

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



**Efectos del cambio climático sobre los servicios ecosistémicos
altoandino en el área de influencia del nevado Allincajac – Perú**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Delia Margot Mendoza Luque
Pedro Victor Quispe Apaza

Asesor:

MSc. Renny Daniel Diaz Aguilar

Juliaca, diciembre de 2023

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Renny Daniel Diaz Aguilar, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS ALTOANDINO EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL NEVADO ALLINCAPAC – PERÚ”** de los autores **Delia Margot Mendoza Luque** y **Pedro Victor Quispe Apaza** tiene un índice de similitud de 9% 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 21 días del mes de diciembre del año 2023.



MSc. Renny Daniel Diaz Aguilar

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 21 día(s) del mes de diciembre del año 2023, siendo las 8:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Ing. Enrique Mamari Guela el (la) secretario(a): Msc. Loayda Abigail Gondoni Euzoa y los demás miembros: Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera - Ing. Verónica Naydeli Pari Mamari y el (la) asesor(a) Msc. Ronny Daniel Díaz Córdova

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: Efectos del cambio climático sobre los servicios ecosistémicos altoandinos en el área de influencia del mundo Allincapac - Perú

del(los) bachiller(es): a) Delia Margot Mendoza Liguero
 b) Pedro Víctor Quijse Apaza
 c) _____

conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero Ambiental

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s/ 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, 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): Delia Margot Mendoza Liguero

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

Bachiller (b): Pedro Víctor Quijse Apaza

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
[Firma]
 Secretaria
[Firma]
 Bachiller (a)

[Firma]
 Miembro
[Firma]
 Bachiller (b)

[Firma]
 Secretaria
[Firma]
 Miembro

 Bachiller (c)

INDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	7
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
2.1. Área de estudio.....	8
2.2. Información climática	9
2.3. Evaluación de los servicios ecosistémicos	9
2.4. Análisis de escenarios	11
3. RESULTADOS	11
3.1. Cambio de la climatología	11
3.2. Servicios ecosistémicos bajo escenarios	12
3.2.1. <i>Rendimiento anual de agua</i>	12
3.2.2. <i>Retención de suelo</i>	13
3.2.3. <i>Purificación de agua</i>	14
3.2.4. <i>Variabilidad de los servicios</i>	16
3.3. Variaciones de los servicios sobre los escenarios climáticos.....	16
4. DISCUSIÓN	19
5. CONCLUSIÓN	20
REFERENCIAS	21

Efectos del cambio climático sobre los servicios ecosistémicos altoandino en el área de influencia del nevado Allincajac – Perú

RESUMEN

Los servicios ecosistémicos tienen una relación directa con los ecosistemas los cuales son vulnerables al cambio climático. El estudio tiene como objetivo realizar el análisis de los efectos del cambio climático sobre los servicios ecosistémicos altoandino en el área de influencia del nevado Allincajac, siguiendo la metodología de evaluación a través del Conjunto de Herramienta de la Valoración Integrada de Servicios Ecosistémicos y Compensaciones (InVEST), y escenarios climáticos basado en periodos temporales y rutas de concentraciones de emisiones (SSP), considerando variables como. temperatura y precipitación (modelo climático HadGEM3-GC31-LL), uso de tierra y demás factores, que son usados para la modelación con InVEST, donde se utilizó tres modelos como; rendimiento de agua, proporción de entrega de sedimentos y proporción de nutrientes. Los resultados muestran que los servicios ecosistémicos; como rendimiento de agua, disminuyó de 113.19 mm (escenario 1) a 61.23 mm (escenario 3) espacialmente. Así mismo, la retención de suelo basado en transporte de sedimentos, muestra una diferencia de 7.24 tn/pixel (escenario 1) a 0.82 tn/pixel (escenario 3), además la proporción de nutrientes presentó mínimos patrones de cambio en la exportación de nitrógeno que varía entre 0.675 kg/pixel (escenario 1) a 0.624 kg/pixel (escenario 3) y la exportación de fósforo redujeron de un 0.564 kg/pixel (escenario 1) a 0.520 kg/pixel (escenario 3) respectivamente. En conclusión, el modelo muestra el comportamiento de los servicios ecosistémicos frente a los efectos del cambio climático expresado en el aumento y reducción de valores espaciales. De acuerdo al resultado se ha evidenciado que el cambio climático tiene mayor efecto en el modelo de rendimiento de agua, por la alta reducción de sus valores espaciales, siendo significativo ya que cada factor fue influenciado por sus efectos, mostrando resultados que aportaran a la toma de decisiones en el manejo y gestión de servicios ecosistémicos.

