



**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 INGENIERO AMBIENTAL

**DINÁMICA MULTITEMPORAL DEL LAGO
POMACOCHAS Y DE LAS LAGUNAS BURLAN Y DE
LOS CÓNDORES EN EL DEPARTAMENTO DE
AMAZONAS (1988 – 2031)**

Autor: Bach. David Onesimo Caman Aliaga

Asesor: Ing. Elgar Barboza Castillo

Registro: (.....)

CHACHAPOYAS – PERÚ

2020



**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 INGENIERO AMBIENTAL

**DINÁMICA MULTITEMPORAL DEL LAGO
POMACOCHAS Y DE LAS LAGUNAS BURLAN Y DE
LOS CÓNDORES EN EL DEPARTAMENTO DE
AMAZONAS (1988 – 2031)**

Autor: Bach. David Onesimo Caman Aliaga

Asesor: Ing. Elgar Barboza Castillo

Registro: (.....)

CHACHAPOYAS – PERÚ

2020

DEDICATORIA

A MI FAMILIA

*Dedico este trabajo a mí padre,
a mí madre y a mis hermanos
por el apoyo incondicional
brindado en el desarrollo de mí
formación profesional.*

PROFESORES A MIS AMIGOS

*Por motivarme en las aulas para
formarme en la disciplina de ciencias
de la tierra. Por enseñanzas y
consejos impartidos en el aula.*

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser mi guía, mi fuente de inspiración, mi todo.

Al asesor Ing. Elgar Barboza Castillo, por todo el apoyo, colaboración, confianza y asesoramiento brindado durante la formulación del proyecto, ejecución y redacción del informe final.

A los docentes de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas y miembros del jurado de este trabajo de investigación Dra. Cástula Alvarado Chuqui, Ing. Nilton B. Rojas Briceño e Ing. Rolando Salas López, por sus sugerencias y aportaciones al manuscrito inicial, dando la oportunidad para mejorar las ideas y plasmarlo en un lenguaje fácil y claro de entender.

Finalmente, agradezco a todos los amigos y familiares que me apoyaron a través de sus consejos, sugerencias y aportaciones para la ejecución del presente trabajo de investigación.

David...

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Dr. Policarpio Chauca Valqui

Rector

Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón

Vicerrector Académico

Dra. Flor Teresa García Huamán

Vicerrectora de Investigación

M.Sc. Edwin Adolfo Díaz Ortiz

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

VISTO BUENO DEL ASESOR

El docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas que suscribe, hace constar que he asesorado la realización de la tesis titulada “**DINÁMICA MULTITEMPORAL DEL LAGO POMACOCHAS Y DE LAS LAGUNAS BURLAN Y DE LOS CÓNDORES EN EL DEPARTAMENTO DE AMAZONAS (1988 – 2031)**” del tesista egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental:

Bach. DAVID ONESIMO CAMAN ALIAGA

El docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas que suscribe, da el Visto Bueno al Informe Final de la tesis en mención, dándole pase, para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndome a supervisar el levantamiento de observaciones para su posterior sustentación.

Chachapoyas, mayo de 2020.



Ing. Elgar Barboza Castillo

Asesor de tesis

JURADO EVALUADOR



Dra. Cástula Alvarado Chuqui

Presidente



Ing. Rolando Salas López

Secretario



Ing. Nilton Beltran Rojas Briceño

Vocal



ANEXO 3-N

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyes, el día 11 de Junio del año 2020, siendo las 6:00 pm horas, el aspirante David Onesimo Constan Aliaga defiende en sesión pública la Tesis titulada: DINÁMICA MULTITEMPORAL DEL LAGO POMACUCHAS Y DE LAS LAGUNAS BURLAN Y DE LOS LÓMPORES EN EL DEPARTAMENTO DE AMAZONAS (1993 - 2031)

para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente : Dra. Costula Alvarado Chugui
Secretario : Ing. Rolando Salas López
Vocal : Ing. Milton Baltian Rojas Brindó

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y método, 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, a fin de que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

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

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

Siendo las 7:30 pm 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: _____

DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO

Yo, **David Onesimo Caman Aliaga**, identificado con DNI **47347096**, egresado de la Escuela Profesional de **Ingeniería Ambiental** de la Facultad de **Ingeniería Civil y Ambiental** de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

DECLARO BAJO JURAMENTO QUE:

1. Soy autor de la tesis titulada: "**DINÁMICA MULTITEMPORAL DEL LAGO POMACOCHAS Y DE LAS LAGUNAS BURLAN Y DE LOS CÓNDORES EN EL DEPARTAMENTO DE AMAZONAS (1988 – 2031)**", que presento para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total, ni parcialmente, para lo cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada, ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. La información presentada es real y no ha sido falsificada, ni duplicada, ni copiada.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda la responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, para obtener el Título Profesional, así como, por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para la UNTRM en favor de terceros por motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones civiles y penales que de mi acción deriven.

Chachapoyas, mayo de 2020.



Bach. David Onesimo Caman Aliaga
DNI 47347096

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS	v
VISTO BUENO DEL ASESOR	vi
JURADO EVALUADOR.....	vii
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS	viii
DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO	ix
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT.....	xvii
I. INTRODUCCIÓN	18
II. MATERIALES Y MÉTODOS	20
2.1 Área de estudio.....	20
2.1.1 Lago Pomacochas.....	20
2.1.2 Laguna Burlan	21
2.1.3 Laguna de los Cóndores.....	21
2.2 Flujograma metodológico	23
2.3 Determinación de la tasa interanual de los cambios del espejo de agua, CCUS y temperatura superficial.....	23
2.4 Predicción de los cambios espaciales de los CCUS y superficie del espejo de agua	26
2.5 Análisis de las causas de la dinámica multitemporal	26
2.6 Análisis de datos.....	26
III. RESULTADOS	29
3.1. Tasa interanual de los cambios del espejo de agua, CCUS y temperatura superficial.....	29
3.1.1. Análisis espectral de los cuerpos de agua.....	29
3.1.2. Cambios de cobertura y uso del suelo (CCUS)	31
3.1.3. Temperatura superficial (LST)	35
3.2. Dinámica multitemporal de los cambios de cobertura y uso de suelo	37
3.2.1. Microcuenca Pomacochas.....	37

3.2.2. Microcuenca Burlan.....	42
3.2.3. Microcuenca de los Cóndores.....	46
3.3. Predicción de los CCUS al 2031	49
3.3.1. Microcuenca Pomacochas.....	49
3.3.2. Microcuenca Burlan.....	50
3.3.3. Microcuenca de los Cóndores.....	52
IV. DISCUSIONES	54
4.1. Agotamiento de los cuerpos de agua entre 1988 a 2019	54
4.2. Temperatura superficial entre 1988 a 2019	55
4.3. Dinámica de los cuerpos de agua para el 2031.....	56
V. CONCLUSIONES	57
VI. RECOMENDACIONES	58
VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
ANEXOS.....	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de las imágenes Landsat.....	24
Tabla 2. Matriz de confusión	27
Tabla 3. Matriz de tabulación cruzada.....	28
Tabla 4. Superficie de cuerpo de agua en 1988, 1998, 2007 y 2019.	31
Tabla 5. Superficie según de los CCUS para microcuenca Pomacochas en 1988, 1998, 2007 y 2019.....	31
Tabla 6. Exactitud temática del mapa de los CCUS para la microcuenca Pomacochas.	32
Tabla 7. Superficie según los CCUS para la microcuenca Burlan en 1988, 1998, 2007 y 2019....	33
Tabla 8. Exactitud temática del mapa CCUS para microcuenca Burlan.	33
Tabla 9. Superficie según CCUS para la microcuenca Los Cóndores en 1988, 1998, 2007 y 2019.....	34
Tabla 10. Exactitud temática del mapa CCUS para la microcuenca Los Cóndores.....	35
Tabla 11. Matriz de tabulación de cruzada, tasa de cambio e índices de cambios para la microcuenca Pomacochas en el periodo 1988 – 1998.	39
Tabla 12. Matriz de tabulación de cruzada, tasa de cambio e índices de cambios para la microcuenca Pomacochas en el periodo 1998 – 2007.	39
Tabla 13. Matriz de tabulación de cruzada, tasa de cambio e índices de cambios para la microcuenca Pomacochas en el periodo 2007 - 2019.....	40
Tabla 14. Matriz de tabulación de cruzada, tasa de cambio e índices de cambios para la microcuenca Burlan en el periodo 1988 – 1998.	43
Tabla 15. Matriz de tabulación de cruzada, tasa de cambio e índices de cambios para la microcuenca Burlan en el periodo 1998 – 2007.	43
Tabla 16. Matriz de tabulación de cruzada, tasa de cambio e índices de cambios para la	

microcuenca Burlan en el periodo 2007 – 2019.	44
Tabla 17. Matriz de tabulación de cruzada, tasa de cambio e índices de cambios para la microcuenca de los Cóndores en el periodo 1988 – 1998.....	47
Tabla 18. Matriz de tabulación de cruzada, tasa de cambio e índices de cambios para la microcuenca de los Cóndores en el periodo 1998 – 2007.....	47
Tabla 19. Matriz de tabulación de cruzada, tasa de cambio e índices de cambios para la microcuenca de los Cóndores en el periodo 2007 – 2019.....	47
Tabla 20. Matriz de tabulación de cruzada, tasa de cambio e índices de cambios para la microcuenca Pomacochas en el periodo 2019 – 2031.	49
Tabla 21. Matriz de tabulación de cruzada, tasa de cambio e índices de cambios para la microcuenca Burlan en el periodo 2019 – 2031.	52
Tabla 22. Matriz de tabulación de cruzada, tasa de cambio e índices de cambios para la microcuenca de los Cóndores en el periodo 2019 – 2031.	52
Tabla 23. Superficie de cuerpo de agua en 2019 y 2031.	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del lago Pomacochas.....	20
Figura 2. Ubicación de la laguna Burlan.	21
Figura 3. Ubicación de la laguna de los Cóndores.	22
Figura 4. Flujograma de la metodología aplicada la dinámica multitemporal mediante percepción remota y SIG del lago Pomacochas y las lagunas Burlan y de los Cóndores (1988 – 2031).....	23
Figura 5. Aplicación del índice NDWI para el lago Pomacochas en 1988, 1998, 2007 y 2019.....	29
Figura 6. Aplicación del índice NDWI para laguna Burlan en 1988, 1998, 2007 y 2019.	30
Figura 7. Aplicación del índice para la laguna de los Cóndores en 1988, 1998, 2007 y 2019.	30
Figura 8. CCUS para la microcuenca Pomacochas en 1988, 1998, 2007 y 2019.....	32
Figura 9. CCUS para la microcuenca Burlan en 1988, 1998, 2007 y 2019.	33
Figura 10. CCUS para la microcuenca de los Cóndores en 1988, 1998, 2007 y 2019..	34
Figura 11. LST para la microcuenca Pomacochas en 1988, 1998, 2007 y 2019.	35
Figura 12. LST para la microcuenca Burlan en 1988, 1998, 2007 y 2019.....	36
Figura 13. Temperatura superficial para la microcuenca de los Cóndores en 1988, 1998, 2007 y 2019.....	37
Figura 14. Dinámica de los CCUS para la microcuenca Pomacochas en 1988, 1998, 2007 y 2019.....	38
Figura 15. CCUS ocurridos entre 1988–1998, 1998-2007 y 2007-2019 en la microcuenca Pomacochas.....	41

Figura 16. Dinámica de los CCUS de para la microcuenca Burlan en 1988, 1998, 2007 y 2019.....	42
Figura 17. CCUS ocurridos entre 1988-1998, 1998-2007 y 2007-2019 en la microcuenca Burlan.....	45
Figura 18. Dinámica de los CCUS de la microcuenca de los Cóndores en 1988, 1998, 2007 y 2019.....	46
Figura 19. CCUS ocurridos entre 1988-1998, 1998-2007 y 2007-2019 para microcuenca de los Cóndores.....	48
Figura 20. a) CCUS para la microcuenca Pomacochas en el 2031. b) Procesos de cambio y permanencia entre 2019 - 2031. c) Concentración de la pérdida de la cobertura boscosa entre 2019- 2031.	50
Figura 21. a) CCUS para la microcuenca Burlan en el 2031. b) Procesos de cambio y permanencia entre 2019 - 2031. c) Concentración de la pérdida de la cobertura boscosa entre 2019- 2031.....	51
Figura 22. a) CCUS para la microcuenca de los Cóndores en el 2031. b) Procesos de cambio y permanencia entre 2019 – 2031 en la microcuenca de los Cóndores.	53

RESUMEN

Las actividades humanas continuamente disminuyen la cobertura vegetal causando cambios ambientales en los ecosistemas terrestres a escalas locales, regionales y globales. En este estudio se evaluó la dinámica multitemporal del espejo de agua, Cambios de Cobertura y Uso del Suelo (CCUS) y temperatura superficial de las microcuencas del lago Pomacochas y de las lagunas Burlan y de los Cóndores entre 1988 y 2031. Se utilizaron imágenes Landsat de 1988, 1998, 2007 y 2019 para aplicar el Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI), generar reportes y mapas de CCUS. Para ello, se clasificaron las imágenes en los diferentes tipos de cobertura vegetal como: arbustal y herbazal (AH), bosque (B), bosque seco (BS) cuerpo de agua (CA), pastos y cultivos (PC), cultivo (C), zona urbana (ZU), zona pantanosa (ZP) y zona sin vegetación (ZSV). Asimismo, se utilizó software de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para analizar el NDWI, los CCUS y predecir los cambios de cobertura al 2031. Los resultados indicaron que la superficie del lago Pomacochas se redujo de 429,43 ha en 1988 a 425,20 ha en el 2019, a su vez la laguna Burlan se redujo de 55,14 ha en el 2007 a 45,93 ha en el 2019 y la laguna de los Cóndores se redujo de 131,47 ha en 1988 a 121,67 ha en el 2019. Por otro lado, se muestra un incremento de la temperatura superficial en los últimos años, especialmente en zonas urbanas y zonas sin vegetación en el ámbito de la microcuenca del lago Pomacochas y las lagunas de Burlan y de los Cóndores. Las actividades humanas han influenciado en la reducción de los cuerpos de agua entre 1988 al 2031. En consecuencia, el agotamiento de estos cuerpos de agua podría tener un impacto negativo en el medio ambiente y población.

Palabras clave: Análisis Espacial; Temperatura Superficial, Autómata Celular; Biodiversidad; Teledetección.

ABSTRACT

Human activities continually decrease plant cover causing environmental changes in terrestrial ecosystems at local, regional and global scales. In this study, the multi-temporal dynamics of the water mirror, Changes in Coverage and Land Use (LULC) and surface temperature of the micro-basins of Lake Pomacochas and the Burlan and Condor lagoons between 1988 and 2031 were evaluated. Landsat images were used from 1988, 1998, 2007 and 2019 to apply the Normalized Difference Water Index (NDWI) to generate reports and maps of LULC. For this, the images were classified into bush and grassland (AH), forest (B), forest dry (FD), body of water (BW), pastures and crops (PC), crop (C), urban area (UA), swampy area (SA) and zone without vegetation (ZWV). Geographic Information Systems (GIS) software was used to analyze the NDWI, the CCUS, and predict the LULC by 2031. The results indicated that the surface of Lake Pomacochas decreased from 429.43 ha in 1988 to 425.20 ha in the 2019, in turn, the Burlan lagoon was reduced from 55.14 ha in 2007 to 45.93 ha in 2019 and the Cóndores lagoon was reduced from 131.47 ha in 1988 to 121.67 ha in 2019. Likewise, an increase in surface temperature has been shown in recent years, especially in urban areas and areas without vegetation in the micro-basin of Lake Pomacochas and the Burlan and Condor lagoons. On the other hand, anthropogenic activities (agriculture and urbanization) have influenced the reduction of water bodies between 1988 to 2031. Consequently, the depletion of these water bodies could have a negative impact on communities and the environment.

Keywords: Spatial Analysis; Surface Temperature, Cellular Automaton; Biodiversity; Remote sensig.

I. INTRODUCCIÓN

Los humedales (como ríos, lagos, lagunas costeras, manglares, turberas, arrecifes de coral) constituyen los ecosistemas más importantes a nivel mundial por su relación con el recurso hídrico y por ser uno de los medios más productivos del mundo (Bassi *et al.*, 2014). Se estima a nivel mundial la superficie de estos ecosistemas varía de 917 a más de 1 275 millones de hectáreas (mha) (Lehner & Döll, 2004). En Perú, se calcula aproximadamente 8 millones de ha, con más de 12 200 lagos y lagunas de los Andes, que ubica al país entre los 20 primeros con mayor recurso hídrico (MINAM, 2014a).

Los lagos y lagunas desempeñan un papel importante en la protección de la biodiversidad y son muy susceptibles a modificación, debido a factores naturales o antropogénicos (Li *et al.*, 2019). Asimismo, son sistemas ecológicamente sensibles y adaptativos (Turner *et al.*, 2000). En muchos lugares, el cambio climático está desencadenando significativamente la evolución dinámica de los lagos y lagunas de alta montaña, lo cual, representa una serie de amenazas para las zonas río abajo, lo que, justifica su monitoreo sistemático y regular (Shukla *et al.*, 2018). Por otro lado, las variaciones sobre los Cambios de Cobertura y Uso del Suelo (CCUS) podrían ser un problema importante para las comunidades locales que dependen de estos recursos naturales, así como, para muchas especies de flora y fauna que habitan en estos humedales (Orimoloye *et al.*, 2020).

