

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Análisis del efecto espacio - temporal del retroceso
glaciar del nevado Huaytapallana en los bofedales
del Área de Conservación Regional Huaytapallana
en el periodo de 1990 -2020, Junín - 2022**

Sonia Magaly Toribio Quispe

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2023

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ANÁLISIS DEL EFECTO ESPACIO - TEMPORAL DEL RETROCESO GLACIAR DEL NEVADO HUAYTAPALLANA EN LOS BOFEDALES DEL ÁREA DE CONSERVACIÓN REGIONAL HUAYTAPALLANA EN EL PERIODO DE 1990 – 2020, JUNIN – 2022

ORIGINALITY REPORT

11 %
SIMILARITY INDEX

11 %
INTERNET SOURCES

2 %
PUBLICATIONS

4 %
STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1 repositorio.continental.edu.pe 2 %
Internet Source

2 Submitted to Universidad Continental 1 %
Student Paper

3 repositorio.unfv.edu.pe 1 %
Internet Source

4 repositorio.ucv.edu.pe <1 %
Internet Source

5 www.documentation.ird.fr <1 %
Internet Source

6 idoc.pub <1 %
Internet Source

7 geox.udistrital.edu.co <1 %
Internet Source

8 hdl.handle.net <1 %
Internet Source

9	1library.co Internet Source	<1 %
10	repositorio.ucss.edu.pe Internet Source	<1 %
11	revista.inaigem.gob.pe Internet Source	<1 %
12	qdoc.tips Internet Source	<1 %
13	repositorio.unap.edu.pe Internet Source	<1 %
14	repositorio.uap.edu.pe Internet Source	<1 %
15	www.scielo.org.bo Internet Source	<1 %
16	documentop.com Internet Source	<1 %
17	repositorio.uncp.edu.pe Internet Source	<1 %
18	repositorio.udh.edu.pe Internet Source	<1 %
19	es.slideshare.net Internet Source	<1 %
20	core.ac.uk Internet Source	<1 %

21	purl.org Internet Source	<1 %
22	repositorio.utn.edu.ec Internet Source	<1 %
23	repositorio.unu.edu.pe Internet Source	<1 %
24	repositorio.ana.gob.pe Internet Source	<1 %
25	repositorio.urp.edu.pe Internet Source	<1 %
26	bibliotecas.unsa.edu.pe Internet Source	<1 %
27	cdn.www.gob.pe Internet Source	<1 %
28	Submitted to Universidad Loyola Andalucia Student Paper	<1 %
29	repositorio.unam.edu.pe Internet Source	<1 %
30	www.repositorio.unasam.edu.pe Internet Source	<1 %
31	Submitted to University of Wales Swansea Student Paper	<1 %
32	repositorio.uaustral.edu.pe Internet Source	<1 %

33	corponor.gov.co Internet Source	<1 %
34	pt.scribd.com Internet Source	<1 %
35	vsip.info Internet Source	<1 %
36	www.geofocus.org Internet Source	<1 %
37	www.scielo.org.co Internet Source	<1 %
38	Mendoza Cantu Manuel Eduardo. "Implicaciones del cambio de cobertura vegetal y uso del suelo en el balance hidrico a nivel regional. El caso de la cuenca del lago de Cuitzeo", TESIUNAM, 2002 Publication	<1 %
39	biopropiedad.tripod.com Internet Source	<1 %
40	intra.uigv.edu.pe Internet Source	<1 %
41	www.mma.es Internet Source	<1 %
42	www.scielo.org.pe Internet Source	<1 %

43	www.slideshare.net Internet Source	<1 %
44	1library.org Internet Source	<1 %
45	Betty K. Guzman, Antonio García-Bravo, Elvis E. Allauja-Salazar, Iván A. Mejía, Cristóbal Torres Guzmán, Manuel Oliva. "Endemism of woody flora and tetrapod fauna, and conservation status of the inter-Andean Seasonally Dry Tropical Forests of the Marañón valley", <i>Global Ecology and Conservation</i> , 2021 Publication	<1 %
46	doaj.org Internet Source	<1 %
47	noticiassigavalle.wixsite.com Internet Source	<1 %
48	repositorio.uct.edu.pe Internet Source	<1 %
49	www.argentina.gob.ar Internet Source	<1 %
50	www.coursehero.com Internet Source	<1 %
51	www.gob-iocag.ulpgc.es Internet Source	<1 %

52	www.ig.utexas.edu Internet Source	<1 %
53	www.mdpi.com Internet Source	<1 %
54	www.pcm.gob.pe Internet Source	<1 %
55	www.ramsar.org Internet Source	<1 %
56	www.repositorio.upla.edu.pe Internet Source	<1 %
57	docplayer.es Internet Source	<1 %
58	doku.pub Internet Source	<1 %
59	es.wer.wiki Internet Source	<1 %
60	issuu.com Internet Source	<1 %
61	lacerca.com Internet Source	<1 %
62	pt.unesco.org Internet Source	<1 %
63	repositorio.unemi.edu.ec Internet Source	<1 %

64	repositorio.unheval.edu.pe Internet Source	<1 %
65	repositorio.unjfsc.edu.pe Internet Source	<1 %
66	repositorio.unsm.edu.pe Internet Source	<1 %
67	worldwidescience.org Internet Source	<1 %
68	www.imta.gob.mx Internet Source	<1 %
69	www.linguee.com Internet Source	<1 %
70	www.nunoa.cl Internet Source	<1 %
71	www.researchgate.net Internet Source	<1 %
72	www.scribd.com Internet Source	<1 %
73	www.sedl.org Internet Source	<1 %
74	Ximena Roncal Vattuone. "América Latina después del 2020", High Rate Consulting Publications, 2020 Publication	<1 %

75

archive.org

Internet Source

<1 %

76

"XXV IUFRO World Congress: Forest Research and Cooperation for Sustainable", XXV IUFRO World Congress: Forest Research and Cooperation for Sustainable, 2019

Publication

<1 %

77

livrosdeamor.com.br

Internet Source

<1 %

78

uaeh.redalyc.org

Internet Source

<1 %

Exclude quotes On

Exclude matches < 5 words

Exclude bibliography On

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor, Mg. Steve Dann Camargo Hinostrza, por el acompañamiento permanente en el proceso de elaboración de la presente investigación.

Al Ingeniero Renato Lacho Quispe, por su apoyo incondicional en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

DEDICATORIA

Con todo el amor del mundo, a mis padres, Félix Toribio de la Cruz y Sabina Quispe Cárdenas, quienes son los pilares de mi formación personal y profesional, por todo el apoyo incondicional, las palabras de aliento, consejos, reflexiones que me ayudaron a superarme cada día y hacer realidad este proyecto.

A mi pareja, Yoni Quispe Amancay, por apoyarme e incentivarme día a día para lograr nuestras metas y sueños anhelados.

A mi gran amigo y colega Abdiel Castellanos de la Cruz, que en paz descansa, por tu amistad sincera e incondicional, por haber dado inicio a este trabajo de investigación que hoy tengo el orgullo y felicidad de culminarlo.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	2
DEDICATORIA	3
ÍNDICE.....	4
Índice de tablas.....	6
Índice de gráficos	6
RESUMEN	8
ABSTRACT.....	9
INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	12
1.1. Planteamiento y formulación del problema	12
1.1.1. Problema general	13
1.1.2. Problemas específicos.....	13
1.2. Objetivos	14
1.2.1. Objetivo general	14
1.2.2. Objetivos específicos	14
1.3. Justificación e importancia	14
1.3.3. Justificación práctica	14
1.3.4. Justificación teórica	15
1.4. Hipótesis.....	15
1.5. Operacionalización de variables	16
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	17
2.1. Antecedentes de la investigación.....	17
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	17
2.1.2. Antecedentes nacionales	20
2.1.3. Antecedentes regionales y locales	23
2.2. Bases teóricas	23
2.3. Definición de términos básicos.....	37
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	38
3.1. Método y alcance de la investigación	38
3.1.1. Método general.....	38
3.1.2. Método específico	38
3.1.3. Tipo de investigación.....	38
3.1.4. Nivel de investigación	39
3.2. Diseño de la investigación	39

3.3. Población y muestra	39
3.3.1. Población.....	39
3.3.2. Muestra.....	39
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	40
3.4.1. Técnicas e instrumentos.....	40
3.4.2. Materiales	40
3.4.3. Procedimientos	40
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
4.1. Presentación de resultados.....	47
4.2. Prueba de hipótesis	53
4.3. Discusión de resultados	53
CONCLUSIONES	55
RECOMENDACIONES	56
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

Índice de tablas

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	16
Tabla 2. Determinación del número de puntos de verificación.....	44
Tabla 3. Matriz de confusión para NDVI.....	44
Tabla 4. Cartografía base disponible.....	
Tabla 5. Superficie glaciar multitemporal del nevado Huaytapallana en el periodo de 1990 – 2020.....	47
Tabla 6. Tasa de desglaciación del nevado Huaytapallana en el periodo de 1990 – 2020.....	49
Tabla 7. Superficie multitemporal de bofedales del ACR Huaytapallana periodo de 1990 – 2020.....	49
Tabla 8. Listado de Puntos de delimitación del ACR Huaytapallana.....	62
Tabla 9. Validación de superficie de bofedal en gabinete y campo, e identificación del NDVI.....	62

Índice de gráficos

Figura 1 Característica hidrológica del bofedal - Hidroperiodo.....	35
Figura 2 Bofedal piloto y puntos de muestreo en el área de estudio ACR Huaytapallana.....	45
Figura 3 Tendencia histórica de la cobertura glaciar del Nevado Huaytapallana.....	48
Figura 4 Tendencia histórica de los bofedales en el ACR Huaytapallana de 1990 al 2020.....	51
Figura 5 Correlación entre cobertura glaciar y superficie de bofedales.....	51
Figura 6 Análisis estadístico a nivel de cuencas hidrográficas en el ámbito de estudio.....	52
Figura 7 Correlación de variables a nivel de la cuenca 1.....	65
Figura 8 Correlación de variables a nivel de la cuenca 2.....	66
Figura 9 Correlación de variables a nivel de la cuenca 3.....	66
Figura 10 Correlación de variables a nivel de la cuenca 4.....	67
Figura 11 Correlación de variables a nivel de la cuenca 5.....	67
Figura 12 Correlación de variables a nivel de la cuenca 6.....	68
Figura 13 Correlación de variables a nivel de la cuenca 7.....	68
Figura 14 Correlación de variables a nivel de la cuenca 8.....	69
Figura 15 Correlación de variables a nivel de la cuenca 9.....	69
Figura 16 Correlación de variables a nivel de la cuenca 10.....	70
Figura 17 Correlación de variables a nivel de la cuenca 11.....	70
Figura 18 Correlación de variables a nivel de la cuenca 12.....	71

Índice de mapas

Mapa 1 Bofedal piloto y puntos de muestreo en el área de estudio ACR Huaytapallana.	45
Mapa 2 Representación estadística a nivel de cuencas hidrográficas en el ámbito de estudio.....	52
Mapa 3. Área de estudio – Área de Conservación Regional – ACR Huaytapallana.....	72
Mapa 4. Pendiente	73
Mapa 5. Altitud.....	74
Mapa 6. Delimitación de microcuencas hidrográficas dentro del ámbito de estudio.....	75
Mapa 7. Superficie histórica de cobertura glaciar 1990 – 2020	76
Mapa 8. Superficie histórica de bofedal 1990 – 2020	77
Mapa 9. Valores de correlación de Pearson y de regresión lineal a nivel de cuencas....	78

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Cálculo de número de puntos de muestreo para determinar grado de confiabilidad	44
Ecuación 2. Intensidad de muestreo	44

Anexos

Anexo 1. Cartografía del área de conservación regional Huaytapallana.....	62
Anexo 2. Puntos de muestro	62
Anexo 3. Detalle de imágenes satelitales empleadas en el estudio	64
Anexo 4. Resultados estadísticos de correlación a nivel de cuencas.....	65
Anexo 5. Mapas	72

RESUMEN

El presente estudio, se desarrolló en el Área de Conservación Regional – ACR Huaytapallana, ubicado en las provincias de Huancayo y Concepción; con el objetivo de analizar el efecto espacio - temporal del retroceso glaciar del nevado Huaytapallana en los bofedales del ACR Huaytapallana en el periodo de 1990–2020. La investigación empleó el método científico, el nivel de investigación descriptivo-correlacional. Respecto a la población está constituida por superficies de cobertura glaciar y de bofedales; el método se basó en técnicas de teledetección y SIG que permitieron calcular las superficies de bofedal mediante el NDVI y la cobertura glaciar utilizando los índices NDSI y NDWI, posteriormente se realizó una correlación lineal entre la superficie de bofedales y cobertura glaciar, para dar respuesta los objetivos. El resultado respecto a la superficie glaciar se estimó 27.73 km² en el año 1990, y hacia el año 2020 se estimó 15.71 km², habiéndose reducido el 56.65 % de superficie glaciar en 30 años de análisis; considerando los datos obtenidos de cobertura glaciar se obtuvo una tasa de 0.42 km²/año de retroceso glaciar; por último, se calculó la superficie de ecosistema bofedal, teniendo como resultado una superficie de 0.89 km² en el año 1990 y hacia el año 2020 se obtuvo 6.53 km². Finalmente, el análisis del estudio concluye en base a evidencia científica, que existe correlación negativa (inversa) significativa entre las variables, por tanto, el retroceso glaciar del nevado Huaytapallana afecta de manera significativa a la superficie de bofedales del Área de Conservación Regional Huaytapallana.

Palabras claves: desglaciación, cobertura glaciar, bofedal, desglaciación, teledetección.

ABSTRACT

The present study was developed in the Regional Conservation Area - ACR Huaytapallana, located in the jurisdiction of the provinces of Huancayo and Concepción, Junín Region; with the objective of analyzing the spatio-temporal effect of the glacier retreat of the snowy Huaytapallana in the bofedales of the Huaytapallana Regional Conservation Area in the period from 1990 to 2020. The research used the scientific method, the descriptive-correlational level of research. Regarding the population, it is constituted by surface of glacier cover and surface of bofedales; The method was based on the use of remote sensing techniques and Geographic Information Systems that allowed calculating the bofedal surfaces through the NDVI and the glacier coverage using the NDSI and NDWI indices, later a linear correlation was made between the bofedal surface and coverage. glacier, to respond to the objectives. The result regarding the glacier surface was estimated at 27.73 km² in the year 1990, and by the year 2020 it was estimated at 15.71 km², having reduced 56.65% of the glacier surface in 30 years of analysis; However, considering the data obtained from glacier coverage from the years 1990 to 2020, a rate of 0.42 km²/year of glacier retreat was obtained; Finally, the bofedal ecosystem area was calculated, resulting in an area of 0.89 km² in the year 1990 and by the year 2020 there was an area of 6.53 km², these figures show a clear growth trend. Finally, the analysis of the study concludes, based on scientific evidence, that there is a significant negative (inverse) correlation between the variables, therefore, the glacial retreat of the snowy Huaytapallana significantly affects the surface of bofedales in the Huaytapallana Regional Conservation Area.

Keywords: deglaciation, glacier cover, bofedal, deglaciation, remote sensing.

INTRODUCCIÓN

El retroceso glaciar genera transitoriamente un cambio en la escorrentía de los ríos por la pérdida de masa glaciar, este caudal aumenta al inicio del derretimiento y va disminuyendo a medida que el glaciar se hace más pequeño. En Latinoamérica desde 1970 el 81% de las especies en humedales continentales se han visto en grave riesgo, habiendo perdido el 59% de superficie. En el Perú, las investigaciones han dado cuenta de la pérdida de 42,64 % de superficie glaciar en los últimos 40 años y la superficie de bofedales se ha visto afectada de 549156 has en el 2012 a 548,174.41 ha (0.42% del territorio) al año 2019. En el ámbito local, el Área de Conservación Regional – ACR Huaytapallana, la superficie glaciar del nevado Huaytapallana se ha reducido 11.86km² en el periodo de 1986 – 2016.

El ámbito del presente estudio, se desarrolló en el Área de Conservación Regional – ACR Huaytapallana, ubicado en la jurisdicción de las provincias de Huancayo y Concepción, región Junín; el ACR, posee un área de 22,406.52 hectáreas, donde se distribuyen ecosistemas de pajonal y césped de puna, nevados, bofedales y lagunas. Tiene como propósito, la preservación de la biodiversidad y el paisaje natural, en el cual se garantice el aprovechamiento proporcional del recurso hídrico para el consumo poblacional, así como de proteger el estado de conservación de los ecosistemas presentes.

La estrecha relación de los bofedales con los glaciares (ya que estos sobreviven por el aporte de agua del deshielo) se espera la pérdida de los servicios ecosistémicos andinos, especialmente en los bofedales. Así mismo, los cambios de flujo de agua podrían tener un efecto en el área y en la cantidad de agua superficial de los bofedales, además de afectar la biodiversidad de este importante ecosistema, sostén de diversas actividades económicas, ambientales y socioculturales; y la repercusión en la vida de la población aledaña. En tal sentido, la investigación tiene como propósito analizar el efecto espacio - temporal del retroceso glaciar del nevado Huaytapallana en los bofedales del Área de Conservación Regional Huaytapallana en el periodo de 1990 – 2020. Como hipótesis se planteó que el retroceso glaciar del nevado Huaytapallana afecta de manera significativa a la superficie de bofedales del área de estudio.

La presente investigación está estructurada en 4 capítulos; en el primero se desarrolla el planteamiento del estudio, la formulación de problema, los objetivos, la justificación e importancia de la investigación, formulación de la hipótesis y la operacionalización de variables. En el capítulo II presenta la formulación del marco teórico, los antecedentes a nivel internacional, nacional, regional y en el ámbito local, también se desarrolla las bases teóricas y se definen términos básicos. En el tercero se desarrolla el marco metodológico, se describe el método general y específico, tipo de investigación, tipo y nivel de investigación, población, muestra y técnicas e instrumentos de recolección, y el procedimiento seguido para la obtención de los resultados. Finalmente, en el capítulo IV se presentan los resultados, la prueba de hipótesis y la discusión de resultados.

La obtención de resultados, en base a técnicas de teledetección, se analizaron 16 imágenes satelitales multianuales de los sensores Landsat 5, 7 y 8 obtenidas del Servicio Geológico de Estados Unidos – USGS, estas imágenes seleccionadas de acuerdo a criterios de porcentaje de nubosidad ($< 20\%$), fecha de adquisición (época seca comprendida entre los meses junio – agosto), posteriormente estas pasaron por una serie de correcciones (atmosférica y radiométrica). Para el cálculo de las superficies se recurrió a los índices NDVI para el caso de bofedales y NDWI, NDSI para el caso de cobertura glaciar; una vez calculado las superficies se correlacionaron variables para el análisis correspondiente.

Los resultados obtenidos acerca de la cobertura glaciar multitemporal, se estimó 27.73 km² de superficie glaciar en el año 1990, hacia el año 2020 se estimó 15.71 km², habiéndose reducido el 56.65 % de superficie glaciar y la tasa de desglaciación se estimó -0.42 km²/año; los bofedales por su parte se observó una tendencia positiva de crecimiento, el año 1990 se calculó 0.89 km² y hacia el año 2020 se tuvo una superficie de 6.53 km². Los resultados han permitido concluir que el retroceso glaciar del nevado Huaytapallana afecta de manera significativa a la superficie de bofedales del área de estudio.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

Los bofedales también conocidos como humedales tropicales altoandinos (1) se define como ecosistemas andinos hidromórficos que cuentan con vegetación y pueden ser ubicados en los Andes (2); estos ecosistemas que suelen estar presentes en regiones ubicadas a niveles altos sobre el nivel del mar tienen alta humedad, o en muchos casos, suelen estar inundadas (3). La subsistencia de los bofedales principalmente en época seca proviene del deshielo de los glaciares (4); y puede encontrarse en zonas que estén cerca de agua almacenada (3); son considerados de gran importancia para gestionarse a través de estrategias de uso sostenible, considerando que son amenazados por la degradación del hábitat (3).

Los humedales tropicales altoandinos o bofedales calificados como uno de los ecosistemas altoandinos más frágiles en el mundo, por su alta sensibilidad al cambio climático sumado a la actividad antrópica (1), como resultado de los cambios los humedales a escala mundial han disminuido tanto en calidad como en superficie, en el siglo XX se ha perdido en todo el mundo entre 30 y 90 % dependiendo de la región siendo los humedales continentales naturales las que sufrieron mayor pérdida y a un ritmo acelerado en contraste a los humedales costeros naturales (5).

Latinoamérica en los últimos 50 años ha experimentado la pérdida del 59% de superficie de humedales naturales, de acuerdo a lo descrito en el Convenio RAMSAR, considera que “los humedales se pierden tres veces más rápido que los bosques naturales, en consecuencia, desde 1970 el 81% de las especies en humedales continentales se han visto en grave riesgo” (6).

En el Perú, el deterioro de los ecosistemas de bofedales se debe a factores antrópicos; siendo la amenaza más frecuente las malas prácticas en la actividad ganadera, sin embargo no se considera como la más perjudicial; por su parte el factor climático afecta al suministro de agua que alimenta el bofedal, un claro ejemplo de ello la desglaciación que modifica cómo los bofedales andinos obtienen agua: en primer lugar, el agua incrementa en la época seca a raíz del deshielo (2). Como consecuencia la superficie de humedales en el Perú se ha reducido de 549156 has en el 2012 (3) a 548,174.41 ha (0.42% del territorio) al año 2019 (7). El Área de Conservación Regional ACR - Huaytapallana establecido por el DS N° 018-2011-MINAM, constituye entre otros ecosistemas de

cobertura glaciar y bofedales. La relación y los efectos del retroceso glaciar sobre los bofedales, se presenta de la siguiente manera:

Dangles plantea que el retroceso glaciar:

“[...] genera transitoriamente un cambio en la escorrentía de los ríos que alimentan los bofedales por la pérdida de masa glaciar: este caudal aumenta al inicio del derretimiento y va disminuyendo a medida que el glaciar se hace más pequeño”, en consecuencia los cambios de flujo de agua posiblemente pueden tener un efecto en el área y en la cantidad de agua superficial de los bofedales y por consiguiente afectar a la biodiversidad de los bofedales” (1).

Diversas investigaciones sustentan que los nevados del Perú, han dado cuenta de la pérdida de 42,64 % de superficie en los últimos 40 años, el inventario de glaciares del año 1970 y entre 1962 - 2016 (54 años), en el Perú ha retrocedido 1,284 km² de cobertura glaciar, equivalente a 53.56% del área total. En esta misma línea Bulege y Custodio el 2020 estimaron la disminución de la superficie glaciar del nevado Huaytapallana en 11.86 km² en el periodo de 1986 – 2016 (8), en consecuencia con la reducción de las superficies glaciares, se espera la pérdida de los servicios ecosistémicos andinos según Pauca y otros el 2020, especialmente en los bofedales, dada su estrecha relación con los glaciares ya que estas sobreviven por el aporte de agua del deshielo (9).

1.1.1. Problema general

¿Cuál es el efecto espacio - temporal del retroceso glaciar del nevado Huaytapallana en los bofedales del Área de Conservación Regional Huaytapallana?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuánto es la superficie glaciar multitemporal del periodo 1990 - 2020 del nevado Huaytapallana?
- ¿Cuál es la tasa de desglaciación del nevado Huaytapallana?
- ¿Cuánto es la superficie de bofedales en el Área de Conservación Regional Huaytapallana?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Analizar el efecto espacio - temporal del retroceso glaciar del nevado Huaytapallana en los bofedales del Área de Conservación Regional Huaytapallana en el periodo de 1990 - 2020, Junín - 2022.

1.2.2. Objetivos específicos

- Calcular la superficie glaciar multitemporal del nevado Huaytapallana en el periodo de 1990 - 2020.
- Estimar la tasa de desglaciación del nevado Huaytapallana en el periodo de 1990 - 2020.
- Calcular la superficie multitemporal de bofedales en el periodo de 1990 - 2020 del Área de Conservación Regional Huaytapallana.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación ambiental

Debido a que los ecosistemas de los bofedales son muy sensibles por su ubicación, su elevada sensibilidad a cambios en la hidrología, clima y a diversas actividades antrópicas y su estrecha relación con el retroceso glaciar, la investigación pretende analizar desde el enfoque ecosistémico el efecto y la relación de los factores físicos que intervienen entre el retroceso glaciar del nevado Huaytapallana y los bofedales del espacio del área de estudio en un periodo de tiempo de 30 años.

