10050729>
- Angulo, L. M. A. (2017). *Uso de imágenes satelitales para la delimitación y zonificación de áreas de conservación regional en el departamento del Cusco*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Atalaya, M. N., Barboza, E., Salas L., R., Vásquez, H. V., Gómez F., D., Terrones M., R. E., Rojas B., N. B., Oliva-Cruz, M., Gamarra T., O. A., Silva L., J. O., & Turpo C., E. (2022). Spatiotemporal dynamics of grasslands using Landsat data in livestock micro-watersheds in Amazonas (NW Peru). *Land*, *11*(5), 674. <https://doi.org/10.3390/land11050674>
- Chuquibala, C. E. M. (2021). *Análisis multitemporal de índices de deforestación en el distrito de Yambrasbamba, Bongará, Amazonas*. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- Chuvieco, E. (2016). Fundamentals of satellite remote sensing. An environmental approach. En *Fundamentals of Satellite Remote Sensing* (2da Ed). CRC Press Taylor & Francis Group.
- 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*. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- Delgado, E., Meza M., G., Barboza, E., Rojas B., N. B., Torres G., C., Oliva-Cruz, M., Chavez-Quintana, S. G., Salas L., R., López de la L., R., Sevillano-Ríos, C. S., & Sarmiento, F. (2021). Efectividad de áreas de conservación privada comunal en bosques montanos nublados del norte de Perú. *Pirineos*, *176*, e067. <https://doi.org/10.3989/pirineos.2021.176006>
- Ervin, J. (2003). Protected area assessments in perspective. *BioScience*, *53*(9), 819–822. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2003\)053\[0819:PAAIP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2003)053[0819:PAAIP]2.0.CO;2)
- FAO. (2001). *Global Forest Resources Assessment 2000 Main Report*. 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*(RG2004), 1–33. <https://doi.org/10.1029/2005RG000183>
- Figuroa, 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>
- Figuroa, 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), 951–963.
- Figuroa, F., Sánchez-Cordero, V., Meave, J. A., & Trejo, I. (2009). Socioeconomic context of land use and land cover change in Mexican biosphere reserves. *Environmental Conservation*, 36(3), 180–191. <https://doi.org/10.1017/S0376892909990221>
- 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)
- Gómez-Lora, J. W., Gallo-Ramos, V. H., & Camacho-Zorogastúa, K. del C. (2021). Evaluación del bosque húmedo tropical mediante el análisis de la cobertura fraccional y técnicas SIG en la subcuenca del río Yuracyacu, Amazonía peruana. *Madera y Bosques*, 27, 1–20. <https://doi.org/doi.org/10.21829/myb.2021.2722109>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202(2016), 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- 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>
- Hernández, I. U., Ellis, E. A., & Gallo, C. A. (2013). Aplicación de teledetección y sistemas de información geográfica para el análisis de deforestación y deterioro de selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz. *GeoFocus (Informes y Aplicaciones)*, 13, 1–24.
- 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)
- 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>
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). An Application of Hierarchical Kappa-type Statistics in the Assessment of Majority Agreement among Multiple Observers. *Biometrics*, 33(2), 363–374. <https://doi.org/10.2307/2529786>
- 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(February), 131–144. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.02.034>