Los cambios en diferentes escalas espaciales y temporales de los CCUS en cuencas hidrográficas de lagos y lagunas, contribuyen en la reducción de las entradas de agua de escorrentía, pérdida de biodiversidad y contaminación del agua, suelo y aire (Bassi *et al.*, 2014). Por lo tanto, monitorear y mitigar las consecuencias negativas de los CCUS debe ser una prioridad principal para los investigadores y tomadores de decisiones (Ansari & Golabi, 2018).

En los últimos años, la percepción remota (teledetección) y los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se han convertido en herramientas poderosas para realizar inventario, monitoreo y gestión de los recursos hídricos (Garg, 2015). Asimismo, en muchos países, reportan investigaciones enfocadas en la dinámica multitemporal del espejo de agua, el monitoreo y la variación espacial y temporal de los lagos y lagunas a causa de los factores naturales y antropogénicos. Algunos estudios se enfocan en evaluar los efectos del cambio climático, variaciones en las

características temporales y espaciales e impactos antropogénicos (Wang *et al.* 2014; Jing *et al.* 2018; Zhang *et al.* 2019). Otros estudios evalúan la dinámica multitemporal de los cuerpos de agua (Polishchuk & Sharonov, 2013; Debnath *et al.* 2018; Nitze *et al.*, 2017; Olthof *et al.*, 2015; Degano *et al.*, 2016). Asimismo, otros estudios pronostican los CCUS mediante probabilidades de transición de Markov, redes neuronales y autómatas celulares (Nery *et al.*, 2019; Ansari & Golabi, 2018; Orimoloye *et al.*, 2020).

En el departamento de Amazonas, donde se centra esta investigación, los CCUS reportan un rápido crecimiento de la frontera agrícola, establecimiento de nuevas zonas de pastos cultivados y el incremento de zonas urbanas, lo que ha ocasionado la expansión o reducción acelerada de los humedales a largo de los años. Bajo ese contexto, el presente estudio se centró en evaluar la dinámica multitemporal del espejo de agua, CCUS y temperatura superficial del lago Pomacochas y las microcuencas de laguna Burlan y laguna de los Cóndores entre 1988 y 2031, aplicando técnicas de percepción remota y SIG. En consecuencia, se i) determinó la superficie del espejo de agua, CCUS y temperatura superficial entre los periodos 1988 a 2019, se ii) predijo los cambios de la superficie del espejo de agua y el CCUS entre el periodo 2019 a 2031 y se iii) exploraron las posibles causas de los cambios de la superficie del espejo de agua, CCUS y temperatura superficial.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

2.1.1 Lago Pomacochas

El lago Pomacochas abarca una superficie aproximada de 425,10 ha y una profundidad máxima de 75,5 m y forma parte de la microcuenca del mismo nombre ($5^{\circ} 48' 35'' - 5^{\circ} 50' 5''$ S y $77^{\circ} 57' 39'' - 77^{\circ} 56' 17''$ O). La microcuenca, se ubica en el distrito de Florida, provincia de Bongará en el departamento de Amazonas (Figura 1), con un gradiente altitudinal que varía de 2130 a 3000 m.s.n.m. Posee un clima ligeramente húmedo y templado cálido con temperatura promedio anual 15°C y precipitaciones de 1104,5 mm. En la actualidad, es una de las principales zonas ganaderas del departamento (Oliva *et al.*, 2015), con una población asentada que asciende a 6 395 habitantes (INEI, 2017). Por otro lado, este ecosistema alberga hábitats de garzas, zambullidores, patos, nutrias; además de una diversidad de picaflores y peces como truchas, pejerreyes y plateados (Barboza *et al.*, 2015). Asimismo, el lago es de uso recreacional, con el desarrollo de actividades como el canotaje, pesca y avistamiento de aves. La calidad del agua presenta una contaminación moderada con bajos indicios de eutrofización (Chávez-Ortiz *et al.*, 2016).

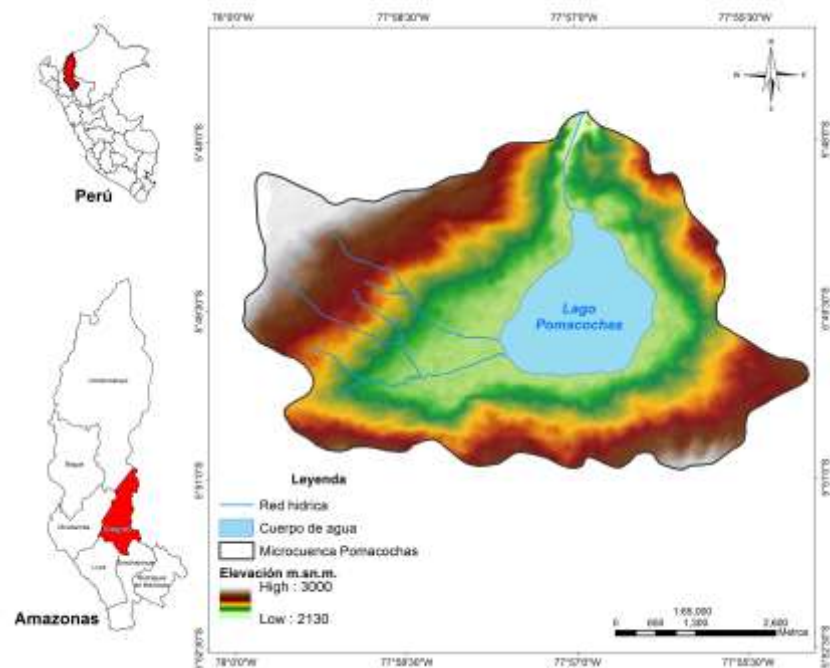


Figura 1. Ubicación del lago Pomacochas.

2.1.2 Laguna Burlan

La laguna Burlan, se encuentra ubicada a 7 km de la ciudad de Bagua Grande, en la provincia de Utcubamba en el departamento de Amazonas (Figura 2). La laguna tiene un área aproximada de 45,93 hectáreas y una profundidad máxima de 9 metros, es de forma ovalada irregular, y sus aguas provienen de los canales contiguos de las parcelas de arroz (Sánchez, 2018).

La microcuenca Burlan cuenta con un área de 616,69 ha. El tipo de clima es seco cálido, con una temperatura máxima promedio de 34 °C y una temperatura mínima promedio de 21 °C y precipitación promedio anual de 58 milímetros. Este ecosistema presenta un uso de suelos con terrenos de cultivos de arroz y bosque seco.

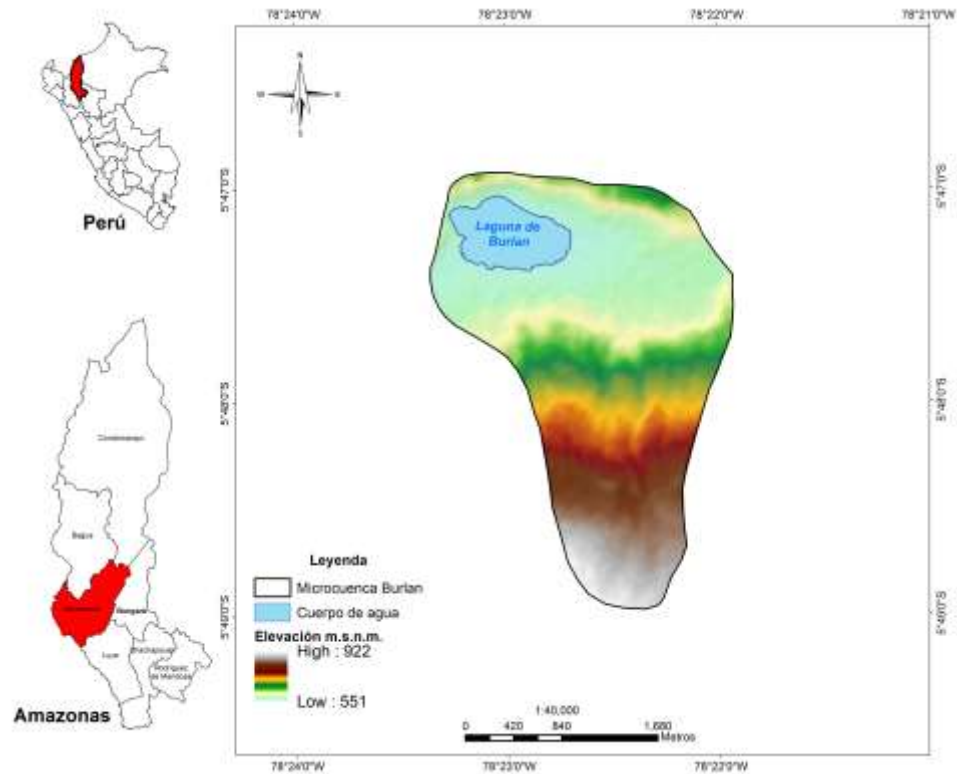


Figura 2. Ubicación de la laguna Burlan.

2.1.3 Laguna de los Cóndores

La laguna de los Cóndores conocida también como laguna de Las Momias abarca una superficie aproximada de 121,54 ha con una profundidad máxima de 61,8 m y que forma parte de la microcuenca de las Momias (6° 50' 47" - 6° 51' 17" S y 77° 42' 12" - 77° 41' 4" O). Se encuentra ubicada el distrito de Leimebamba, provincia de Chachapoyas en el departamento de Amazonas

(Figura 3). La microcuenca tiene un área de 3 288,87 ha, con un gradiente altitudinal que varía de 2 809 a 4 164 m.s.n.m. El tipo de clima es muy húmedo a templado frío, con precipitación promedio anual de 806 mm y una temperatura media anual de 16 °C. Entre sus principales coberturas encontramos bosque y vegetación herbácea arbustiva. Asimismo, alrededor de la laguna se encuentran las antiguas construcciones (mausoleos) y objetos de artesanía, lo que actualmente se conoce como complejo arqueológico donde se pueden realizar actividades de turismo e investigación.

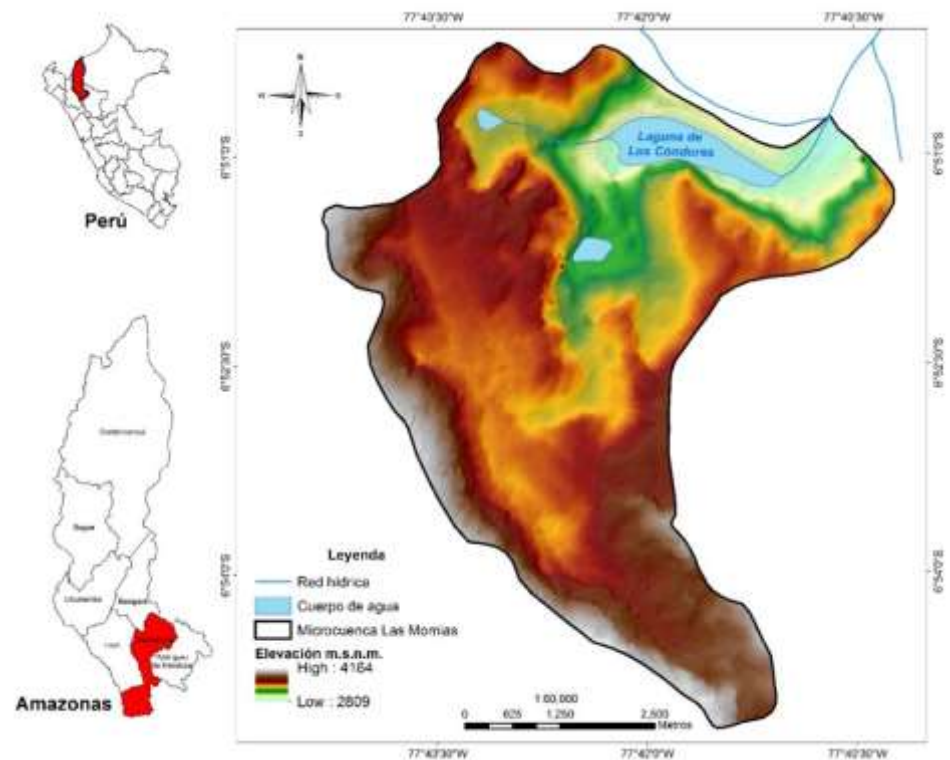


Figura 3. Ubicación de la laguna de los Cóndores.

2.2 Flujograma metodológico

La Figura 4, muestra el flujograma metodológico para evaluar la dinámica multitemporal del lago Pomacochas y las lagunas Burlan y de los Cóndores (1988 – 2031).

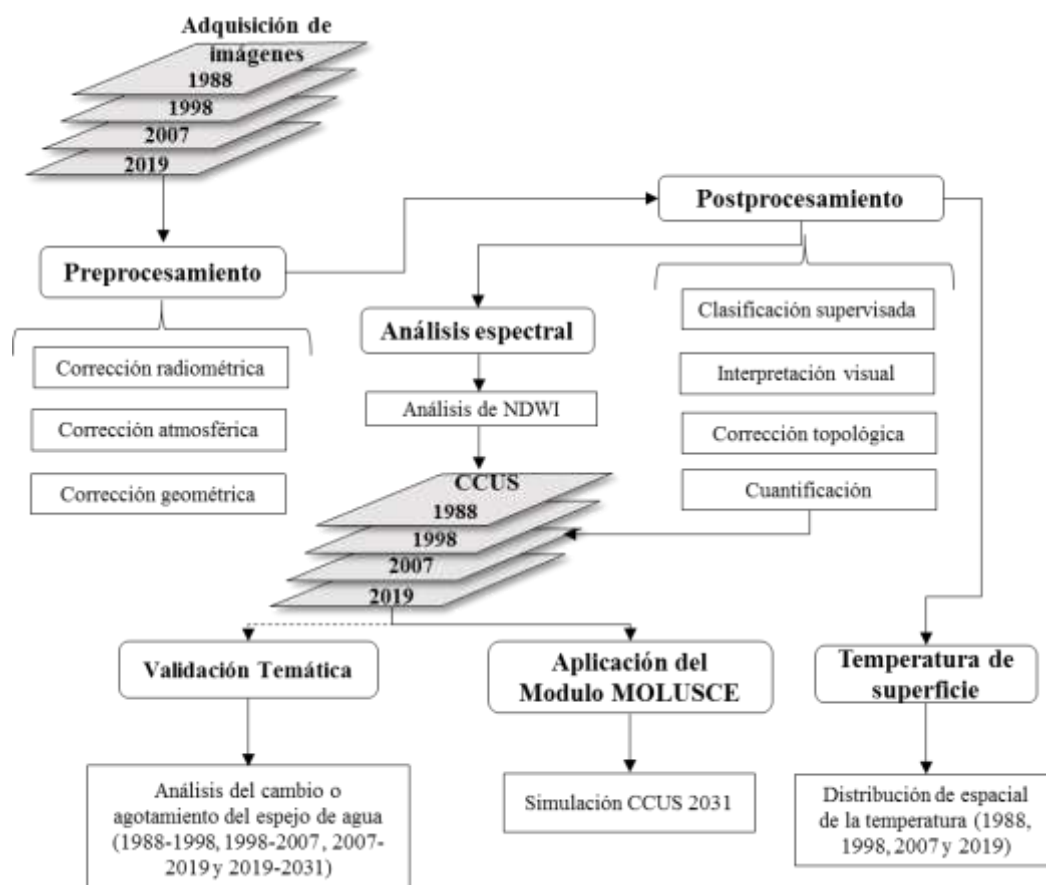


Figura 4. Flujograma metodológico para evaluar la dinámica multitemporal del lago Pomacochas y las lagunas Burlan y de los Cóndores (1988 – 2031).

2.3 Determinación de la tasa interanual de los cambios del espejo de agua, CCUS y temperatura superficial

Software e información base

Se descargaron las hojas 12g, 13h y 14h de la carta nacional del Instituto Geográfico Nacional (IGN) a escala 1:100 000 (hidrografía e hipsometría), la red vial del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y la división política distrital y provincial del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Además, de la descarga de las imágenes disponibles del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) del satélite Landsat 5 TM y Landsat 8 OLI/TIRS. Asimismo, para el procesamiento de la información se

utilizaron los softwares ArcGIS y QGIS con sus complementos de Clasificación Semiautomática (SCP) (Congedo, 2017) y el módulo para simulaciones de cambio de uso del suelo (MOLUSCE) (NextGIS, 2016). En la Tabla 1, se muestra las características de las imágenes satelitales descargadas para realizar los diferentes procesos y análisis.

Tabla 1. Características de las imágenes Landsat.