Palabras clave: cambio climático, escenarios climáticos, InVEST, modelos climáticos, servicios ecosistémicos

Effects of climate change on high Andean ecosystem services in the area of influence of the Allincajac mountain range – Perú

ABSTRACT

Ecosystem services have a direct relationship with ecosystems which are vulnerable to climate change. The study aims to carry out the analysis of the effects of climate change on the high Andean ecosystem services in the area of influence of the Allincajac snow-capped mountain, following the evaluation methodology through the Integrated Valuation of Ecosystem Services and Compensations Tool Set (InVEST), and climate scenarios based on time periods and emission concentration routes (SSP), considering variables such as temperature and precipitation (HadGEM3-GC31-LL climate model), land use and other factors, which are used for modeling with InVEST, where three models were used such as; water yield, sediment delivery ratio and nutrient ratio. The results show that ecosystem services; as water yield, it decreased from 113.19 mm (scenario 1) to 61.23 mm (scenario 3) spatially. Likewise, soil retention based on sediment transport shows a difference from 7.24 tn/pixel (scenario 1) to 0.82 tn/pixel (scenario 3), in addition the proportion of nutrients presented minimal patterns of change in nitrogen export varying between 0.675 kg/pixel (scenario 1) to 0.624 kg/pixel (scenario 3) and phosphorus export reduced from 0.564 kg/pixel (scenario 1) to 0.520 kg/pixel (scenario 3) respectively. In conclusion, the model shows the behavior of ecosystem services in the face of the effects of climate change expressed in the increase and reduction of spatial values. According to the result, it has been shown that climate change has a greater effect on the water yield model, due to the high reduction in its spatial values, being significant since each factor was influenced by its.

Keywords: climate change, climate scenarios, InVEST, climate models, ecosystem services

1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas son el medio por el que se proveen servicios, los cuales brindan beneficios a los seres humanos para su bienestar y desarrollo (Bennett et al., 2009). De hecho, la evaluación de los ecosistemas del milenio enfatizó que aproximadamente el 60% de los servicios ecosistémicos se han degradado y se han vuelto insostenibles (Percy et al., 2005). Sin embargo, cerca de 800 millones de personas aprovechan los servicios ecosistémicos que provienen de las montañas del mundo como pilares de agua para miles y millones de ellas (Bai et al., 2020).

En cuanto a los servicios ecosistémicos, son muy afectados por el cambio climático y el rápido desarrollo económico (Rosario, 2018), lo que incrementa la demanda de los servicios con el crecimiento poblacional y el cambio climático progresivo, que ejercen una presión considerable sobre los ecosistemas (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC] 2014), por otro lado, las montañas se ubican entre las regiones más sensibles; sus glaciares y ecosistemas son indicadores fiables de este fenómeno (Palomo, 2017), ya que los nevados los que provisionan el suministro de agua, siendo destinados a diferentes usos como: consumo de agua, generación energética y agricultura (Cano & Haller, 2018). Además, el uso de la tierra y el cambio climático podrían causar una erosión severa del suelo y en la degradación de la calidad del agua a través del transporte de sedimentos y la exportación excesiva de nutrientes en los ríos (Rocca et al., 2014), lo que probablemente afectaría la cantidad y la calidad del agua en las vertientes de los ríos (Guo et al., 2022).

Otra gran amenaza para los servicios ecosistémicos en las regiones de los Andes, es la afectación de los servicios relacionados al agua, producción agrícola, biodiversidad y regulación climática (Anderson et al., 2011), dado que se observan una serie de efectos del cambio climático (Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional [USAID] 2011), precisamente al incrementar los servicios de aprovisionamiento, pueden generar una reducción de otros servicios ecosistémicos, y una gestión inadecuada e insostenible socavaría la futura prestación de servicios, por lo que los gestores políticos necesitarían información directa para entender mejor la dinámica del ecosistema y sus servicios, de tal manera que se pueda garantizar, una gestión efectiva de los servicios ecosistémico (Cabral et al., 2016; Nelson et al., 2009). Asu vez, la cuantificación a través del mapeo y la valoración de los servicios ecosistémicos se están convirtiendo en herramientas importantes para la gestión del capital natural y la formulación de políticas (Bai et al., 2013).

No obstante, es importante realizar estudios que aborden dicho efecto en los servicios ecosistémicos que promueven y apoyan la innovación tecnológica, para garantizar y proteger la sostenibilidad de los recursos hídricos (Flores et al., 2016), e incentivar al desarrollo de principios y mecanismos, que podrían aplicarse de manera más amplia para comprender la provisión de servicios ecosistémicos en diferentes zonas y regiones montañosas (Yu et al., 2021). Sin embargo, son escasas las investigaciones que examinen los resultados potenciales del cambio climático para servicios ecosistémicos de altoandinos(Llambí et al., 2020).

