

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

Unidad de Posgrado de Ingeniería y Arquitectura



**Impacto del cambio climático en la estabilidad de los servicios
ecosistémicos frágiles del altiplano peruano**

Trabajo de Investigación para obtener el Grado Académico de Maestro(a) en
Ingeniería Ambiental y Desarrollo Sostenible

Autores:

Pedro Víctor Quispe Apaza
Mónica Silvia Sucasara Adco

Asesor:

Dr. Alex Ruben Huamán De la Cruz

Lima, noviembre de 2025

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Yo Alex Ruben Huamán De la Cruz, docente de la Unidad de Posgrado de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Posgrado de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ESTABILIDAD DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS FRÁGILES DEL ALTIPLANO PERUANO”** de los autores Pedro Victor Quispe Apaza y Mónica Silvia Sucasara Adco tiene un índice de similitud de 15 % 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 20 días del mes de noviembre del año 2025.



Dr. Alex Ruben Huamán De la Cruz

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Lima, Ñaña, Villa unión a 20 días del mes de noviembre del año 2025, siendo las 09:00 horas, se reunieron de forma online sincrónica, bajo la dirección del presidente del jurado MSc. Fredy Abel Huanca Torres, secretario PhD. Javier Linkolk López Gonzales; los demás miembros: Mg. Junior Israel Pacheco Espinoza, Mg. Iselli Josylin Nohely Murga Gonzalez y el asesor Dr. Alex Ruben Huamán De la Cruz, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de trabajo de investigación de la maestría, titulado "Impacto del cambio climático en la estabilidad de los servicios ecosistémicos frágiles del altiplano peruano", conducente a la obtención del Grado Académico de Maestro en Ingeniería Ambiental y Desarrollo Sostenible.

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

Candidatos: Mónica Silvia Sucasara Adco y Pedro Victor Quispe Apaza

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	18	A-	Con nominación de Muy Bueno	Sobresaliente

Finalmente, el Presidente del Jurado invitó a los candidatos a ponerse de pie, para recibir la evaluación final. Además, el Presidente concluyó el acto académico de sustentación, procediéndose a registrar a registrar las firmas respectivas.

Presidente

Secretario

Asesor

Miembro

Miembro

Candidato

Candidato

INDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. METODOLOGÍA.....	9
2.1. Área de estudio.....	9
2.2. Información climática	10
2.3. Tratamiento y validación de datos climáticos	11
2.4. Evaluación de los servicios ecosistémicos	11
2.4.1 Servicio ecosistémico de retención de agua	12
2.4.2 Servicio ecosistémico de retención de suelo	13
2.4.3 Servicio ecosistémico de purificación del agua.	13
2.5. Análisis de escenarios	14
3. RESULTADOS	14
3.1. Cambio de la climatología.....	14
3.2. Servicios ecosistémicos bajo escenarios	15
3.2.1 Rendimiento anual de agua	15
3.2.2 Retención de suelo	16
3.2.3 Purificación de agua	17
3.3. Variabilidad de los servicios	19
3.3.1 Variaciones de los servicios sobre los escenarios climáticos	20
4. DISCUSIONES.....	23
5. CONCLUSIÓN.....	26
6. REFERENCIAS	27

Impacto del cambio climático en la estabilidad de los servicios ecosistémicos frágiles del altiplano peruano

Resumen:

Los servicios ecosistémicos dependen directamente de ecosistemas que presentan alta susceptibilidad frente al cambio climático. Así, este estudio tuvo como objetivo analizar el impacto del cambio climático en la estabilidad de los servicios ecosistémicos frágiles del altiplano peruano, mediante un sistema de evaluación. Para ello, se utilizaron herramienta Valoración Integrada de Servicios Ecosistémicos y Compensaciones (InVEST), con escenarios basados en períodos temporales y rutas de concentración de emisiones (SSP), usando variables climáticas; temperatura y precipitación, modelo HadGEM3-GC31-L, además del uso de tierra y otros factores, empleando los modelos InVEST como; rendimiento hídrico, entrega de sedimentos y exportación de nutrientes. Los resultados indican que los servicios ecosistémicos frágiles; rendimiento de agua disminuye en 51.60 mm (escenario 1) a 37.23 mm (escenario 3). Además, la retención de suelo según el transporte de sedimentos, difiere de 2,049.59 tn/pixel (escenario 1) a 9,002.47 tn/pixel (escenario 3), a su vez la proporción de nutrientes muestra cambios en la exportación de nitrógeno que oscila entre 48,003.10 kg/pixel (escenario 1) a 11,043.40 kg/pixel (escenario 3) y exportación de fósforo redujo un 850.82 kg/pixel (escenario 1) a 243.65 kg/pixel (escenario 3). Por lo que evidencia las respuestas diferenciadas de estos servicios ante el cambio climático, siendo el recurso hídrico el más afectado, debido a la reducción de sus valores espaciales, lo que resulta significativo observar cómo cada variable respondió de manera diferenciada a estas alteraciones. En conclusión, el modelo genera evidencia crucial para fundamentar la toma de decisiones en gestión, mapeo y manejo de los servicios ecosistémicos altoandinos.

Palabras clave: Climatología, escenario climático, InVEST, modelado climático, servicios ecosistémicos frágiles