Fecha de adquisición	Satélite	Sensor	Path/Row	Formato
15 - 10 - 1988	Landsat 5	TM	9 / 64	GeoTIFF
15 - 10 - 1988	Landsat 5	TM	9 / 65	GeoTIFF
28 - 11 - 1998	Landsat 5	TM	9 / 64	GeoTIFF
28 - 11 - 1998	Landsat 5	TM	9 / 65	GeoTIFF
04 - 10 - 2007	Landsat 5	TM	9 / 64	GeoTIFF
04 - 10 - 2007	Landsat 5	TM	9 / 65	GeoTIFF
02 - 08 - 2019	Landsat 8	OLI/TIRS	9 / 64	GeoTIFF
02 - 08 - 2019	Landsat 8	OLI/TIRS	9 / 65	GeoTIFF

Delimitación del área de estudio

La delimitación del área se realizó en función a la microcuenca a la que pertenece cada cuerpo de agua. Se utilizó las capas de curvas de nivel y red hídrica de las cartas nacionales descargadas en la etapa anterior. Primero se identificó la red de drenaje y se realizó un bosquejo general de la posible delimitación. Luego se identificó la divisoria de aguas y se recortó perpendicularmente a las curvas de nivel pasando por los puntos de mayor nivel topográfico hasta llegar al punto de desfogue de la quebrada principal. Finalmente, se calculó el área para cada microcuenca. Este procedimiento se realizó con el software ArcGIS.

Preprocesamiento de la información

El preprocesamiento de las imágenes satelitales, consistió en realizar la corrección radiométrica, atmosférica y geométrica de cada imagen, la cual, se realizó mediante el complemento SCP de QGIS, donde los datos de las imágenes fueron convertidos el valor del Número digital (DN) en los valores de reflectancia de la parte superior de la atmósfera (TOA) (Yulianto *et al.*, 2016), y luego se modificó por la Substracción de Objetos Oscuros (DOS1) que es una técnica basada en imágenes (Chuvienco, 2016; Congedo, 2017).

Análisis espectral de los cuerpos de agua

Se aplicó el Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI), con la finalidad de identificar notablemente los cuerpos de agua y la información sobre el mismo (Campos *et al.*, 2012). El NDWI permitió diferenciar los cuerpos de agua de los usos de la tierra (Orimoloye *et al.*, 2020). Este índice se calculó de acuerdo a la ecuación 1.

$$NDWI = \frac{(GREEN-NIR)}{(GREEN+NIR)} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

NDWI: Índice de Agua de Diferencia Normalizada

GREEN: Reflectancia de la banda verde (B2 en Landsat 5 y B3 en Landsat 8).

NIR: Reflectancia de la banda infrarroja cercano (B4 en Landsat 5 y B5 en Landsat 8).

Post procesamiento de la información

La clasificación se realizó en base a las firmas espectrales y áreas de entrenamiento obtenidas de la encuesta de campo (Obodai *et al.*, 2019). Estas fueron complementadas con la identificación en imágenes de alta resolución con las del Google Earth Pro y Sentinel 2, para cada microcuenca, así como, la interpretación visual a partir de combinaciones RGB (Barboza *et al.*, 2018).

La herramienta de trama de edición de post procesamiento en el SCP se utilizó para corregir las clasificaciones erróneas de las imágenes (Pei *et al.*, 2017). Los tipos de CCUS identificados fueron de acuerdo a la metodología de Corine Land Cover adaptada para Perú (MINAM, 2016) entre los cuales destacaron: arbustal y herbazal (AH), bosque (B), bosque seco (BC), cuerpo de agua (CA), cultivos (C) pastos y cultivos (PC), zona urbana (ZU), zona pantanosa (ZP) y zona sin vegetación (ZSV).

Cálculo de la temperatura superficial (LST)

Se utilizó la banda 6 (térmica) de Landsat 5 TM y la banda 10 de Landsat 8 TIRS para calcular la LST en los diferentes periodos de evaluación. Las bandas térmicas tienen sus tamaños de píxel originales de 120 m para TM y 100 m para imágenes TIRS, las cuales, se remuestrearon utilizando el algoritmo vecino más cercano a 30 m de resolución para que coincida con el tamaño de píxel de las otras bandas espectrales. El cálculo de la LST se realizó de manera

automatizada mediante el complemento de SCP de QGIS utilizando la opción temperatura de brillo y siguiendo la metodología de Ogunjobi *et al.* (2018).

2.4 Predicción de los cambios espaciales de los CCUS y superficie del espejo de agua

La validación y proyección futura del crecimiento o disminución de los cuerpos de agua, se ejecutó el complemento MOLUSCE (NextGIS, 2016) de QGIS. Para validar los parámetros de CCUS, se utilizó los mapas de 1998 y 2007. Se incluyó las variables espaciales de: a) distancia a la red vial y b) distancia a ríos. Este proceso se realizó para determinar la asociación entre el mapa simulado para 2019 y el mapa (real) de 2019 a través de la estimación del índice de Kappa. Para la simulación de la proyección futura al 2031, se utilizaron los mapas de uso de suelo de 2007 y 2019. En este proceso, se incorporaron las mismas variables que se utilizaron en la validación para el 2019.

La pérdida de la cobertura boscosa (zonas de deforestación) para el 2019 - 2031 se analizó mediante la generación de mapas de densidad Kernel, con resolución espacial y ancho de banda de 30 y 500 metros, respectivamente (MINAM, 2014b). Esto con la finalidad de proponer algunas acciones para reducir la deforestación futura en las microcuencas de estudio.

2.5 Análisis de las causas de la dinámica multitemporal

En esta etapa, se analizó los cambios de los cuerpos de agua en los periodos 1988 - 1998, 1998 - 2007 y 2007 - 2019. Esto permitió evaluar la conversión del tipo de CCUS en cada periodo de evaluación. El proceso se realizó mediante el cálculo de la tasa anual de cambio (s) de los CCUS y área de los cuerpos de agua a través de la ecuación 2, propuesta por la FAO (1996).

$$s = \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^{1/t_2-t_1} - 1 \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde, S_1 y S_2 son las áreas de CCUS en la fecha t_1 y t_2 , respectivamente. Un valor negativo de s indica una disminución de la CCUS y, si s es mayor que cero, hay un aumento de la misma.

2.6 Análisis de datos

La dinámica multitemporal del espejo de agua, CCUS y temperatura superficial de la microcuenca del lago Pomacochas y de las lagunas Burlan y de los Cóndores se realizó mediante la comparación de 196 puntos de verificación según Chuvieco

(2016) que toma en cuenta las áreas relativas de cada una de las clases, establecidas a través de un muestreo aleatorio sistemático no alineado estratificado y la elaboración de matrices de confusión, sobre las cuales, se calcularon las métricas de precisión de la cartografía (error de omisión y comisión), las métricas para evaluar la exactitud a nivel de clases o tipos CCUS fue la exactitud del usuario y del productor (MINAM, 2014a), y el índice kappa que mide la confiabilidad de la cartografía generada (Ecuación 3).

$$k = \frac{n \sum_{i=1}^r a_{ii} - \sum_{i=1}^r a_{i+} a_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^r a_{i+} a_{+i}} \quad \text{Ecuación 3}$$

En donde: k es el índice Kappa, r es el número de filas en la matriz; a_{ii} el número de observaciones en la fila i y columna i ; a_{i+} , a_{+i} son el total de marginal de fila i y columna i , respectivamente y n es el total de observaciones.

Rojas-Briceño *et al.* (2019) expresan que cada matriz contiene en el eje horizontal y vertical las clases de CCUS para la T_0 y T_1 , respectivamente (Tabla 2 y 3). Las celdas en la diagonal representan el área de cada clase que no sufrió cambios durante el período evaluado, mientras que las restantes muestran el área que experimentó un cambio hacia otra clase. Las matrices de transición terminan con una columna y fila final que son la suma de las superficies de todas las clases en la fecha 1 (P_{i+}) y fecha 2 (P_{+j}), respectivamente.

Tabla 2. Matriz de confusión.

		Resultados de referencia						
		Referencia 1	Referencia 2	.....	Referencia n	Total	Exactitud usuario	Error comisión
Resultados de clasificación	Clase 1	a_{11}	a_{12}	.....	a_{1n}	a_{1+}	a_{11} / a_{1+}	$1 - a_{11} / a_{1+}$
	Clase 2	a_{21}	a_{22}	.....	a_{2n}	a_{2+}	a_{22} / a_{2+}	$1 - a_{22} / a_{2+}$

	Clase n	a_{n1}	a_{n2}	.....	a_{nn}	a_{n+}	a_{nn} / a_{n+}	$1 - a_{nn} / a_{n+}$
	Total	a_{+1}	a_{+2}	.....	a_{+n}	<i>m</i>		
Exactitud productor		a_{11} / a_{+1}	a_{22} / a_{+2}	.....	a_{nn} / a_{+n}			
Error omisión		$1 - a_{11} / a_{+1}$	$1 - a_{22} / a_{+2}$	.....	$1 - a_{nn} / a_{+n}$			

Fuente: Chuvieco (2016) y MINAM (2014a).

Asimismo, Pontius *et al.* (2004), integraron este análisis con columnas y filas que representan Índices de Cambio (Tabla 2 y 3). De esta manera tenemos: el intercambio (*Int*) entre clases, proceso en el que la pérdida de una clase en un lugar

está acompañada por su ganancia simultánea en otra ubicación, calculándose como dos veces el valor mínimo de las ganancias y las pérdidas; donde la ganancia (G_j) se estima, como la diferencia del área total de la clase j en la fecha 2 (P_{+j}) y la persistencia expresada en la diagonal de la matriz (P_{jj}), y la pérdida (L_i), es la diferencia entre el área total de una clase i en la fecha 1 (P_{i+}) y la persistencia. Para calcular el cambio total a nivel de clase (C_t) se suman las ganancias (G_j) y las pérdidas (L_i); mientras que, para el cambio neto, el cual indica un cambio definitivo, se representa como la diferencia entre el cambio total (C_t) y el intercambio (Int).

Tabla 3. Matriz de tabulación cruzada

T_0	T_1				Total fecha 1 (P_{i+})	Pérdida (L_i)	Cambio total (Ct)	Cambio neto (Cn)	Intercambio (Int)
	Clase 1	Clase 2	....	Clase j					
Clase 1	P_{11}	P_{12}	....	P_{1j}	P_{1+}	$P_{1+} - P_{11}$	$L + G$	$Ct - Int$	$2 * \min(L, G)$
Clase 2	P_{21}	P_{22}	....	P_{2j}	P_{2+}	$P_{2+} - P_{22}$			
....			
Clase i	P_{i1}	P_{i2}	....	P_{ij}	P_{i+}	$P_{i+} - P_{ij}$			
Total fecha 2 (P_{+j})	P_{+1}	P_{+2}	....	P_{+j}	I				
Ganancia (G_j)	$P_{+1} - P_{11}$	$P_{+2} - P_{22}$	....	$P_{+j} - P_{ij}$					

Fuente: FAO (1996) y Pontius *et al.* (2004).

III. RESULTADOS

3.1. Tasa interanual de los cambios del espejo de agua, CCUS y temperatura superficial

3.1.1. Análisis espectral de los cuerpos de agua

La aplicación del índice NDWI, en este estudio permitió identificar notablemente los cuerpos de agua y a la vez diferenciar los usos de suelo. En la Figura 5, se observa la dinámica del espejo de agua del lago Pomacochas para 1988 a 2019. Asimismo, la Figura 6, se muestra la aplicación del índice NDWI para laguna Burlan, en la cual, se observa que en 1988 y 1998 el índice no identifica al cuerpo de agua, pero sí para los años 2007 y 2019. Por otro lado, en la Figura 7, se presenta la aplicación del índice para la laguna de los Cóndores, donde se percibe una dinámica constante entre los años evaluados.

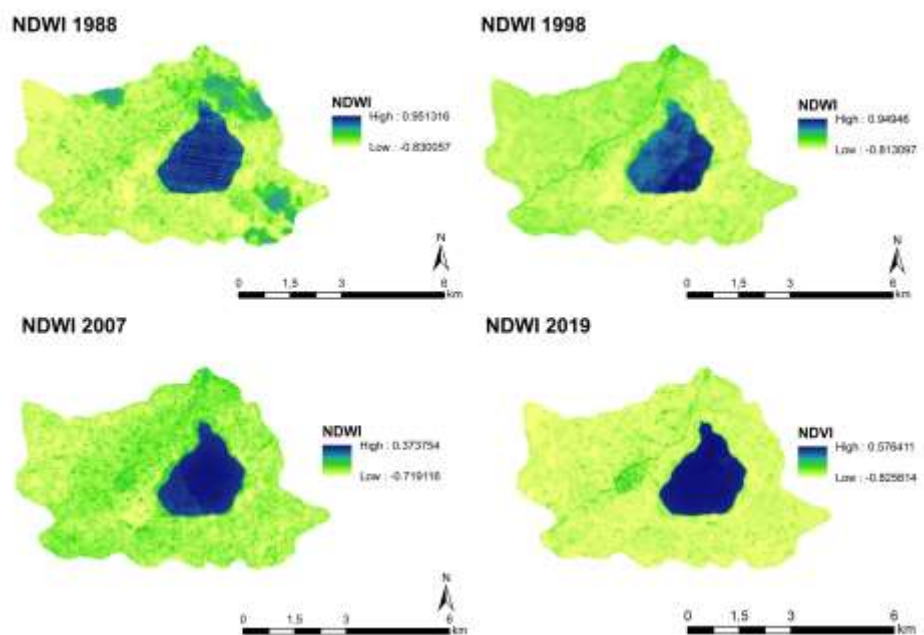


Figura 5. Aplicación del índice NDWI para el lago Pomacochas en 1988, 1998, 2007 y 2019.

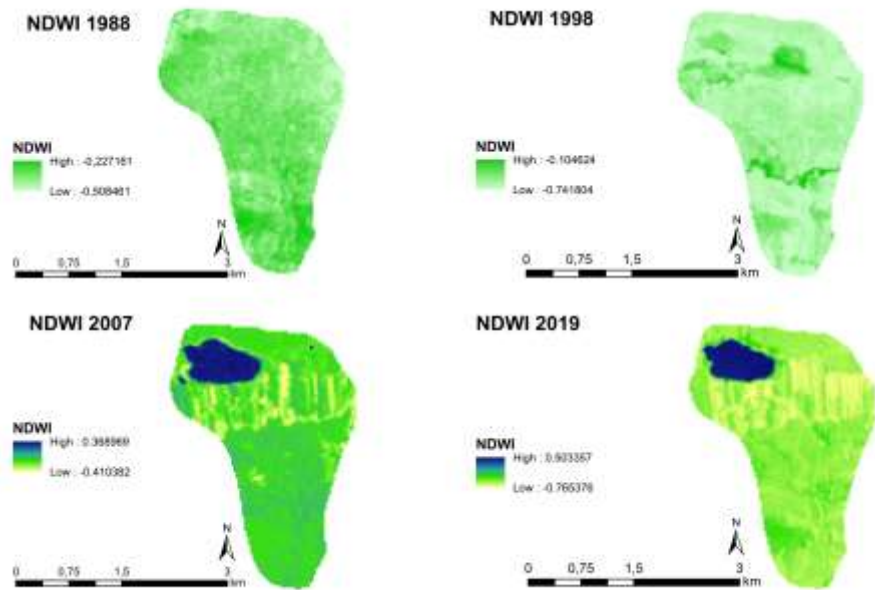


Figura 6. Aplicación del índice NDWI para laguna Burlan en 1988, 1998, 2007 y 2019.

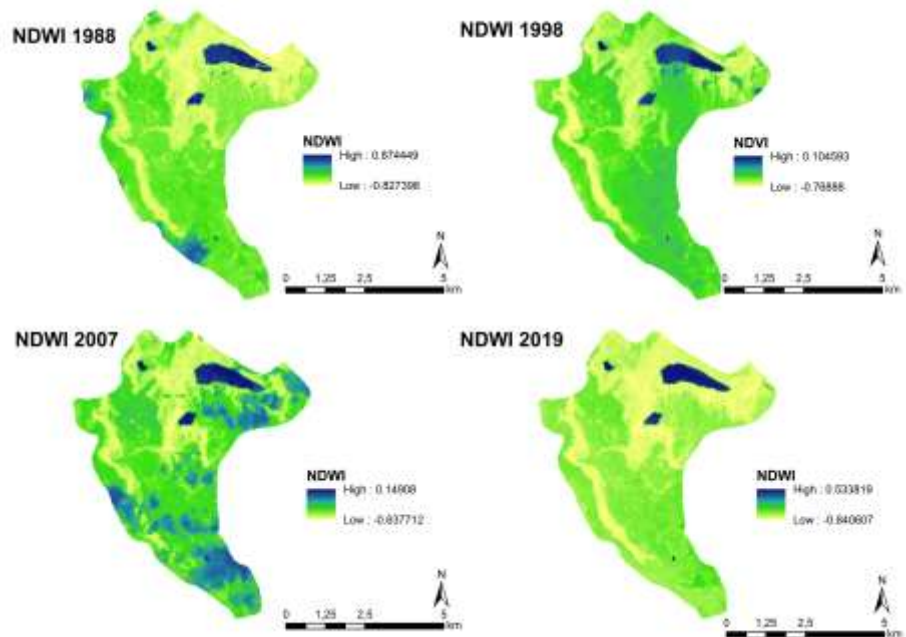


Figura 7. Aplicación del índice para la laguna de los Cóndores en 1988, 1998, 2007 y 2019.