Por lo tanto, el presente investigación tiene como objetivo el análisis de los efectos del cambio climático sobre los servicios ecosistémicos altoandino en el área de influencia del nevado Allincapac, a través de la evaluación de tres servicios ecosistémicos relacionados con el agua (retención de agua, retención de suelo y purificación de agua, en términos de exportación de nitrógeno y exportación de fósforo), de esta amenera el estudio

aborda la brecha de conocimiento de los efectos de la variación climática que impactan a los servicios ecosistémicos de alta montaña.

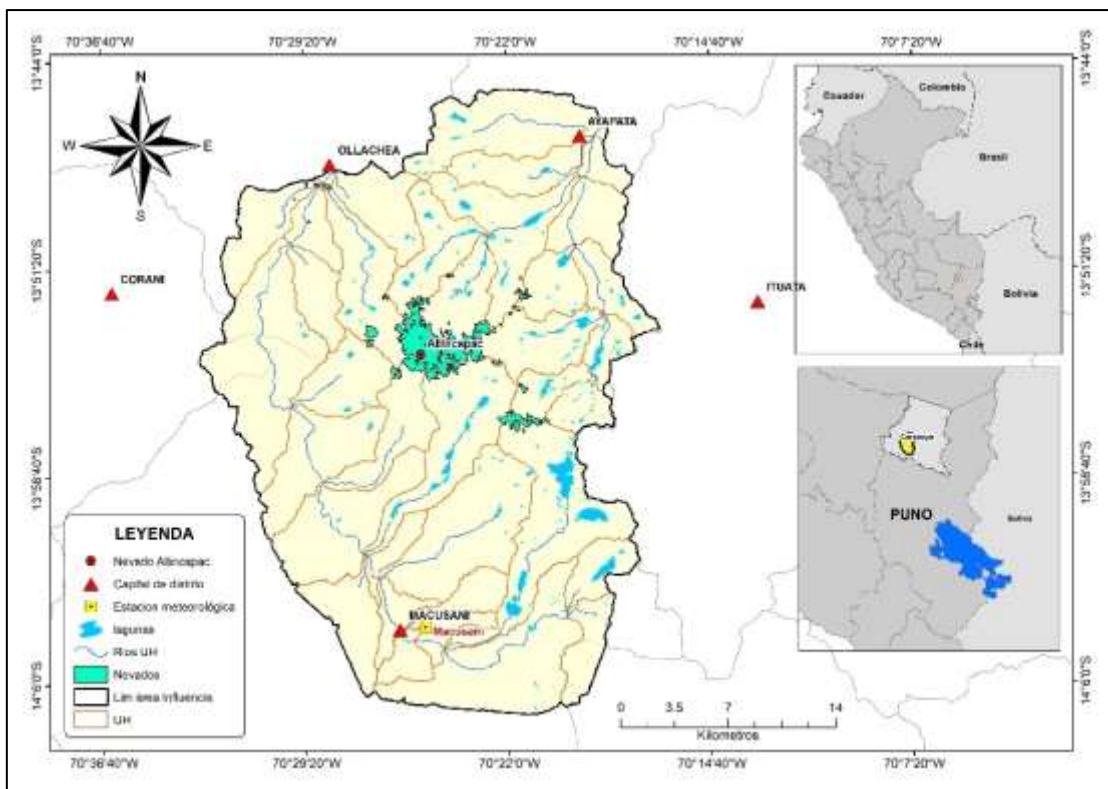
2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

El área de influencia del nevado Allincapac se delimitó a partir de Unidades Hidrográficas (UH) de la zona, como referencia el nevado que se encuentra a 5804 m.s.n.m. (Autoridad Nacional del Agua [ANA] 2014), mediante el uso de la herramienta de delimitación de SWAT, que ha delimitado 39 UH obteniendo un área con una extensión de 849.828 Km² (Figura 1). Dicha área se encuentra localizada en la cordillera Carabaya, que está comprendida por 8 ecosistemas; de glaciar hasta bosques yungas (Ministerio del Ambiente [MINAM] 2019), políticamente el ámbito de estudio se extiende sobre el territorio del departamento de Puno, provincia de Carabaya, distritos de Macusani, Ayapata y Ollachea.