1.3.2. Justificación social

La investigación además tiene una relevancia social porque los bofedales altoandinos constituyen un valor socioeconómico por proveer alimento alto en proteínas y nutrientes para los camélidos domesticados, es importante resaltar que la actividad ganadera es la primordial fuente de subsistencia de las comunidades aledañas.

1.3.3. Justificación práctica

Se espera que los resultados en sentido práctico permitan tomar decisiones pertinentes por parte de las autoridades correspondientes, siendo incluido en los instrumentos de gestión del Área de Conservación Regional - ACR Huaytapallana.

1.3.4. Justificación teórica

El valor teórico se sustenta en la generación de información valioso para la comunidad estudiantil y científica, los resultados obtenidos, pueden ser refutados, complementados y/o utilizados como base para futuras investigaciones conexas.

1.3.5. Justificación metodológica

La investigación se sustenta en técnicas de teledetección haciendo uso de imágenes satelitales multianuales que pasan por un proceso de tratamiento, así como también de técnicas de Sistemas de Información Geográfica - SIG. Estas metodologías fueron ampliamente estudiadas y utilizadas en diversas investigaciones conexas al presente.

Finalmente, la importancia de la presente investigación se sustenta desde diversos enfoques que al integrarse buscan generar conocimiento que permita a las autoridades tomar decisiones certeras para asegurar los fines de conservación de los recursos existentes dentro del Área de Conservación Regional Haytapallana.

1.4. Hipótesis

Ho: El retroceso glaciar del nevado Huaytapallana no afecta de manera significativa a la superficie de bofedales del Área de Conservación Regional Huaytapallana.

Ha: El retroceso glaciar del nevado Huaytapallana afecta de manera significativa a la superficie de bofedales del Área de Conservación Regional Huaytapallana.

1.5. Operacionalización de variables

Tabla 1.

Operacionalización de variables

	Variables	Descripción conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Interviniente	Retroceso glaciar del nevado Huaytapallana	“masas de hielo que se acumulan en los pisos más altos de las cordilleras (encima de los 5 000 m s. n. m.); incluye detritos rocosos y se caracteriza por un balance entre la acumulación y la fusión de nieve y hielo” (7).	Incremento o reducción del área (km ²) glaciar	Cobertura Glaciar	Área multitemporal de superficie glaciar	Km ²
		Variación histórica de la superficie glaciar, debido a su extrema sensibilidad a los cambios ambientales y climáticos (10).	Reducción del área glaciar en km ² de 1990 a 2020	Tasa de desglaciación	Área incrementada o reducida de cobertura glaciar	Km ² /año
Dependiente	Bofedales del Área de Conservación Regional Huaytapallana	“[...] un ecosistema andino hidromórfico con vegetación herbácea de tipo hidrófila, que se presenta en los andes sobre suelos planos, en depresiones o ligeramente inclinados” (11).	Incremento o reducción del área (km ²) de Bofedales	Superficie de Bofedales	Área multitemporal de superficie de Bofedales	Km ²

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

El año 2018, Gallegos y otros autores presentaron el estudio “Análisis de la variación temporal y espacial de la cobertura glaciar del nevado Cayambe en Ecuador, a través de fotografías aéreas e imágenes satelitales del sensor Landsat” (12), como objetivo plantearon, determinar la variación de la cobertura glaciar del nevado Cayambe en el período de tiempo de 1978 - 2009, basado en la preocupación de que la cobertura de nieve y glaciar de los nevados han ido reduciendo de forma continua en los últimos años, y hoy en día se exhiben roquedos, morrenas y otras geo formas. El área de estudio se encuentra sobre los 5790 m.s.n.m. sobre los aspectos físicos, la pendiente se caracteriza por ser suaves y valles profundos en la parte occidental y en la sección oriental las pendientes son más pronunciadas y la topografía es más accidentada. El resultado que obtuvieron muestra que en tres décadas analizadas entre 1979 y 2009, se estimó “ un porcentaje de reducción del glaciar de 25,58%, la tasa de retroceso anual de 0,853% o 0,176km²/año, otro importante hallazgo revela que los mayores porcentajes de retroceso se dieron en la zona sureste con 23,22% y noreste el 30,97%” (12).

En setiembre del mismo año Ávila y otros autores presentaron su investigación titulada “Cuantificación del retroceso glaciar del nevado del Tolima, aplicando técnicas de teledetección”, el estudio evidencia la pérdida de la masa glaciar del volcán a raíz del aumento del proceso de desglaciación de las masas de hielo. Como metodología, desde el inicio, se realizó una selección y descarga de la imagen satelital que cubre la zona de estudio, pasando a la corrección radiométrica de los datos satelitales. Posteriormente se determinó la masa glaciar mediante índices espectrales (NDSI y Ratio simple), posteriormente para la segmentación de la imagen utilizaron una clasificación no supervisada y por último la cuantificación de la masa glaciar. Como resultado se observó aproximadamente una pérdida de 16.71%, IDEAM con 74.84 ha, y aplicando el otro método de ratio simple, un retroceso glaciar de 15.24% (13).

De igual forma, en abril de 2017, Groch y Cogliati, con el objetivo de analizar los cambios temporales en los glaciares de la Cordillera del Viento, publicaron el estudio titulado “Análisis temporal de los Glaciares durante la Cordillera del Viento (Neuquén, Argentina) para el período 1963 -2012”. Este trabajo muestra la reconstrucción histórica de los cuerpos de hielo existentes en la cordillera del Viento entre el periodo de tiempo de 49 años con la finalidad de evaluar las fluctuaciones que se presentan en la evolución de los glaciares. El proceso comenzó con un estudio de los glaciares de las montañas, basado en fotografías aéreas de 1963 e imágenes satelitales de alta resolución obtenidas de Google Earth entre los años 2006 y 2012. A partir de la información se analizaron parámetros morfométricos y morfológicos (de acuerdo a lineamientos de investigación a nivel internacional) de 151 glaciares (5,94 km²) censados en 1963 y 29 (1,10 km²) registrados en 2006 y 2012, reduciéndose considerablemente en -81.51% (-4.84 km²) esta tendencia orienta a una tasa promedio de fusión de -0.10 km²/año. Los glaciares calificados como glaciaretos y con forma remanente, fueron los más afectados, finalmente precisar que el estudio no considero superficies inferior a la mínima glaciario (≥ 0.01 km²) (11).

El mismo año Dangles y otros autores publicaron el artículo ¿Ecosistemas centinelas del cambio climático? Evidencia de cambios en la cobertura de humedales durante los últimos 30 años en los Andes tropicales. El estudio se realizó en la cordillera Real de Bolivia, debido a que esta región en los últimos 30 años ha experimentado un calentamiento significativo y el derretimiento de los glaciares, mediante la técnica de teledetección que permitió examinar los factores ambientales como la cobertura glaciario, tamaño del humedal y otros factores que afectaron a los cambios de cobertura de los humedales y por otra parte identificaron las características de los humedales que alteran su fragilidad frente al cambio climático. Desde 1984 a 2011, los resultados revelaron una tendencia de crecimiento en la cantidad y el área total promedio de humedales, así mismo la cobertura de humedales reveló una alta variabilidad interanual y su área para un año determinado se correlacionó positivamente con las intensidades de precipitación. Además, revelaron que los humedales con gran cantidad de glaciares fueron menos propensos a secarse, mientras que los humedales relativamente pequeños con contornos de forma irregular sufrieron las tasas más altas de secado. En consecuencia, los humedales altoandinos pueden considerarse como ecosistemas centinelas del cambio climático, ya que parecen sensibles al derretimiento de los glaciares (14).

De igual forma Ruiz y otros en el 2016, analizaron cómo se comportan los glaciares de los Andes Tropicales considerando un clima cambiante; empleando imágenes satelitales multiespectrales de múltiples fuentes asociado con información meteorológica, en su investigación titulada “Un análisis comparativo del retroceso glaciar en los Andes Tropicales usando teledetección”, el estudio se orientó en el análisis de glaciares de cuatro bandas climáticas distintas, en el cálculo de las variaciones en la línea de nieve máxima entre 1985 y 2015. Entre los principales resultados observaron que los glaciares de los trópicos interiores y exteriores se sometieron a retroceso durante todo el período de estudio, principalmente entre 1975 y 1997; observaron además que se produce variaciones excepcionales en la altitud de la línea de nieve cuando se produce un evento de El Niño (15).

Por su parte Loza y otros el año 2015 investigaron el estado de las comunidades vegetales de los bofedales de la cordillera Real (Bolivia) teniendo en cuenta el calentamiento global, en su artículo sostienen que el calentamiento global afecta principalmente los humedales altoandinos debido a que los bofedales se relacionan estrechamente con el agua. Bajo tres proxis del cambio climático se dedujo cómo éstos repercuten las comunidades vegetales. El estudio concluye bajo la premisa de que las variaciones en los glaciares no tienen ningún vínculo con los cambios que se da en la vegetación del área e influencia glacial no se relacionaron con cambios en la vegetación, así también, refiere que, si el retroceso glacial reducirá el agua en las próximas décadas, el bofedal alto andina podrá ser más abundante” (16).

Por otra parte, Hoffmann y otros autores el año 2014, publicaron el artículo “Métodos para caracterizar la dinámica de los sistemas socio ecológicos asociados a los bofedales altoandinos, Bolivia” en él se planteó como objetivo hacer una revisión del modo en que funcionan los sistemas socio ecológicos vinculados a los bofedales altoandinos; para lograr lo propuesto, los autores siguieron la metodología de investigación participativa, aplicaron la técnica de la encuesta. Luego de haber analizado los resultados, se concluyó el estudio demostrando que es necesario desarrollar un modelaje socio ecológico que puedan hacer frente a las variaciones del clima, involucrando a los agentes de interés (17).

A su vez Francou en setiembre del 2013 publicó el artículo titulado “El rápido retroceso de los glaciares en los Andes tropicales: Un desafío para el estudio de la dinámica de los ecosistemas de alta montaña”, en ella sustenta que en los últimos años los glaciares

tropicales retrocedieron; ello comenzó alrededor de 1730 y 1750, se puede decir que, desde los últimos tres siglos, la desglaciación tomó un ritmo sin precedentes. Además, alimenta la postura de otros autores afirmando que los glaciares de montaña son muy sensibles a los cambios climáticos. En ese contexto, el autor indica que es necesario un trabajo conjunto de todos los agentes involucrados en favor de las zonas de estudio” (18).

2.1.2. Antecedentes nacionales

Un estudio reciente del año 2020 realizado por Pauca y otros autores, titulado “Análisis espacio temporal y climático del humedal altoandino de Chalhuanca (Perú) durante el periodo 1986-201””, con el objetivo identificar cuánto varía el espacio temporal y la humedad del clima de Chalhuanca, entre los años 1986 y 2016. La metodología inicio con la adquisición de imágenes satelitales y mediante técnicas de teledetección se calculó el área y el índice de vegetación (NDVI) de los humedales, y posteriormente se realizó una relación bivariada de Pearson. Se obtuvo el índice Kappa de 0,9 (indicando una buena clasificación), el estudio concluye que en el periodo de 1986 al año 2016 el área de bofedal presenta un incremento de 12 ha/año, donde la tasa de mayor crecimiento fue de 138,07 % se presentó en el periodo de 1991 al 2001. Los valores de NDVI evidenciaron que el nivel de evidencia es 0.26. Por otra parte, el hecho que los bofedales cuenten con altos niveles hídricos se da por la deglaciación propia del aumento de temperatura (9).

Por su parte Gutiérrez el 2018, desarrollo la tesis “Determinación de la dinámica espacial de bofedales mediante imágenes satelitales landsat frente a escenarios del cambio climático en la cuenca del río Coata durante el período de 1984-2016”, con el propósito de cumplir con el objetivo propuesto se utilizó una metodología que consistió en hacer un completo análisis de la extensión superficial de los bofedales, empleó algoritmos de Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), estudió y comparó información relacionada con la precipitación que se acumula cada año y las tendencias del clima. Para determinar los resultados se hizo un análisis de regresión lineal múltiple, con la cual se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.46; de este modo se determinó que la temperatura máxima se relaciona e influye en cómo los bofedales se comportan; concluye de este modo que a medida que la temperatura aumente, los bofedales tendrán mayores riesgos de desaparecer (19).

Por su parte Díaz y otros autores el año 2017 en su artículo titulado “Análisis multitemporal entre 1975 y 2015 sobre cambios de la cobertura glaciar en los nevados Allin Capac y Chichi Capac, Perú”, hicieron uso de técnicas de teledetección, estimaron el área de cubierta glaciar de los nevados, con el objetivo de analizar espacial y temporalmente en el periodo de 1975 y 2015 sobre los cambios de la cobertura glaciar. Los resultados mostraron una disminución drástica de 52.3 km² en el año 1975 a 16.9 km² al año 2015, perdiendo un total de 35.6 km² en 40 años, por otra parte, señalan que, aproximadamente, una tercera parte de la cobertura glaciar estaba bajo los 5000 m.s.n.m el año 1975 y para el año 2015 este se redujo a solo el 9% del total de área glaciar. Destaca también la investigación que hubo más retroceso en los 30 últimos años del siglo pasado; concluyen así que las recientes cuatro décadas, la cobertura glaciar en estudio presenta una reducción del 67%” (20).

Así mismo, Gaita (2017) ha desarrollado una tesis en la que se evalúa la forma de cuantificar e impactar del retroceso glaciar en cada recurso natural que se determina mediante el SIG y la teledetección en Ancash, específicamente en la microcuenca Lullán, donde se ha caracterizado la forma de los recursos mediante el uso de técnicas de SIG y además de la utilización de la percepción remota. Con este tipo de herramientas se ha permitido la cuantificación de la evolución glaciar mediante imágenes de satélite multitemporales. Para ello, se ha utilizado imágenes correspondientes a los años 1987, 2001, 2009 y 2014, donde se ha podido utilizar la metodología Landsat 8, abarcando de este modo 3 escenas de 170x185 km. Se recurrió a resolución espacial de 30 metros y de manera espectral a las 11 bandas. Estas imágenes, no obstante, han tenido que pasar por un tratamiento y procesamiento en el que se ha evaluado la cuantificación en la evolución de cada glaciar y la determinación de relevancia en el calentamiento global. Como resultado se ha podido observar que se halla un retroceso de los glaciares en Lullán del 15%, transitando de los 25,91km hacia los 21,86km, denotándose así una importante reducción en su masa. Esta tasa, además, se encuentra en aceleración, puesto que, en los últimos cinco años, el fenómeno ha incrementado (21).

El Mapeo de Bofedales en Cabeceras de Cuenca Mediante Imágenes de los Satélites Landsat, estudio realizado por García y otros investigadores el año 2016, con la finalidad de establecer una metodología que pueda cuantificar el tamaño de los humedales y los bofedales de la puna, que además se sitúan en la cabecera de la cuenca en el río denominado Chillón, para la elección del bofedal piloto se tomaron en cuenta algunos

criterios, como el grado de conservación, la influencia antrópica. La metodología empleada se basó en técnicas de teledetección y sistemas de información geográfica, que permitieron generar mapas de distribución espacial de los índices NDVI, NDWI, NDII de bofedales, donde los rangos de distribución del NDVI que se obtuvieron para el bofedal piloto estuvieron entre los 0.44 a 0.831., el análisis se desarrolló en el periodo de tiempo del año 1986 al 2015. Posteriormente se pudo tener como resultado que los rangos de los índices se sitúan entre 0.43 y 0.8994, logrando en el NDII los valores de 0.02 y 0.76. De este modo, se puede arribar a la conclusión de que el área de los bofedales ha aumentado de manera importante, puesto que se vio un incremento de 14,95% en la extensión, incluso a pesar del deshielo (22).

Por su parte García y Otto el año 2015 elaboraron, el estudio titulado “Caracterización eco hidrológica de humedales altoandinos usando imágenes de satélite multitemporales en la cabecera de cuenca del río Santa, Ancash, Perú”, sostienen ahí que los humedales altoandinos - HAA también son bofedales, pero recalcan los autores que estos provienen de un ecosistema específico cuya vegetación es perenne; la investigación comprendió realizar un estudio de varios tiempos analizando imágenes satelitales a fin de generar modelos espacio-temporales que tengan relación con aspectos ecohidrológicos de los bofedales. Parte de los resultados indican que el tamaño territorial que ocupan los bofedales depende de la precipitación, y que los variantes tipos de HAA están en función de la precipitación, coincidiendo con otros estudios realizados en otra parte de la región semiárida alto andina y posiblemente considerados generales. Los autores, después de haber analizado todos los resultados que obtuvieron, concluyen que en que la información genera en la presente son importantes para conservar ecosistemas frágiles, en circunstancias propias del cambio climático (23).

De acuerdo al Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña – INAIGEM (2018), en el inventario nacional de glaciares, en base a estudios previos de Hidrandina S.A. & y reanalizado por INAIGEM al 2016, de 2001 (CONAM), de 2014 (ANA - UGRH) y del 2017 (INAIGEM), se obtuvo una tasa de retroceso glaciar de 0.87 km²/año. En consecuencia, se estima que los glaciares de la cordillera Huaytapallana desaparecerían en el año 2040. Finalmente, se concluye el estudio sustentando que en la cordillera Huaytapallana, el análisis de cambio de superficie muestra que el área glaciar ha disminuido de 68.05 km² a 21.42 km² con una pérdida de 46.63 km² equivalente al 68.52% (24).

2.1.3. Antecedentes regionales y locales

A nivel local, el estudio reciente del año 2020 realizado por Bulege y Custodio “Cambio climático y retroceso glaciar en la cordillera Huaytapallana” con la finalidad de cumplir con el objetivo propuesto, los datos de temperatura mínima y superficie glaciar se obtuvieron de informes oficiales del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú y del Instituto Geofísico del Perú. Como resultado se obtuvo que, entre 1986 y 2016 se incrementó la temperatura mínima, mostrando valores entre 3.435 y 5.227 °C. En conclusión, entre los años 1986 y 2016 hubo un incremento significativo de temperatura que tuvo efectos en la disminución de la masa glaciar en la cordillera de estudio; asimismo, se identificó que la temperatura mínima guarda una relación con la masa glaciar de la cordillera de estudio (8).

El año 2015 Pariona realizó su tesis titulado “Cambio climático y efectos en el nevado Huaytapallana”, con el fin de hacer los cálculos respectivos del retroceso de cobertura glaciar, causada por el cambio climático, del nevado mencionado entre 1985 y 2010, mediante técnicas de teledetección y sistemas de información geográfica, la que ha permitido realizar un análisis desde 1985 a 2010 para el nevado Huaytapallana. La cordillera Huaytapallana analizándola estadísticamente expresa la pérdida de cobertura glaciar, el alto coeficiente de determinación ($r^2=0.9$) demuestra que los galcriares se redujeron y que existe una alta probabilidad de que desaparezcan por completo si es que el ritmo es constante; los datos que sustentan dicha afirmación es el porcentaje (48.4%) de retroceso en un margen de veintiséis años. Con lo hallado, la tesis concluye que las principales causas de que los nevados se vean afectados van desde el efecto invernadero hasta la intervención humana a través de la minería y turismo irresponsable (25).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Cambio climático

De acuerdo a la definición que hacen Corral et al., el cambio climático agrupa una serie de fenómenos físico y perceptibles al ser humano; además, visto desde una perspectiva de gestión, es considerado una política de índole público que tiene relación con el cambio del clima que el mundo ha venido atravesando los recientes años. Hoy en día, el cambio climático es un reto inmenso que debe ser superado por el ser humano porque sus efectos ya alcanzan un nivel global que antes no se habido visto ni enfrentado; por lo tanto, es

necesario la aplicación de estrategias eficaces y rápidas que no representen ninguna dificultad, que no derroche recursos y al cual pueda adaptarse el ser humano a futuro (26).

De acuerdo a la percepción de González y Maldonado, el cambio climático es un problema global cuya notoriedad fue inmensa en los últimos años a raíz de la exposición de sus efectos en los medios de comunicación. Sin embargo, el cambio climático no ha sido tomado con la relevancia necesaria por los distintos agentes, como en el caso de la pobreza, la desigualdad, la inseguridad, el hambre, etc (27).

Por su parte, la UNFCCC la define como la variación del clima que fue ocasionada por acción del hombre y que repercute de manera negativa en la atmósfera, causando que esta disminuya su capacidad de recuperación y producción, perjudicando de manera directa los intereses del hombre (28).

El IPCC define el glaciar como una masa de hielo que se forma en una superficie por consecuencia de flujos de nieve; suele aumentar de tamaño con más acumulación de nieve; y pierde su volumen cuando el hielo se descarga en algún lago o por consecuencia del deshielo (28).

La CMNUCC, sobre cambio climático, señala que implica que el clima se vea modificado por obra humana que tiende a afectar la atmósfera y a modificar el clima (29).

A. Evidencia del cambio climático

De acuerdo a lo que argumentan Bastidas y Hernández toda actividad que realiza el hombre y que guarda relación con los combustibles fósiles, con el desarrollo de ganado, con la generación de desechos del gas natural, y con la deforestación, suele desencadenar efectos negativos en el ambiente, generando el ya conocido calentamiento global y el cambio climático, como principal consecuencia, al incrementarse los niveles de concentración de gases como el CO₂ suele afectarse la biósfera; en este contexto, es importante que hay conciencia que el clima global se relaciona con la masa del planeta, la distancia que guarda con el sol y cómo está compuesta la atmósfera, de modo que el cambio climático en el planeta está en función del cambio en la concentración de gases de invernadero, la actividad de los volcanes y el nivel de la radiación (30).

Es evidente que el océano, al igual que la atmósfera, han elevado su temperatura; asimismo, la circulación termohalina de la primera se debilitó y ahora cuenta con mayores niveles de acidez; igualmente, el aire y el hielo redujeron su volumen; y, por si fuera poco,

los vientos aumentaron su velocidad y hay mayor concentración de gases de invernadero. A razón de ello, se estima que desde finales del siglo diecinueve la temperatura del planeta aumentó de manera progresiva y radical, a raíz de fenómenos naturales como el del niño y la niña (30).

Bastidas y Hernández hacen hincapié en que los aspectos fisiológicos del planeta se ven influenciadas por el cambio del clima; por si fuera poco, la capacidad de las especies para adaptarse también está ligadas al calentamiento global; por ello, la alta tasa de extinción de diversas especies en los últimos años. Conscientes de este problema, la comunidad científica reconoció que el cambio climático no solo existe, sino que también repercute de manera negativa en la esperanza de vida de todo el planeta; si bien aún no están de acuerdo en la causa principal de este fenómeno, existen algunos que argumentan que este es un evento que cada cierto tiempo se presenta en el planeta; por otro lado, existe otra postura en la cual se argumenta que la causa es el cambio climático, que a su vez, esta causado por la intervención del hombre con actividades que implican la emisión de carbono en la atmósfera al emplearse combustibles fósiles o al deforestar áreas verdes (30).

Con todo lo anterior, se considera que el cambio climático es un problema de índole internacional que llamó la atención a la Organización de Naciones Unidas y que generó que se tomen medidas para mejorar el estado de conocimiento de cada uno de sus elementos, como: el impacto medio ambiental, económico, social, culturales, entre otros. DE este modo se otorgó a la IPCC como el organismo con mayor autoridad para frenar los efectos del cambio climático y realizar investigaciones sobre el tema (30).

A. El cambio climático y su efecto en la salud

Las condiciones que predominan en la atmósfera suelen repercutir de manera directa en la biología, sobre todo en los cambios extremos del ambiente que, de manera negativa, repercuten en la salud de las personas; por ello, la preocupación de la variación notoria del clima y la necesidad de revertirla adoptando medidas globales e inmediatas; esto, teniendo en cuenta también que existe evidencia que los extremos términos que tienen que ver con el cambio climático repercuten en el desarrollo de enfermedades del corazón, de los pulmones, y de índole cerebrovascular; es importante destacar que el clima frío también repercute en el nivel de mortalidad, claro está, con menor intensidad (30).