En la Tabla 4, se presenta la superficie de los cuerpos de agua para cada año evaluado. El lago Pomacochas presenta una disminución de su superficie de 429,43 ha en 1988 a 425,10 ha al 2019. Por otro lado, la laguna Burlan para el 1988 la superficie fue de 0,00 ha y entre 2007 al 2019 reportó una reducción 55,14 ha a 45,93 ha respectivamente. Finalmente, la laguna de los Cóndores en 1998 reportó una superficie de 131,47 ha y en el 2019 disminuyó a 121,67 ha.

Tabla 4. Superficie de cuerpo de agua en 1988, 1998, 2007 y 2019.

Cuerpo de agua	Superficie (ha)			
	1988	1998	2007	2019
Lago Pomacochas	429,43	424,22	431,13	425,10
Laguna Burlan	-	-	55,14	45,93
Laguna de los Cóndores	131,47	131,61	125,61	121,67

3.1.2. Cambios de cobertura y uso del suelo (CCUS)

Del análisis de los CCUS entre los 1988 a 2019 para la microcuenca Pomacochas se observa en la Tabla 5, lo cual, indica que la superficie de B fue de 17,04 % en 1988 y disminuyó a 7,96% al 2019. A su vez los PC fue de 68,83% en 1988 se incrementó a 72,82% para el 2019. Por otro lado, la ZU en los años de evaluación se incrementó de 0,83% a 4,07% en el 2019.

Tabla 5. Superficie según de los CCUS para microcuenca Pomacochas en 1988, 1998, 2007 y 2019.

Cambios de cobertura y uso del suelo	Superficie en (ha)							
	1988	%	1998	%	2007	%	2019	%
Arbustal y herbazal (AH)	-	-	9,25	0,26	19,65	0,56	18,86	0,53
Bosque (B)	602,62	17,04	394,93	11,17	278,28	7,87	281,51	7,96
Cuerpo de agua (CA)	429,35	12,14	424,14	11,99	431,05	12,19	425,10	12,02
Pastos y cultivos (PC)	2 434,33	68,83	2 570,19	72,67	2 641,86	74,70	2 575,22	72,82
Zona urbana (ZU)	29,27	0,83	81,70	2,31	72,33	2,05	143,80	4,07
Zonas pantanosa (ZP)	41,04	1,16	56,40	1,59	93,44	2,64	92,11	2,60
Total	3 536,61	100,00	3 536,61	100,00	3 536,61	100,00	3 536,61	100,00

La Figura 8, muestra los CCUS producidos desde el 1988 al 2019 para la microcuenca Pomacochas. Por lo tanto, los cambios durante este período incluyen la conversión de bosque a pastos y cultivos, y a zona urbana. Asimismo, incluye el incremento de superficie de zona pantanosa y arbustal y herbazal. Situación similar pasó con la zona urbana y zona pantanosa. En consecuencia, la exactitud temática del mapa de CCUS

presento un índice de kappa 0,82% y una exactitud global de 0,91 % (Tabla 6).

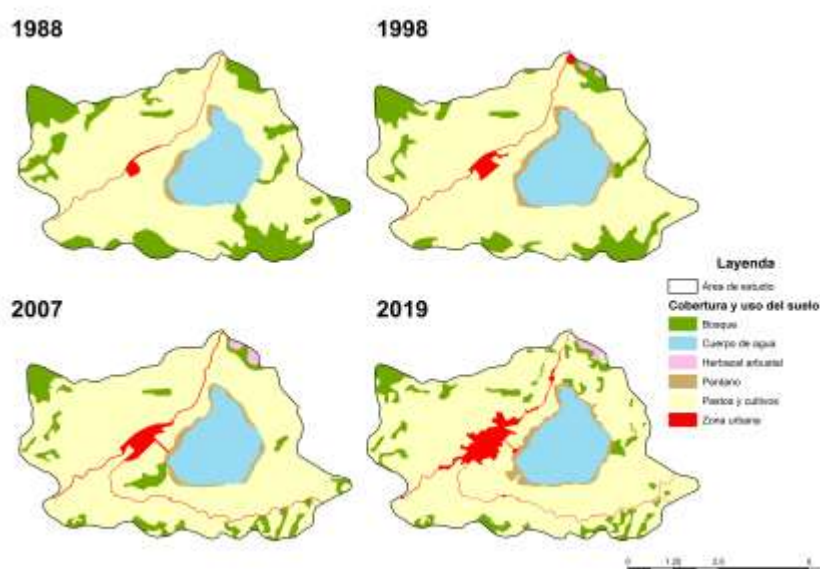


Figura 8. CCUS para la microcuenca Pomacochas en 1988, 1998, 2007 y 2019.

Tabla 6. Exactitud temática del mapa de los CCUS para la microcuenca Pomacochas.

		Resultados de referencia							Exactitud usuario	Error comisión	
Resultados de clasificación (2019)	CCUS	AH	B	CA	PC	ZU	ZP	Total			
	AH	1							1	1,00	0,00
	B		14		2				16	0,88	0,13
	CA			24					24	1,00	0,00
	PC	1	6		128	6	1	142	0,90	0,10	
	ZU		1			7		8	0,88	0,13	
	ZP						5	5	1,00	0,00	
	Total	2	21	24	130	13	6	196			
	Exactitud productor	0,50	0,67	1,00	0,98	0,54	0,00		0,91		
	Error omisión	0,50	0,33	0,00	0,02	0,46	1,00		0,82		

En la Tabla 7, se muestra la superficie de los CCUS para la microcuenca Burlan, en 1988 se identificó las coberturas de B (91,85%), ZSV (7,50%) y ZU que incluye los caminos y la red vial (0,65%). Sin embargo, para los años posteriores se incrementó los C (principalmente de arroz) que fue de 16,28 % (1998) a 36,26% (2019). Por su parte, las ZSV se incrementaron de 2,96% en el 2007 a 7,97% en el 2019 (Figura 9). Los cambios espaciales de uso del suelo y cobertura vegetal en el 1988, 1998, 2007 y 2019 se puede observar en la Figura 9. Asimismo, la exactitud

temática para el mapa de CCUS presento un índice de kappa 0,81% y una exactitud global de 0,87 % (Tabla 8).

Tabla 7. Superficie según los CCUS para la microcuenca Burlan en 1988, 1998, 2007 y 2019.

Cambios de cobertura y uso del suelo	Superficie en (ha)							
	1988	%	1998	%	2007	%	2019	%
Bosque seco (BS)	566,40	91,85	486,34	78,86	213,07	34,55	283,69	46,00
Cuerpo de agua (CA)	0,00	0,00	0,00	0,00	55,14	8,94	45,93	7,45
Cultivo (C)	0,00	0,00	100,40	16,28	305,56	49,55	223,58	36,26
Zona sin vegetación (ZSV)	46,26	7,50	18,27	2,96	24,04	3,90	49,14	7,97
Zona urbana (ZU)	4,03	0,65	11,68	1,89	5,30	0,86	6,77	1,10
Zona pantanosa (ZP)	0,00	0,00	0,00	0,00	13,59	2,20	7,58	1,23
Total	616,69	100,00	616,69	100,00	616,69	100,00	616,69	100,00

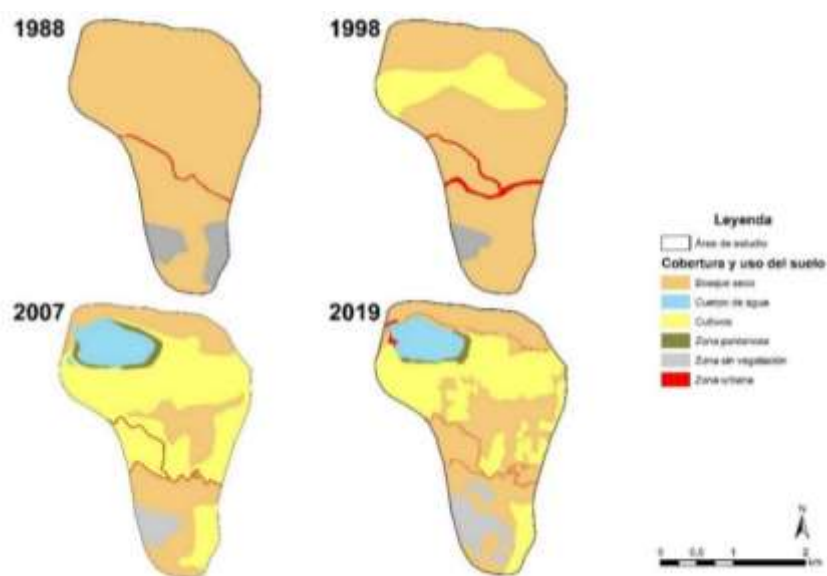


Figura 9. CCUS para la microcuenca Burlan en 1988, 1998, 2007 y 2019.

Tabla 8. Exactitud temática del mapa CCUS para microcuenca Burlan.

		Resultados de referencia							Exactitud usuario	Error comisión	
Resultados de clasificación 2019	CCUS	BS	CA	C	ZSV	ZU	ZP	Total			
	BS	76		6		8			90	0,84	0,16
	CA		15						15	1,00	0,00
	C	7		62		2			71	0,87	0,13
	ZSV	2			14				16	0,88	0,13
	ZU					2			2	1,00	0,00
	ZP							2	2	1,00	0,00
	Total	85	15	68	14	12	2	196			
	Exactitud productor	0,89	1,00	0,91	1,00	0,17	0,00			0,87	
	Error omisión	0,11	0,00	0,09	0,00	0,83	1,00			0,81	

En la microcuenca de los Cóndores, se han identificado tres tipos cobertura y uso de suelo incluido los cuerpos de agua. Entre ellos, AH en los años de evaluados se ha incrementado de 56,50% en 1988 a 57,66 % en 2019. Lo mismo sucede con el B, que se redujo de 39,50 % en 1988 a 38,65% en el 2019. Sin embargo, los cuerpos de agua a lo largo del tiempo se han reducido de 3,99% en 1988 a 3,70% al 2019 (Tabla 9). Asimismo, la exactitud temática para el mapa de uso de suelo y cobertura vegetal presento un índice de kappa 0,83% y una exactitud global de 0,91% (Tabla 10).

Tabla 9. Superficie según CCUS para la microcuenca Los Cóndores en 1988, 1998, 2007 y 2019.

Cambios de cobertura y uso del suelo	Área en (ha)							
	1988	%	1998	%	2007	%	2019	%
Arbustal y herbazal (AH)	1858,33	56,50	1927,76	58,61	1989,18	60,48	1896,27	57,66
Bosque (B)	1299,22	39,50	1229,65	37,39	1174,22	35,70	1271,07	38,65
Cuerpo de agua (CA)	131,32	3,99	131,47	4,00	125,47	3,81	121,54	3,70
Total	3288,87	100,00	3288,87	100,00	3288,87	100,00	3288,87	100,00

Los cambios espaciales de la cobertura y uso del suelo de la laguna de los Cóndores en 1988, 1998, 2007 y 2019 se puede observar en la Figura 10.

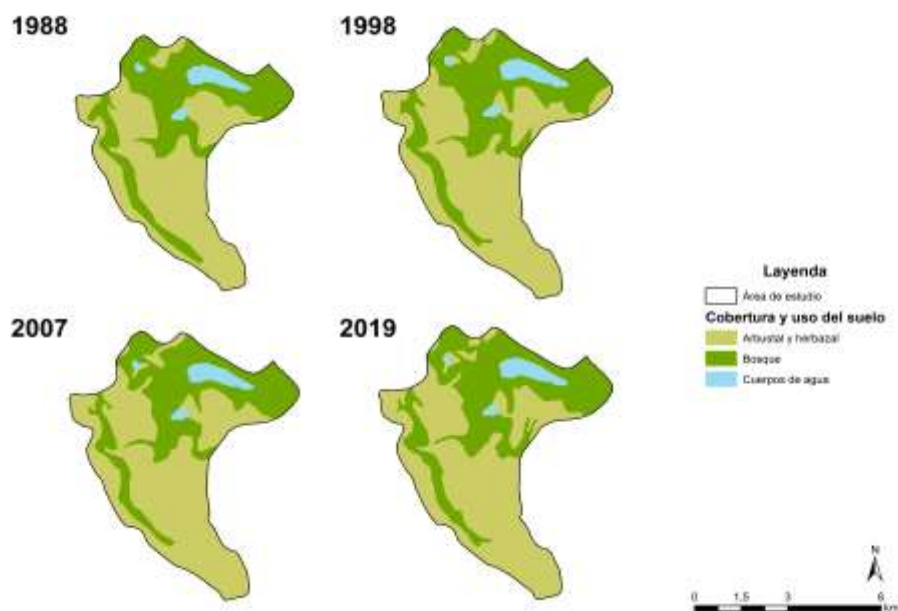


Figura 10. CCUS para la microcuenca de los Cóndores en 1988, 1998, 2007 y 2019.

Tabla 10. Exactitud temática del mapa CCUS para la microcuenca Los Cóndores

		Resultados de referencia					
Resultados de clasificación 2019	CCUS	AH	B	CA	Total	Exactitud usuario	Error comisión
	AH	108	5		113	0,96	0,04
	B	12	64		76	0,84	0,16
	CA			6	6	1,00	0,00
	Total	120	69	6	195		
	Exactitud productor	0,90	0,93	1,00		0,91	
	Error omisión	0,10	0,07	0,00		0,83	

3.1.3. Temperatura superficial (LST)

La Figura 11, muestra la información de la temperatura superficial (LST) estimada a partir de imágenes de Landsat para 1988, 1998, 2007 y 2019 para la microcuenca Pomacochas. Esta representa la distribución espacial de la LST en los diferentes tipos de uso de la tierra. En el 1988, la LST máxima fue de 24,11 °C, la mínima fue de 6,5 °C, mientras que en 1998, la LST máxima se mantuvo en 24,1 °C y la LST mínimo fue de 8,49 °C. En el 2007, la LST máxima de la superficie fue de 32,05 °C, la LST mínima fue de 14,71 °C. Asimismo, en el 2019, la LST máxima se mantuvo en 28,29 °C y la LST mínimo fue de 14,59 °C. Se puede deducir que en los años evaluados la LST se ha incrementado según el cambio de cobertura y uso de suelo.

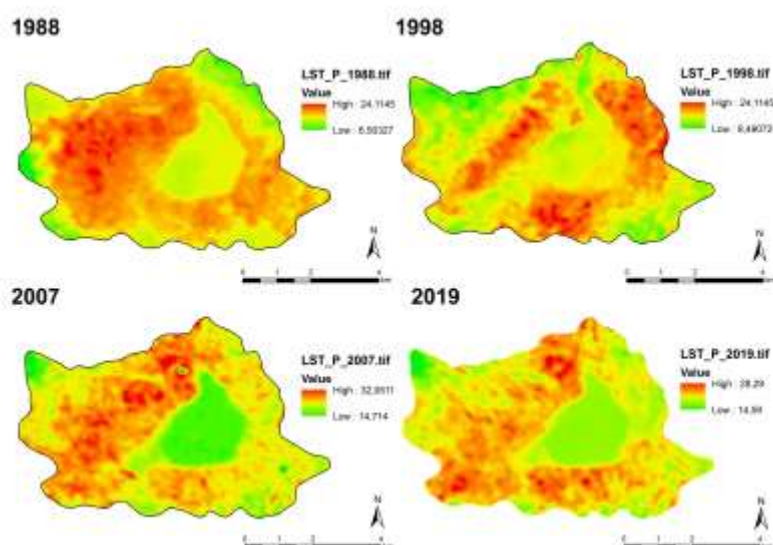


Figura 11. LST para la microcuenca Pomacochas en 1988, 1998, 2007 y 2019.

La LST para la microcuenca Burlan se muestra en la Figura 12. En el 1988, la LST máxima fue de 30,83 °C y la LST mínima fue de 24,54 °C. Para 1998, la LST máxima fue de 35,65 °C y la LST mínima fue de 21,94 °C. Por otro lado, en el 2007 la LST máxima fue de 31,65 °C y la LST mínima fue de 21,06 °C, mientras que para el 2019, la LST máxima fue de 34,35 °C y la LST mínima fue de 23,16 °C. Se puede reportar que en los años evaluados la LST se ha incrementado de acuerdo a la cobertura y uso de suelo de la microcuenca Burlan.

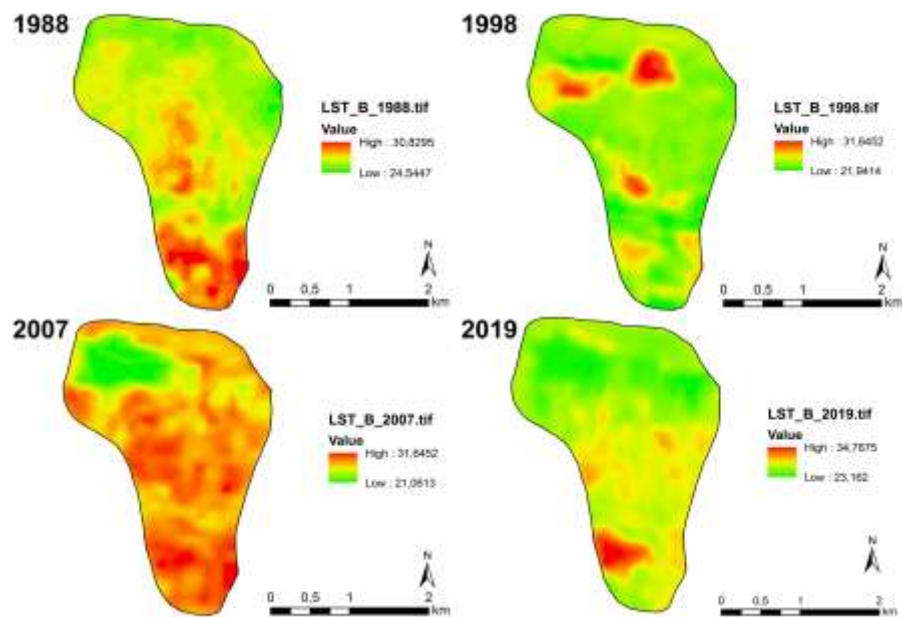


Figura 12. LST para la microcuenca Burlan en 1988, 1998, 2007 y 2019.