Figura 1

Área de influencia del nevado Allincapac – Puno



2.2. Información climática

Para realizar el adecuado análisis de cambio climático se utilizaron los registros mensuales de precipitación, temperatura máxima y mínima de la estación meteorológica de Macusani, que se encuentra en el ámbito de estudio, correspondiente al Servicio Nacional de Meteorología y Climatología (SENAMHI), para lo cual se realizó un proceso automático de homogenización, relleno de valores faltantes y control de calidad de la serie de datos con el paquete de R Climatol (Gujarro, 2020). Para realizar la representación espacial de las variaciones climáticas se utilizó la data base climática de WorldClim (WC) (Fick & Hijmans, 2017). Donde nos muestra datos climáticos históricos y futuros, a una resolución espacial de 1 Km, dentro de dicha base de datos se considera la base climática del periodo temporal 1970 – 2000, también el modelo climático global de HadGEM3-GC31-LL que simulan adecuadamente la variación climática (Llacza et al., 2021), centrados en los periodos temporales de 2021 – 2040 y 2061-2080 de acuerdo a los escenarios de emisiones SSP-2.4.5. y 5.8.5.

En cuanto a la validación de datos climáticos se realizó mediante el enfoque del método delta, el cual se define como la diferencia entre la media de una variable climática en el futuro y el periodo de referencia (Navarro-Racines et al., 2020), y se evalúa a través del coeficiente de correlación (r) y el sesgo porcentual (PBIAS) (Yao et al., 2022), estas métricas son ampliamente utilizadas para evaluaciones climáticas (Narvaez-Montoya et al., 2022).

2.3. Evaluación de los servicios ecosistémicos

Se utilizó el conjunto de herramienta de la Valoración Integrada de Servicios Ecosistémicos y Compensaciones (InVEST) versión 3.12.1 (Sharp et al., 2014). Para la investigación se utilizaron tres modelos como: a) rendimiento de agua (para la retención de agua), b) modelo de proporción de entrega de sedimentos (para la retención de suelo) y c) modelo de purificación de agua (para la exportación de nitrógeno y fósforo), cada modelo requiere datos de entrada (Tabla 1), que fueron geoprocesados en ArcMAP 10.8 (Esri, 2022), para cumplir con los requisitos de formato de datos de los modelos. A su vez, atributos mediante la tabla biofísica relacionados a la carga de nutrientes y eficiencia de retención para cada uso de cobertura de suelo.

Tabla 1

Fuentes de datos para los modelos de Servicios ecosistémicos

Variable	Unidad	Formato original de datos	Fuente
Temperatura media	°C	Raster	WorldClim
Precipitación media	mm	Raster	WorldClim
Evapotranspiración	mm	Raster	WorldClim (A partir de Temperatura)
DEM	m	Raster	Alos Palsar
Contenido de agua en el suelo	mm	Raster	Soil Wordl

Profundidad de raíz	-	Raster	Soil Wordl
Cobertura de suelo	Km	Raster	Earth Explorer
Erosionabilidad de suelo	Km	Shape	RUSLE
Erodabilidad de suelo	Km	Raster	RUSLE

a) Servicio ecosistémico de retención de agua

El servicio ecosistémico de retención de agua define como la capacidad de los ecosistemas para interceptar o almacenar recursos hídricos provenientes de la precipitación (Bai et al., 2011). A su vez, el modelo estima las contribuciones relativas del agua de diferentes partes de un paisaje, ofreciendo información sobre cómo los cambios en los patrones de uso de la tierra afectan el rendimiento anual de agua superficial (Sharp et al., 2014). Primero se debe estimar a través del modelo de retención de agua InVEST, luego se debe calcular la retención de agua restando la escorrentía del rendimiento de agua, de acuerdo a la siguiente formula:

$$Y_j = \left(1 - \frac{AET_i}{P_i}\right) \times P_i \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde, “Yj” es el rendimiento de agua (mm) por píxel; “AET_i” es la real evapotranspiración (mm) por píxel, y “P_i” es la precipitación (mm) por píxel.

b) Servicio ecosistémico de retención de suelo

La erosión y la retención de sedimentos por tierra son procesos naturales que rigen la concentración de sedimentos en las corrientes, su dinámica a escala de la cuenca viene determinada principalmente por el clima (en particular la intensidad de las lluvias), las propiedades del suelo, la topografía y la vegetación (Sharp et al., 2014). El modelo de entrega de sedimentos InVEST mapea la generación de sedimentos terrestres y la entrega a la corriente. Para cada celda, el modelo permite calcular la cantidad de sedimentos erosionado y luego la tasa de entrega de sedimentos (Sharp et al., 2014). En cuanto a la cantidad de pérdida de suelo por píxel se calcula utilizando la Ecuación universal de Perdida de Suelo Revisada (RUSLE) como se detalla a seguir.

$$SR = R \times K \times LS \times (1 - C \times P) \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde, “SR” es la retención del suelo (tn/ha), “R” es la lluvia erosividad factor (mm / ha), “K” es el suelo erodibilidad factor (tn·ha/ ha·mm), “LS” es el factor de longitud de pendiente y pendiente, “C” es la cubierta vegetal y el factor de manejo, y “P” es el factor de medida de retención del suelo.