A raíz de las inundaciones que ocurren a nivel local y regional, las personas están en la obligación de migrar, y con ello, existe un alto riesgo de que se propaguen infecciones debido a la malnutrición o el limitado acceso al agua; de igual manera, las inundaciones son consecuencias de las sequías de gran índole que complican más aun el que las personas accedan al agua para consumirla. De igual manera, las partículas en suspensión, el monóxido de carbono y el ozono repercuten inmediatamente en el estado de salud porque causan enfermedades respiratorias. Por si fuera poco, el cambio climático suele tener efectos en que el periodo polínico de las plantas dure más y haya exceso de esporas y polen (30).

B. El desarrollo sostenible en el cambio climático

Según la definición que hace Guido del desarrollo sostenible, implica una perspectiva de equilibrio en el desarrollo social, económico y demás aspectos ambientales; según el autor, para que la especie tenga un proceso continuo y significativo debe lograr un adecuado desarrollo económico y a la vez un óptimo ambiente físico en el que se prime el bienestar social del ser humano; para ello, se requiere implementar una serie de estrategias, políticas y normas que hagan más sencillo el logro de prioridades de toda la especie. En base a lo anterior, se denota la relación que hay entre el desarrollo sostenible y el cambio climático, ya que el segundo va a repercutir en la capacidad adquisitiva de las personas, por ende, en la economía global (31).

Para que una comunidad sea sustentable y altamente resiliente requiere de estrategias que puedan hacer frente a los cambios climáticos. En la actualidad, cuando se habla de resiliencia desde un punto de vista de sistemas ecológicos y sociales, se entiende que es la capacidad que tiene un sistema para eliminar sus dificultades y organizarse y retroalimentar sus procesos mientras está sometido a un proceso de cambio (31).

Considerando lo que indica la Resilience Alliance, en un contexto del ecosistema, se considera que la resiliencia implica estar en la capacidad de hacer frente a perturbaciones sin que haya colapsos, y controlando todo tipo de procesos, resistiendo modificaciones, y reconstruyendo acciones previas. En el aspecto social, la resiliencia implica que el ser humano está en la capacidad de anticiparse y elaborar planes a futuro; en consecuencia, en los sistemas socio-ambientales, la resiliencia es un factor complejo que relaciona los

dos conceptos; de igual manera, implica la oportunidad de aprender más, en años futuros, dándole respuesta a los cambios de todo el mundo (31).

C. Adaptación al cambio climático

Para lograr una correcta adaptación al cambio climático se deben aplicar una serie de actividades que implique adaptarse o modificar los sistemas de toda índole frente a las variaciones del clima; sobre todo en países cuya vulnerabilidad es mayor es necesario que se tomen medidas que den solución a su alta vulnerabilidad y a las anomalías que se presentan cada cierto tiempo. Existe la idea que las medidas de adaptación generan beneficios rápidos en comparación con la mitigación; dichas medidas otorgan resultados a largo plazo. La adaptación al cambio climático está enmarcada en la gestión de los riesgos; asimismo, el cambio climático se suele medir por el nivel de vulnerabilidad y peligro que representa (31).

Guido destaca que la mitigación y la capacidad de adaptarse se complementan entre sí y no son opciones que se excluyen puesto que tienen particularidades, series de tiempo, y las partes interesadas no son iguales (31).

Para enfrentar los desafíos asociados con el cambio climático se requiere tener una perspectiva integrada, que limite el tamaño del cambio y la velocidad que trae consigo, enfrentando los efectos de los residuos. Para ello se considera que la mitigación puede dar solución a dicho problema; pero, más allá de los buenos resultados que puede traer consigo los esfuerzos de mitigación, siempre existirá un nivel de cambio climático. El nivel proyectado y su velocidad deben abordarse mediante acciones de adaptación, teniendo en cuenta que las emisiones históricas de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y la respuesta pasiva de los océanos generará que el nivel y temperatura del mar aumenten muchos años más por varios años, más allá de cualquier eliminación de las emisiones que resultan de las medidas de mitigación. Las dudas que existen con el próximo clima complica que se tomen buenas decisiones para adaptarse; no obstante, no debe considerarse como un por qué par ano tomar las medidas que se requieren (31).

Vale recalcar que en distintos puntos del mundo se están definiendo y aplicando estrategias trascendentales para que el ser humano se adapte al cambio climático. Guido resaltaba que en México se desarrolló el Proyecto de Modernización del Servicio Meteorológico Nacional con el propósito de mejorar las aptitudes del país para hacer frente a las necesidades de información meteorológica y del clima; considera la consigna

de optimizar el manejo de los recursos hídricos y lograr un desarrollo sustentable del cambio climático. En el caso del rubro agrícola y ganadero, el país optó por impulsar proyectos que implique modificar las prácticas de cultivo dotando a los agricultores de herramientas modernas o realizando investigaciones sobre el rubro; todo ello con el fin supremo de lograr que el país logre suficiencia alimentaria (31).

2.2.2. Ecosistemas

El MINAM, define a los ecosistemas como una composición natural de vegetación y fauna que se desarrolla en conjunto (32). Asimismo, según el artículo 2 del Convenio sobre la diversidad biológica promovida por las Naciones Unidas, define al ecosistema como “el tipo de ambiente en el que existen naturalmente un organismo o una población” (33).

A. Delimitación y funcionamiento de las unidades ecosistémicas

El autor Tansley consideraba que el ecosistema es una entidad que puede contenerse por su cuenta y que, a diferencia de lo que pasa en otro tipo y nivel de organización o sistema, los ecosistemas no se reconocen de manera natural en la naturaleza. Mucho menos se pueden reconocer de manera particular y marcar distancias con otros tipos, de modo que por su propia cuenta tengan delimitaciones en zonas en las que se realizan procesos que se atribuyen a cada uno de ellos por más que se cuenten con límites abiertos; esto supone que los ecosistemas son intangibles relativamente si se comparan con otros aspectos relacionados al modo en que está organizada la biología. A pesar de ello, las diversas definiciones del concepto suponen la existencia de una extensión espacial, aspecto que ha sido analizado por todos los ecólogos a lo largo del tiempo (34).

El reconocimiento y la delimitación de los ecosistemas como entidades es complicado si se considera que todo ser vivo puede estar en un nivel distinto cuando se trata de una escala espacial. Existe la posibilidad de que se ubiquen especies de distribución restringida hasta seres vivos de distribución continental; de igual manera, ocurre en los espacios físicos, dado que ciertas condiciones ocurren de manera particular en zonas pequeñas mientras que otras se extienden de manera regional. Desde este punto de vista, hay muchos elementos que actúan a escalas diversas que complican la identificación de sencilla y natural de cada unidad. Es conocido que en muchos casos se identifican elementos conspicuos que a primera vista actúan como separadores de unidades casi caras, no siempre ocurre lo mismo; en estas circunstancias entra en funcionamiento la

subjetividad con la que la persona que observa toma decisiones respecto a los elementos que prevalecen en la delimitación de cada unidad, en vez de discriminarse de modo natural (35).

Considerando las escalas propuestas por O'Neill para identificar un ecosistema, se determinó que el ámbito espacial de todas las personas del sistema debe incluirse en los detalles del ecosistema; esto quiere decir que debe tenerse el rango de escalas desde los niveles locales hasta los que sean necesarios de modo que se cubra las áreas de dispersión de cada una de las especies que estén en el mencionado sistema local, ya que de ello depende cómo funciona el ecosistema (36).

La identificación de las unidades representa una amplia dificultad si se incluye una escala temporal, teniendo en cuenta que la definición principal de Tansley no implica ninguna restricción implícita en el mencionado nivel. Lo cierto es que el equilibrio dinámico estable no integra la definición, sino se presenta como una particularidad del ecosistema. Para algunos otros autores, el ecosistema carece de supuestos de dirección, pero para otros, el estudio de los sistemas que genera el concepto en sí supone que el sistema se estabilice en algún momento en que se ha identificado cierta constancia. Desde un punto de vista científico, el modo en que el concepto se desarrolló por Tansley implica que se el término estabilidad sea discutido (34). Bajo el entendimiento de O'Neill el concepto proviene de un enfoque intelectual y teórico a priori y no de análisis empíricos del funcionamiento de la naturaleza. Por lo tanto, un análisis práctico de la existencia de un ecosistema puede trascender el aspecto temporal humano (36).

O'Neill recalca que el concepto supone que se puede lograr un estable equilibrio; además, señala que ciertos procesos como la selección natural repercuten en el equilibrio a largo plazo que supone que se requiere una escala de tiempo. Mas allá del enfoque, la variación intrínseca en los ecosistemas genera que las entidades se delimiten y estén supeditadas a las escalas de tiempo (36).

Existe la idea, en un grupo de ecólogos, que el ecosistema no tiene que ver con un lugar en específico, sino que es una idea que plantea que la biota guarda relación con el medio abiótico, existiendo la posibilidad de que exista en el mundo real, y cuya importancia está en su función como concepto útil con el poder de predecir. Por otro lado, para otro grupo de autores cuando se hace referencia a los ecosistemas se debe analizar el nivel de organización y sus resultados deben ser lo suficientemente satisfactorias para que se deje

de lado las polémicas respecto a las fronteras y las unidades; para este grupo de autores, el concepto es importante por la agrupación que realiza en la teoría de sistemas y la opción de reconocer los elementos que la componen y el modo de interacción para comprender y determinar con antelación cómo se comporta todo el sistema, aunque también se tiene la precaución que en temas prácticos aún resulta difícil cuando se necesitan esquemas que ayuden a identificar las unidades de manera geográfica (35).

2.2.3. Ecosistemas de montaña

El INAIGEM define a los ecosistemas de montaña como el tipo de ecosistemas de índole natural, funcional y reconocible que se ubican en la cordillera de los Andes del Perú como parte de la selva alta y la región andina (37).

Complementa además el MINAM, sobre ecosistemas de montaña precisa juntamente con el recurso agua y los glaciares, son ecosistemas vulnerables que deben ser cuidadas de manera exhaustiva considerando que son indispensables para que el Perú pueda lograr un desarrollo sostenible; ello, teniendo en cuenta que el agua se obtiene de las montañas, y de este modo se puede alimentar y generar energía; por si fuera poco, son consideradas como uno de los principales fuentes de agua dulce porque las cuencas, en su mayoría, provienen de las montañas (38).

2.2.4. Glaciar

El MINAM lo define como masas de hielo acumuladas en altitudes mayores a los 5 000 m s. n. m., y que se compone de hielo y nieve (7).

Para la UNESCO son “son masas de hielo de amplio grosor que se modifican bajo el efecto de la gravedad” (39).

El IPCC define el glaciar como una masa de hielo que proviene de una superficie en la que se recristaliza la nieve y que pone en evidencia los flujos previos y actuales. La masa de los glaciares aumenta por consecuencia de que la nieve se acumuló y se pierde el deshielo (28).

2.2.5. Retroceso glaciar

Según Chancos consiste en el ascenso de altitud de la línea inferior de las nieves persistentes de alta montaña al punto de que desaparezca por causas del deshielo o por la fusión glaciar.

La enciclopedia de montañas lo define como el proceso que se sigue para bajar el volumen de los glaciares y aumentar el deshielo como consecuencia del cambio climático” (40).

Para IDEAM se puede identificar a través de puntos ya establecidos cerca a los límites inferiores y se puede medir desde un punto de referencia frente al glaciar con el propósito de identificar series de retroceso longitudinal” (41).

Schoolmeester et al. indicaban que el retroceso glaciar es una realidad desde hace muchos años atrás, lo cual puede evidenciarse en distintos puntos del planeta, y los cuales, fueron causados por el cambio climático antropogénico. La velocidad con la que se retrocede y desaparecen los glaciares es muy acelerada en los Andes tropicales. Por ejemplo, en Venezuela solo se cuenta con un glaciar, y se cree que está pronto desaparecer. De igual manera en Colombia los últimos decenios han evidenciado un acelerado retroceso de sus glaciares. Por lo anterior, diversos estudios han calculado que para mitad del presente siglo es muy probable que únicamente se cuente con los glaciares que están ubicados en los picos más altos. En Ecuador sus glaciares están ubicado en los picos más altos, peor como se mencionó en las líneas previas, es muy probable que en tres o cuatro decenas de años la reducción glaciar sea muy acelerada (42).

En el caso del Perú, es evidente que se cuenta con un número considerable de glaciares tropicales. El caso del glaciar ubicado en la cordillera Blanca es importante porque se considera que este glaciar es uno de as más imponentes y transcendentales del país dado que si bien hubo un retroceso glaciar en los últimos años, en este caso particular se registraron periodos de crecimiento. En el caso de Bolivia también se identificó una velocidad considerable de retroceso desde, aproximadamente, veinte años; la consecuencia de ello fue la pérdida de la masa de los glaciares en un aproximado de 60% o más (42).

Muchos glaciares que tienen una superficie menor a los 0.5 km cuadrado son muy pequeños por lo que tiene mayor riesgo de desaparecer. En el caso de países como Argentina y Chile se cuenta con glaciares que, en su mayoría, retroceden a un ritmo que aumentó con el transcurso del tiempo, tal es así que los glaciares destacados de gran tamaño y de agua dulce y marinos, cuya altitud no es tan baja, también evidenciaron un ritmo de retroceso acelerado. Este problema puede percibirse también en glaciares cuya altitud es mayor claro está a una velocidad menor (42).

A. Acciones a aplicar para disminuir el retroceso

- Fomentar la investigación científica

Huggel et al. indican que, por los antecedentes que existen, es evidente que la ciencia nunca estuvo tan ligada a las políticas, básicamente, porque existen innumerables obstáculos para definir los objetivos y metas. Por ello se requiere que se aborden los problemas en conjunto y se logre que el clima interactúe con las ciencias. De este modo, cuando se fundamente la política en la ciencia se mejorará la gestión de los recursos para abarcar retos del ambiente que fueron causados por el cambio climático y el riesgo de toda la vida. Resulta más necesario aún que se tome en cuenta los sistemas de conocimiento de las personas locales puesto que conocen a mayor detalle los problemas y las posibles soluciones, y cuentan con información que pueda ayudar a lograr una gestión que se sostenga en ecosistemas montañosos débiles. Garantizando que la ciencia y el conocimiento tradicional y empírico se unan, se logrará desarrollar políticas que hagan más sencillo el modo de vivir para hacer frente los retos que traen consigo los efectos del cambio del clima (42).

- Estimar los efectos actuales y posteriores

Ciertos aspectos relacionados al cambio climático aún son inciertos debido a que las acciones de monitoreo climático son carentes. Por ello resulta indispensable que se optimice la infraestructura de recojo de información para hacer un adecuado seguimiento al cambio climático, incluyendo una red de estaciones climáticas que funcionen de manera automática cuando se trate de zonas de elevación alta. Resulta urgente que se mejore la inclusión de los datos en la aplicación de sistemas de información geográfica; y, en lo que refiere a la modelización se necesitan previsiones de cambio climático con mayor detalle que tengan un resguardo en diferentes modelos y escenarios de emisiones (42).

- Prevenir los riesgos

Al referirse a los riesgos de desbordamiento de lagos glaciares que pueda ocurrir de un momento a otro, las medidas de adaptación deben estar enfocadas en realizar acciones de prevención, como, por ejemplo, la creación de mapas de riesgo, y la regulación de códigos de construcción y planificación en lo que concierne al uso de terrenos (43).

- Generar servicios climáticos

A fin de lograr que el monitoreo y la alerta rápida involucre también a los usuarios del agua se requieren servicios climáticos determinados en lo que respecta a la gestión de recursos hídricos. Lo mencionado demanda que se tenga mayor conocimiento de las necesidades reales de las partes locales que están interesadas, según un análisis ascendente de las debilidades identificadas en la seguridad hídrica, con el propósito de alinear los servicios climáticos específicos para brindar mayor información de los riesgos de hoy y los posteriores. Mejorar el uso actual y futuro del agua (42).

- Gestionar adecuadamente los recursos hídricos

No es un secreto que el uso de agua esté en función de las tendencias y ciertos aspectos de índole social, por lo que resulta indispensable que se aumente los conocimientos de las tendencias de uso del agua y así realizar más estudios del tema. La dinámica de la geografía, la urbanización, la minería, y demás factores repercuten en el modo en que se utiliza el agua. Además de ello, es necesario que se desarrollen métodos de medición de eficacia y auditoría hídrica en todas las zonas para determinar en qué aspecto se pueden realizar actividades de conservación de las aguas. Debido a la pérdida inevitable de algunos glaciares andinos, es necesario que se empiece a trabajar en el desarrollo y planificación de escenarios de gestión hídrica con el propósito de prevenir la escasez venidera y otros problemas que más adelante puedan surgir (42).

2.2.6. Cambio dinámico de glaciares

Para el MINAM son las variaciones de la masa de los glaciares que, a través de los cambios en el flujo, controlan el nivel de variación. Esto causa un alto nivel de cambio que genera, a su vez, inseguridad en la acumulación y ablación(44).

Del mismo modo, los cambios dinámicos acelerados son causados por la variación del clima, por la incursión de agua marina cálida debajo de una plataforma de hielo, o porque el agua de marea se vea adelgazado en un extremo que trae consigo reacciones en el sistema glaciar y que se pierda el hielo de manera acelerada (44).

2.2.7. Bofedal

Este importante componente ecosistémico, el MINAM define como un ecosistema cuya vegetación es de tipo hidrófila y que se caracteriza por los suelos planos y porque suelen

estar repletos de agua (45). Por su parte, Alzérreca el 2001 lo define como una especie de pradera cuya humedad es continua y cuya extensión es limitada; su vegetación es floreciente y su capacidad y producción es alta. Cuentan con la particularidad de estar ubicados en suelos de forma hídrica que potencia la capacidad de utilizar el agua, la generación forraje es constante y pueden cargar animales de manera continua (46). Así también, Salvador y Cano definen a la bofedal como un espacio de humedad que suele encontrarse en regiones altoandinas en las que se almacena agua que viene del deshielo, de los ríos nacientes, o de los acuíferos (47).

Estos humedales altoandinos se encuentran en las partes más profundas del valle fluvio-glaciar, entre los 2280 y 4730 msnm; se alimentan del agua que resulta del deshielo, de la precipitación pluvial; y tienen la peculiaridad de contener agua constantemente (47).

De acuerdo a Carbonell, se puede encontrar amplio número de fauna y flora en los bofedales; si bien existe poca evidencia científica de la ecología de los bofedales, las comunidades que la habitan suelen hacer uso de sus recursos; por ello, sus particularidades dotan a los bofedales con niveles de agua y forraje para los ganados, además de la amplia variedad de recursos naturales que se utilizan para alimentación y culturalización de las personas (48).

Carbonell hace hincapié en que los bofedales suelen presentar amenazas; en el Perú, al ser un país aún en desarrollo, se presentan riesgos como deficiencias en su conservación y su gestión debido a la poca data que existe respecto al desarrollo de los humedales y el poco conocimiento de los efectos de las actividades de desarrollo en los humedales. En consecuencia, se considera que los altos riesgos de los bofedales son el pastoreo excesivo, la intromisión de especies, la minería irresponsable, las hidroeléctricas, entre otros (48).

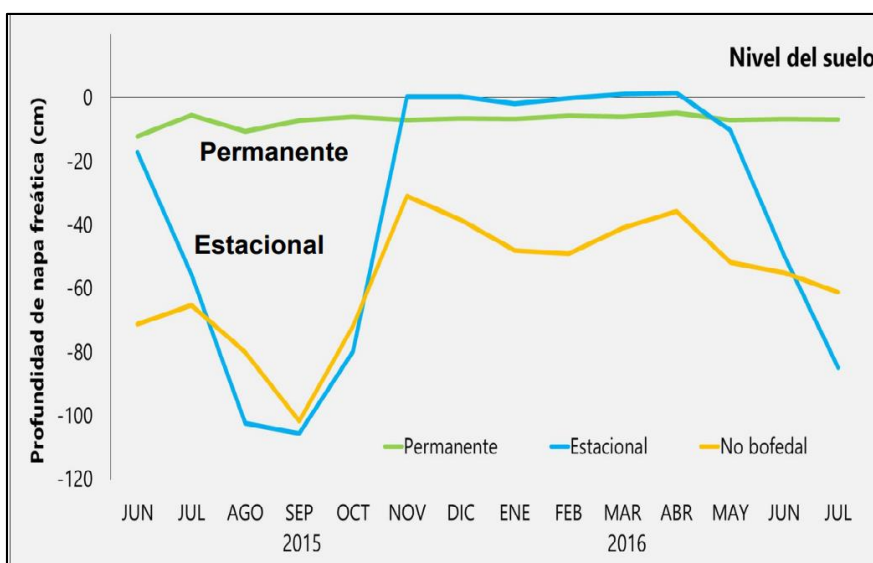
En la actualidad las comunidades nativas son más conscientes de que las condiciones naturales de su lugar de residencia están variando, por lo que requieren gestar herramientas y estrategias, de toda índole, para optimizar el uso de sus recursos, más aún si la explotación de bofedales se da en lugares andinos con deficiente cuidado, protección y apoyo del Estado. Por lo anterior, es importante que los ciudadanos peruanos, cuya lengua materna es otra ajena al español, hagan uso de los recursos teniendo en cuenta la conservación biológica y la valoración económica, de modo que se puedan ejecutar proyectos de desarrollo en los que se considere la conservación y la gestión de recursos (48).

2.2.8. Hidroperiodo

El MINAM precisa que los bofedales se diferencian por procesos ecológicos como el hidroperiodo que “diferencia los bofedales estacionales de permanentes. En consecuencia, estarán en menor capacidad de guardar agua. Estos bofedales pueden contar con basta vegetación. Los bofedales permanentes, en su mayoría, serían turberas” (49).

Figura 1.

Característica hidrológica del bofedal - Hidroperiodo



Nota: IMAIGEM, 2019 (50)

2.2.9. Posición topográfica

La guía de evaluación del estado del ecosistema de bofedal del MINAM precisa que el otro proceso ecológico es la posición topográfica que marca diferencias notorias entre los bofedales de ladera y los bofedales de áreas plana. Los primeros tendrían mayor probabilidad de ser estacionales, y desarrollar turba superficial. Aunque, en algunos casos, se pueden desarrollar turberas en laderas de pendiente ligera, por la presencia de una capa profunda impermeable en el suelo (49).

2.2.10. Servicios ecosistémicos

Según el MINAM son beneficios económicos, sociales y ambientales que una sociedad obtiene de manera directa o indirecta cuando los ecosistemas funcionan de manera óptima (Ley N° 30215, 2014). Son categorizadas según el trabajo que realizan en SE de provisión, regulación, soporte y culturales. Los ecosistemas de montaña cuentan con la particularidad de tener cubiertas las categorías descritas (44).

2.2.11. Áreas naturales protegidas

Para el SERNANP son espacios terrestres o marinos reconocidos, establecidos y que son cuidados por el Estado a fin de conservar la biodiversidad y lograr que se contribuya significativamente a la mejora del Perú (19).

A nivel mundial la Comisión Mundial de Áreas Protegidas (WCPA) considera al área protegida como un espacio que cuenta con el reconocimiento y administración adecuada para ejecutar servicios ecosistémicos óptimos de modo que se conserve la naturaleza de la localidad (51).

2.2.12. Área de Conservación Regional - ACR

La Ley de Áreas Naturales Protegidas define a las ACR como espacios en el territorio nacional que cuentan con el reconocimiento legal para mantener la amplia cantidad de muestras biológicas y otras circunstancias de interés nacional que contribuyen al desarrollo nacional (51).

El MINAM señala que las Áreas de Conservación Regional - ACR, ayudan a que las estrategias que se elaboren para conservar espacios sean efectivas porque actúan como muestras que representan la diversidad biológica y otros valores asociados (52).

El SERNANP considera a las ACR como zonas en las que se pueden realizar estudios y que cuentan con el mismo rango que las reservas (51).