- 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>
- Mendoza, Ch. M. E., Salas L., R., & Barboza C., E. (2015). Análisis multitemporal de la deforestación usando la clasificación basada en objetos, distrito de Leymebamba (Perú). *Rev. INDES*, 3(2), 67–76. <https://doi.org/10.25127/indes.201502.008>
- MIDAGRI. (2020). Resolución Ministerial N° 0322-2020-MIDAGRI. Oficializar el Mapa Nacional de Superficie Agrícola del Perú, detallado por departamentos, provincias y distritos. *El Peruano*.
- MINAM. (2014). Protocolo: Evaluación de la Exactitud Temática del Mapa de Deforestación. En *Ministerio del Ambiente*. Dirección General de Ordenamiento Territorial.
- MINAM. (2015). *Mapa nacional de cobertura vegetal. Memoria Descriptiva*. Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural.
- MINAM. (2019). *Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú: Memoria Descriptiva*. Lima, Perú: Dirección General de Ordenamiento Territorial Ambiental.
- MINAM. (2021). *Bosque y Pérdida de Bosque*. <https://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/view/perdida.php>
- 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.
- Peralta, R. C., Torrico, A. J. C., Vos, V. A., Galindo-Mendoza, M. G., & Contreras-Servín, C. (2015). Tasas de cambios de coberturas de suelo y deforestación (1986-2011) en el municipio de Riberalta, Amazonía boliviana. *Ecología en Bolivia*, 50(2), 91–114.
- Pontius, R. G., Shusas, E., & McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 101(2–3), 251–268. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008>
- Rojas, B. N. B., Barboza C., E., Maicelo Q., J. L., Oliva C., S. M., & Salas L., 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(81), 1–34. <https://doi.org/10.21138/bage.2538a>
- Roldán, M., Carminati, A., Biganzoli, F., & Paruelo, J. M. (2010). Las reservas privadas ¿son efectivas para conservar las propiedades de los ecosistemas? *Ecología Austral*, 20(2), 185–199.
- 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>
- Salas, L. R., Barboza C., E., & Oliva C., M. (2014). Dinámica multitemporal de índices de deforestación en el distrito de Florida, departamento de Amazonas, Perú. *Revista INDES*, 2(1), 18–27. <https://doi.org/10.25127/indes.201401.00>

- Salas, L. R., Barboza C., E., Rojas B., N. B., & Rodriguez C., 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 en Agroproducción Sustentable*, 2(3), 54–64. <https://doi.org/10.25127/aps.20182.393>
- Sánchez-Cordero, V., & Figueroa, F. (2007). La efectividad de las reservas de la biosfera en México para contener procesos de cambio en el uso del suelo y la vegetación. En *Hacia una cultura de conservación de la diversidad biológica* (pp. 161–171). <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.3.768>
- SERNANP. (2021). *GEO ANP - Visor de las Áreas Naturales Protegidas*. <https://geo.sernanp.gob.pe/visorsernanp/>
- Shanee, N., Shanee, S., & Horwich, R. H. (2014). Effectiveness of locally run conservation initiatives in north-east Peru. *Oryx*, 49(2), 239–247. <https://doi.org/10.1017/S0030605313001002>
- Shanee, S., Shanee, N., Monteferri, B., Allgas, N., Alarcon Pardo, A., & Horwich, R. H. (2017). Protected area coverage of threatened vertebrates and ecoregions in Peru: Comparison of communal, private and state reserves. *Journal of Environmental Management*, 202, 12–20. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.07.023>
- Story, M., & Congalton, R. G. (1986). Accuracy Assessment: A User' s Perspective. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52(3), 397–399.
- Tsai, Y. H., Stow, D., Chen, H. L., 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). <https://doi.org/10.3390/rs10060927>
- Turner, B. L., Lambin, E. F., & Reenberg, A. (2007). The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(52), 20666–20671. <https://doi.org/10.1073/pnas.0704119104>
- Vargas, G. E. (1992). *Análisis y clasificación del uso y cobertura de la tierra con interpretación de imágenes*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) & Ministerio de Hacienda y Crédito Público.