c) Servicio ecosistémico de purificación del agua

El servicio de exportación de nutrientes bajo un enfoque simple de equilibrio de masas, describiendo el movimiento de una masa de nutrientes a través del espacio, a diferencia de los modelos de nutrientes más sofisticados, el modelo no representa los detalles del ciclo de los nutrientes, sino que representa el flujo de nutrientes a largo plazo y en estado estacionario mediante relaciones empíricas (Sharp et al., 2014). El modelo InVEST Nutrient Delivery Ratio (NDR), mapea las fuentes de nutrientes de las cuencas y el transporte de nutrientes a la corriente (Sharp et al., 2014), a través de la fórmula:

$$NDR_i = NDR_{0,i} \left(1 + \exp\left(\frac{IC_0 - IC_i}{k}\right)\right)^{-1} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde, “ IC_0 ” y “ k ” son parámetros de calibración, “ IC ” es un índice topográfico, y “ $NDR_{0,i}$ ” es la proporción de nutrientes que no son retenidos por los píxeles pendiente abajo (independientemente de la posición del píxel en el paisaje).

2.4. Análisis de escenarios

Para realizar el adecuado análisis de cambio climático se plantearon escenarios de cambio y efectos sobre los servicios ecosistémicos (Anderson et al., 2011), identificados en el ámbito de estudio, para ello se tomaron los datos base de WC, con una base de 30 años del 1970 al 2000 como escenario 1 y en periodos temporales; escenarios 2 de 2021-2040 (SSP – 2.4.5. y 5.8.5) y un escenario 3 de 2061-2080 (SSP – 2.4.5. y 5.8.5), respectivamente para los escenarios proyectados. También incluimos el cambio de cobertura de suelo base del año 2000 y actual del 2022 como variable de entrada para cada modelo según el periodo temporal correspondiente. Este enfoque ayudará a determinar cuál de los factores climáticos, temperatura y precipitación, tiene mayor influencia sobre el servicio ecosistémico evaluado.