El ACR Huaytapallana: Regulado por el Decreto Supremo N° 018-2011-MINAM, posee un área de 22,406.52 hectáreas, el establecimiento del ACR tiene como propósito, la preservación de la biodiversidad y el paisaje natural, en el cual “[...] se garantice el aprovechamiento proporcional del recurso hídrico para el consumo poblacional, así como de proteger el estado de conservación de los ecosistemas de pajonales, césped de puna, bofedales, lagunas y ecosistema nival” (53).

El ACR Huaytapallana comprende de ecosistemas de bofedales, estos son sistemas cuya forma hídrica tiene un amplio número de vínculos de índole vegetal que actúan como base forrajera; la superficie de 568.52 ha (5.68 km²) así como de 2506.6 has (25.06 km²) de superficie nival según línea de base al año 2013” (53).

2.2.13. Ciclo hidrológico en ecosistemas de montaña

GIDAHATARI, describe acerca del ciclo hidrológico que cuando hay lluvias, los lugares en los que se acumulan los glaciares permiten que esta última aumente debido a las precipitaciones pluviales y niveles altos de temperatura. En las cuencas andinas hay 2 estaciones definidas: la época seca y la de lluvias (54).

2.2.14. Balance hídrico

El SENAMHI, considera que el balance hídrico consiste en encontrar un equilibrio entre el agua que entra y sale en una determinada zona hidrológica, considerando la carencia o exceso del agua que se acumuló (55).

2.3. Definición de términos básicos

1. Glaciar: Es una masa de hielo que se origina en la tierra a raíz del metamorfismo por acumulación de nieve (56).
2. Glaciar de montaña: “son aquellos ubicados en zonas montañosas; están conformados por masas de hielo poco abundantes como también de sistemas de montañas cubiertas. En ese sentido, pueden ser de diversos tipos como tipo nicho, circo, colgantes, cráter o derrubios. Sobre este punto es importante reconocer que los glaciares de montaña en Perú son los más abundantes siendo un 91% por la cordillera blanca” (54).
3. Balance de masa: Es una formación de hielo, diferencia entre el insumo de masa y su pérdida durante un determinado tiempo.
4. Ecosistemas: se entiende como la unidad funcional que se constituye de organismos vivos, su medio inerte y las interacciones entre ellos.
5. Bofedal: es un ecosistema andino cuya forma hídrica tiene una vegetación herbácea que abunda en los Andes con suelos planos (2).
6. Turba: “suelo orgánico con al menos 30 % de materia orgánica” (7)
7. Turbera: “tipo de humedal que acumula al menos 30 – 40 cm de turba” (7)

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

3.1.1. Método general

Se utilizó el método deductivo para analizar el efecto de la intervención del retroceso glaciar del nevado Huaytapallana que viene a ser la variable interviniente en los bofedales del ACR Huaytapallana (variable dependiente); a partir del análisis de las dimensiones; espacio (12 microcuencas delimitadas en el área de estudio) y tiempo (periodo de 30 años). Este método parte de lo general a lo particular, iniciando de la definición del problema de investigación que busca responder a la interrogante ¿Cuál es el efecto espacio - temporal del retroceso glaciar del nevado Huaytapallana en los bofedales del ACR Huaytapallana?, y previa revisión bibliográfica se estableció las hipótesis nula y alterna, las cuales fueron sometidas a pruebas estadísticas (57).

3.1.2. Método específico

El método específico es hipotético - deductivo puesto que, al haberse analizado la situación del problema identificado, se formuló una hipótesis nula “El retroceso glaciar del nevado Huaytapallana no afecta de manera significativa a la superficie de bofedales del Área de Conservación Regional Huaytapallana” y una hipótesis alterna “El retroceso glaciar del nevado Huaytapallana afecta de manera significativa a la superficie de bofedales del Área de Conservación Regional Huaytapallana” , para luego ser aceptada o rechazada en función a la prueba estadística de los datos obtenidos en la investigación (58).

3.1.3. Tipo de investigación

Por el objetivo de la investigación, de acuerdo a Baena 2017, considera que es aplicada porque este tipo de investigación se esfuerza en dar respuesta a las necesidades de la sociedad (59). En tal sentido, en la investigación se aplicó conocimientos previos apoyados en teorías, investigaciones; poniendo en práctica estas bases en la estimación multitemporal de superficie glaciar y bofedales, así como la estimación de la tasa de deglaciación; con el propósito de que la información generada sea útil para la toma de decisiones en la protección y mantenimiento del ecosistema del Área de Conservación Regional Huaytapallana.

3.1.4. Nivel de investigación

Es descriptivo - correlacional ya que el estudio busca determinar el grado de relación entre las variables (57). Se describirán los datos obtenidos de los ecosistemas de bofedales y glaciares en el periodo de 1990 – 2020, así mismo se analizó la relación histórica entre glaciares y bofedales entre el periodo 1990 – 2020 para así dar respuesta a los problemas de investigación y cumplir el objetivo planteado de analizar el efecto espacio - temporal del retroceso glaciar del nevado Huaytapallana en los bofedales.

3.2. Diseño de la investigación

Es no experimental; debido a la naturaleza de la investigación, ya que en ésta no se realizó la manipulación de variables” (60), al mismo tiempo es de tipo longitudinal de tendencia que consiste “[...] en explorar datos de superficie glaciar y bofedales en diferentes puntos del tiempo (del año 1990 al 2020), para efectuar inferencias sobre la evolución del problema de investigación (60).

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

Integra la superficie de glaciar y bofedales existentes en el Área de Conservación Regional - ACR Huaytapallana de cada año, en el periodo 1990 – 2020. Cabe mencionar que el ACR cuenta con 22,406.52 hectáreas donde alberga “siete ecosistemas que cumplen funciones ecosistémicas importantes dentro de sus áreas de influencia, entre estos ecosistemas se encuentran los bofedales y cobertura glaciar” (10).

3.3.2. Muestra

Hernández el año 2014 señala que “la muestra es un subgrupo de la población [...]” (60), y teniendo en cuenta que se desconoce el tamaño de la población, se calcula el número de puntos (n) que fueron visitados in situ para determinar el grado de confiabilidad. En tal sentido, se determinó un total de 51 puntos que fueron visitados en campo, mediante un muestreo aleatorio (apoyado en la herramienta random points del software ArcGIS) en un bofedal piloto previamente definido, con el fin de conocer los umbrales de NDVI (Índice de vegetación normalizada) para demarcar con mayor precisión las áreas de bofedales.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas e instrumentos

3.4.1.1. Técnicas

- Observación de campo
- Teledetección / Sensoramiento remoto
- Sistemas de información geográfica
- Análisis estadístico

3.4.1.2. Instrumentos

- Laptop
- Software Arc Gis 10.5
- Software ENVI 5.1
- Satélite LANDSAT 5, 7 y 8
- Google Earth Pro
- SAS PLANET versión 200.606.100.75
- USGS - U.S. Geological Survey
- Microsoft Excel 2016
- Microsoft Word 2016
- Microsoft Visio 2013

3.4.2. Materiales

- GPS essentials
- Cámara Fotográfica
- Tablero de campo
- Cuaderno de apuntes

3.4.3. Procedimientos

Procedimientos previos al logro de los objetivos; estos procedimientos se desarrollaron en gabinete, de acuerdo a la siguiente secuencia:

- Ubicación del área de estudio: En esta etapa se determinó la zona de interés para la investigación que vienen a ser las áreas de ecosistemas de glaciar y bofedales del Área de Conservación Regional – ACR Huaytapallana, Provincia de Huancayo, región Junín.

- Revisión de información bibliográfica: En ella se realizó la búsqueda y recopilación de información bibliográfica, tesis, artículos científicos, etc.
- Adquisición de información geoespacial
 - Cartografía base

Tabla 2.

Cartografía base disponible

No.	Descripción	Fecha de descarga	Formato	Fuente
1	Área de conservación regional Huaytapallana	Marzo 2022	Shape	SERNANP
2	Mapa de Ecosistemas del Perú	Abril 2022	Shape	GEOSERVIDOR MINAM
3	Cobertura vegetal del estudio de meso ZEE Junín (2015)	2017	Shape	GORE Junín
4	Imágenes ASTER - Modelos de elevación digital (DEM)	2022 descarga	Raster	GEOSERVIDOR MINAM

Nota: Elaboración a partir de la necesidad de recopilación de información cartográfica.

- Imagen Satelital de alta resolución: Se obtuvo una imagen satelital de alta resolución espacial (z20) del área de interés, de la plataforma SAS.PLANET.
- Imágenes satelitales históricas: Se seleccionaron 16 imágenes satelitales de los sensores Landsat 5 (LT5), landsat 7 (LT7) y landsat 8 (LT8), a partir del año 1990 hasta el año 2020, algunas consideraciones para la selección fueron: porcentaje denubosidad menor a 20 % que permita la visualización completa del área de estudio, la fecha de adquisición de la imagen dentro de la temporada seca que comprende entre mayo a octubre; e imágenes sin anomalías (detalle de imágenes en el Anexo 3).
- Tratamiento de imágenes satelitales: Este procedimiento consistió en la corrección de las imágenes satelitales con el software QGIS versión 3, cabe indicar que se dio el mismo procedimiento a las imágenes LT5, LT7 y LT8.

- a. Corrección atmosférica: Con la intención de excluir la secuela de los aerosoles y la radiancia intrínseca que se filtra en el sensor y se ve expresado en la imagen, como resultado de la interrelación entre el sensor y la atmósfera. Se realizó la corrección atmosférica DOS1.
- b. Corrección geométrica: Con la finalidad de “reducir anomalías de forma inducidas por diversos factores del sensor ya sea por los movimientos y oscilaciones, o factores topográficos como por el relieve del terreno” (61).
- c. Corrección radiométrica: Con el fin de corregir los valores erradamente registrados, “debido a diversos factores como propio del sensor en el proceso de almacenamiento, o como también a distorsiones producidas porel efecto que la atmosfera ejerce sobre la radiación” (61).
- d. Refinado pancromático: Este procedimiento se empleó para optimizar la visibilidad de las imágenes satelitales dicho de otro modo aumentar la nitidez de las imágenes, esta técnica consiste en generar una imagen multibanda a color con la máxima resolución a partir de una banda pancromática de alta resolución, combinándola con las demás bandas de poca resolución.

3.4.3.1. Calcular la superficie glaciar multitemporal del nevado Huaytapallana en el periodo de 1990 – 2020.

a) Etapa de gabinete

- Delimitación de cobertura glaciar

Para determinar la cobertura glaciar se empleó la diferencia de la interacción del índice normalizado de diferencia de nieve – NDSI y el índice de diferencia normalizada de agua – NDWI; procedimiento desarrollado en el software ENVI 5.3 con la herramienta Band Math.

El algoritmo NDSI (Índice normalizado de diferencia de nieve) que emplea las bandas verdes - GREEN (en landsat 5 y 7 corresponden a la banda 2 y en landsat 8 corresponde a la banda 3) y el infrarrojo medio - SWIR (en landsat 5 y 7 corresponden a la banda 5 y en landsat 8 equivale a la banda 6), luego de realizar la operación algebraica $(GREEN-SWIR)/(GREEN+SWIR)$ resultó los valores de -1 a +1, de la cual se discriminó valores del umbral de 0.45 a 1 que corresponde a superficies con cubiertas de nieve.

Similar proceso recibió el NDWI (Índice de diferencia normalizada de agua) este algoritmo permite maximizar la reflectancia de cubiertas de agua, para ello se realizó la combinación algebraica de las bandas verdes - GREEN e infrarrojo cercano - NIR (en Landsat 5, 7 equivalente a la banda 4 y en Landsat 8 corresponde a la banda 5), producto de la operación $(GREEN-NIR)/(GREEN+NIR)$ se obtuvo valores de -1 a +1 que se hizo una conversión para obtener a valores entre 0.2 y 1 (teóricamente los valores de NDWI se encuentran en ese rango).

Para evitar la confusión entre cobertura de nieve y superficie de agua, con ayuda de la herramienta algebra de mapas del software Arcgis, se sustrajo, la superficie de agua de la cobertura de nieve con la operación $(NDWI - NDSI)$ lo que consintió delimitar la superficie netamente con cobertura glaciar.

A continuación, en el software ArcGis, se delimitó la superficie de cobertura glaciar, convirtiendo la capa de cobertura glaciar de formato raster a vector (polígonos) con la herramienta de Conversión Tools. Finalmente se calculó las áreas (km^2) de cobertura glaciar por año de 1990 al 2020, con la herramienta field calculator; y así se obtuvo datos de superficie glaciar en el periodo de tiempo del año 1990 al 2020.

3.4.3.2. Estimar la tasa de desglaciación del nevado Huaytapallana en el periodo de 1990 - 2020.

Este procedimiento se realizó en gabinete, luego de obtener datos de la superficie de cobertura glaciar multianual del año 1990 al 2020, estos datos permitieron estimar la tasa de deglaciación, empleando la fórmula, $Tds = (S2-S1)/n$; donde S1 corresponde al valor en la fecha 1, S2 pertenece al valor de la fecha 2 y n representa a la diferencia de años entre la fecha 1 y 2 (61).

3.4.3.3. Calcular la superficie multitemporal de bofedales en el periodo de 1990 - 2020 del Área de Conservación Regional Huaytapallana.

a) Etapa de gabinete

Selección del bofedal piloto: Se determinó teniendo como referencia, información cartográfica preexistente del Estudio de ZEE Junín y del mapa de ecosistemas del Perú elaborado por el MINAM; y una imagen satelital de alta resolución obtenida de SASPLANET.

Ecuación 1

Cálculo de número de puntos de muestreo para determinar grado de confiabilidad

$$n = \frac{Z_a^2 \times p \times q}{d^2}$$

Tabla 3.

Determinación del número de puntos de verificación

Área (ha)	d (%)	p (%)	q (%)	Z	n
>1000	6	5	95	1.9	51

Determinación de la fiabilidad de los datos: Se estableció mediante el índice de kappa obtenido a partir de una matriz de confusión. El valor de Índice de Kappa (IK) obtenido es de 0.66 que indica buena concordancia entre los datos obtenidos entre la imagen satelital y la verificación en campo.

Tabla 4.

Matriz de confusión para NDVI

Gabinete/	Si	No	Total
Si	32	8	40
No	4	7	11
Total	36	15	51

Intensidad del muestreo: se calculó teniendo en cuenta que el periodo de tiempo en la investigación son 30 años, de las cuales se ha seleccionado 16 años como muestra, considerando criterios principalmente de calidad imagen satelital obtenida por año, es así que se obtiene el 60% de intensidad de muestreo que, de acuerdo a lo sostenido por Peña, es un valor aceptable. Los años elegidos para el análisis de glaciares como de bofedales son del año 1990, 1994, 1995, 1997, 1999, 2001, 2003, 2006, 2009, 2011, 2013, 2016, 2017, 2019 hasta 2020, hacen un total de 30 años.

Ecuación 2.

Intensidad de muestreo

$$i = \frac{M}{N} * 100$$

Donde:

i = Intensidad de muestreo (60 %)

N = Número total de años en estudio (30)

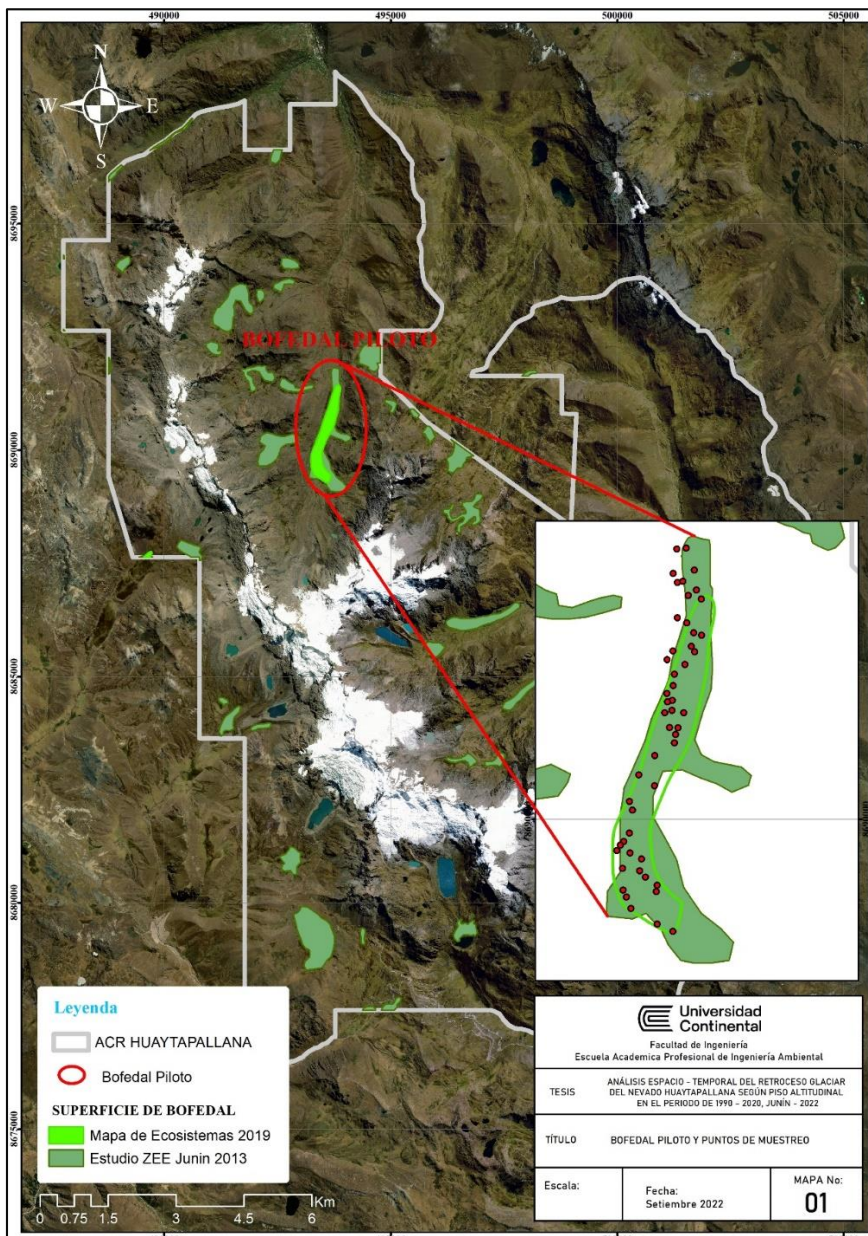
M = Número de años tomados como muestra (16)

b) Etapa de campo

- Reconocimiento y observación directa del área del bofedal piloto
- Georreferenciación: Se realizó el proceso de verificación in situ de los 51 puntos de verificación en el bofedal piloto, estos puntos fueron previamente seleccionados aleatoriamente con la ayuda del software arcgis.

Mapa 1

Bofedal piloto y puntos de muestreo en el área de estudio ACR Huaytapallana.



- Determinación de cobertura de bofedal: Se estimó empleando el NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada), este índice es bastante empleado para examinar coberturas de vegetación, mediante la relación de las bandas rojo visible - RED (en las imágenes landsat 5 y 7 corresponden a la banda 3 y en landsat 8 corresponde a la banda 4) y el infrarrojo cercano – NIR (en landsat 5 y 7 equivale a la banda 4 y en landsat 8 corresponde a la banda 5). Para obtener el NDVI se aplicó el algoritmo $(\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$, el resultado se representó en valores de -1 a 1. Basado en los resultados del índice de Kappa ($\text{IK} = 0.66$), el umbral aceptable para delimitar la cubierta de bofedal es de 0.7 – 0.81 (es importante resaltar que este rango puede variar en otras zonas). La delimitación de bofedales supone tener en cuenta los criterios de altitud y pendiente.

En caso de la altitud, la bibliografía señala que los bofedales se sitúan por encima de los 3500 msnm, efectivamente en la georreferenciación de los puntos de muestreo (o de verificación), estos se encuentran por encima de los 3800 msnm en el ámbito de estudio, en tal sentido la altitud se consideró los bofedales sobre los 3800 msnm. Ahora bien, respecto a la pendiente, apoyado en diversos antecedentes y corroborado en el bofedal piloto, se consideró bofedales con pendiente menor a 12 grados.

Finalmente, para obtener superficie de bofedales se realizó la superposición ponderada a los raster de NDVI, pendiente y altitud en el software arcgis, otorgándole un valor (en la escala de 0 - 100%) de acuerdo a la importancia a cada uno de los criterios, es así que al NDVI se le otorga 65 % de valoración, seguido de la pendiente con un valor de 25% y por último la altitud se le asigna 10%. El resultado obtenido de cubierta de bofedales en formato raster, se convirtió a vector (polígono), se procedió a calcular el área en hectáreas (ha) excluyendo aquellas áreas menores a 0.81 hectárea (unidad mínima cartografiable por la resolución espacial de la imagen de 30m), por último, se calculó áreas históricas de bofedales del año 1990 al año 2020.

Criterios para la delimitación de bofedales:

Utilizando algebra de mapas con el software arcgis se obtuvo el área de bofedales considerando el rango de pendiente ($<12\%$) y la altitud > 3800 msnm.

- Delimitación de cuencas hidrográficas en el ámbito de estudio, se delimitó

12 cuencas para analizar en un contexto de balance hídrico la relación entre las variables (glaciar, bofedal, agua, etc).

- Procesamiento y análisis estadístico de superficies multitemporales: los resultados se plasmaron en figuras y tablas procesados en la herramienta Excel, a partir de los valores de las superficies de bofedales y glaciares con la finalidad de analizar el dinamismo de estas superficies en un tiempo determinado.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Presentación de resultados

4.1.1. Superficie glaciar multitemporal del nevado Huaytapallana en el periodo de 1990 – 2020.

Tabla 5.

Superficie glaciar multitemporal del nevado Huaytapallana en el periodo de 1990 – 2020.

Año	Superficie de Cobertura Glaciar (km ²)	% de Cobertura Glaciar	Variación de la superficie glaciar (km ² /año)
1990	27.82	100	0
1994	24.54	88.19	3.29
1995	21.96	78.93	2.58
1997	21.05	75.67	0.91
1999	21.74	78.13	-0.68
2001	21.36	76.76	0.38
2003	19.73	70.91	1.63
2005	17.88	64.28	1.85
2006	17.08	61.40	0.80
2009	18.47	66.40	-1.39
2011	18.41	66.16	0.06
2013	18.55	66.68	-0.14
2016	14.02	50.39	4.53
2017	15.45	55.54	-1.43
2019	15.26	54.83	0.20

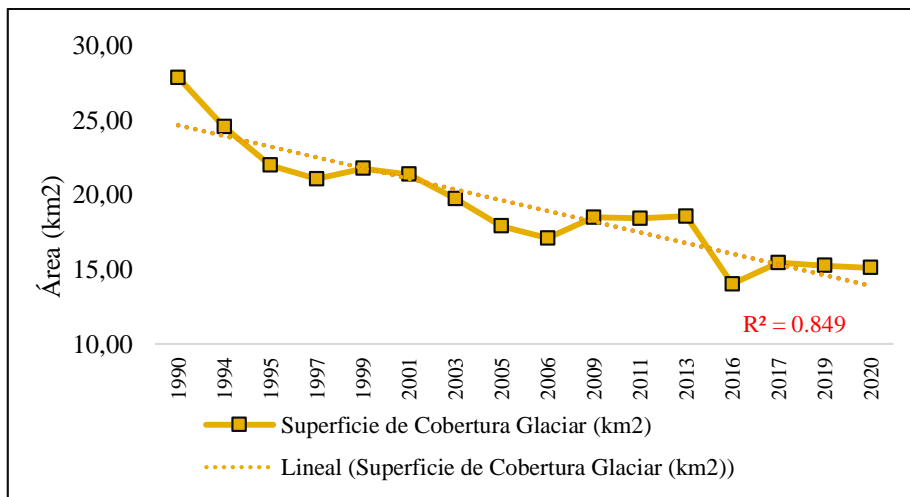
2020	15.11	54.31	0.14
------	-------	-------	------

Nota: La tabla presenta los valores en unidad de km² de cobertura glaciar calculados en el periodo de tiempo de 1990 – 2020.