La LST para la microcuenca de los Cóndores se muestra en la Figura 13. En 1988, la LST máxima fue de 21,94 °C y la LST mínima fue de 4,47 °C. Para 1998, la LST máxima fue de 25,4 °C y la LST mínima fue de 0,22 °C. En el 2007 la LST máxima fue de 25,83 °C y la LST mínima fue de 10 °C, mientras que para el 2019, la LST máxima fue de 23,07 °C y la LST mínima fue de 9,52 °C.

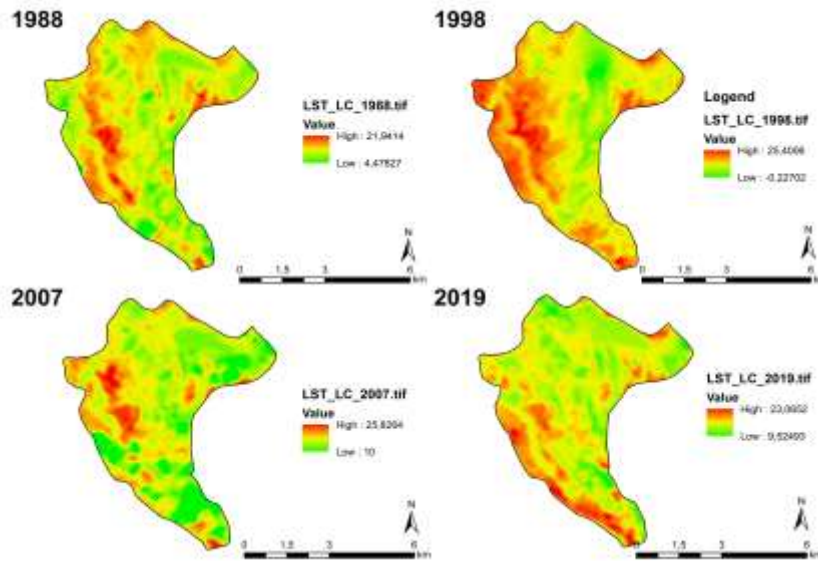


Figura 13. Temperatura superficial para la microcuenca de los Córdoros en 1988, 1998, 2007 y 2019.

3.2. Dinámica multitemporal de los cambios de cobertura y uso de suelo

3.2.1. Microcuenca Pomacochas

La dinámica espacio temporal de la cobertura y uso de suelo para la microcuenca Pomacochas, reporta una desaceleración en el proceso general de transformación del uso del suelo. En la Figura 14, se observa de manera clara la relación inversa que sigue el bosque frente a los pastos y cultivos y la zona urbana. Estos últimos tuvieron un aumento considerable en extensión, por lo tanto, reducción de la cobertura vegetal.

En este estudio, se puede inferir que las tasas estimadas para los periodos P1 (1988–1998), P2 (1998 –2007) y P3 (2007 - 2019) muestran una marcada dinámica del CCUS. Los principales cambios que se produjeron en el P1 fueron el incremento de los usos ZP (7,35%), ZU (6,48 %) y PC (0,54%). Esto deriva de la pérdida de otras coberturas naturales como los B (-4,14 %), y la reducción de CA (-0,12%) (Tabla 11).

Asimismo, los cambios que se produjo en el P2 fue el incremento de los usos AH (8,74%), ZU (5,77 %), PC (0,31%) y CA (0,18%). Esto deriva de la pérdida de coberturas naturales como los B (-3,82 %), y la reducción de PZ (-1,35%) (Tabla 12). Para el P3, los cambios en el uso de la tierra fueron el incremento de la ZU (3,66%), ZP (2,04) y B (0,10%). Esto a

consecuencia de la pérdida de AH (-0,34%), PC (-0,21%) y CA (-0,12%) (Tabla 13).

En la Figura 15, se muestran los procesos de cambio y permanencia de la cobertura y uso de suelo ocurrido en el P1, P2 y P3 en la microcuenca Pomacochas. Se observa que en el P1 que predomina la permanencia de uso antrópico debido a la actividad de ganadería y agricultura que realiza la población en el área de estudio. También, presenta un incremento de zonas deforestadas (perdía del bosque para instalación de pastos y cultivos o zona urbana). Lo mismo sucede en el P2 y P3, esto debido a la fuerte presión antrópica y crecimiento urbano que experimento en ese periodo. Asimismo, en el P3 se incrementa el cambio a cobertura natural (reconversión de pastos y cultivos a bosque) y la zona de cuerpo de agua.

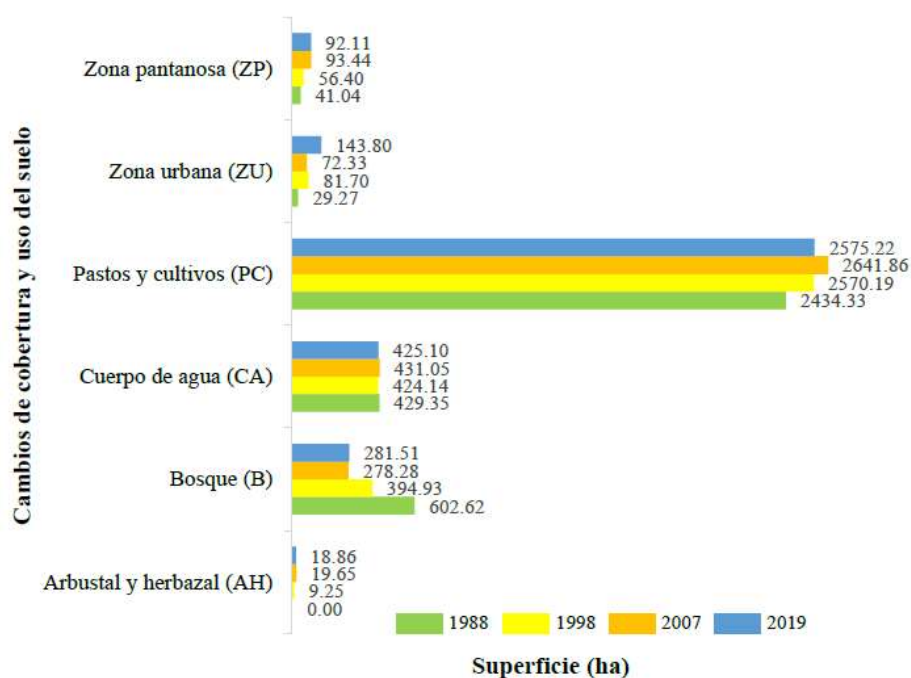


Figura 14. Dinámica de los CCUS para la microcuenca Pomacochas en 1988, 1998, 2007 y 2019.

Tabla 11. Matriz de tabulación de cruzada, tasa de cambio e índices de cambios para la microcuenca Pomacochas en el periodo 1988 – 1998.

1988	1998						Total 1998 (ha)	Tasa anual de cambio s	Pérdida (Li)	Cambio total (Ct)	Cambio neto (Cn)	Intercambio (Int)
	AH	B	CA	PC	ZU	ZP						
B	9,25	346,44	0,10	245,09	0,67	1,07	602,62	-4,14	42,51	50,56	34,46	16,09
CA			420,64	0,02		8,69	429,35	-0,12	2,03	2,85	1,21	1,63
PC		48,49	2,58	2317,28	28,72	37,27	2434,33	0,54	4,81	15,20	5,58	9,62
ZU			0,83	2,27	27,01		30,10	6,48	10,27	107,91	87,37	20,55
ZP				5,53		34,68	40,21	7,35	13,76	130,71	103,19	27,52
Total 1988 (ha)	9,25	394,93	424,14	2570,19	56,40	81,70	3536,61					
Ganancia (G_j) (%)	0,00	8,05	0,82	10,39	97,64	116,95						

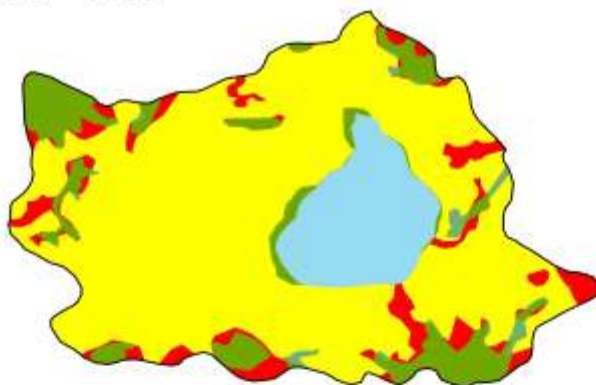
Tabla 12. Matriz de tabulación de cruzada, tasa de cambio e índices de cambios para la microcuenca Pomacochas en el periodo 1998 – 2007.

1998	2007						Total 2007 (ha)	Tasa de anual cambio s	Pérdi da (Li)	Cambio total (Ct)	Cambio neto (Cn)	Intercambio (Int)
	AH	B	CA	PC	ZU	ZP						
AH	9,05	0,20					9,25	8,74	2,11	116,76	112,53	4,23
B	10,60	206,04		176,30	1,99		394,93	-3,82	47,83	66,12	29,54	36,58
CA			422,27			1,87	424,14	0,18	0,44	2,51	1,63	0,88
PC		71,77	1,30	2446,06	42,11	8,95	2570,19	0,31	4,83	12,45	2,79	9,66
ZU		0,23		6,92	49,25		56,40	5,77	12,67	91,02	65,68	25,34
ZP		0,05	7,47	12,58	0,09	61,50	81,70	-1,35	24,72	37,96	11,47	26,49
Total 1998 (ha)	19,65	278,28	431,05	2641,86	93,44	72,33	3536,61					
Ganancia (G_j) (%)	114,65	18,29	2,07	7,62	78,35	13,24						

Tabla 13. Matriz de tabulación de cruzada, tasa de cambio e índices de cambios para la microcuenca Pomacochas en el periodo 2007 - 2019

2007	2019						Total 2019 (ha)	Tasa anual de cambio s	Pérdida (L _i)	Cambio total (Ct)	Cambio neto (Cn)	Intercambio (Int)
	AH	B	CA	PC	ZU	ZP						
AH	13,12	2,58		3,96			19,65	-0,34	33,25	62,51	4,00	58,51
B	5,42	175,02		92,10	0,01	5,75	278,28	0,10	37,11	75,38	1,16	74,22
CA			423,13	0,02		7,89	431,05	-0,12	1,84	2,29	1,38	0,91
PC	0,33	103,10	0,02	2458,15	64,20	16,07	2641,86	-0,21	6,95	11,39	2,52	8,86
ZU		0,03		13,98	79,43		93,44	3,66	14,99	83,89	53,90	29,99
ZP		0,79	1,95	7,01	0,17	62,41	72,33	2,04	13,71	54,79	27,36	27,43
Total 2007 (ha)	18,86	281,51	425,10	2575,22	143,80	92,11	3536,61					
Ganancia (G_j) (%)	29,26	38,27	0,46	4,43	68,89	41,07						

1988 - 1998

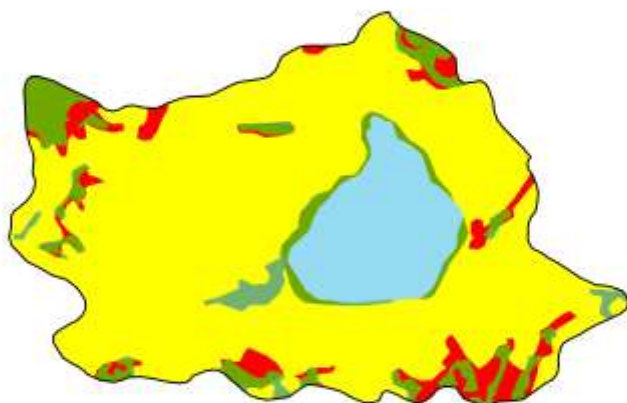


Leyenda

- Cuerpo de agua
- Cambio a cobertura natural
- Permanencia de cobertura natural
- Permanencia de uso antrópico
- Deforestación



1998 -2007

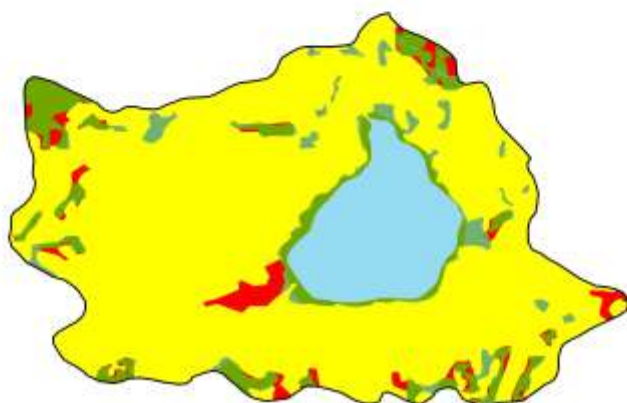


Leyenda

- Cuerpo de agua
- Cambio a cobertura natural
- Permanencia de cobertura natural
- Permanencia de uso antrópico
- Deforestación



2007 - 2019



Leyenda

- Cuerpo de agua
- Cambio a cobertura natural
- Permanencia de cobertura natural
- Permanencia de uso antrópico
- Deforestación



Figura 15. CCUS ocurridos entre 1988–1998, 1998-2007 y 2007-2019 en la microcuenca Pomacochas.

3.2.2. Microcuenca Burlan

Los CCUS para la microcuenca Burlan, reportan la disminución de la cobertura vegetal e incremento de los cultivos en la zona de estudio. En la Figura 16, se observa la relación inversa que sigue el bosque seco frente a los cultivos y las zonas sin vegetación.

En este análisis, se puede deducir que las tasas estimadas para los periodos P1 (1988–1998), P2 (1998–2007) y P3 (2007-2019) reportan una importante dinámica del CCUS. Los principales cambios que se produjeron en el P1 fueron el incremento de la ZU (12,56%) y los cultivos (arroz). Esto deriva de la pérdida del bosque seco (-1,68%), y las zonas sin vegetación (-9,81%) (Tabla 14).

Por otro lado, los cambios que se produjo en el P2 fue el incremento de los usos C (13,16%), ZSV (3,10 %) y parece los usos de CA y ZP. Esto fue debido a la reducción de coberturas naturales como los BS (-8,76 %), y la ZU (-8,41%) (Tabla 15). En el P3, los cambios en el uso de la tierra fueron el aumento del BS (2,41%), ZSV (6,14%) y ZU (2,06%). Esto a consecuencia de la pérdida de ZP (-4,75%), C (-2,57%) y CA (-1,51%) (Tabla 16).

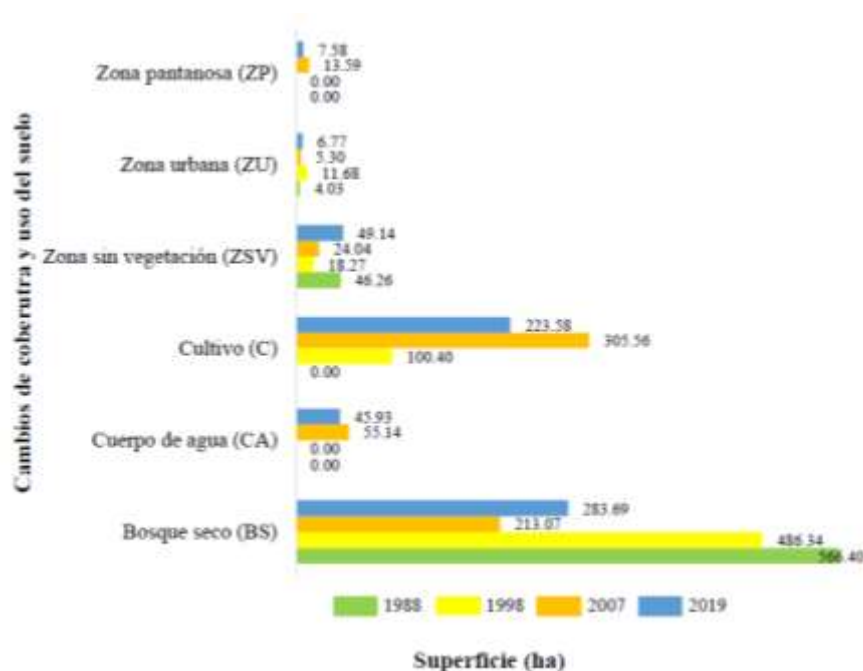


Figura 16. Dinámica de los CCUS de para la microcuenca Burlan en 1988, 1998, 2007 y 2019.