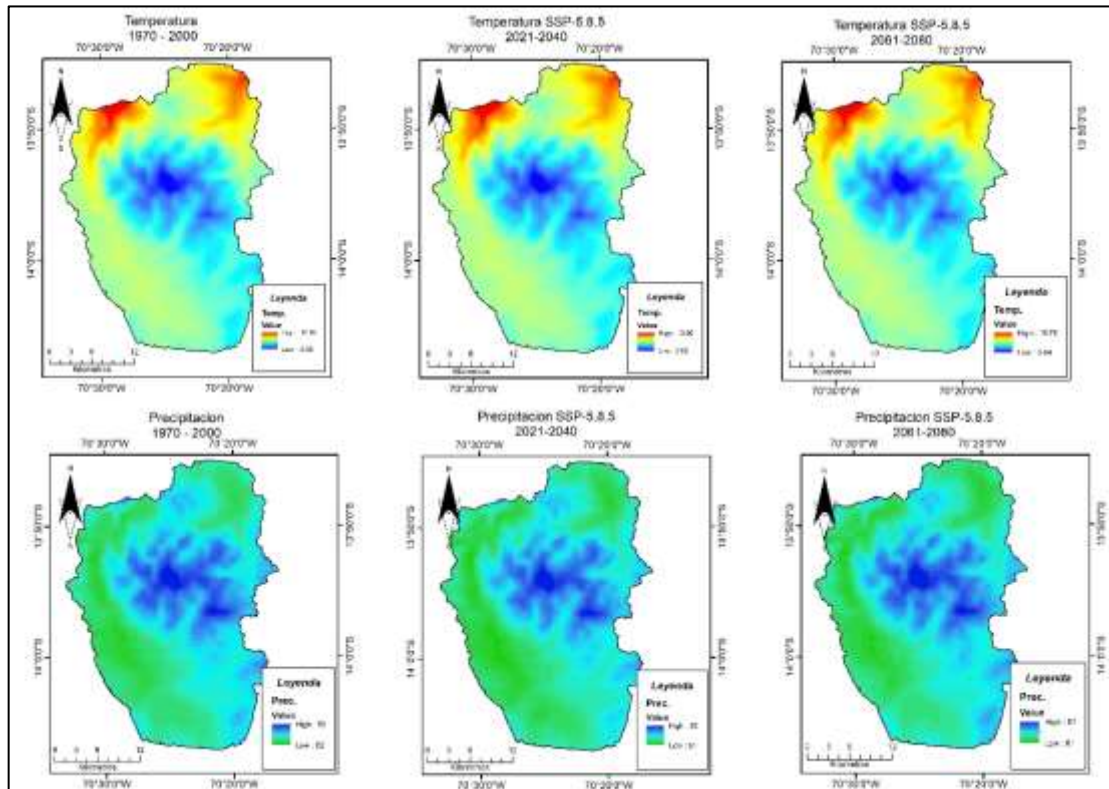
3. RESULTADOS

3.1. Cambio de la climatología

Los datos climáticos de WC presentaron una alta correlación con los datos observados de precipitación y temperatura del aire (máxima y mínima) con coeficientes de correlación (r) de 0.97, 0.80 y 0.99, un PBIAS de -34.13%, -4.34% y -26.35%, respectivamente (Tabla suplementaria 2), espacialmente también hay variaciones (Figura 2). Estas diferencias posiblemente se deban a la alta variabilidad espacial de las variables climáticas en zonas de alta montaña (Díaz et al., 2023).

Figura 2

Mapa de cambio de la variabilidad climática bajo escenarios



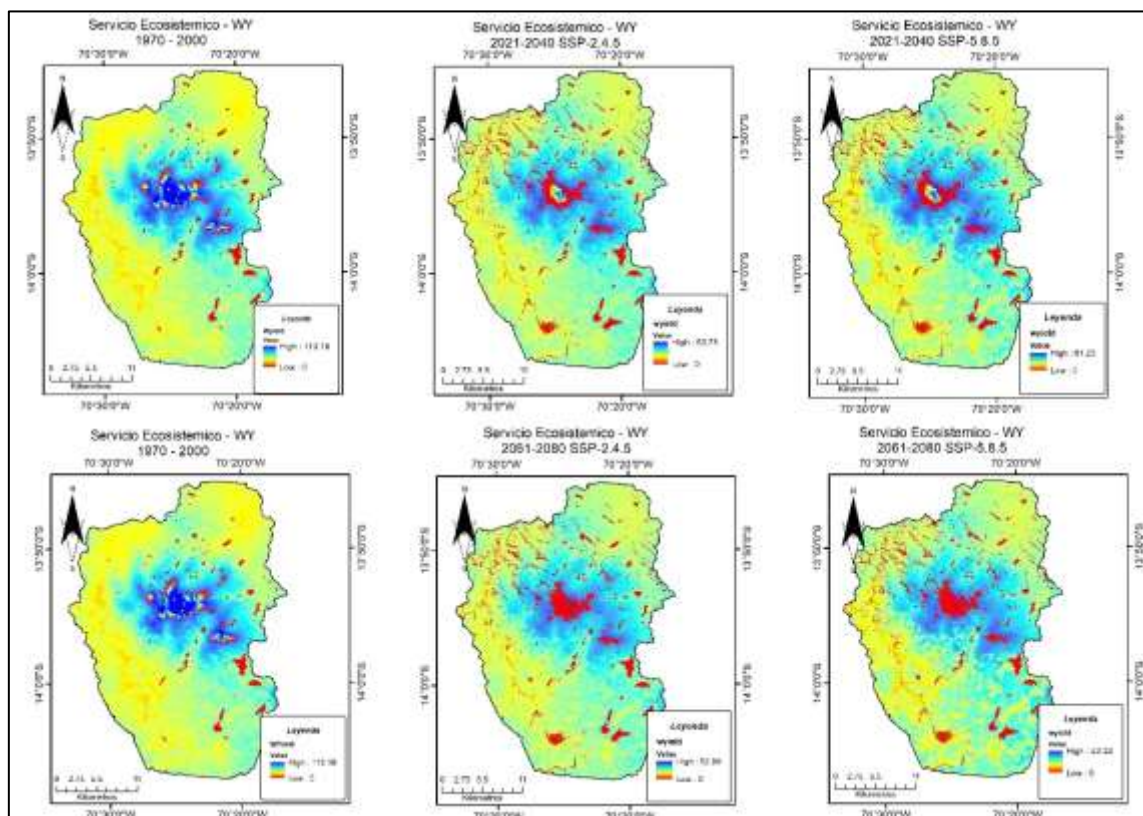
3.2. Servicios ecosistémicos bajo escenarios

3.2.1. Rendimiento anual de agua

El modelo de rendimiento anual de agua para los escenarios climáticos (Figura 3), muestra una distribución espacial en los valores con cambios significativos. Sin embargo, la reducción es notable ya que el rendimiento de agua disminuyó 113.19 mm a 61.23 mm espacialmente del escenario 1 al escenario 2 (2021-2040), lo que indica una disminución del 45.91% del rendimiento de agua. A su vez, del escenario 2 al escenario 3 (2061-2080) redujo 61.23 mm a 43.23 mm. En concreto la variación porcentual total de los tres escenarios sería del 61.80%, lo cual indica que los escenarios al tener una relación directa con el cambio climático generen mayores efectos de disminución que son atribuidos a la temperatura y precipitación.