Como se puede observar en la tabla 5 superficie glaciar multitemporal de cobertura glaciar, del año 1990 con 27.82 km² al 2020 con 15.11km² se ha perdido una cobertura glaciar de 54.31 % (12.71 km²). El año 2016 dentro de todo el periodo de 30 años, se observa que tuvo la mayor tasa de variación 4.53 km²/año, seguido del año 1994 y 1995 con 3.29 y 2.58 km²/año respectivamente. También se observa años de ganancia entre los años 2017, 2009, 1999 y 2013, con -1.43, -1.39, -0.68 y -0.14 km², que probablemente se debe a factores climáticos.

Figura 2.

Tendencia histórica de la cobertura glaciar del Nevado Huaytapallana



Nota: La figura representa la tendencia histórica del nevado Huaytapallana, en el transcurso de 30 año, este grafico fue elaborado a partir de la tabla 4.

En la figura 2, la tendencia negativa del área de cobertura glaciar, analizando estadísticamente, el coeficiente de determinación lineal (R²) igual a 0.849, este alto coeficiente que se acerca a 1 indica un ajuste perfecto por tanto el modelo empleado es fiable para representar la correlación existente entre las variables tiempo y superficie glaciar.

4.1.2. Tasa de desglaciación del nevado Huaytapallana en el periodo de 1990 - 2020

Tabla 6.

Tasa de desglaciación del nevado Huaytapallana en el periodo de 1990 - 2020

Año	Superficie glaciar (km ²)	% glaciar	Tasa de desglaciación (km ² /año)
1990	27.73	100.00	0.423
2001	21.35	76.76	
2011	18.40	66.16	
2020	15.71	56.65	

Nota: Los datos que se consignan en la tabla la tasa de desglaciación de la cobertura nival en el periodo de 1990 – 2020.

En la tabla 6 se observa la tasa de desglaciación del periodo de estudio 1990 - 2020, en 30 años igual a 0.423 km²/año, esta tasa evidentemente señala un proceso de disminución acelerado habiéndose reducido el 56.65% de cobertura glaciar; similar resultado obtuvo Pariona en el intervalo de tiempo de 1985 a 2010 (26 años) la tasa de retroceso glaciar 0.52 km² /año evidenciando la reducción de 13.52 km² (48.4%). De la misma manera, la tendencia de reducción lo hace notar el INAIGEM, con una tasa de desglaciación de 0.87 km²/año (24), en el inventario de glaciares del Perú, la cordillera Huaytapallana (10828 km² de área) el año 1962 contaba con un área glaciar de 59.08 km², al año 1984 se incrementó a 68.05 km² sin embargo hacia el año 1997 tuvo una drástica reducción a 37.57 km², al año 2009 este proceso de reducción continuo hasta 26.40 km² y al año 2017 se redujo a 21.42 km² (62).

4.1.3. Cálculo de la superficie multitemporal de bofedales en el periodo de 1990 - 2020 del Área de Conservación Regional Huaytapallana.

Tabla 7.

Superficie multitemporal de bofedales del ACR Huaytapallana periodo de 1990 – 2020.

Año	Superficie de Bofedal (km ²)	Variación de la superficie glaciar (km ² /año)	Tasa de Variación de superficie de Bofedal (km ² /año)
1990	0.89	0.00	0.187
1994	1.15	-0.26	
1995	0.97	0.18	

Año	Superficie de Bofedal (km ²)	Variación de la superficie glaciar (km ² /año)	Tasa de Variación de superficie de Bofedal (km ² /año)
1997	0.95	0.02	
1999	0.85	0.10	
2001	1.51	-0.65	
2003	1.27	0.23	
2005	2.23	-0.96	
2006	1.10	1.14	
2009	1.28	-0.18	
2011	1.78	-0.50	
2013	3.89	-2.11	
2016	4.12	-0.23	
2017	5.48	-1.36	
2019	5.56	-0.09	
2020	6.53	-0.96	

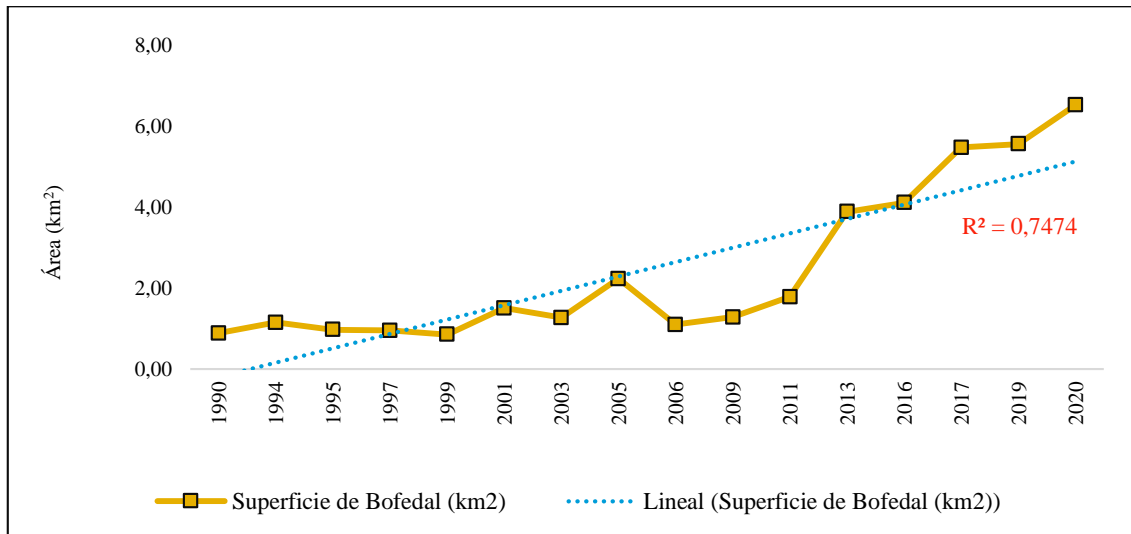
Nota: Los datos que se consignan en la tabla superficie multitemporal de bofedales del ACR Huaytapallana periodo de 1990 – 2020, son los resultados obtenidos del cálculo vectorial.

La superficie multitemporal de bofedales del ACR Huaytapallana en el periodo de tiempo de 1990 – 2020, se presenta en la tabla 7, entre los años 1990 – 2020 la variación superficial muestra que la superficie de cobertura de bofedal ha ido incrementándose año en año, es así que el año 1990 se registró un área de 0.89 km² y al año 2020 se calculó un área de 6.53 km², ahora bien, entre los años 1995 – 1999 la tabla muestra pérdida de superficie glaciar lo cual se podría explicar considerando factores climáticos, antropogénicos entre otros. Es importante destacar que a partir del año 2013 se aprecia el ritmo acelerado de crecimiento de superficie de bofedales. Y finalmente de acuerdo a los resultados la tasa de variación de superficie de bofedal es 0.187 km²/año.

La figura 3, detalla gráficamente la tendencia histórica de las superficies de bofedales, analíticamente el resultado de la regresión lineal es 0.7474 (74.74%), lo cual destaca la fuerte relación que existe entre ambas variables e indica que el modelo lineal es propicio para representar la relación entre las variables, área de bofedal y tiempo.

Figura 3

Tendencia histórica de los bofedales en el ACR Huaytapallana de 1990 al 2020

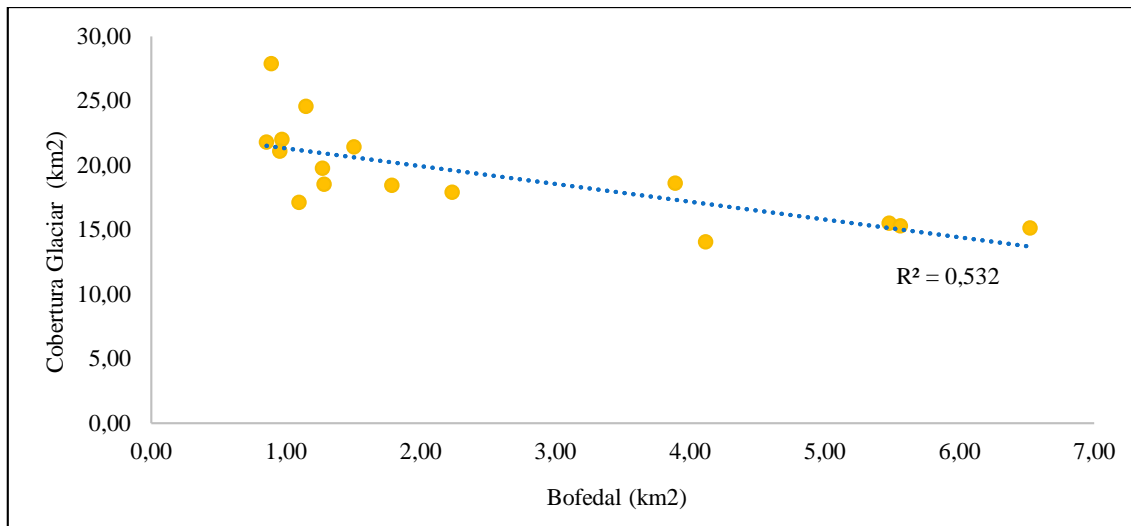


Nota: La figura representa la tendencia histórica de superficie de bofedales, en el periodo 1990-2020, este grafico fue elaborado a partir de la tabla 6.

4.1.4. Análisis del efecto espacio - temporal del retroceso glaciar del nevado Huaytapallana en los bofedales del Área de Conservación Regional Huaytapallana en el periodo de 1990 – 2020, Junín – 2022.

Figura 4

Correlación entre cobertura glaciar y superficie de bofedales



Nota: El diagrama de correlación elaborada a partir de los datos históricos de cobertura glaciar y superficie de bofedales.

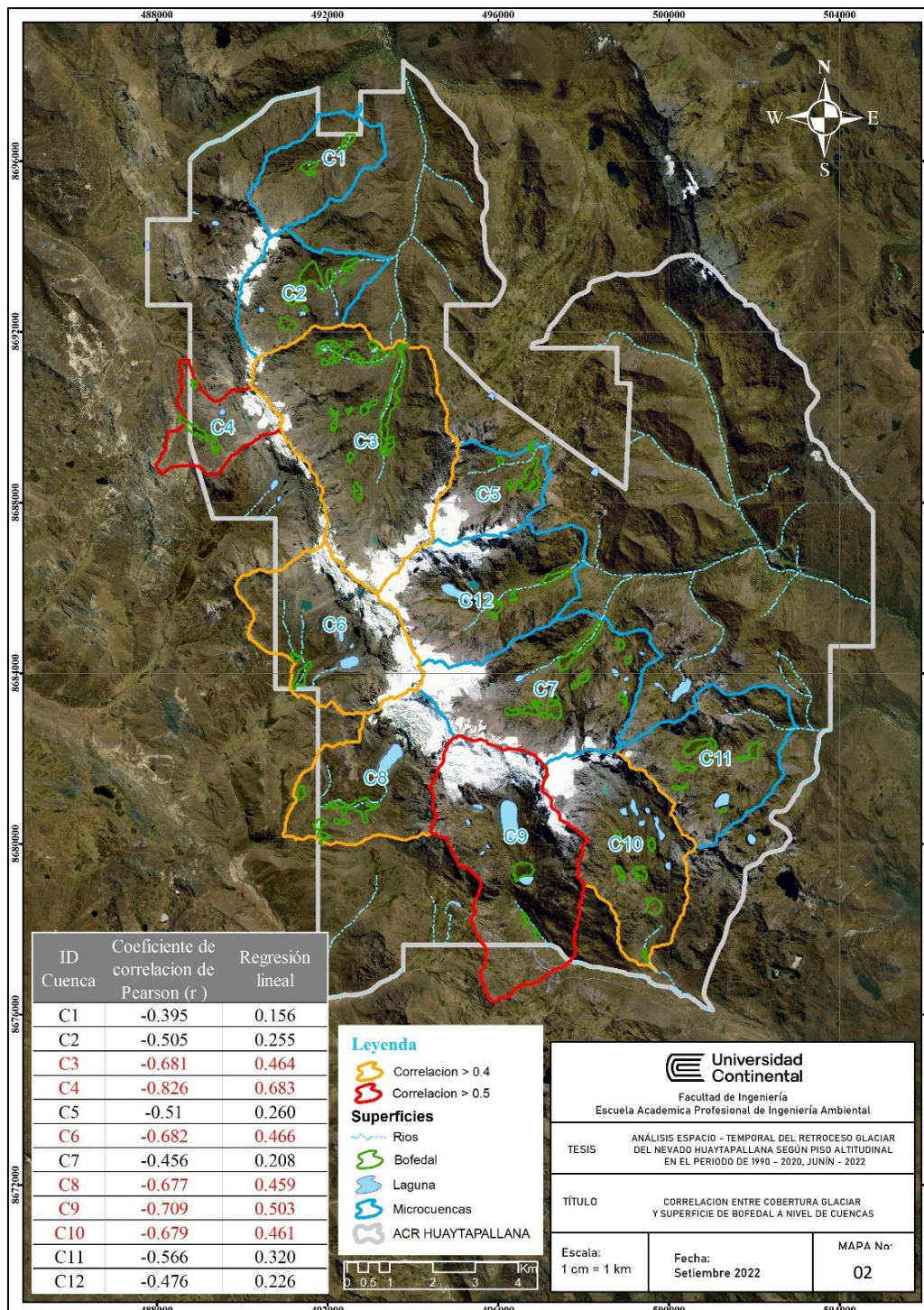
La figura 4 representa la correlación que existe entre la cobertura glaciar y superficie de bofedales, la dirección de la tendencia es descendente, mostrando una relación negativa o también conocida como relación inversa, lo cual puede interpretarse como a menor

cobertura glaciaria mayor superficie de bofedal, estadísticamente el coeficiente de determinación (R^2) igual a 0.632 este resultado que si bien se aleja del 1 sin embargo la relación es fuerte según Szretter (63).

4.1.4.1. Análisis del efecto espacio temporal del retroceso glaciario del nevado Huaytapallana en los bofedales a nivel de cuencas

Mapa 2

Representación estadística a nivel de cuencas hidrográficas en el ámbito de estudio.



En el mapa 2, se observa el análisis estadístico a nivel de cuencas hidrográficas, se ha delimitado un total de 12 cuencas de las cuales la C3, C6, C8 y C10 resultaron con un coeficiente de determinación (R^2) igual a 0.464, 0.466, 0.459 y 0.461 respectivamente, en estas cuencas la relación encontrada entre ambas variables es moderada, en C4 y C9 la fuerza de relación que se da entre ambas variables es fuerte y para C1, C2, C5, C7, C11 y C12 los coeficientes de determinación son menores a 0.4 donde la fuerza de correlación es débil.

4.2. Prueba de hipótesis

La prueba de hipótesis se obtuvo a partir del Coeficiente de correlación de Pearson (r) = -0.826, tamaño de la muestra (N) = 16, grado de libertad ($n-2$) = 14, nivel de significancia (α) = 0.05 (5%), estadístico de prueba (t) = -5.493, valor crítico = 2.144

Decisión: se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna (H_a : El retroceso glaciar del nevado Huaytapallana afecta de manera significativa a la superficie de bofedales del Área de Conservación Regional Huaytapallana). Se concluye que de acuerdo a la evidencia muestra que el coeficiente de correlación es diferente a cero, por consiguiente, existe correlación negativa (inversa) significativa entre las variables de estudio.

4.3. Discusión de resultados

Con los hallazgos obtenidos, se valida que el retroceso glaciar del nevado Huaytapallana afecta de manera significativa a la superficie de bofedales del Área de Conservación Regional Huaytapallana.

Estos resultados, concuerdan con Loza y otros, quienes señalan que “[...] los bofedales de la cordillera Real en el país vecino de Bolivia, son uno de los más amenazados por el calentamiento global” (16), ya que existe una apretada relación entre el agua y los bofedales; en tal sentido el retroceso de los glaciares puede causar su reducción, sostienen además que “[...] las variaciones del área e influencia glaciar no se relacionaron con cambios en la vegetación, así también añaden que si el retroceso glaciar reduce la disponibilidad de agua en los próximos años, el bofedal alto andino será más abundante” (16).

Del mismo modo de acuerdo con Dangles y otros autores el año 2017 en su investigación que parte de la interrogante ¿Ecosistemas centinelas del cambio climático?, en el período

de 1984 al 2011, cuyo resultado sostiene que los humedales altoandinos pueden considerarse como ecosistemas centinelas del cambio climático, ya que parecen sensibles al derretimiento de los glaciares (1). Al respecto el mapeo de bofedales en cabeceras de cuencas, análisis desarrollado en el periodo 1986 al 2015 realizado por García y otros, concluyen en que el área de los bofedales ha aumentado de manera importante, puesto que se vio un incremento de 14,95% en la extensión, incluso a pesar del deshielo (4)

Respecto al retroceso glaciar del nevado Huaytapallana, en el periodo de 1990 al 2020 se ha estimado la tasa de desglaciación igual a $-0.423 \text{ km}^2/\text{año}$, habiéndose reducido de 27.73 km^2 en el año 1990 a 15.71 km^2 el año 2020; pérdida del 54.31% de cobertura glaciar. El periodo de 1990 – 2001 se ha evidenciado el retroceso más crítico con una reducción del 76.76 %. Estos resultados, coinciden con lo afirmado por Francou el año 2013, quien sustenta que el retroceso de los glaciares andinos inició aproximadamente desde el año 1730 y 1750, las últimas décadas el ritmo de la desglaciación se tornó sin precedentes, ya que en 30 años los glaciares han perdido de 35% hasta 50% de área y volumen glaciar (18).

Los resultados del estudio también se parecen a los resultados del estudio llevada a cabo por Díaz y otros, cuyos resultados mostraron una disminución drástica de 52.3 km^2 en el año 1975 a 16.9 km^2 al año 2015, perdiendo un total de 35.6 km^2 en 40 años, por otra parte, señalan que una tercera parte de la cobertura glaciar estaba bajo los 5000 m.s.n.m. el año 1975 y para el año 2015 este se redujo a solo el 9% del total de área glaciar” (20).

Otra investigación que coincide en la tendencia a la disminución de la capa glaciar de los nevados lo sostiene Gaita (2017), entre los años 1987, 2001, 2009 y 2014 se ha podido observar que se halla un retroceso de los glaciares en Lullán del 15%, transitando de los 25,91km hacia los 21,86km, denotándose así una importante reducción en su masa, además sustenta que la tasa se encuentra en aceleración.

Respecto a la tasa de desglaciación, Pariona el año 2015, señaló que la alta velocidad de retroceso glaciar de los nevado del Huaytapalla se dio entre 1985 y 2010 (25), analizándola estadísticamente expresa la reducción de cobertura de nieve, el alto coeficiente de determinación ($r^2=0.9$), revela que la superficie glaciar se ha reducido en el periodo 1985 al 2010 y de continuar esa tendencia el glaciar desaparecería en los próximos años; también Bulege en su estudio “[...] revela una reducción de 13.52 km^2 (48.4%) en 26 años a una tasa de retroceso de $0.52 \text{ km}^2 / \text{año}$ ” (8).

Sobre los bofedales del Área de Conservación Regional - ACR Huaytapallana, en el periodo de 1990 a 2020 ha experimentado un crecimiento de $0.187 \text{ km}^2/\text{año}$, pasando de 0.89 km^2 el año 1990 a 6.53 km^2 al año 2020; el estudio revela que el mayor crecimiento se dio en la última década.

La investigación concuerda con Pauca y otros autores el año 2020, durante el periodo de 1986 al año 2016 el área de bofedal muestra un crecimiento de 12 ha/año , el estudio marca que la tasa de mayor crecimiento fue de $138,07 \%$ se presentó en el periodo de 1991 al 2001, afirma además que “[...] el incremento de disponibilidad de agua para los bofedales durante la época seca se debe a un proceso de desglaciación vinculado al incremento de la temperatura” (9).

CONCLUSIONES

Se comprobó estadísticamente que existe correlación inversa significativa entre las variables, y se concluye así que el retroceso glaciar del nevado Huaytapallana afecta de manera significativa a la superficie de bofedales del Área de Conservación Regional Huaytapallana.

Se estimó 27.73 km^2 la superficie glaciar en el año 1990, al año 2001 se redujo a 21.35 km^2 , el año 2011 se estimó 18.40 km^2 de cobertura glaciar y hacia el año 2020 se estimó 15.71 km^2 , habiéndose reducido el 56.65% de superficie glaciar en el periodo de estudio. La reducción más dramática se presenta según el estudio entre los años 1990 al año 2001.

Se ha determinado que la tasa de desglaciación es de $-0.42 \text{ km}^2/\text{año}$.

Se estimó que en el año 1990 la superficie de bofedal era de 0.89 km^2 , hacia el año 2001 se estima un total de 1.51 km^2 , a partir del año 2011 el crecimiento de la superficie de bofedal se acelera, a 1.78 km^2 y al año 2020 se incrementa a 6.53 km^2 .

RECOMENDACIONES

Respecto a la metodología, para el cálculo de cobertura glaciaria y superficie de bofedales, y para obtener mejores resultados en la estimación, se recomienda utilizar imágenes satelitales de alta resolución menores a 30 m.

Para mejor entendimiento del comportamiento y tendencia de las variables analizadas, se recomienda cartografiar en dos temporadas del año, una época seca que en nuestro ámbito geográfico se desarrolla entre junio hasta agosto y la época lluviosa de marzo hacia mayo.

Por otra parte, respecto al análisis del efecto espacio - temporal del retroceso glaciario del nevado Huaytapallana en los bofedales, se recomienda profundizar el análisis a nivel de cuencas, considerando los parámetros del ciclo hidrológico de una cuenca como son: la superficie (bofedal, glaciario, lagunas, ríos, quebradas, suelo) y parámetros hidrometeorológicos como la precipitación y temperatura.

Se recomienda, además, para el cálculo de superficie de bofedales, considerar los dinamismos del aspecto socioeconómico que se desarrollan en determinados espacios del área de estudio, ya que estas podrían alterar el entorno natural. Del mismo modo se recomienda realizar monitoreo periódico en las áreas donde se identifica actividad antrópica, extracción indiscriminada, etc.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DANGLES, Olivier, MENESES, Rosa Isela y ANTHELME, Fabien. *BIOHAW: Un proyecto multidisciplinario que propone un marco metodológico para el estudio de los bofedales altoandinos en un contexto de cambio climático*. La Paz, Bolivia : Ecología en Bolivia, 2014.
2. MINISTERIO DEL AMBIENTE. *Guía de evaluación del estado del ecosistema de bofedal*. [ed.] Ministerio del Ambiente. Primera. Lima : MINAM, 2019. pág. 61.
3. MINAM. Estrategia Nacional de Humedales. [En línea] 24 de febrero de 2014. [Citado el: 03 de marzo de 2022.] <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/01/Anexo-Decreto-Supremo-N%C2%B0-004-2015-MINAM2.pdf>.
4. GARCIA, Erick y OTTO, Marco. *Caracterización ecohidrológica de humedales altoandinos usando imágenes de satélite multitemporales en la cabecera de cuenca del Río Santa, Ancash, Perú*. Lima: Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina, 2015. 1726-2216.
5. CONVENCIÓN SOBRE LOS HUMEDALES RAMSAR. Ramsar. [En línea] marzo de 2015. [Citado el: 18 de febrero de 2022.] <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/bn7s.pdf>.
6. El Agora diario del agua. [En línea] 04 de febrero de 2021. [Citado el: 05 de marzo de 2022.] <https://www.elagoradiario.com/desarrollo-sostenible/biodiversidad/latinoamerica-perdida-humedales/>.
7. MINAM. *Mapa nacional de ecosistemas del Perú*. [ed.] Ministerio del Ambiente. Lima : NEGRAPATA S.A.C, 2019.
8. BULEGE GUTIÉRREZ, Wilfredo y CUSTUDIO, María. *Cambio climático y retroceso glaciar en la cordillera Huaytapallana – Perú*. Huancayo : Tecnología y Ciencias del Agua, 2020.
9. PAUCA TANCO, A., y otros. *Análisis espacio temporal y climático del humedal altoandino de Chalhuanca (Perú) durante el periodo 1986-2016*. Peru : Crossref, 2020.
10. INAIGEM. *Inventario nacional de glaciares. Las cordilleras glaciares del Perú*. Huaraz : Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña Biblioteca y Publicaciones, 2018. Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2018-07425.
11. MINAM. *Guía de evaluación del estado del ecosistema de bofedal*. [ed.] Ministerio del Ambiente (MINAM). Primera. Lima : Ministerio del Ambiente, 2019. pág. 61.
12. GALLEGOS Castro, Elvia, y otros. *Análisis de la variación temporal y espacial de la cobertura glaciar del nevado Cayambe, Ecuador, mediante fotografías aéreas e imágenes landsat*. Ecuador : GeoFocus (Artículos), 2018. ISSN: 1578-5157.
13. ÁVILA VÉLEZ, Edier Fernando, CARRILLO DÍAZ, Henry y OTÁLORA MORALES, Jhon Alexander. *Cuantificación del retroceso glaciar del nevado del Tolima, aplicando técnicas de teledetección*. Bogotá : Azimut, 2018.