Tabla 14. Matriz de tabulación de cruzada, tasa de cambio e índices de cambios para la microcuenca Burlan en el periodo 1988 – 1998.

1988	1998				Total 1998 (ha)	Tasa anual de cambio s	Pérdida (L _i)	Cambio total (Ct)	Cambio neto (Cn)	Intercambio (Int)
	BS	ZSV	ZU	C						
BS	456,03	0,08	9,89	100,40	566,40	-1,68	19,49	24,84	14,14	10,70
ZSV	28,07	18,19			46,26	-9,81	60,68	60,84	60,52	0,33
ZU	2,24		1,79		4,03	12,56	55,47	300,90	189,96	110,94
Total 1988 (ha)	486,34	18,27	11,68	100,40	616,69					
Ganancia (G_j) (%)	5,35	0,16	245,43							

Tabla 15. Matriz de tabulación de cruzada, tasa de cambio e índices de cambios para la microcuenca Burlan en el periodo 1998 – 2007.

1998	2007						Total 2007 (ha)	Tasa anual de cambio s	Pérdida (L _i)	Cambio total (Ct)	Cambio neto (Cn)	Intercambio (Int)
	BS	C	ZSV	ZU	CA	ZP						
BS	210,77	220,49	5,86	3,00	40,57	5,66	486,34	-8,76	56,66	57,13	56,19	0,94
C		77,90			14,57	7,93	100,40	13,16	22,42	249,17	204,34	44,83
ZSV	0,08		18,18				18,27	3,10	0,46	32,52	31,60	0,92
ZU	2,21	7,17		2,30			11,68	-8,41	80,30	105,94	54,65	51,29
Total 1998 (ha)	213,07	305,56	24,04	5,30	55,14	13,59	616,69					
Ganancia (G_j) (%)	0,47	226,75	32,06	25,64								

Tabla 16. Matriz de tabulación de cruzada, tasa de cambio e índices de cambios para la microcuenca Burlan en el periodo 2007 – 2019.

2007	2019						Total 2019	Tasa anual de cambio s	Pérdida (L _i)	Cambio total (Ct)	Cambio neto (Cn)	Intercam bio (Int)
	BS	CA	C	ZSV	ZP	ZU						
BS	176,97	0,06	11,63	22,18		2,22	213,07	2,41	16,94	67,03	33,15	33,88
CA	1,47	45,81	1,88		5,69	0,28	55,14	-1,51	16,92	17,14	16,71	0,43
C	98,36	0,00	202,27	3,64		1,29	305,56	-2,57	33,80	40,78	26,83	13,95
ZSV	0,71			23,33			24,04	6,14	2,94	110,32	104,44	5,87
ZP	3,16	0,05	7,66		1,89	0,84	13,59	-4,75	86,12	127,99	44,25	83,74
ZU	3,02		0,14			2,13	5,30	2,06	59,71	147,15	27,73	119,42
Total 2007 (ha)	283,69	45,93	223,58	49,14	7,58	6,77	616,69					
Ganancia (G_j) (%)	50,09	0,21	6,97	107,38	41,87	87,44						

En la Figura 17, se muestran los procesos de cambio y permanencia de los CCUS ocurridos en el P1, P2 y P3 en la microcuenca Burlan. En el P1, predomina la cobertura natural (bosque seco) y la deforestación para la instalación de parcelas de cultivos de arroz. También, presenta zonas sin vegetación y algunas zonas que se han revertido a cobertura natural.

Por otro lado, en el P2, se incrementó la deforestación y la permanencia del uso antrópico. Asimismo, se reduce la permanencia de la cobertura natural con respecto al P1 y aparece el cuerpo de agua (laguna Burlan). En el P3, se incrementó la permanencia del uso antrópico y las zonas sin vegetación reduciendo considerablemente la permanencia de la cobertura natural.

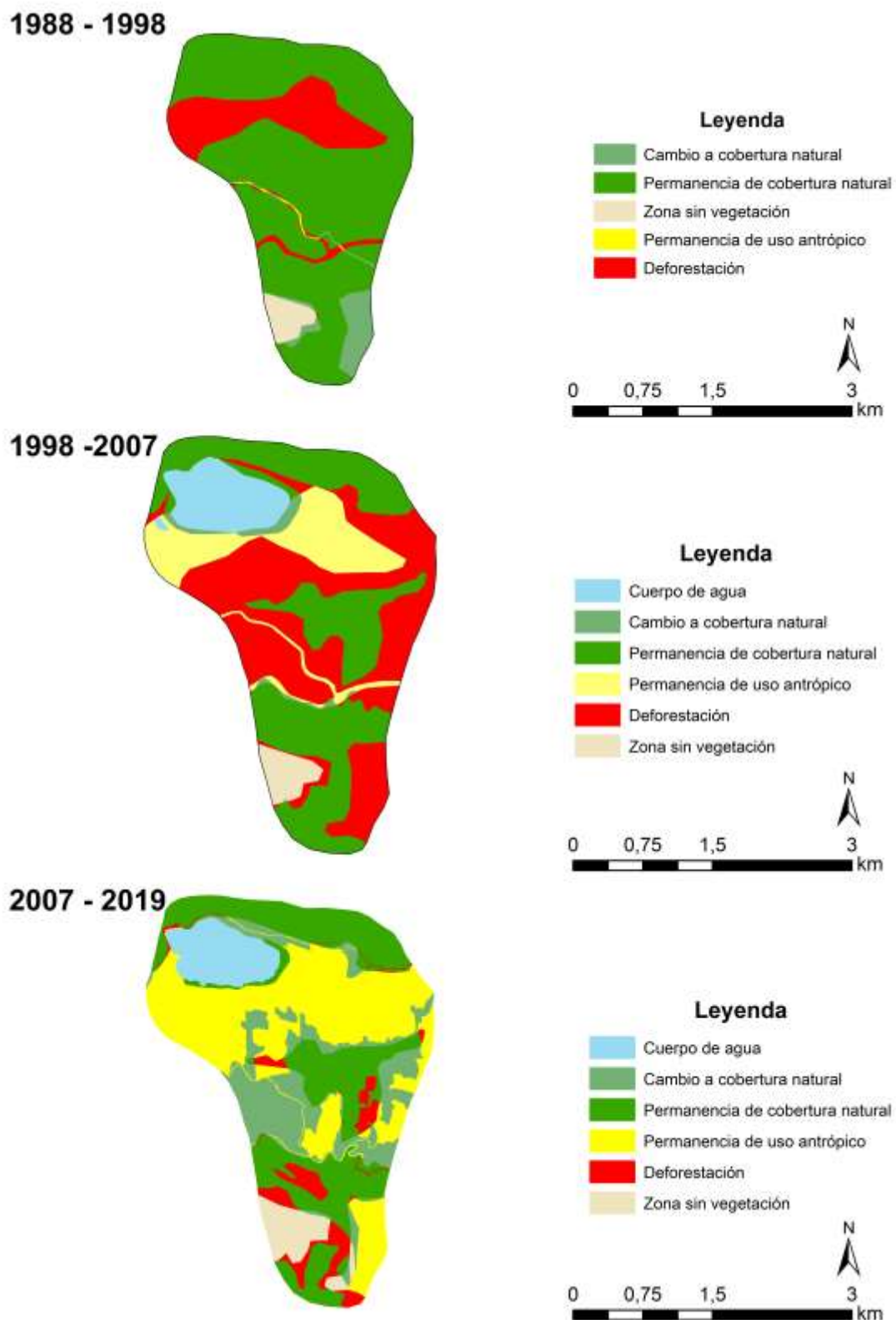


Figura 17. CCUS ocurridos entre 1988-1998, 1998-2007 y 2007-2019 en la microcuenca Burlan.

3.2.3. Microcuenca de los Cóndores

Los cambios de cobertura y uso del suelo para la microcuenca de los Cóndores, reportan la disminución de la cobertura vegetal como bosque e incremento de los arbustales y herbazales. Asimismo, la reducción de los cuerpos de agua en la zona de estudio (Figura 18). En este análisis, se puede deducir que las tasas estimadas para los periodos P1 (1988–1998), P2 (1998–2007) y P3 (2007-2019) reportan una importante dinámica de los CCUS. Los principales cambios que se produjeron en el P1 fueron el incremento de la AH (0,37%) y CA (0,01%). Esto deriva de la pérdida del bosque (-1,21%) como se muestra en la Figura 18.

Por otro lado, los cambios que se produjo en el P2 fue el incremento de los usos B (0,51%) y CA (0,52 %). Sin embargo, se redujo la AH (-0,35%) (Tabla 18). En el P3, los cambios en el uso de la tierra fueron el aumento del B (0,66%) y pérdida de AH (-0,40%) y CA C (-0,26%) (Tabla 19).

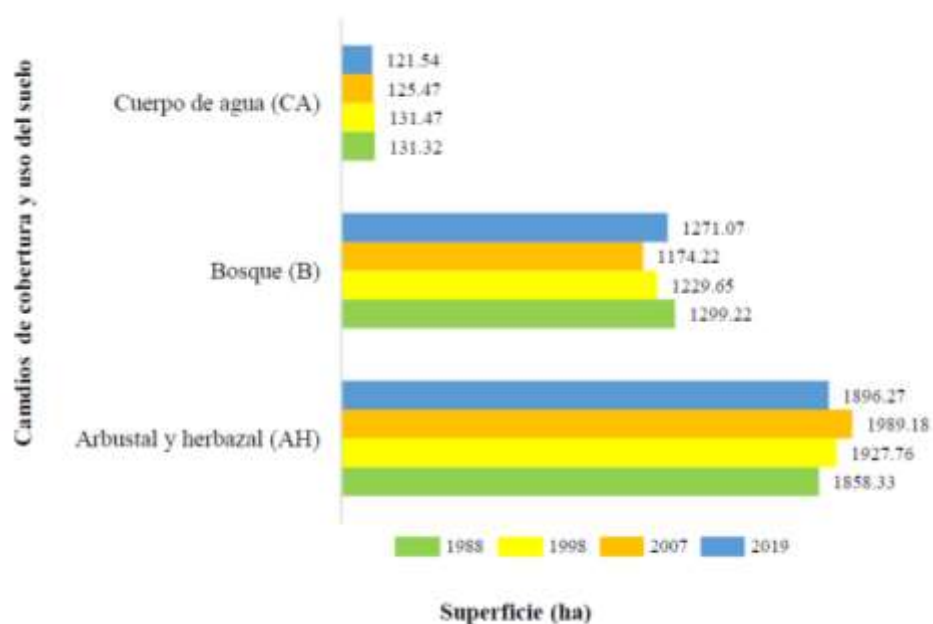


Figura 18. Dinámica de los CCUS de la microcuenca de los Cóndores en 1988, 1998, 2007 y 2019.

En la Figura 19, se presentan los procesos de cambio y permanencia de los CCUS ocurridos en el P1, P2 y P3 en la laguna de los Cóndores. En el P1, predomina la permanencia de la cobertura natural y cuerpo de agua. De igual manera, ocurre en el P2 y P3 se mantienen los cuerpos de agua, se reporta la permanencia de la cobertura natural.

Tabla 17. Matriz de tabulación de cruzada, tasa de cambio e índices de cambios para la microcuenca de los Cóndores en el periodo 1988 – 1998.

1988	1998			Total 1998 (ha)	Tasa anual de cambio s	Pérdida (L _i)	Cambio total (Ct)	Cambio neto (Cn)	Intercambio (Int)
	AH	B	CA						
AH	1779,09	79,24		1858,33	0,37	4,26	12,26	3,74	8,53
B	147,36	1146,89	4,97	1299,22	-1,21	11,72	11,91	11,54	0,38
CA	1,31	3,51	126,50	131,32	0,01	3,67	4,05	3,29	0,76
Total 1988 (ha)	1927,76	1150,41	131,47	3209,63					
Ganancia (G_j) (%)	8,00	0,19	0,38						

Tabla 18. Matriz de tabulación de cruzada, tasa de cambio e índices de cambios para la microcuenca de los Cóndores en el periodo 1998 – 2007.

1998	2007			Total 2007 (ha)	Tasa anual de cambio s	Pérdida (L _i)	Cambio total (Ct)	Cambio neto (Cn)	Intercambio (Int)
	AH	B	CA						
AH	1833,05	155,56	0,573502	1989,18	-0,35	7,85	12,61	3,09	9,52
B	94,55	1072,68	6,99	1174,22	0,51	8,65	22,02	4,72	17,30
CA	0,16	1,40	123,91	125,47	0,52	1,25	7,27	4,78	2,49
Total 1998 (ha)	1927,76	1229,65	131,47	3288,87					
Ganancia (G_j) (%)	4,76	13,37	6,03						

Tabla 19. Matriz de tabulación de cruzada, tasa de cambio e índices de cambios para la microcuenca de los Cóndores en el periodo 2007 – 2019.

2007	2019			Total 2019 (ha)	Tasa anual de cambio s	Pérdida (L _i)	Cambio total (Ct)	Cambio neto (Cn)	Intercambio (Int)
	AH	B	CA						
AH	1843,26	145,79	0,13	1989,18	-0,40	7,34	10,00	4,67	5,33
B	50,74	1121,33	2,15	1174,22	0,66	4,50	17,26	8,25	9,01
CA	2,26	3,95	119,26	125,47	-0,26	4,95	6,76	3,13	3,63
Total 2007 (ha)	1896,27	1271,07	121,54	3288,87					
Ganancia (G_j) (%)	2,66	12,75	1,81						

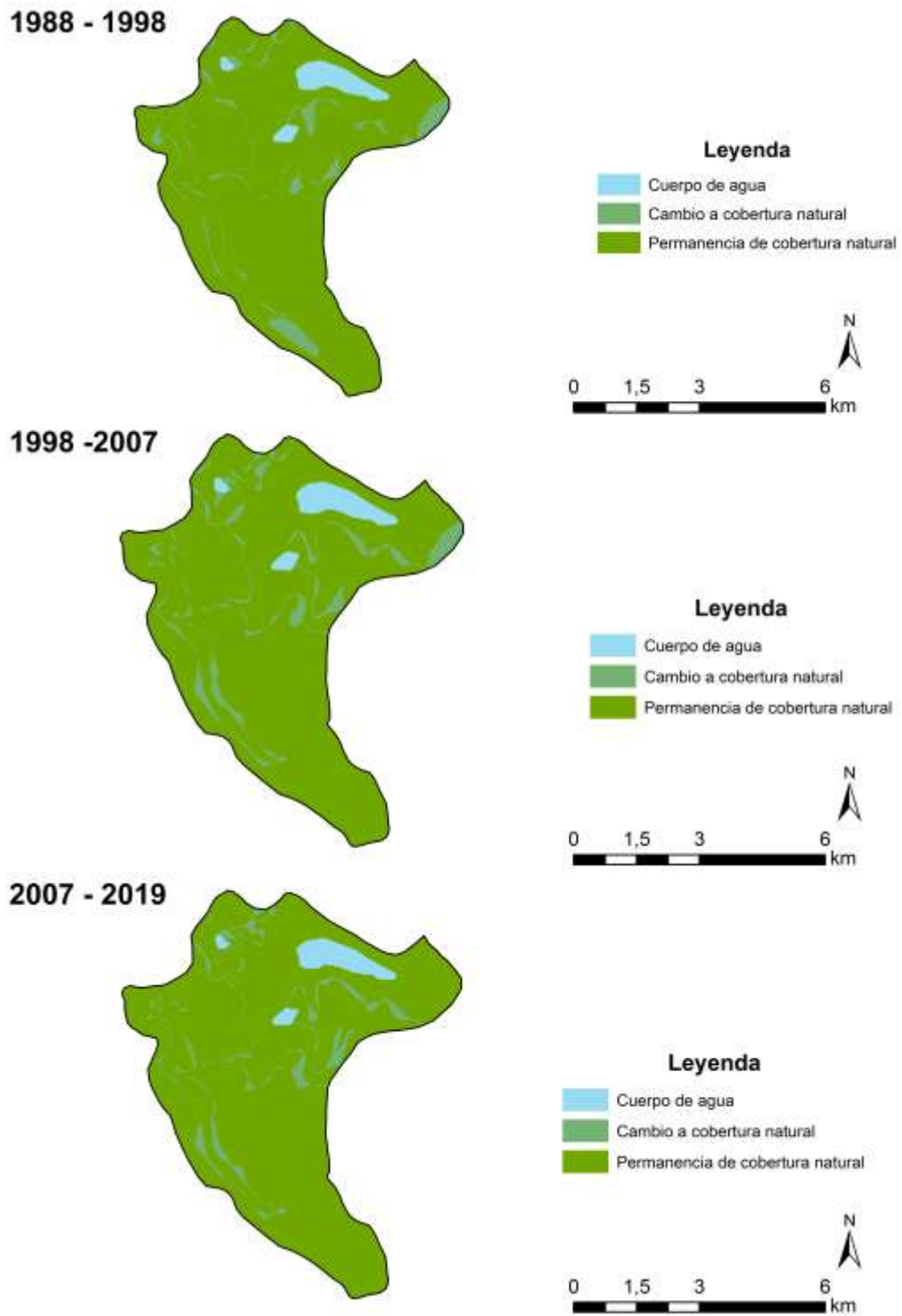


Figura 19. CCUS ocurridos entre 1988-1998, 1998-2007 y 2007-2019 para microcuenca de los Cóndores.