## VIII. ANEXOS

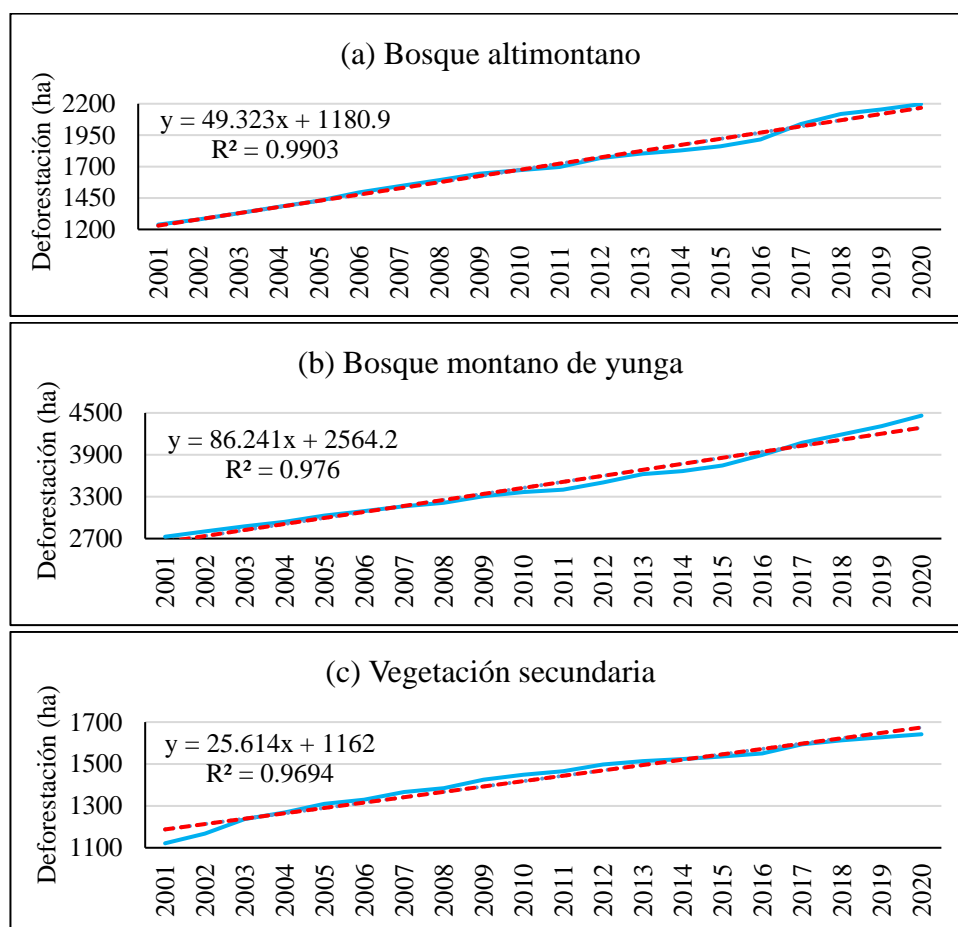
**Anexo 1.** Superficie del ACP AP-AN según ecosistemas que abarca.

Ecosistema	Bosque altimontano	Bosque montano de Yunga	Vegetación Secundaria	Área total
ACP AP-AN (ha)	17.47	1368.34	29.17	1414.99
% Superficie	1%	97%	2%	100%

**Anexo 2.** Superficie Transformada (ST) en Amazonas, basada en deforestación anual de Global Forest Change (GFC) y Superficie Agrícola Nacional (SAN), según ecosistemas que abarca el ACP AP-AN.

Año 2000+	Bosque altimontano		Bosque montano de Yunga		Vegetación secundaria	
	GFC (ha)	ST (ha)	GFC (ha)	ST (ha)	GFC (ha)	ST (ha)
1	78.5	1238.3	49.6	2726.7	35.8	1121.4
2	40.5	1278.7	76.4	2803.1	46.1	1167.5
3	49.8	1328.6	72.4	2875.5	69.3	1236.8
4	50.8	1379.4	64.3	2939.8	31.7	1268.5
5	48.3	1427.6	88.8	3028.7	41.2	1309.7
6	66.9	1494.5	64.3	3092.9	19.8	1329.5
7	<b>50.0</b>	<b>1544.6</b>	<b>70.4</b>	<b>3163.4</b>	<b>36.4</b>	<b>1365.9</b>
8	48.3	1592.8	50.4	3213.8	18.7	1384.6
9	50.7	1643.5	93.8	3307.6	40.3	1424.9
10	27.4	1670.9	59.5	3367.1	23.7	1448.6
11	25.5	1696.4	33.1	3400.1	16.6	1465.2
12	70.4	1766.8	103.9	3504.0	32.7	1497.8
13	35.4	1802.2	119.5	3623.5	16.0	1513.8
14	25.2	1827.4	42.3	3665.8	9.5	1523.3
15	34.3	1861.7	80.7	3746.5	12.3	1535.6
16	54.2	1916.0	151.0	3897.5	14.6	1550.2
17	121.8	2037.8	175.7	4073.2	43.5	1593.6
18	80.8	2118.5	118.4	4191.6	19.2	1612.9
19	35.0	2153.5	120.0	4311.6	14.8	1627.7
20	43.9	2197.4	149.5	4461.1	14.3	1642.0
<b>SAN 2020 (ha)</b>	1418.2		3383.5		1249.4	
<b>SAN ∪ GFC acumulada (ha)</b>	<b>2197.4</b>		<b>8096.67</b>		<b>1642.0</b>	