14. CUELGA, Olivier, y otros. *¿Ecosistemas centinelas del cambio climático? Evidencia de cambios en la cobertura de humedales durante los últimos 30 años en los Andes tropicales*. España : Creative Commons, 2017. doi.org/10.1371/journal.pone.0175814.
15. RUIZ PEREIRA, Sebastián Felipe, y otros. *Un análisis comparativo del retroceso glaciar en los Andes tropicales usando teledetección*. Chile : Investigacion Geografica, 2016. doi:10.5354/0719-5370.2016.41215.
16. LOZA HERRERA, Susi, MENESES, Rosa y ANTHELME, Fabien. *Comunidades vegetales de los bofedales de la cordillera Real (Bolivia) bajo el calentamiento global*. Bolivia : Ecología en Bolivia, 2015. ISSN 1605-2528.
17. HOFFMANN, Dirk, y otros. 3, *Bolivia : Ecología en Bolivia, 2014, Vol. 49. ISSN 1605-2528*.
18. FRANCOU, Bernanrd. *El rápido retroceso de los glaciares en los Andes tropicales: Un desafío para el estudio de la dinámica de los ecosistemas de alta montaña*. Bolivia : Ecología en Bolivia, 2013. ISSN 1605-2528..
19. GUTIÉRREZ QUENTA, Yessica. *Determinación de la dinámica espacial de bofedales mediante imágenes satelitales Landsat frente a escenarios del cambio climático en la cuenca del río Coata durante el período de 1984 - 2016*. Puno : Universidad Nacional del Altiplano, 2018. pág. 80. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/9641>.
20. DÍAZ AGUILAR, Renny Daniel, y otros. *Análisis multi-temporal entre 1975 y 2015 sobre cambios de la cobertura glaciar en los nevados Allin Capac y Chichi Capac, Perú*. Puno : Investigación Altoandina, 2017. ISSN 2313-2957.
21. GAITA IPARRAGUIRRE, María Patricia. *Cuantificación e impacto del retroceso glaciar sobre los recursos naturales determinados mediante el SIG y teledeteccion - Microcuenca Lullán, Ancash - Perú*. Lima : Universidad Agraria La Molina, 2017.
22. INAIGEM. *Mapeo de Bofedales en Cabeceras de Cuenca Mediante Imágenes de los Satélites Landsat*. Lima : INAIGEM, 2019.
23. *CARACTERIZACIÓN ECOHIDROLÓGICA DE HUMEDALES ALTO ANDINOS USANDO IMÁGENES DE SATÉLITE MULTITEMPORALES EN LA CABECERA DE CUENCA DEL RÍO SANTA, ANCASH, PERÚ*. GARCIA, Erick y OTTO, Marco. Ancash : Ecología Aplicada, 2015.
24. INAIGEM. *Las cordilleras glaciares del Perú*. Huaraz : INAIGEM , 2018.
25. PARIONA RAMIREZ, Karen del Pilar. *Cambio climático y efectos en el nevado Huaytapallana*. Lima : Universidad San Marcos, 2015.
26. Corral, Víctor, Caso, Joaquín y Frías, Martha. *Psicología del cambio climático, mitigación y adaptación ante el calentamiento global*. México : Pearson, 2017.
27. *¿Qué piensan, dicen y hacen los jóvenes universitarios sobre el cambio climático?: Un estudio de representaciones sociales*. González, Edgar y Maldonado, Ana. 3, s.l. : Educar en Revista, 2014, Vol. 1, págs. 35-55.

28. IPCC. *Anexo I: Glosario*. [aut. libro] J. B. Robin Matthews. *Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global*. Reino Unido : IPCC, 2018.
29. PANEL INTERGUBERNAMENTAL SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO . *Anexo I: Glosario*. [aut. libro] J. B. Robin Matthews. *Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global*. Reino Unido : IPCC, 2018.
30. *Cambio climático algunos aspectos a considerar para la supervivencia del ser vivo: revisión sistemática de la literatura*. Bastidas, Gilberto y Hernández, Rafael. 3, Carabobo : Revista Cuidarte, 2019, Vol. 10. 2346-3414.
31. Guido, Pedro. *Cambio climático: selección, clasificación y diseño de medidas de adaptación*. Morelos : Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2017. 978-607-9368-83-8.
32. MINISTERIO DEL AMBIENTE. *Ecosistemas*. [En línea] 2022. [Citado el: 25 de Mayo de 2022.] <https://www.minam.gob.pe/diversidadbiologica/nuestras-lineas-de-intervencion/direccion-de-conservacion-sostenible-de-ecosistemas-y-especies/ecosistemas/>.
33. NACIONES UNIDAS. *Convenio sobre la diversidad biológica*. Canada : s.n., 1992.
34. TANSLEY, A. *THE BRITISH ISLANDS AND THEIR VEGETATION*. Cambridge : Cambridge University Press, 1939.
35. *Revisión del concepto de ecosistema como “unidad de la naturaleza” 80 años después de su formulación*. ARMENTERAS, D., y otros. 1, Alicante : Asociación Española de Ecología Terrestre, 2016, Vol. 25. 1132-6344.
36. *IS IT TIME TO BURY THE ECOSYSTEM CONCEPT?* O’NEILL, R. 12, s.l. : Ecology, 2001, Vol. 82. 3275-3284.
37. INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y ECOSISTEMAS DE MONTAÑA. *Política Nacional de glaciares y ecosistemas de montaña*. [En línea] 2021. [Citado el: 10 de Agosto de 2022.] <https://inaigem.gob.pe/web2/politicas-ecosistemas/>.
38. MINISTERIO DEL AMBIENTE. *Diez claves para conocer más sobre montañas, glaciares y agua*. [En línea] 2022. <https://www.minam.gob.pe/glaciares/diez-claves-para-conocer-mas-sobre-montanas-glaciares-y-agua/>.
39. ONU para la Educación, GRID Arendal. *Atlas de glaciares y aguas andinos. El impacto del retroceso de los glaciares sobre los recursos hídricos*. Paris : UNESCO y GRID-Arendal, 2018. O ISBN 978-92-3-300103-9.
40. MONTIPEDIA. *Enciclopedia de montaña*. [En línea] 24 de marzo de 2005 - 2022. <https://www.montipedia.com/montipedia/>.
41. IDEAM. *Ministerio del ambiente y desarrollo sostenible* . [En línea] <http://www.ideam.gov.co/web/entidad>.

42. SCHOOLMEESTER, T, y otros. *Atlas de glaciares y aguas andinos. El impacto del retroceso de los glaciares sobre los recursos hídricos.* París : UNESCO, 2018. 978-92-3-300103-9.
43. *Rapid decline of snow and ice in the tropical Andes – Impacts, uncertainties and challenges ahead.* VUILLE, M. 176, París : *Earth Sciences Review*, 2018, Vol. 1, págs. 195-213.
44. MINISTERIO DEL AMBIENTE. *Glosario de términos para la gestión ambiental peruana.* Lima : MINAM, 2012.
45. Ministerio del Ambiente. *Mapa nacional de ecosistemas del Perú.* [ed.] Ministerio del Ambiente. Lima : NEGRAPATA S.A.C, 2019.
46. RIVERA RIVERA, Carlos Javier, y otros. *Valoración económica del bofedal del distrito de quinua, Huamanga - Ayacucho.* Lima : Universidad Nacional Agraria La Molina , 2014.
47. SALVADOR PÉREZ, Flor de María y CANO ECHEVARRÍA, Asunción. *Lagunas y Oconales: los humedales del trópico andino.* Lima : Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
48. Carbonell, F. *El valor de los Bofedales, humedales postergados del Perú: Estudio de Caso en Tacna.* Heredia : MERALVIS, 2002. *Informe técnico de investigación.*
49. MINAM. *Guía de evaluación del estado del ecosistema del bofedal.* Lima : MINAM, 2019.
50. INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y ECOSISTEMAS DE MONTAÑA. *Bofedales: características y su importancia frente al cambio climático.* Lima : s.n., 2019.
51. SERVICIO NACIONAL DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS POR EL ESTADO PERUANO. *Documento de trabajo 5. Áreas de conservación regional.* Lima : SERNANP, 2013. Vol. 1, 1.
52. MINAM. *Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado.* [En línea] 23 de marzo de 2022.
53. GORE Junin. *Plan maestro del área de conservación regional Huaytapallana.* s.l. : Huancayo, 2014.
54. GIDAHATARI. *El ciclo hídrico en cuencas andinas.* Lima : Hatari-Tolks, 2016.
55. SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ. *Balance hídrico superficial . Cuenca del río Chicama.* Lima : SENAMHI, 2003.
56. GeoEstudios. *Glaciares y los ecosistemas de montaña: Las importantes tareas pendientes.* Chile : GEOESTUDIOS, 2019.
57. ARIAS, Fidias. *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica.* [ed.] Dayanian Rengifo. Séptima. Caracas : Editorial Episteme, 2016.

58. GALLARDO ECHENIQUE, Eliana Esther. *Metodología de la investigación: manual autoformativo interactivo*. Huancayo : Universidad Continental, 2017.
59. BAENA PAZ, Guillermina. *Metodologia de la investigación*. [ed.] Baena Paz Guillermina María Eugenia. México: Grupo Editorial Patria, 2017. ISBN 978-607-744-748-1.
60. HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto, FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos y BAPTISTA LUCIO, Pilar. *Metodología de la investigación*. [ed.] McGRAW-HILL. Sexta. México : Interamericana Editores, 2014.
61. OLAYA, Víctor. *Sistemas de informacion geográfica*. s.l. : Creative Common Atribución, 2014.
62. INAIGEM. *Informe de la situación de los glaciares y ecosistemas de montaña*. Huaraz : INAIGEM - Direccion de Información y Gestión del Conocimiento, 2017.
63. SZRETTTER NOSTE, María Eugenia. *Apunte de regresión lineal carrera de especialización en Estadística para Ciencias de la Salud Facultad de Ciencias Exactas y Naturales*. Buenos Aires : Universidad de Buenos Aires, 2013.
64. Ø. MINAM . [En línea] 18 de agosto de 2022. [Citado el: 18 de agosto de 2022.] <https://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/glosario-de-terminos/>.
65. PEÑA , P. y MENDOZA, T. . *Efecto de la desglaciación del nevado Huaytapallana sobre el rendimiento hídrico - Sub cuenca río Shullcas influenciado por la variación climática 1985 - 2011*. Huancayo: UNCP, 2013.
66. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN. *Atlas de glaciares y aguas andinos. El impacto del retroceso de los glaciares sobre los recursos hídricos*. Paris : UNESCO y GRID-Arendal, 2018. O ISBN 978-92-3-300103-9.
67. D., GROCH y COGLIATI, Marisa Gloria. *Variación temporal de glaciares en la cordillera del Viento*. Argentina : Universidad Nacional del Comahue, 2017. ISSN: 978-950-34-1471-2.

ANEXOS

Anexo 1. Cartografía del Área de conservación Regional Huaytapallana

Tabla 8.

Listado de Puntos de delimitación del ACR Huaytapallana

COORDENADAS UTM			COORDENADAS UTM		
Punto N°	ESTE	NORTE	Punto N°	ESTE	NORTE
1	491 776,0037	8 697 712,3725	21	504 775,8229	8 684 631,4061
2	491 776,0038	8 696 631,2377	22	503 775,8369	8 684 631,4060
3	492 775,9899	8 696 631,2377	23	503 775,8368	8 682 685,9439
4	492 775,9898	8 697 631,2237	24	503 643,0000	8 682 660,0000
5	493 775,9760	8 697 631,2238	25	502 379,6907	8 680 614,7682
6	493 775,9759	8 698 349,6479	26	501 023,0000	8 676 105,0000
7	495 853,7583	8 692 631,2938	27	497 212,0362	8 677 631,5049
8	494 775,9624	8 692 631,2938	28	493 775,9772	8 677 631,5048
9	494 775,9624	8 691 631,3077	29	493 775,9772	8 677 040,0420
10	495 775,9486	8 690 631,3218	30	491 776,0054	8 676 371,8491
11	498 973,3450	8 688 321,5420	31	491 776,0048	8 683 631,4199
12	499 092,9924	8 690 792,4096	32	490 776,0188	8 683 631,4199
13	498 775,9068	8 690 804,5915	33	490 776,0184	8 687 631,3635
14	498 775,9067	8 691 631,3078	34	489 305,3590	8 687 631,3634
15	496 775,9346	8 691 631,3078	35	488 776,0461	8 689 412,5149
16	496 815,9364	8 691 731,4683	36	488 776,0458	8 692 631,2933
17	501 775,8650	8 692 730,1442	37	487 776,0597	8 692 631,2932
18	501 775,8650	8 692 631,2938	38	487 776,0594	8 694 631,2652
19	501 946,3296	8 692 631,2938	39	488 776,0456	8 694 631,2653
20	504 775,7287	8 687 781,7904	40	488 776,0454	8 696 033,1776

Nota: MINAM 2011 (Memoria descriptiva del Decreto Supremo N° 018-2011-MINAM)

Anexo 2. Puntos de muestro

Tabla 9.

Validación de superficie de bofedal en gabinete y campo, e identificación del NDVI

ID Puntos de muestro	Coordenadas UTM		Validación de superficie de bofedal		NDVI
			Gabinete	Campo	
	X	Y			
P1	493366.734	8690058.47	si	si	0.72
P2	493703.945	8690994.71	si	si	0.79
P3	493619.563	8690701.16	si	si	0.76
P4	493628.588	8691581.8	si	no	0.71
P5	493302.299	8689684.76	no	si	0.8
P6	493265.421	8689798.98	si	si	0.73
P7	493525.472	8689324.64	si	si	0.78
P8	493508.72	8690215.68	si	si	0.78
P9	493450.33	8689627.07	si	si	0.76

ID Puntos de muestreo	Coordenadas UTM		Validación de superficie de bofedal		NDVI
	X	Y	Gabinete	Campo	
P10	493407.768	8690285.63	si	no	0.74
P11	493651.52	8691737.8	si	no	0.72
P12	493309.08	8689857.02	si	si	0.79
P13	493635.405	8690490.97	no	no	0.64
P14	493423.512	8689743.89	si	no	0.76
P15	493519.466	8689535.14	si	no	0.79
P16	493765.948	8691076.65	si	si	0.72
P17	493626.901	8689278.57	no	no	0.67
P18	493509.67	8690410.01	si	no	0.78
P19	493809.259	8691416.57	no	no	0.76
P20	493604.943	8690590.19	si	si	0.69
P21	493327.46	8689500.17	si	si	0.79
P22	493643.829	8690545.59	si	si	0.7
P23	493763.812	8691602.63	si	no	0.81
P24	493759.729	8691199.35	si	si	0.78
P25	493655.603	8691295.77	si	si	0.74
P26	493625.154	8691083.41	si	si	0.75
P27	493574.457	8690685.42	no	si	0.69
P28	493654.646	8691522.57	si	no	0.73
P29	493356.726	8689426.74	si	si	0.77
P30	493588.234	8690809.87	si	si	0.72
P31	493305.112	8689543.57	no	no	0.79
P32	493622.025	8690765.22	si	si	0.74
P33	493716.115	8691262.95	si	si	0.77
P34	493288.434	8689833.38	si	si	0.75
P35	493695.734	8690684.03	no	si	0.67
P36	493659.832	8690587.39	si	no	0.71
P37	493524.267	8689575.63	si	no	0.78
P38	493743.898	8691111.45	si	si	0.74
P39	493412.722	8689669	si	si	0.79
P40	493777.575	8691474.8	si	no	0.75
P41	493627.506	8690859.29	si	si	0.76

ID Puntos de muestreo	Coordenadas UTM		Validación de superficie de bofedal		NDVI
	X	Y	Gabinete	Campo	
P43	493724.97	8691439.23	si	si	0.73
P44	493635.027	8690932.71	si	si	0.76
P45	493710.494	8691743.71	no	no	0.64
P46	493346.702	8690114.34	si	no	0.81
P47	493350.322	8689782.35	si	si	0.78
P48	493347.042	8689910.15	si	si	0.78
P49	493590.03	8691025.33	si	si	0.77
P50	493690.151	8691531.6	si	si	0.72
P51	493810.275	8691183.5	si	si	0.75

Anexo 3. Detalle de imágenes satelitales empleadas en el estudio

N	Fecha de adquisición	Código	% de nubosidad	Sensor	Resolució n (m)
1	27/05/2020	LC08_L1TP_006068_20200527_20200608_ 01_T1	1.88	OLI_TIR S	30
2	12/07/2019	LC08_L1TP_006068_20200527_20200608_ 01_T1	12.59	OLI_TIR S	30
3	22/07/2017	LC08_L1TP_006068_20170722_20170728_ 01_T1	11.68	OLI_TIR S	30
4	17/06/2016	LC08_L1TP_006068_20160617_20170323_ 01_T1	5.61	OLI_TIR S	30
5	11/07/2013	LC08_L1TP_006068_20130711_20170503_ 01_T1	16.51	OLI_TIR S	30
6	07/08/2011	LT05_L1TP_006068_20110807_20161007_ 01_T1	15	TM	30
7	30/06/2009	LT05_L1TP_006068_20090630_20161024_ 01_T1	10	TM	30
8	09/08/2006	LT05_L1TP_006068_20060809_20161119_ 01_T1	12	TM	30
9	03/06/2005	LT05_L1TP_006068_20050603_20161125_ 01_T1	14	TM	30
10	16/07/2003	LT05_L1TP_006068_20030716_20161205_ 01_T1	14	TM	30

N o	Fecha de adquisición	Código	% de nubosida d	Sensor	Resolució n (m)
11	24/06/2001	LT05_L1TP_006068_20010624_20161210_01_T1	10	TM	30
12	29/07/1999	LE07_L1TP_006068_19990729_20170218_01_T1	6	ETM	30
13	15/07/1997	LT05_L1TP_006068_19970715_20161231_01_T1	7	TM	30
14	26/07/1995	LT05_L1TP_006068_19950726_20170108_01_T1	5	TM	30
15	07/07/1994	LT05_L1TP_006068_19940707_20170113_01_T1	23	TM	30
16	25/05/1990	LT05_L1TP_006068_19900525_20170130_01_T1	5	TM	30