3.3. Predicción de los CCUS al 2031

La predicción de los cambios espaciales de la cobertura y uso de suelo, se realizó mediante el complemento MOLUSCE de QGIS para el año 2031.

3.3.1. Microcuenca Pomacochas

Las coberturas de mayor predominancia para el año 2031, está conformada por PC (2524,27 ha), CU (425,27 ha), B (221,60 ha), ZU (206,55 ha), ZP (132,51) y AH (26,40 ha). En la Tabla 20, se observa la probabilidad de cambio de la cobertura y uso del suelo para el 2031; los resultados reportan que, si la tendencia actual continúa para el año 2031 se perderá el 32,41% del B actual, cambiando a PC (85,32 ha) y ZP (5,67 ha). Asimismo, la ZP y la ZU se incrementarán en un 3,08% y 3,06% de la superficie actual respectivamente.

Espacialmente, se observan los CCUS en la Figura 20. Predomina el los PC y ZU (Figura 20a). Con respecto a los procesos de cambio y permanencia entre 2019 – 2031, el uso antrópico permanece con más superficie (Figura 20b) y la concentración de la deforestación se localiza al norte y suroeste del lago Pomacochas (Figura 20c).

Tabla 20. Matriz de tabulación de cruzada, tasa de cambio e índices de cambios para la microcuenca Pomacochas en el periodo 2019 – 2031.

2019	2031						Total 2031 (ha)	Tasa de anual cambio	Pérdida (Li)	Cambio total (Ct)	Cambio neto (Cn)	Intercambio (Int)
	AH	B	CA	PC	ZU	ZP						
AH	18,23	0,63					18,86	2,84	3,34	46,64	39,96	6,68
B	0,24	190,27		85,32		5,67	281,51	-1,97	32,41	43,54	21,28	22,26
CA			423,21	0,01		1,87	425,10	0,00	0,44	0,93	0,04	0,89
PC	7,92	30,49		2435,33	62,60	38,88	2575,22	-0,17	5,43	8,89	1,98	6,91
ZU					143,80		143,80	3,06	0,00	43,64	43,64	0,00
ZP		0,22	2,05	3,62	0,14	86,09	92,11	3,08	6,54	56,94	43,85	13,09
Total 2019 (ha)	26,40	221,60	425,27	2524,27	206,55	132,51	3536,61					
Ganancia (Gj) (%)	43,30	11,13	0,48	3,45	43,64	50,40						

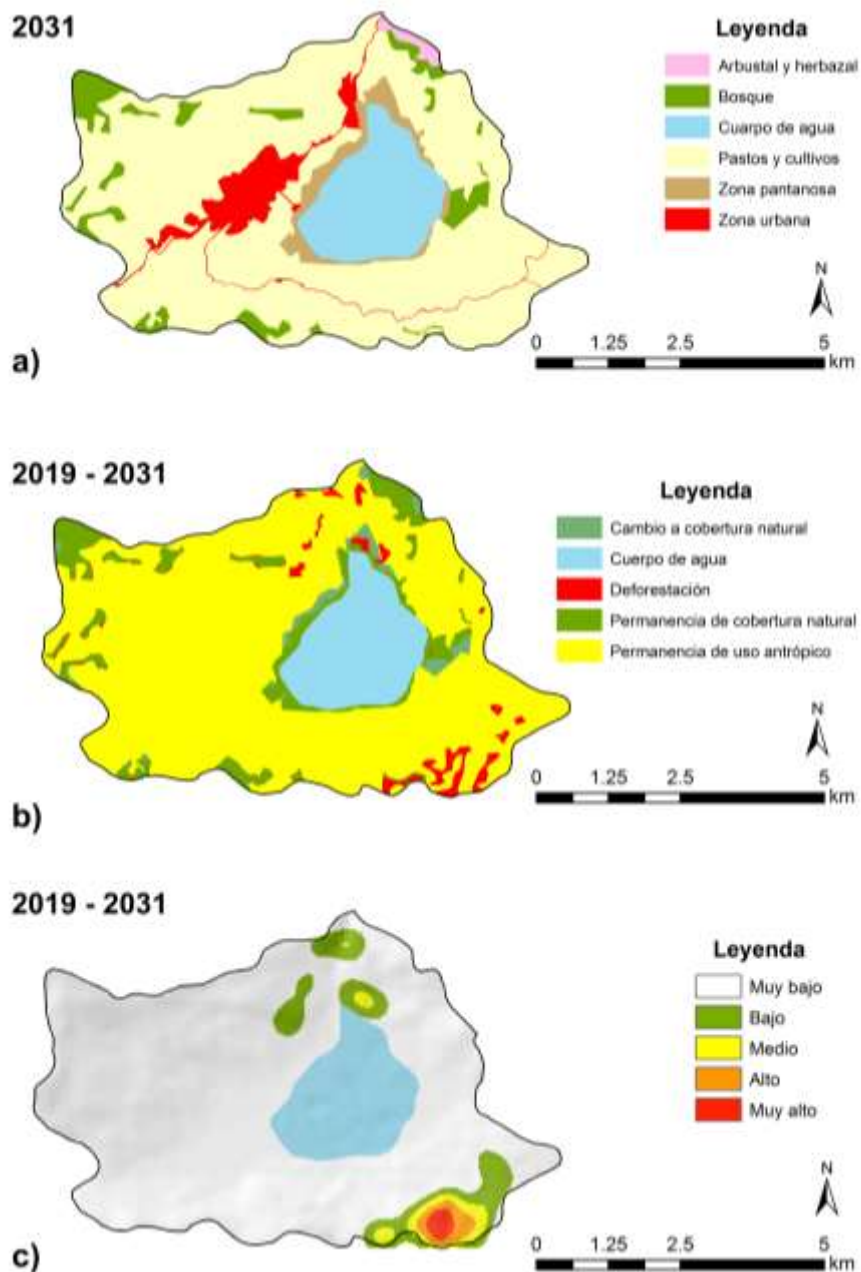


Figura 20. a) CCUS para la microcuenca Pomacochas en el 2031. b) Procesos de cambio y permanencia entre 2019 - 2031. c) Concentración de la pérdida de la cobertura boscosa entre 2019- 2031.

3.3.2. Microcuenca Burlan

Las coberturas con mayor predominancia para el año 2031 está conformada por C (376,67 ha), BC (142,34 ha), CA (45,24 ha), ZSV (40,81 ha), ZU (7,49 ha) y ZP (4,14 ha). En la Tabla 21, se observa la probabilidad de cambio de la cobertura y uso del suelo hacia el 2031; los resultados muestran que, para el 2031 se perderá el 50,32% del BS, cambiando C) y ZU.

La Figura 20, reporta los CCUS de la microcuenca Burlan, predomina los cultivos para el 2031(Figura 21a). Asimismo, los procesos de cambio y permanencia entre 2019 – 2031, el uso antrópico permanece con más superficie (Figura 21b) y la concentración de la deforestación se localiza al suroeste de la laguna Burlan (Figura 21c).

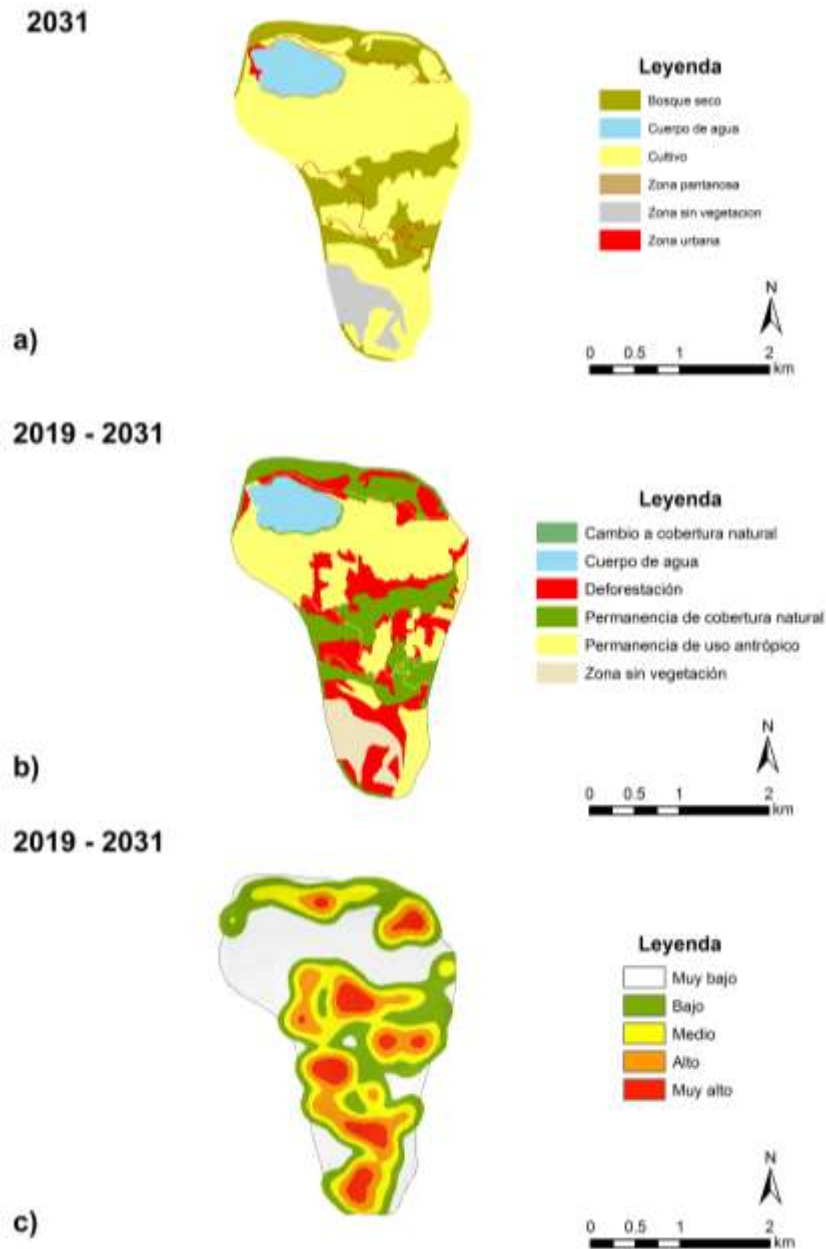


Figura 21. a) CCUS para la microcuenca Burlan en el 2031. b) Procesos de cambio y permanencia entre 2019 - 2031. c) Concentración de la pérdida de la cobertura boscosa entre 2019- 2031.

Tabla 21. Matriz de tabulación de cruzada, tasa de cambio e índices de cambios para la microcuenca Burlan en el periodo 2019 – 2031.

2019	2031						Total 2031 (ha)	Tasa anual de cambio	Pérdida (Li)	Cambio total (Ct)	Cambio neto (Cn)	Intercambio (Int)
	BS	CA	C	ZSV	ZP	ZU						
BS	140,94	0,15	140,45	0,90	0,88	0,36	283,69	-5,59	50,32	50,81	49,83	0,98
CA		44,55	0,03		1,15	0,19	45,93	-0,12	3,01	4,52	1,49	3,03
C	1,24	0,07	221,76	0,07	0,27	0,17	223,58	4,44	0,81	70,10	68,47	1,63
ZSV	0,16		9,15	39,84			49,14	-1,54	18,93	20,91	16,95	3,96
ZP		0,48	5,27		1,83		7,58	-4,91	75,87	106,39	45,36	61,03
ZU						6,77	6,77	0,85	0,00	10,70	10,70	0,00
Total 2019 (ha)	142,34	45,24	376,67	40,81	4,14	7,49	616,69					
Ganancia (Gj) (%)	0,49	1,52	69,28	1,98	30,51	10,70						

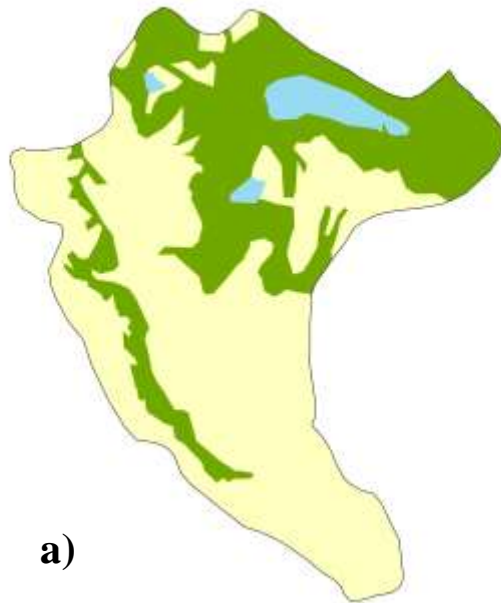
3.3.3. Microcuenca de los Cóndores

Las coberturas de mayor predominancia para el año 2031 está conformada por AH (1968,08 ha), B (1200,66 ha) y CA (120,13 ha) (Figura 22). Asimismo, en la Tabla 22, se observa la probabilidad de cambio de la cobertura para el año 2031; los resultados reportan el B se perderá un 6,77% y la zona de AH tendrá una ganancia de 4,51%.

Tabla 22. Matriz de tabulación de cruzada, tasa de cambio e índices de cambios para la microcuenca de los Cóndores en el periodo 2019 – 2031.

2019	2031			Total 2031 (ha)	Tasa anual de cambio	Pérdida (Li)	Cambio total (Ct)	Cambio neto (Cn)	Intercambio (Int)
	AH	B	CA						
AH	1882,52	13,39	0,36	1896,27	0,31	0,73	5,24	3,79	1,45
B	84,86	1185,03	1,18	1271,07	-0,47	6,77	8,00	5,54	2,46
CA	0,71	2,25	118,58	121,54	-0,10	2,43	3,70	1,16	2,54
Total 2019 (ha)	1968,08	1200,66	120,13	3288,87					
Ganancia (Gj) (%)	4,51	1,23	1,27						

2031



a)

Leyenda

- Arbustal y herbazal
- Bosque
- Cuerpo de agua



2019 - 2031



b)

Leyenda

- Cambio a cobertura natural
- Cuerpo de agua
- Permanencia de cobertura natural



Figura 22. a) CCUS para la microcuenca de los Cóndores en el 2031. b) Procesos de cambio y permanencia entre 2019 – 2031 en la microcuenca de los Cóndores.

IV. DISCUSIONES

4.1. Agotamiento de los cuerpos de agua entre 1988 a 2019

Los cuerpos de agua dulce a menudo están afectados a cambios en el uso de la tierra en sus cuencas hidrográficas, que conducen a la reducción de las entradas y al deterioro de la calidad de la "escorrentía" que atraviesa los campos agrícolas y las zonas urbanas (Hua & Ping, 2018). El lago Pomacochas, en los años evaluados revela diferentes cambios espaciales en la superficie del cuerpo de agua y su microcuenca. El área del lago se redujo de 429,43 ha en el 1988 a 425,20 ha en el 2019. Esto puede variar en función a las condiciones del tiempo (precipitación y evaporación) y a los efectos del cambio climático (precipitaciones o sequías constantes) (Barboza *et al.*, 2014). Asimismo, los CCUS de la microcuenca experimentaron un aumento de los pastos y cultivos, zona urbana y arbustales y herbazales. Estos cambios se asocian con los cambios espacio-temporales en la cobertura del suelo que podrían ser el resultado de actividades naturales como las condiciones climáticas o antrópicas como la deforestación y la urbanización (Grundling *et al.*, 2013; Orimoloye *et al.*, 2020).

La laguna Burlan presenta una dinámica diferente al lago Pomacochas en los años evaluados. Según la información reportada por los pobladores y publicada por Integración de la Infraestructura Regional Suramericana (IIRSA) la laguna Burlan se forma en el año 2003 producto de las lluvias y es en el 2005 donde se forma como laguna, a partir de una explosión (IIRSA, 2016). Es por ello, que en 1988 y 1998 la aplicación del NDWI no permitió identificar el cuerpo de agua. Sin embargo, en el 2007 el área de la laguna fue de 55,14 ha, la cual, se redujo para el 2019 a 45,93 ha. Por otro lado, los usos de suelo de la microcuenca experimentaron cambios considerables puesto que, en el 1998 los usos de la tierra fueron zona urbana (ocupado por los caminos que conducían hacia los cultivos), bosque seco y zonas sin vegetación (afloramiento rocoso). En consecuencia, para el 2019 se redujo el bosque seco y se incrementó los cultivos (especialmente de arroz). Estos cambios ocurridos se pueden asociar como los principales factores que influyeron en la reducción del cuerpo de agua, la disponibilidad hídrica y la biodiversidad (Perreault *et al.*, 2017).

Por otro lado, la laguna de los Cóndores en los años evaluados presentó una considerable dinámica de la superficie del cuerpo de agua en 1988 el área de fue

131,47 ha y para el 2019 se redujo a 121,67 ha. Asimismo, la cobertura arbustal herbazal se incrementó para el 2019, mientras que el bosque disminuyó. Esto puede asociarse con las actividades de ganadería y agricultura que se realizan en el área de estudio. Estos cambios pueden influir negativamente en la degradación y pérdida de hábitats y reducción de la cantidad y calidad del agua (Berteaux *et al.*, 2016)

4.2. Temperatura superficial entre 1988 a 2019

La transformación del paisaje natural se ha convertido en una preocupación a nivel local, nacional y mundial, debido a su papel en la reducción de la biodiversidad, alteración del clima regional y la creación de islas de calor urbano (UHI) en las ciudades (Aguilar *et al.*, 2003). Es así, que la rápida urbanización trae consigo efectos en la temperatura de la superficie terrestre (Ogunjobi *et al.*, 2019).