**Anexo 3.** Ecuaciones generadas para el cálculo de superficie transformada en 1994 según ecosistemas que abarca el ACP AP-AN.



**Anexo 4.** Tasa de cambios en los ecosistemas para los períodos 1994 – 2007 y 2007 – 2020.

		Bosque altimontano	Bosque montano de Yunga	Vegetación secundaria
	Área	91020.98	165574.74	14452.60
	ST 1994	884.06	2047.55	753.18
	ST 2007	1544.6	3163.4	1365.9
	ST 2020	2197.4	8096.67	1642.0
	Tasa de cambio	0.03	0.03	0.71
Período 1994 – 2007	Valor de ponderación	0.01	0.97	0.02
	Tasa ponderada		0.04	
	Tasa de cambio	0.06	0.06	0.15
Período 2007 – 2020	Valor de ponderación	0.01	0.97	0.02
	Tasa ponderada		0.23	

**Anexo 5. Panel fotográfico.**



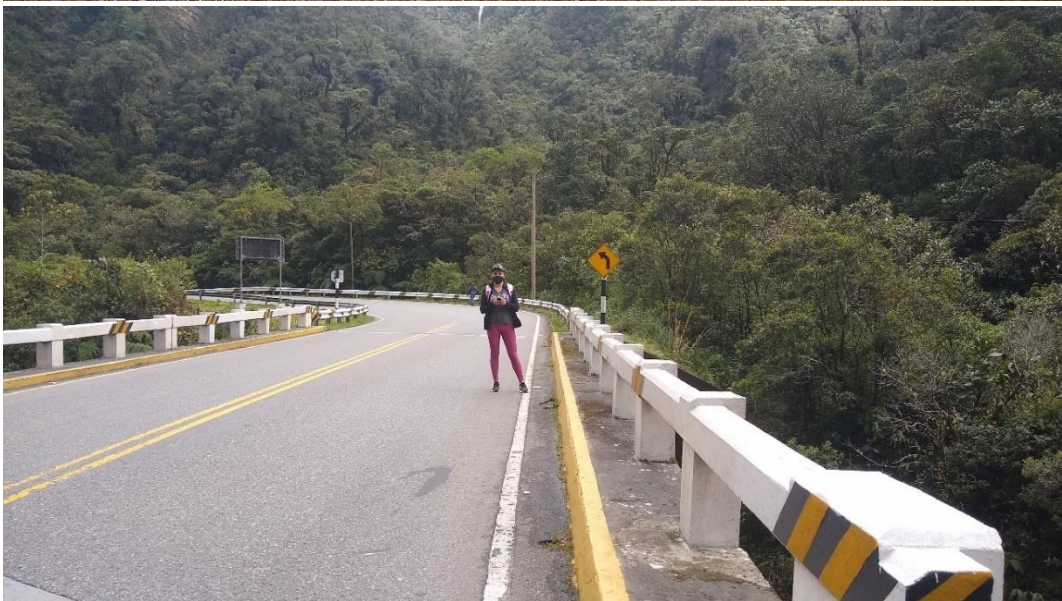
**Fotografía 1.** Georreferenciación de áreas de entrenamiento en Pasto y cultivos.



**Fotografía 2 y 3.** Georreferenciación de áreas de conversión a Pasto y cultivos.



**Fotografía 4, 5 y 6.** Georreferenciación de áreas de entrenamiento en Bosque.



**Fotografía 7, 8 y 9.** Georreferenciación de puntos de georreferenciación de imágenes.



**Fotografía 10.** Local y señalización del ACP Abra Patricia–Alto Nieva.