Anexo 4. Resultados estadísticos de correlación a nivel de cuencas

Figura 5

Correlación de variables a nivel de la cuenca 1

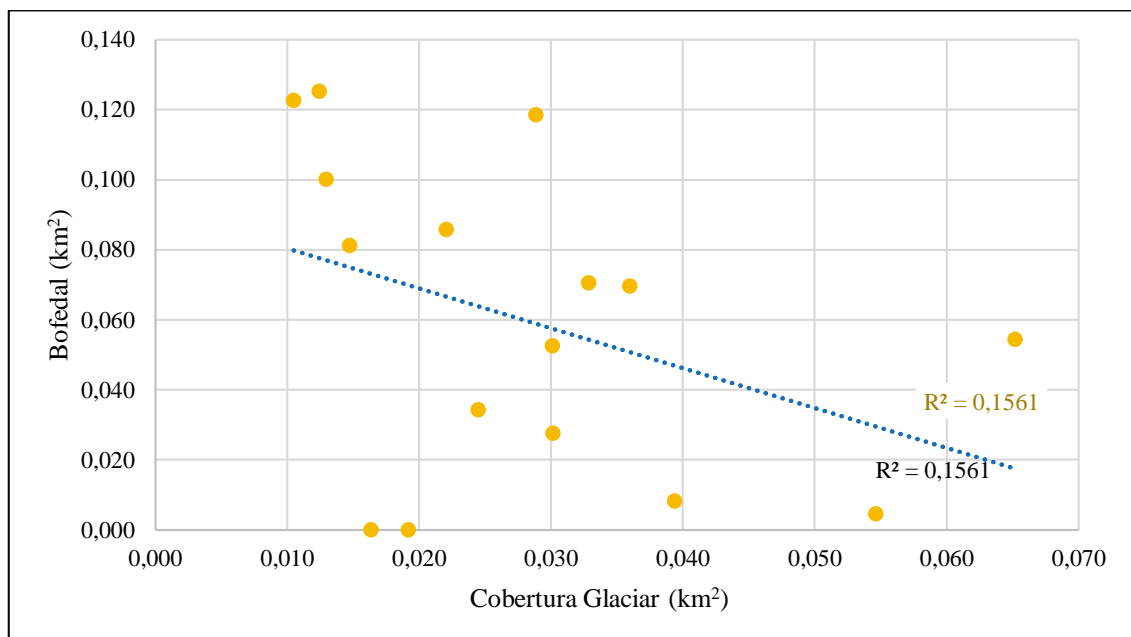


Figura 6

Correlación de variables a nivel de la cuenca 2

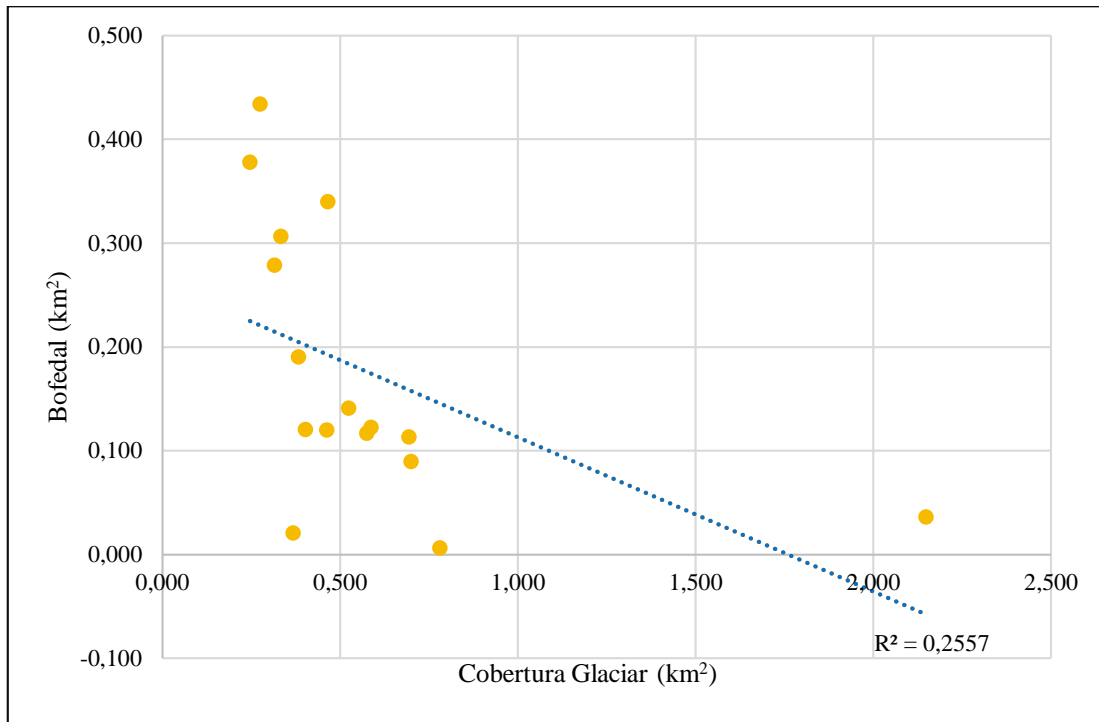


Figura 7

Correlación de variables a nivel de la cuenca 3

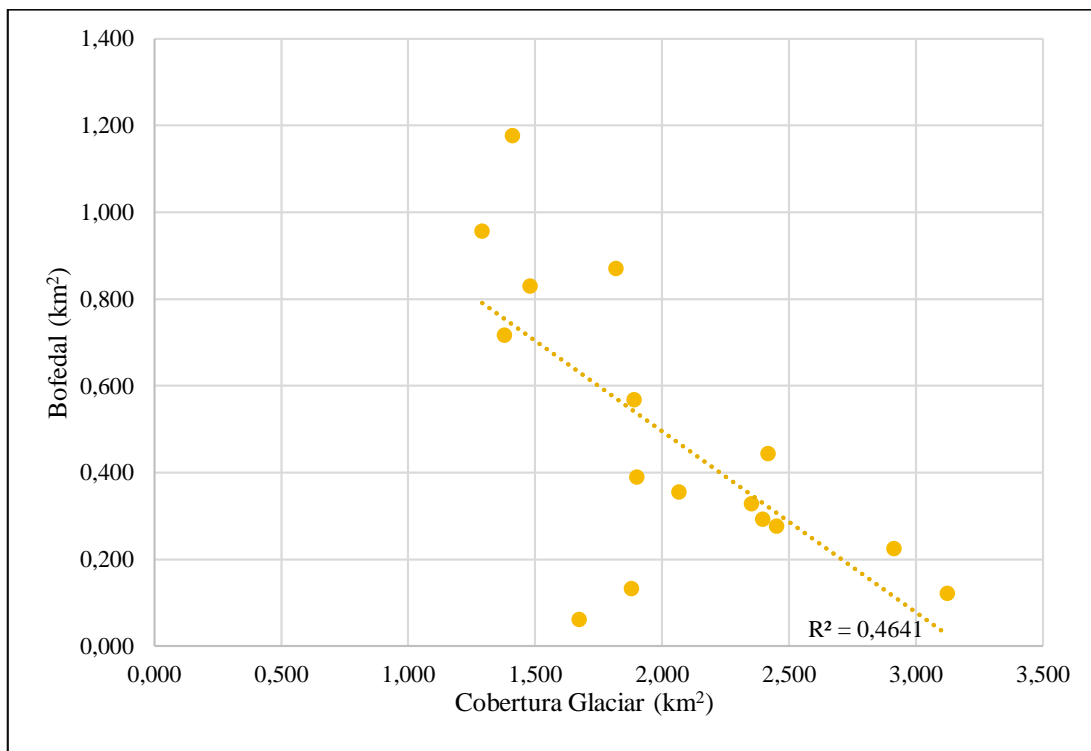


Figura 8

Correlación de variables a nivel de la cuenca 4

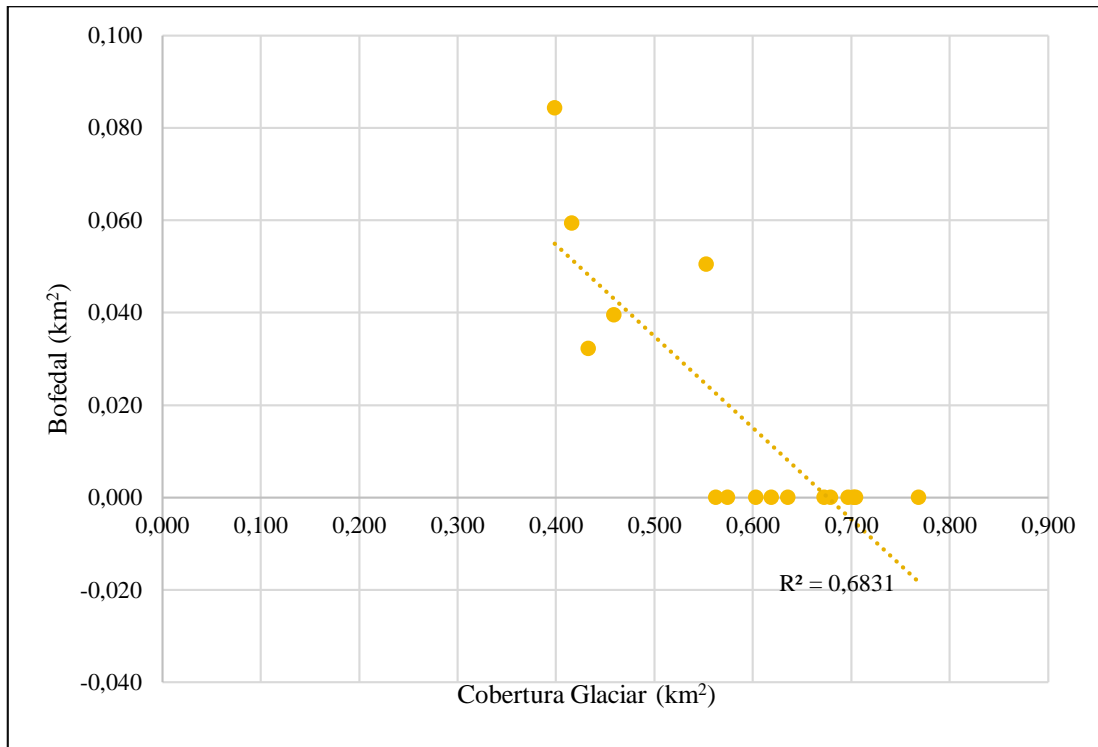


Figura 9

Correlación de variables a nivel de la cuenca 5

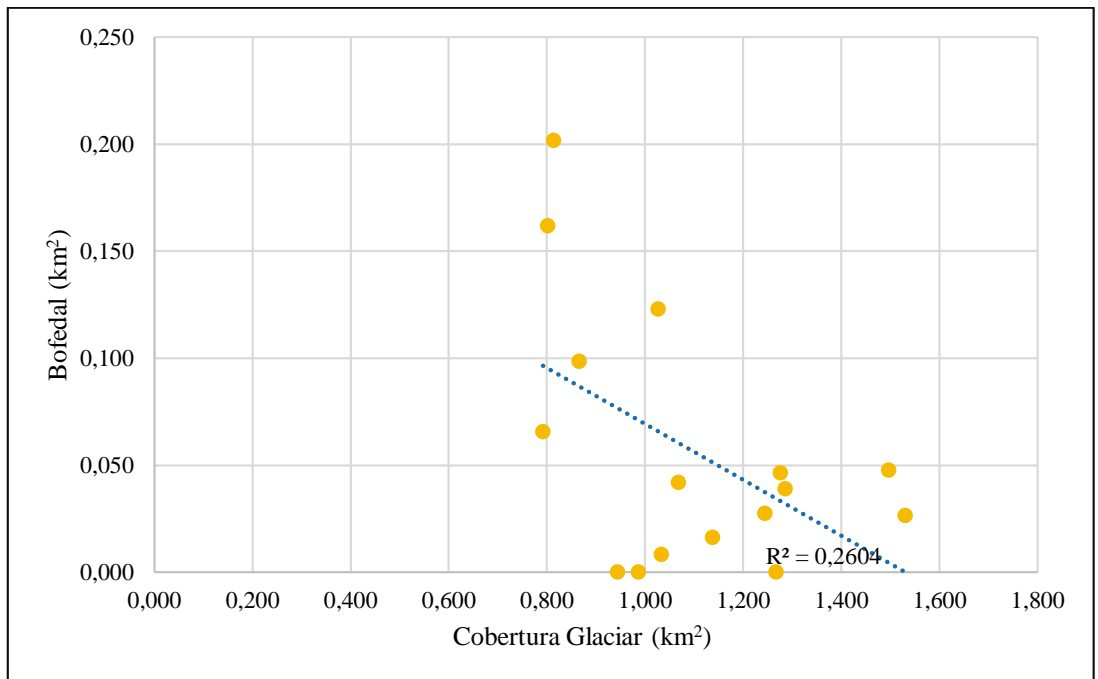


Figura 10

Correlación de variables a nivel de la cuenca 6

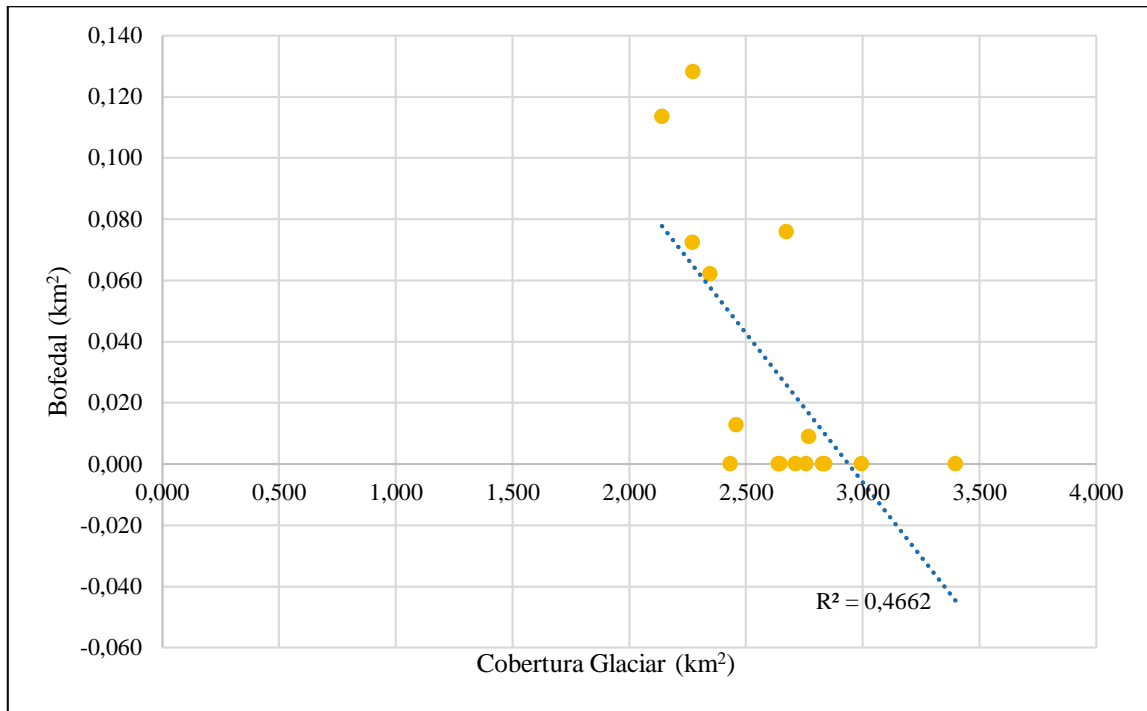


Figura 11

Correlación de variables a nivel de la cuenca 7

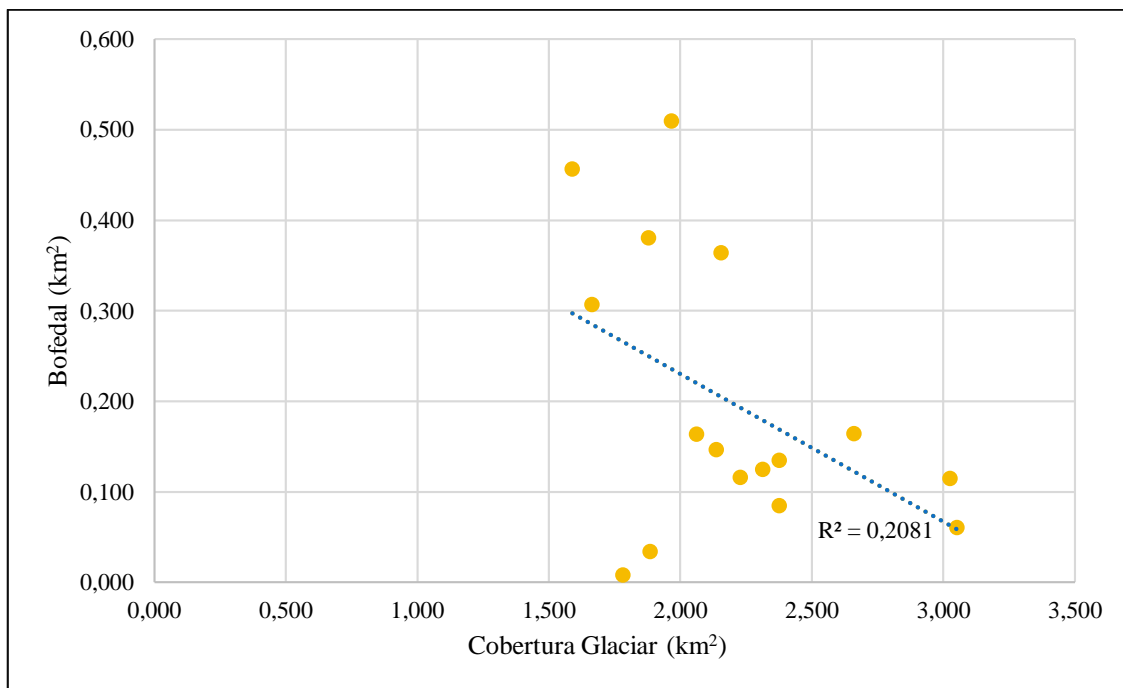


Figura 12

Correlación de variables a nivel de la cuenca 8

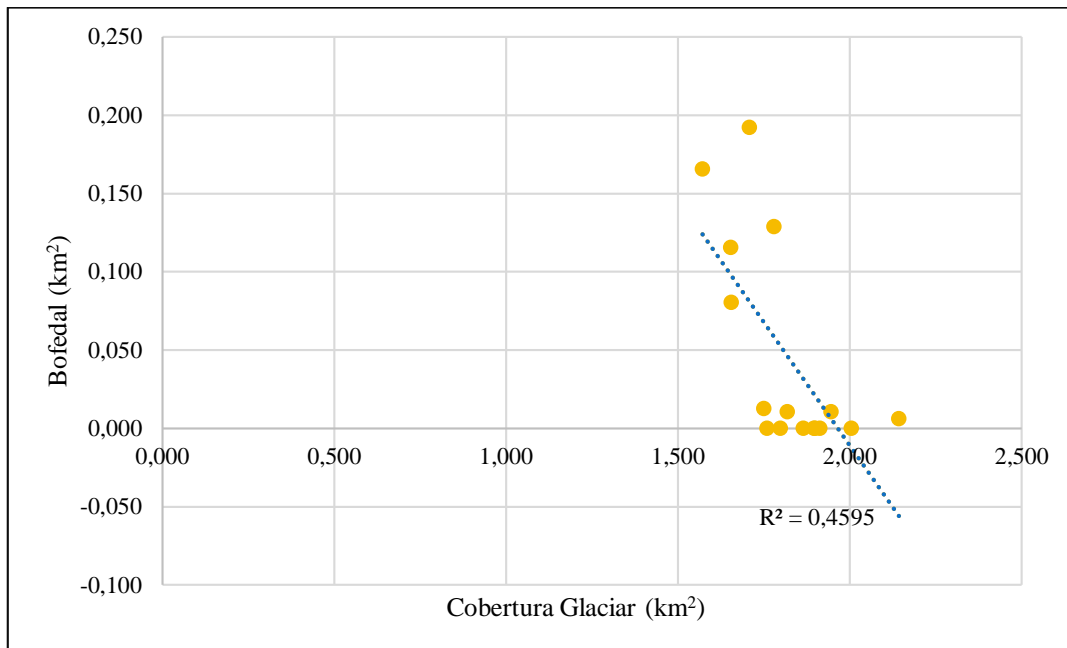


Figura 13

Correlación de variables a nivel de la cuenca 9

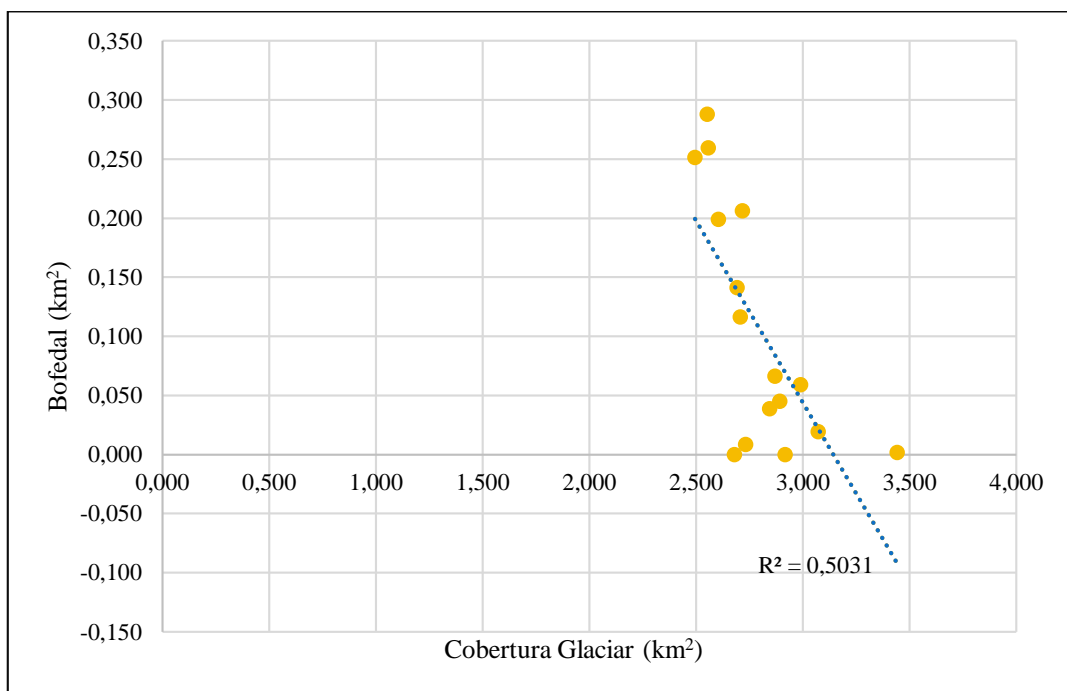


Figura 14

Correlación de variables a nivel de la cuenca 10

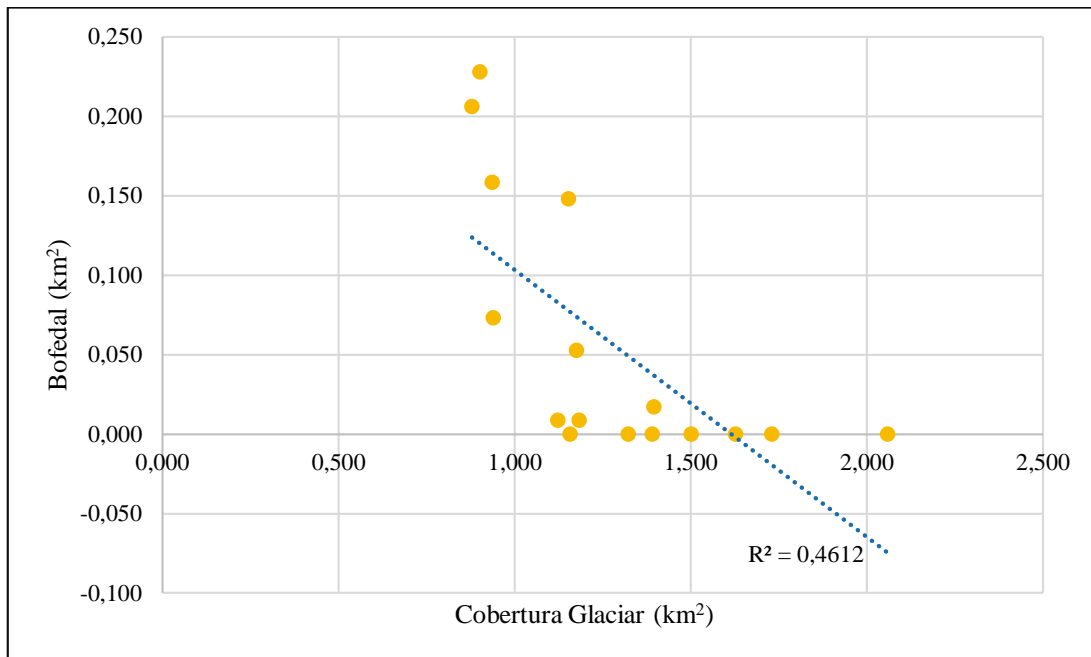


Figura 15

Correlación de variables a nivel de la cuenca 11

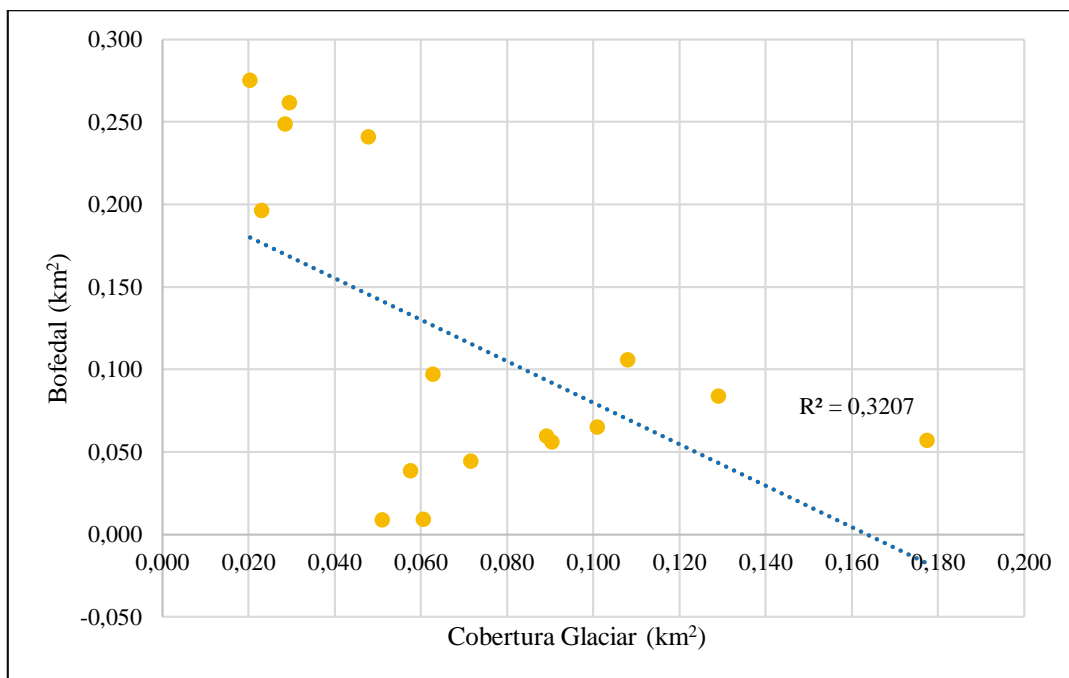
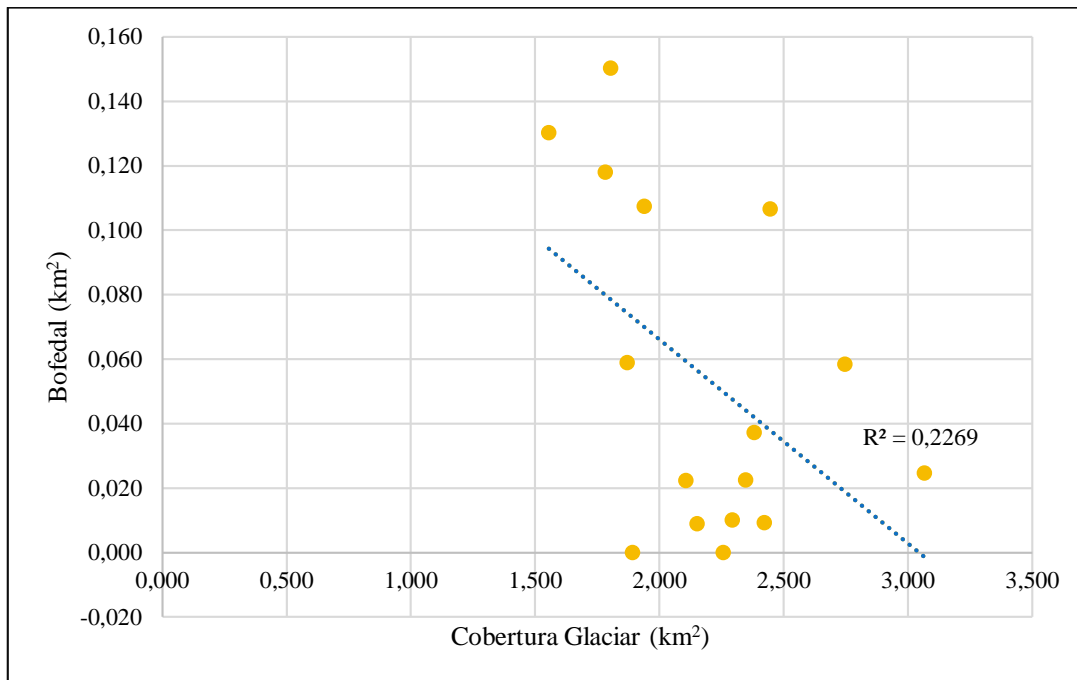