El estudio encontró que las zonas urbanas tenían la mayor temperatura de superficie terrestre, con respecto a los pastos y cultivos, zonas sin vegetación, cuerpo de agua y bosque. Estos resultados fueron similares a los reportados por Sobrino *et al.* (2004) y Xiao *et al.* (2018), quienes reportaron que las zonas urbanas y sin vegetación tenían más LST en comparación con los cuerpos de agua y la cobertura vegetal, lo que implica que existe una relación entre la dinámica del uso de la tierra y las características térmicas de la superficie terrestre (Ogunjobi *et al.*, 2019).

La microcuenca Pomacochas experimenta un crecimiento de la zona urbana y pastos y cultivos (Salas *et al.*, 2016), lo que puede repercutir en el aumento de la LST en esta zona de estudio. Asimismo, en la microcuenca Burlan se desarrolla la actividad agrícola (cultivo de arroz) (Sánchez, 2018), y en los últimos años se ha incrementado la zonas sin vegetación producto de la pérdida de la cobertura vegetal, esto puede llevar al aumento de la LST considerablemente en dicha laguna. Finalmente, en la laguna de los Cóndores ha presentado un incremento de la LST especialmente en los arbustales y herbazales, esto se puede deber a los efectos del calentamiento global y cambio climático como lo expresa Xiao *et al.* (2018).

4.3. Dinámica de los cuerpos de agua para el 2031

La predicción de la distribución espacial potencial de los CCUS al 2031, muestran expansión de las tierras para pastos y cultivos. También, el crecimiento de la zona urbana. La mayoría de estos cambios ocurren en torno a cambios inducidos por el hombre debido a su accesibilidad e instalación de nuevas parcelas de pastos y cultivos, extracción de recursos forestales y construcción de infraestructuras (Ansari & Golabi, 2018). Por otro lado, Halmy *et al.* (2015) consideran que los cambios de cobertura son una preocupación para los profesionales en medio ambiente, conservación e investigadores debido al impacto que genera en los ecosistemas naturales.

Asimismo, los mapas simulados, ayudan a entender los efectos futuros de los cambios de uso del suelo. Para el 2031, se reducen la superficie de los cuerpos de agua en estudio (Tabla 23). Entre las causas de esta reducción se asocia principalmente elementos naturales (como el cambio climático, las diferencias en las condiciones de sedimentos) y las actividades antrópicas (prácticas agrícolas, acumulación, deforestación) (Arheimer & Pers, 2017; Orimoloye *et al.*, 2020).

Tabla 23. Superficie de cuerpo de agua en 2019 y 2031.

Cuerpo de agua	Superficie (ha)	
	2019	2031
Lago Pomacochas	425,10	425,27
Laguna Burlan	45,93	45,24
Laguna de los Cóndores	121,67	120,13

V. CONCLUSIONES

Este estudio ha revelado el proceso de transformación del cuerpo de agua y los cambios en la cobertura y uso de suelo del lago Pomacochas, laguna Burlan y laguna de los Cóndores inducidos por procesos naturales como antrópicos. Es así que, se presentan la cuantificación de la superficie de los cuerpos de agua a través de la aplicación del índice NDWI, el cual, reporta que en las tres zonas de estudio reporta un agotamiento de estos humedales. Asimismo, a nivel de microcuenca se evidencia el incremento de la temperatura superficial en las zonas urbanas. A su vez, la aplicación del análisis espacial para obtener la cobertura y uso de suelo a través de las imágenes Landsat, reporta que se han reducido los bosques y se ha incrementado los pastos y cultivos, zona urbana y zonas sin vegetación entre 1988 a 2019.

La predicción de los CCUS mediante el análisis de imágenes satelitales puede ayudar en la planificación de estrategias adecuadas de gestión ambiental y conservación del lago Pomacochas y las lagunas de Burlan y de los Cóndores.

La pérdida de estos cuerpos de agua podría traer consigo un importante problema para los pobladores de las zonas circundantes y la región Amazonas, ya que, estos son considerados como lugares turísticos. Entre las causas están la pérdida del bosque (deforestación) para la instalación de parcelas de pastos y cultivos. El incremento de las zonas urbanas y los efectos del cambio climático. Esto implica mejorar la gestión comunal y la gestión de las políticas ambientales.

VI. RECOMENDACIONES

- El mapa de aplicación del NDWI y la evaluación de los CCUS de las microcuencas del lago Pomacochas, laguna Burlan y laguna de los Cóndores pueden ayudar a verificar el agotamiento de estos recursos y su vulnerabilidad actual, además puede servir como guía para la propuesta de acciones de mejora.
- Los resultados de simulación al 2031 podrían usarse como guía para la planificación de la conservación en las zonas de estudio, ayudando a los tomadores de decisiones a mejorar los planes de manejo del uso de la tierra y proponer proyectos de conservación de ecosistemas.
- Este estudio permitió evaluar la dinámica de los humedales, a partir de ello, se puede proponer acciones de monitoreo del agotamiento y ser complementado con variables meteorológicas como temperatura, precipitación y humedad.
- Se recomienda realizar estudios similares en otros cuerpos de agua de la región Amazonas y de esta manera conocer su dinámica.
- Es importante que se desarrolle un sistema de información geográfica (Geoportal) en tiempo real que permita monitorear el estado actual de los humedales de la región Amazonas.
- Es necesario involucrar en los estudios a las comunidades y entes competentes en recursos hídricos para desarrollar estrategias de gestión ambiental.
- Es necesario adoptar modelos de predicción para predecir el impacto de los cambios actuales en el uso de la tierra de los cuerpos de agua y sus microcuencas.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, A. G., Ward, P. M., & Smith Sr, C. B. (2003). Globalization, regional development, and mega-city expansion in Latin America: analyzing Mexico City's peri-urban hinterland. *Cities*, 20(1), 3-21.
- Ansari, A., & Golabi, M. H. (2018). Prediction of spatial land use changes based on LCM in a GIS environment for Desert Wetlands—A case study: Meighan Wetland, Iran. *International soil and water conservation research*.
- Arheimer, B., & Pers, B. C. (2017). Lessons learned? Effects of nutrient reductions from constructing wetlands in 1996–2006 across Sweden. *Ecological Engineering*, 103, 404-414.
- Barboza, E., Maicelo, J. L., Vigo, C. N., Castro, J., & Oliva, S. M. (2014). Análisis morfométrico y batimétrico del lago Pomacochas (Perú). *Revista de Investigación para el Desarrollo Sustentable*, 2(2), 90-97.
- Barboza, E., Salas, R., Mendoza, M., Oliva, M., & Corroto, F. (2018). Uso actual del suelo y calidad hidrogeomorfológica del río San Antonio: alternativas para la restauración fluvial en el Norte de Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20(2): 203-214.
- Bassi, N., Kumar, M. D., Sharma, A., & Pardha-Saradhi, P. (2014). Status of wetlands in India: A review of extent, ecosystem benefits, threats and management strategies. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 2, 1-19.
- Berteaux, D., Gauthier, G., Domine, F., Ims, R. A., Lamoureux, S. F., Lévesque, E., & Yoccoz, N. (2016). Effects of changing permafrost and snow conditions on tundra wildlife: critical places and times. *Arctic Science*, 3(2), 65-90.
- Campos, J. C., Sillero, N., & Brito, J. C. (2012). Normalized difference water indexes have dissimilar performances in detecting seasonal and permanent water in the Sahara–Sahel transition zone. *Journal of Hydrology*, 464, 438-446.
- Chávez-Ortiz, J., Leiva-Tafur, D., Rascón, J., & Corroto, F. (2016). Estado trófico del lago Pomacochas a través de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos. *Revista de Investigación para el Desarrollo Sustentable*, 2(2), 70-78.
- Chuvieco, E. (2016). *Fundamentals of Satellite Remote Sensing: An Environmental Approach*. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press/Taylor & Francis.

- Congedo, L. (2017). Semi-automatic classification plugin documentation. *Release*, 4(0.1), 29.
- Debnath, M., Syiemlieh, H. J., Sharma, M. C., Kumar, R., Chowdhury, A., & Lal, U. (2018). Glacial lake dynamics and lake surface temperature assessment along the Kangchengayo-Pahunri Massif, Sikkim Himalaya, 1988–2014. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 9, 26-41.
- Degano, M. F., Rodríguez, M. I., & Dasso, C. M. (2016). Dinámica térmica de cuerpos de aguas eutróficas: caso Embalse San Roque. *Revista de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 3(1), 93-100
- Garg, J. K. (2015). Wetland assessment, monitoring and management in India using geospatial techniques. *Journal of environmental management*, 148, 112-123.
- Grundling, A. T., Van den Berg, E. C., & Price, J. S. (2013). Assessing the distribution of wetlands over wet and dry periods and land-use change on the Maputaland Coastal Plain, north-eastern KwaZulu-Natal, South Africa. *South African Journal of Geomatics*, 2(2), 120-138.
- Halmy, M. W. A., Gessler, P. E., Hicke, J. A., & Salem, B. B. (2015). Land use/land cover change detection and prediction in the north-western coastal desert of Egypt using Markov-CA. *Applied Geography*, 63, 101-112.
- Hua, A. K., & Ping, O. W. (2018). The influence of land-use/land-cover changes on land surface temperature: a case study of Kuala Lumpur metropolitan city. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 1049-1069.
- IIRSA (Integración de la Infraestructura Regional Suramericana). (2016). La laguna Burlan. Disponible en <https://www.iirsanorte.com.pe/la-laguna-burlan/>
- INEI (2017). *Sistema de Consulta de Base de Datos. Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas*. Retrieved from <http://censos2017.inei.gob.pe/redatam/>
- Jing, Y., Zhang, F., & Wang, X. (2018). Monitoring dynamics and driving forces of lake changes in different seasons in Xinjiang using multi-source remote sensing. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 150-165.

- Lehner, B., & Döll, P. (2004). Development and validation of a global database of lakes, reservoirs and wetlands. *Journal of Hydrology*, 296(1-4), 1-22.
- Li, Y., Zhang, Q., Cai, Y., Tan, Z., Wu, H., Liu, X., & Yao, J. (2019). Hydrodynamic investigation of surface hydrological connectivity and its effects on the water quality of seasonal lakes: Insights from a complex floodplain setting (Poyang Lake, China). *Science of The Total Environment*, 660, 245-259. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.015>
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2014a). Protocolo: evaluación de la exactitud temática del mapa de deforestación. Lima, Perú: *Dirección General de Ordenamiento Territorial*.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2014b). *Mapas kernel como indicador de la concentración de la pérdida de bosques húmedos amazónicos del Perú*. Lima, Perú: Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático, MINAM. http://www.bosques.gob.pe/archivo/81ea34_notas_tecnicas_1_2016.pdf
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2016). R.M.Nº-081-2016-MINAM. *Procedimiento Técnico y Metodológico para la Elaboración del Estudio Especializado de Análisis de los Cambios de la Cobertura y Uso de la Tierra*. Lima, Perú.
- Nery, T., Sadler, R., White, B., & Polyakov, M. (2019). Predicting future plantation forest development in response to policy initiatives: A case study of the Warren River Catchment in Western Australia. *Environmental Science & Policy*, 92, 299-310.
- NextGIS, 2016. Landscape Change Analysis With MOLUSCE - Methods and Algorithms. URL (Accessed 7.1.16).
- Nitze, I., Grosse, G., Jones, B., Arp, C., Ulrich, M., Fedorov, A., & Veremeeva, A. (2017). Landsat-based trend analysis of lake dynamics across northern permafrost regions. *Remote Sensing*, 9(7), 640.
- Obodai, J., Adjei, K. A., Odai, S. N., & Lumor, M. (2019). Land use/land cover dynamics using landsat data in a gold mining basin-the Ankobra, Ghana. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 13, 247-256.
- Ogunjobi, K. O., Adamu, Y., Akinsanola, A. A., & Orimoloye, I. R. (2018). Spatio-temporal analysis of land use dynamics and its potential indications on land surface temperature

- in Sokoto Metropolis, Nigeria. *Royal Society open science*, 5(12), 180661.
- Oliva, M., Oliva, C., Rojas, D., Oliva, M., & Morales, A. (2015). Identificación botánica de especies nativas de pastos más importantes de las cuencas lecheras de Molinopampa, Pomacochas y Leymebamba, Amazonas, Perú. *Scientia Agropecuaria*, 6(2), 125-129.
- Olthof, I., Fraser, R. H., & Schmitt, C. (2015). Landsat-based mapping of thermokarst lake dynamics on the Tuktoyaktuk Coastal Plain, Northwest Territories, Canada since 1985. *Remote Sensing of Environment*, 168, 194-204.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (1996). *Forest Resources Assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes* (Forestry Paper 130). Rome, Italia.
- Orimoloye, I. R., Kalumba, A. M., Mazinyo, S. P., & Nel, W. (2020). Geospatial analysis of wetland dynamics: wetland depletion and biodiversity conservation of Isimangaliso Wetland, South Africa. *Journal of King Saud University-Science*, 32(1), 90-96.
- Pei, W., Yao, S., Knight, J. F., Dong, S., Pelletier, K., Rampi, L. P., ... & Klassen, J. (2017). Mapping and detection of land use change in a coal mining area using object-based image analysis. *Environmental Earth Sciences*, 76(3), 125.
- Perreault, N., Lévesque, E., Fortier, D., Gratton, D., & Lamarque, L. J. (2017). Remote sensing evaluation of High Arctic wetland depletion following permafrost disturbance by thermo-erosion gully processes. *Arctic Science*, 3(2), 237-253.
- Polishchuk, Y. M., & Sharonov, D. S. (2013). Studying the dynamics of thermokarst lake fields in Altai mountain valleys. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 49(9), 1074-1077.
- Pontius, R. G., Shusas, E. y McEachern, M. (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 101(2), 251-268.
- 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, 2538, 1–34.

- Salas, R., Barboza, E., & Oliva, S. M. (2016). Dinámica multitemporal de índices de deforestación en el distrito de Florida, departamento de Amazonas, Perú. *Revista de Investigación para el Desarrollo Sustentable*, 2(1), 18-27.
- Sánchez, R. P. (2018). *Estrategias para el posicionamiento de la laguna de Burlan como parte de la oferta turística en la provincia de Utcubamba – 2018*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Chachapoyas, Perú.
- Shukla, A., Garg, P. K., & Srivastava, S. (2018). Evolution of glacial and high-altitude lakes in the Sikkim, Eastern Himalaya over the past four decades (1975-2017). *Frontiers in Environmental Science*, 6, 81.
- Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., & Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of environment*, 90(4), 434-440.
- Turner, R. K., Van Den Bergh, J. C., Söderqvist, T., Barendregt, A., Van Der Straaten, J., Maltby, E., & Van Ierland, E. C. (2000). Ecological-economic analysis of wetlands: scientific integration for management and policy. *Ecological economics*, 35(1), 7-23.
- Wang, J., Sheng, Y., & Tong, T. S. D. (2014). Monitoring decadal lake dynamics across the Yangtze Basin downstream of Three Gorges Dam. *Remote Sensing of Environment*, 152, 251-269.
- Xiao, H., Kopecká, M., Guo, S., Guan, Y., Cai, D., Zhang, C., ... & Yao, W. (2018). Responses of urban land surface temperature on land cover: A comparative study of Vienna and Madrid. *Sustainability*, 10(2), 260.
- Yulianto, F., Prasasti, I., Pasaribu, J. M., Fitriana, H. L., Haryani, N. S., & Sofan, P. (2016). The dynamics of land use/land cover change modeling and their implication for the flood damage assessment in the Tondano watershed, North Sulawesi, Indonesia. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(1), 47.
- Zhang, Y., Liang, W., Liao, Z., Han, Z., Xu, X., Jiao, R., & Liu, H. (2019). Effects of climate change on lake area and vegetation cover over the past 55 years in Northeast Inner Mongolia grassland, China. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-13.

ANEXOS

Anexo 1. Reconcomiendo de la microcuenca Pomacochas y georreferenciación de la cobertura y uso de suelo.



Fotografía 1. Georreferenciación de la zona pantanosa.



Fotografía 2. Georreferenciación de la zona urbana.



Fotografía 3. Georreferenciación del cuerpo de agua (lago Pomacochas).

Anexo 2. Reconcomiendo de la microcuenca Burlan y georreferenciación de la cobertura y uso de suelo.



Fotografía 4. Georreferenciación de la zona urbana (laguna Burlan).



Fotografía 5. Georreferenciación de la zona urbana (microcuenca Burlan).



Fotografía 6. Georreferenciación del cuerpo de agua (laguna Burlan).

Anexo 3. Reconcomiendo de la microcuenca de los Cóndores y georreferenciación de la cobertura y uso de suelo.



Fotografía 7. Georreferenciación de cuerpo de agua y bosque (microcuenca de los Cóndores).



Fotografía 8. Georreferenciación deñ arbustal y herbazal (microcuenca de los Cóndores).