Figura 3

Mapa de variación espacial del servicio de rendimiento de agua bajo escenarios climáticos

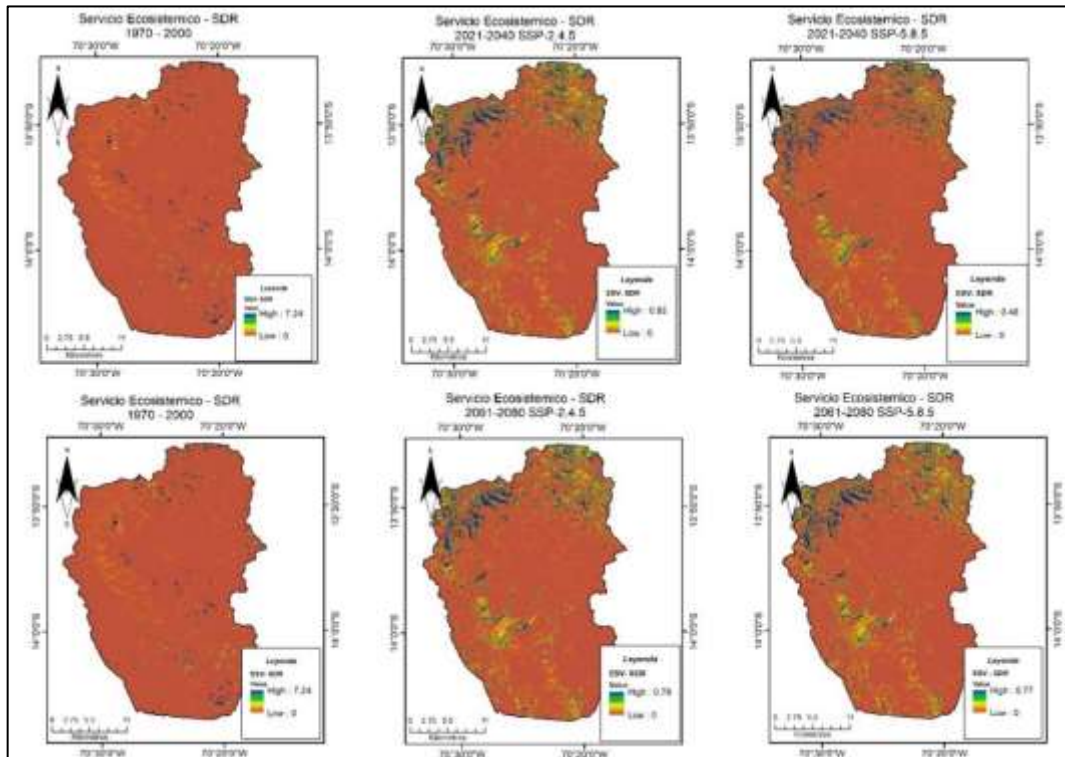


3.2.2. Retención de suelo

El modelo de tasa de suministro de sedimentos (SDR) (Figura 4), muestra una diferencia entre el escenario 1 (1970-2000) de 7.24 tn/píxel de sedimentos a 0.82 tn/píxel del escenario 2 (2021-2040), de manera que en varias zonas presentan una reducción debido a la pérdida de suelo y los factores climáticos; especialmente en los fondos de valle aluviales y zonas con pendiente pronunciada que facilitan la escorrentía y movimiento de sedimentos. En comparación con el escenario 3 (2061-2080) muestran cambios significativos con una reducción del 0.77 tn/píxel, el cual indica que, debido a las acciones de precipitación, partículas de sedimentos (arena, limo o arcilla), son transportados por las pendientes de laderas.

Figura 4

Mapa de variación espacial del servicio de retención de suelo bajo escenarios climáticos



3.2.3. Purificación de agua

El modelo de purificación de agua, basado en la exportación de fósforo (Figura 5) y nitrógeno (Figura 6), en general presentaron patrones de cambio mínimos. En el escenario actual (2021-2040) y futuro (2061-280), las cantidades de exportación de nitrógeno varían entre 0.675 kg/píxel a 0.624 kg/píxel y fósforo redujeron de un 0.564 kg/píxel a 0.520 kg/píxel espacialmente en las zonas del área de estudio, la disminución porcentual fue leve en 7.55 % para exportación de nitrógeno y un 7.80% para exportación de fósforo, por otro lado respecto al nitrógeno observamos un comportamiento de los valores más bajos, se encuentra en zonas altas de coberturas con muy poca vegetación. En relación al fosforo muestran un patrón de cambio en las zonas de valles aluviales, humedales y zonas de uso agrícola.