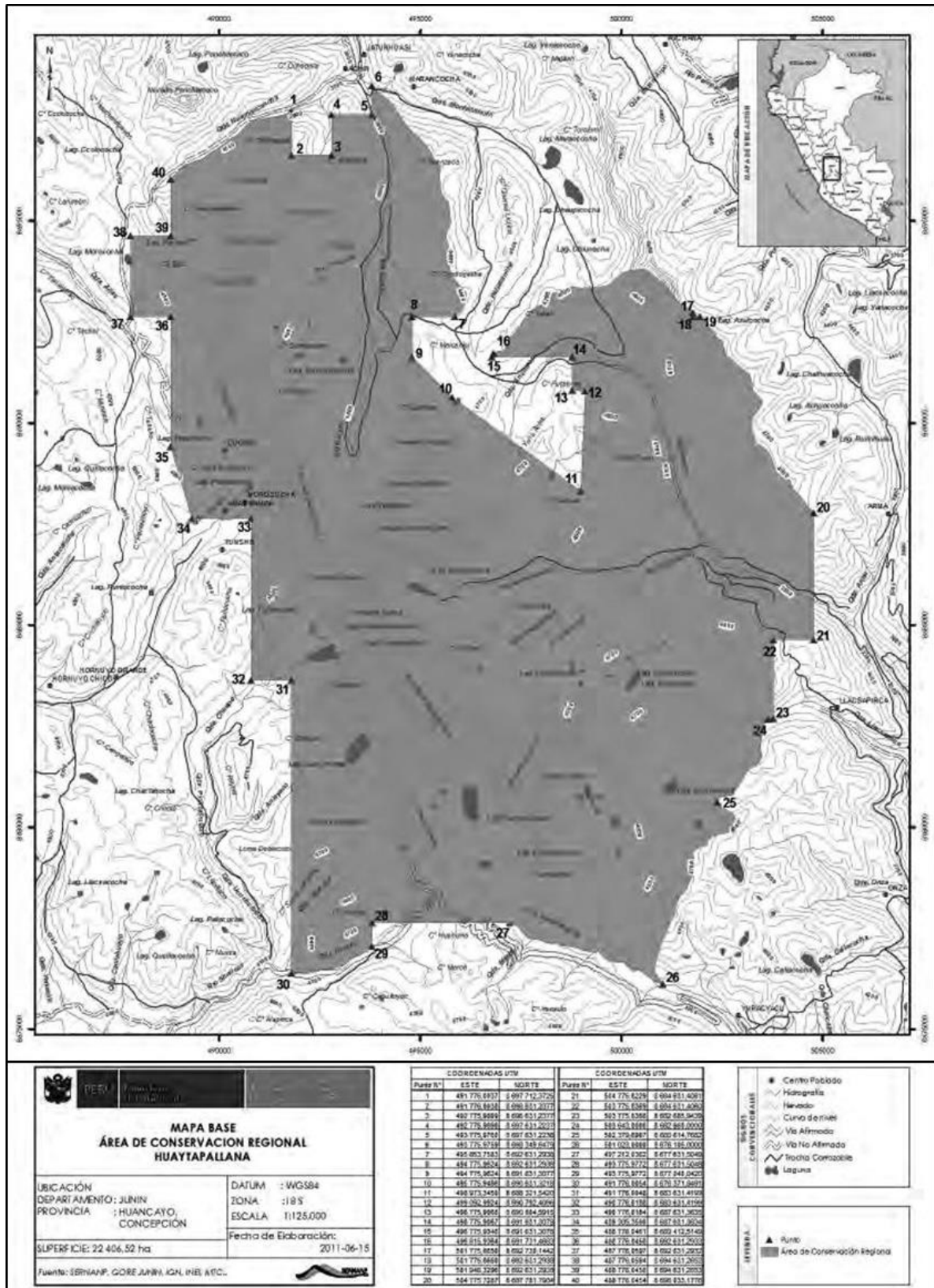
Figura 16

Correlación de variables a nivel de la cuenca 12



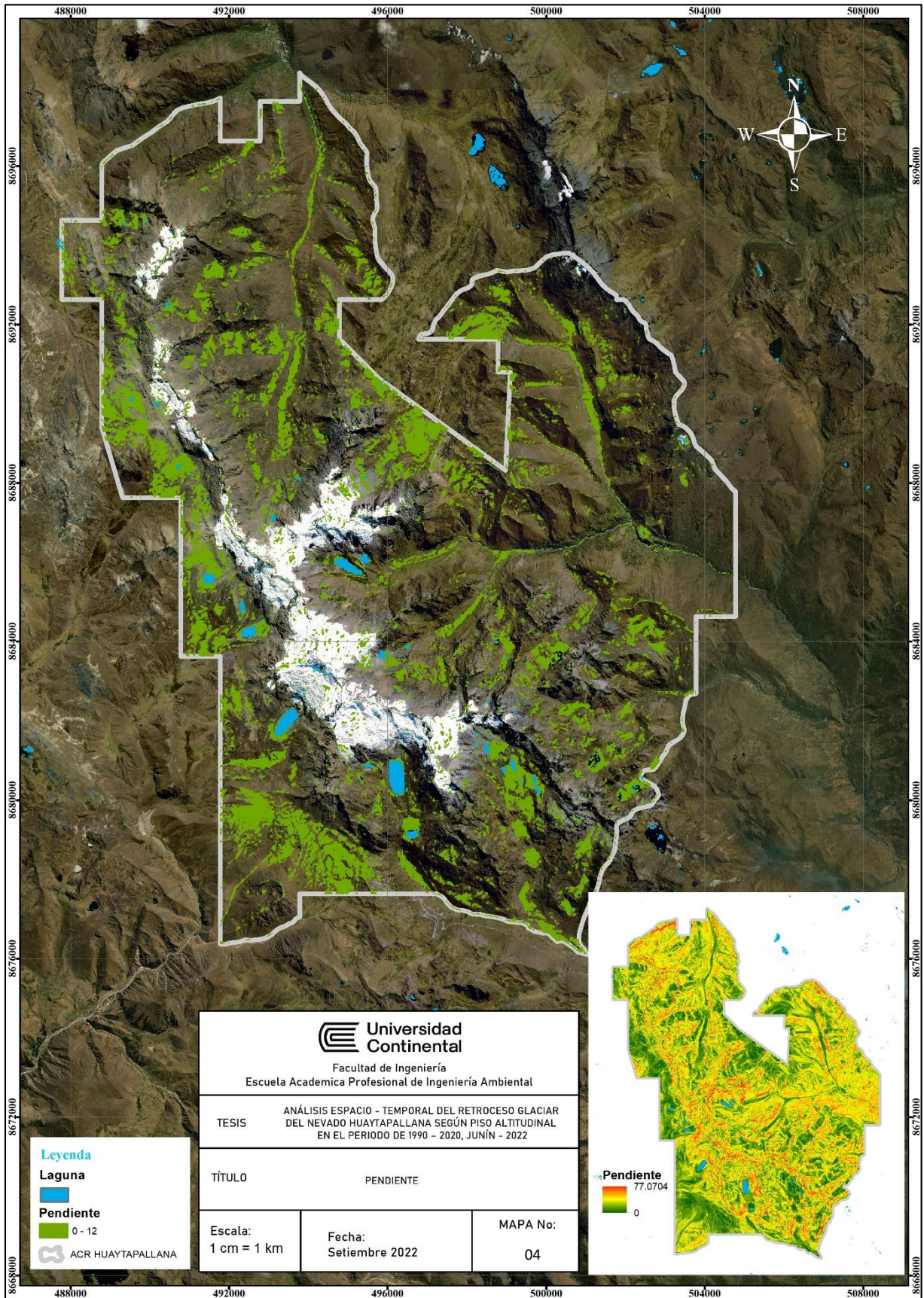
Anexo 5. Mapas

Mapa 3. Área de estudio – Área de Conservación Regional – ACR Huaytapallana

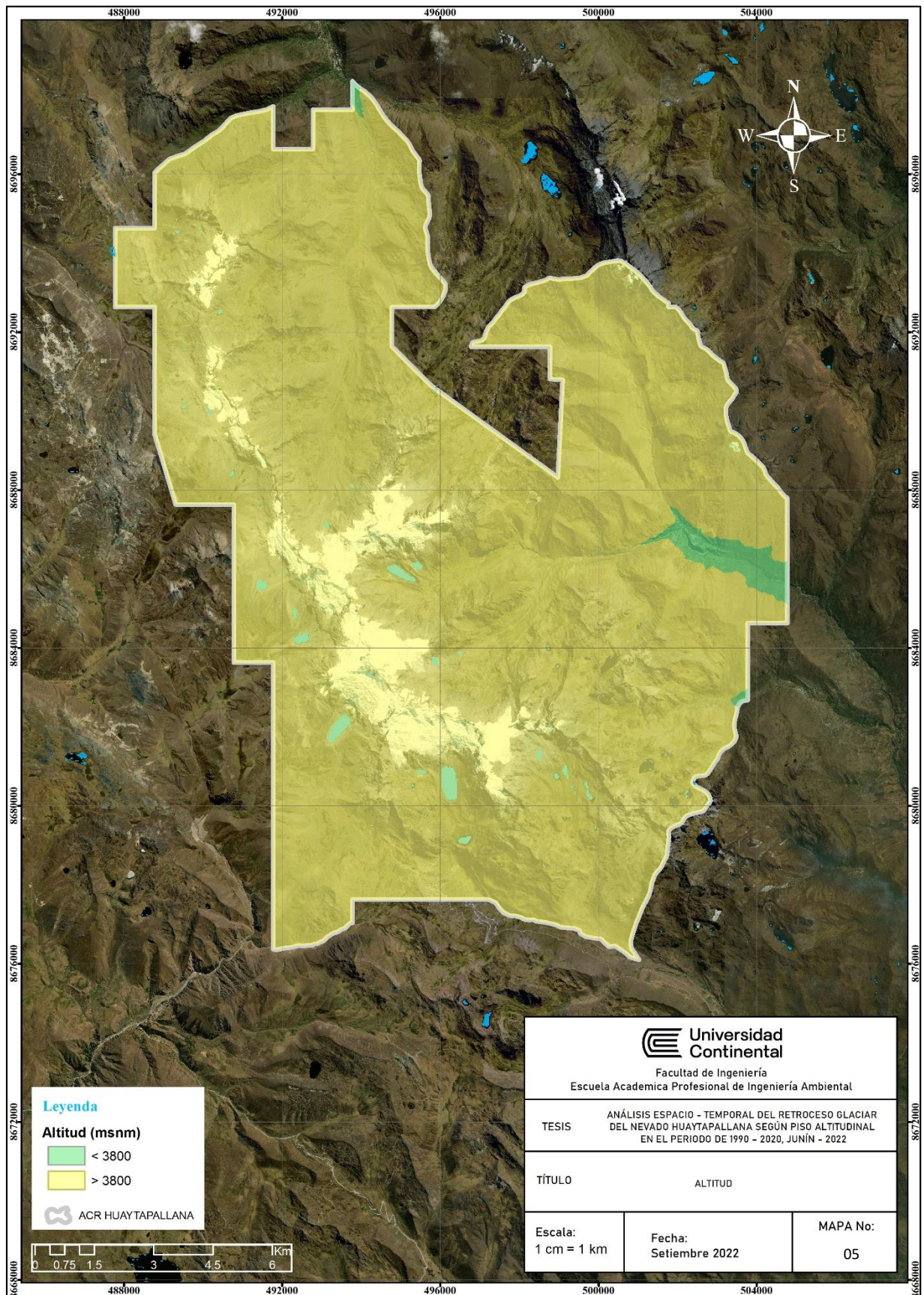


Nota: MINAM 2011 (Memoria descriptiva del Decreto Supremo N° 018-2011-MINAM) (53)

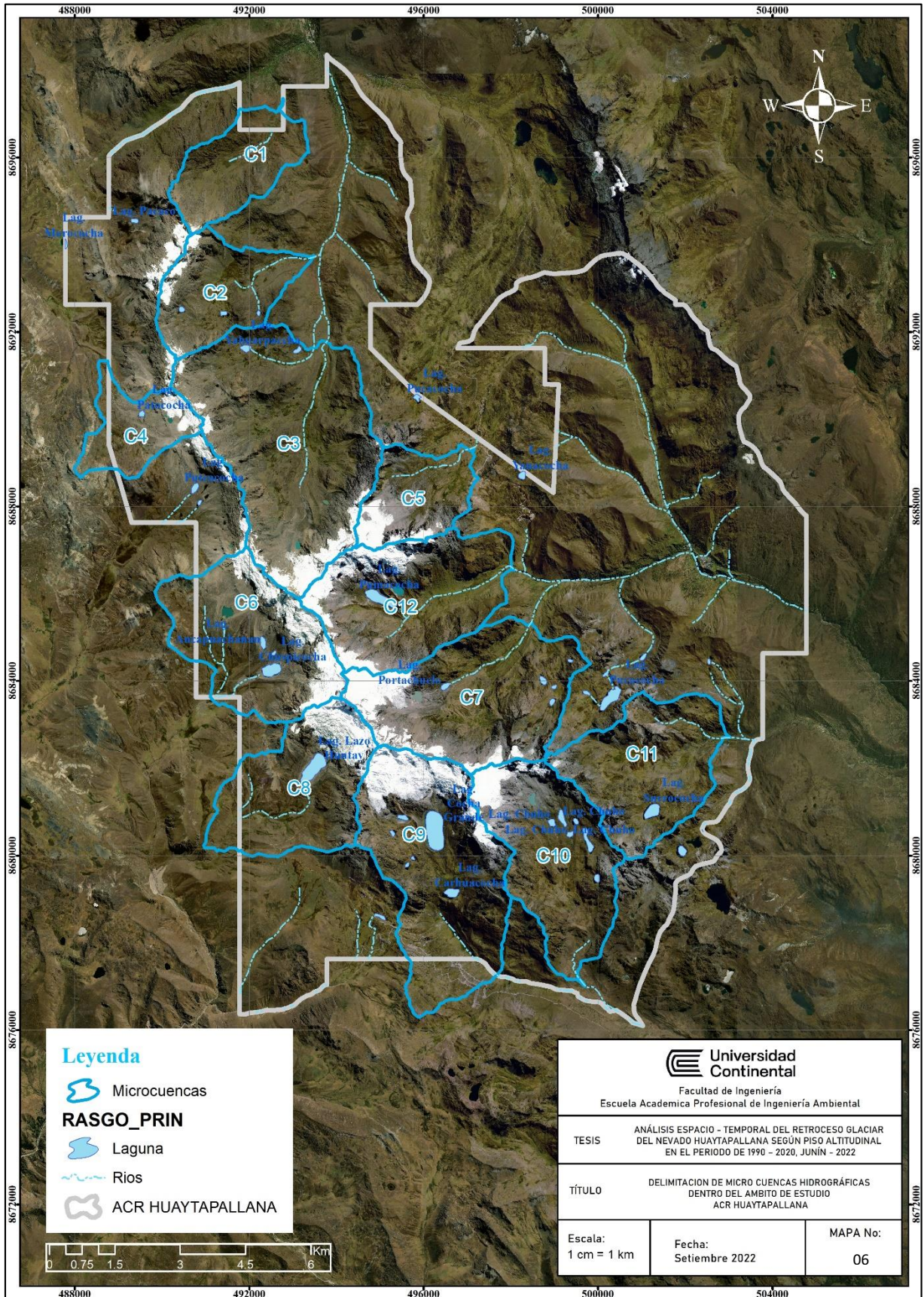
Mapa 4. Pendiente



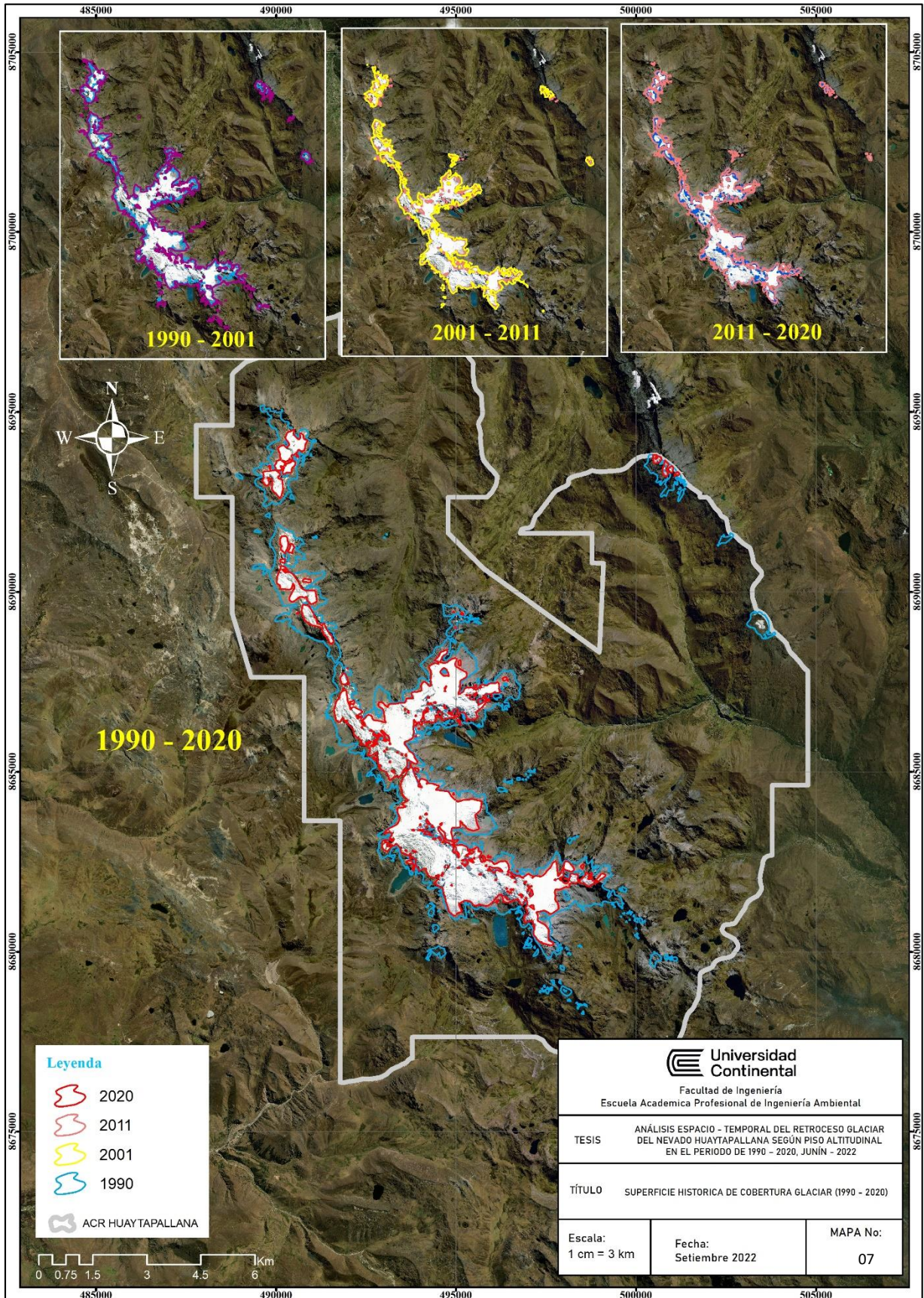
Mapa 5. Altitud



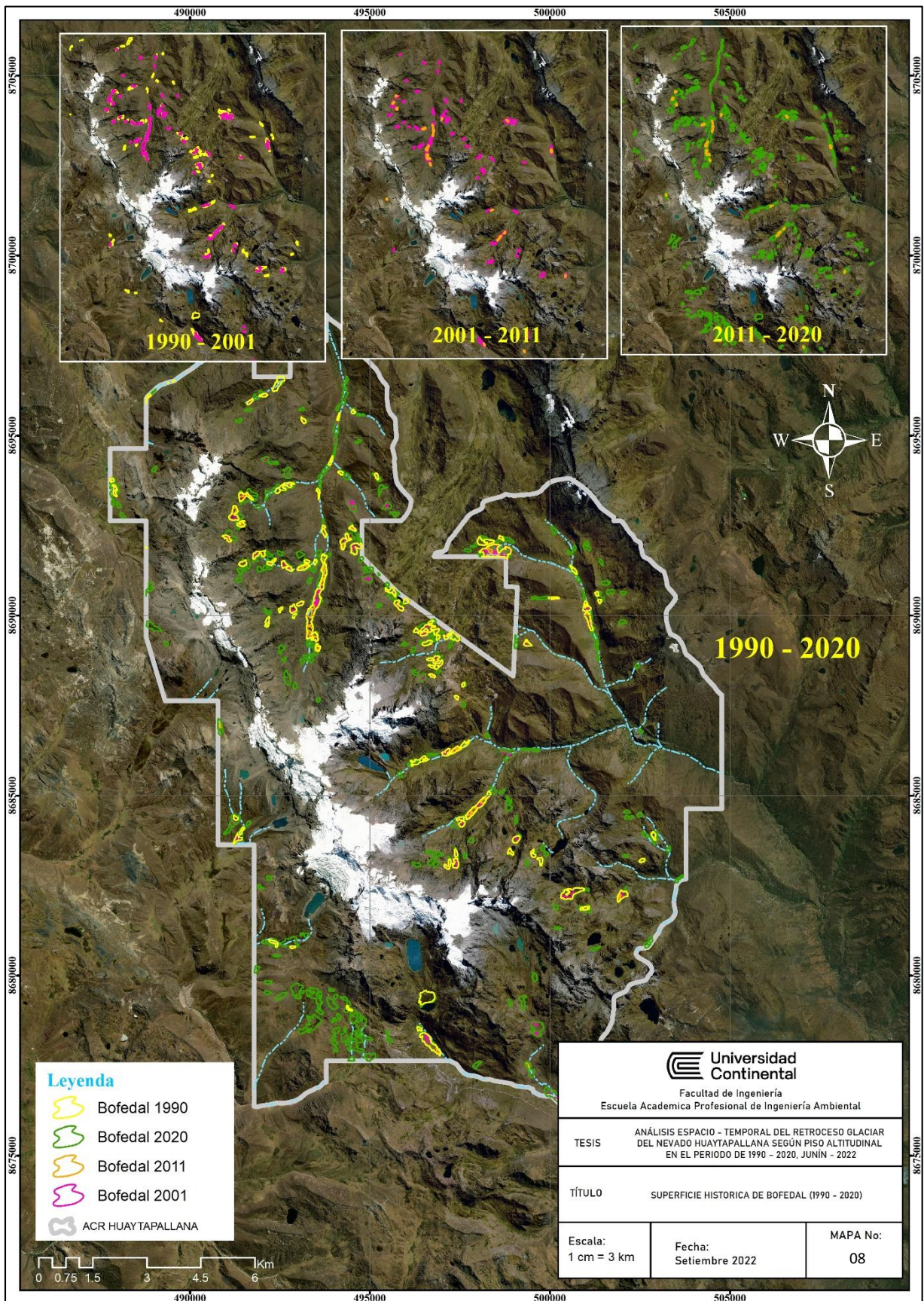
Mapa 6. Delimitación de microcuencas hidrográficas dentro del ámbito de estudio



Mapa 7. Superficie histórica de cobertura glaciar 1990 – 2020



Mapa 8. Superficie histórica de bofedal 1990 – 2020



Mapa 9. Valores de Correlación de Pearson y de regresión lineal a nivel de cuencas

