

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**Análisis Multitemporal del albedo y retroceso glaciar bajo
escenarios de cambio climático en la Cordillera Apolobamba**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autores:

Evo Alejandro Eloy Larico Flores

Abner Mendoza Llacho

Asesor:

MSc. Loayda Abigail Condori Turpo

Juliaca, febrero de 2026

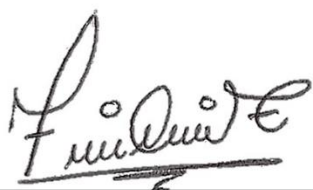
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Msc. Loayda Abigail Condori Turpo, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: “**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL ALBEDO Y RETROCESO GLACIAR BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CORDILLERA APOLOBAMBA**” de los autores **Evo Alejandro Eloy Larico Flores** y **Abner Mendoza Licho** tiene un índice de similitud 8% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 06 días del mes de febrero del año 2026.



MSc. Loayda Abigail Condori Turpo

Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a... 06 ... día(s) del mes de... febrero ... del año 20... 20 ... las... 11:00 ... horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección de (de la) presidente(a):

Msc. Enrique Mamani Cuela el (la) secretario(a): Ing. Verónica Haydee Pari Mamani y los demás miembros: Msc. Miguel Ángel Salcedo Enríquez y Mtro. Juan Eduardo Ugo Rivora y el (la) asesor(a) Msc. Jocayda Abigail Condori Turpo

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: "Análisis Multitemporal del albedo y retroceso glaciar bajo escenarios de cambio climático en la Cordillera Apolobamba"

del(los) bachiller(es): a) Evo Alejandro Eloy Larico Flores
 b) Abner Mendoza Lacho
 c)

conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero Ambiental
(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado. Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Evo Alejandro Eloy Larico Flores

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>17</u>	<u>B+</u>	<u>Muy Bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

Bachiller (b): Abner Mendoza Lacho

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>17</u>	<u>B+</u>	<u>Muy Bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

Bachiller (c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior
 Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

[Firma] Presidente/a
[Firma] Asesor/a
[Firma] Bachiller (a)
[Firma] Miembro
[Firma] Miembro
[Firma] Bachiller (b)
[Firma] Secretario/a
[Firma] Miembro
[Firma] Bachiller (c)

INDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	7
2. METODOLOGÍA.....	8
2.1. Área de Estudio	8
2.2. Determinación del retroceso glaciar mediante el procesamiento de imágenes satelitales	10
2.3. Cálculo del índice de Temperatura Terrestre (LST)	11
2.3.1 Cálculo del NDVI	12
2.3.2 Cálculo de vegetación fragmentada.....	12
2.3.3 Cálculo de Emisividad.	13
2.4. Cálculo del índice Diferencial Normalizado de Nieve (NDSI).....	14
2.5. Determinación de Albedo de Superficie (SA)	14
2.6. Análisis de Datos climáticos	16
2.7. Análisis de estimación futura de retroceso glaciar.	16
3. RESULTADOS.....	17
3.1. Determinación del retroceso glaciar mediante imágenes satelitales	17
3.2. Tendencias de variabilidad climática y su relación con el retroceso glaciar - Análisis climático	20
3.3. Determinación de Superficie de Albedo.....	21
3.4. Proyección futura del retroceso glaciar.....	23
4. DISCUSIONES.....	24
5. CONCLUSIÓN	28
6. REFERENCIAS.....	30

Análisis Multitemporal del albedo y retroceso glaciar bajo escenarios de cambio climático en la Cordillera Apolobamba

Resumen:

Este estudio evalúa la evolución del retroceso glaciar y los cambios en el albedo superficial en la Cordillera Apolobamba entre 1990 y 2024, integrando series multitemporales Landsat 5, 7 y 8 (TM, ETM+, OLI), índices espectrales (NDSI, NDVI) y estimaciones de albedo derivadas de reflectancia superficial procesadas en Google Earth Engine y validadas en Sistemas de Información Geográfica. Los resultados muestran una disminución de 58.23 % del área glaciar y una tendencia lineal altamente significativa $R^2 = 0.9037$, equivalente a una pérdida media de 0.89 km² año. La trayectoria temporal del albedo evidencia un progresivo oscurecimiento superficial, compatible con la reducción de nieve estacional, incremento de detritos y mayor exposición de hielo envejecido. El análisis climático complementario indica una tendencia de enfriamiento débil pero significativa, junto con un incremento sostenido de precipitación, lo que sugiere un desacoplamiento parcial entre los forzantes atmosféricos y la respuesta criosférica. La proyección lineal estima que el sistema glaciar podría reducirse a menos de 10 km² hacia 2040 y aproximarse al colapso antes de 2050. Estos hallazgos confirman que Apolobamba constituye uno de los sistemas glaciares tropicales más vulnerables de Los Andes Peruanos, con implicancias críticas para la disponibilidad hídrica y la gestión de riesgos.

Palabras clave: Albedo, glaciar, Apolobamba, superficies de reflectancia, precipitación, NDVI, NDSI