Figura 5

Mapa de variación espacial del servicio de exportación de nutrientes- P, bajo escenarios climáticos

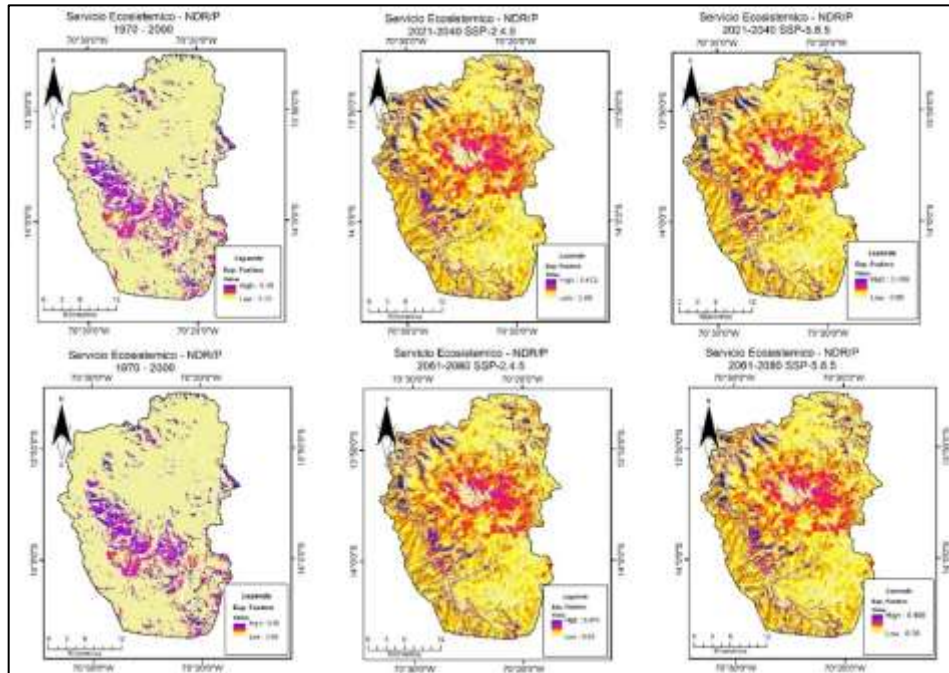
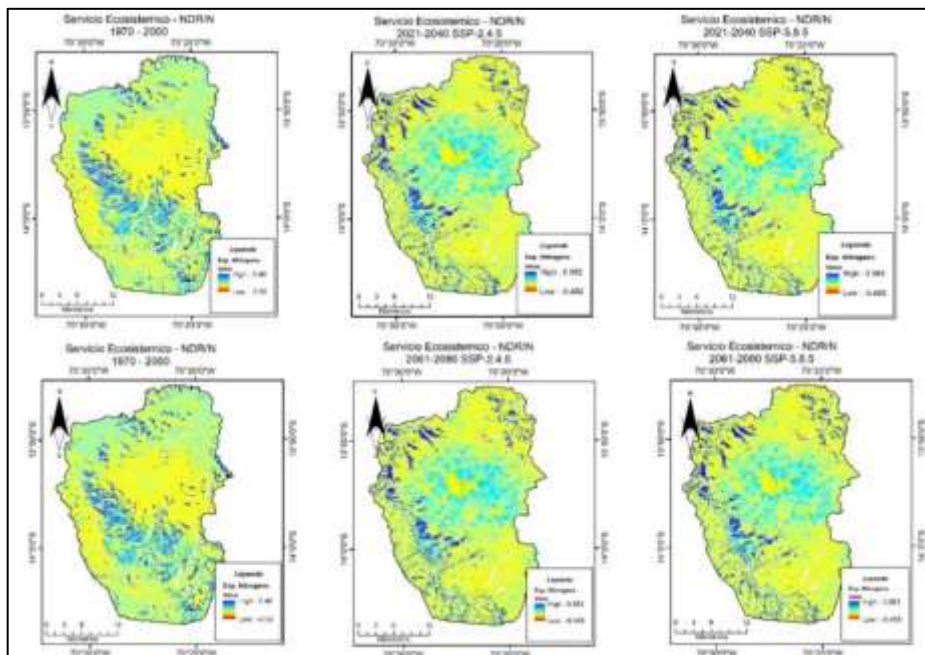


Figura 6

Mapa de variación espacial del servicio de exportación de nutrientes- N, bajo escenarios climáticos



3.2.4. Variabilidad de los servicios

La comprensión de los servicios ecosistémicos se da en la distribución espacial en sus valores (Tabla 2), que varían en rangos altos y bajos respectivamente, de los siguientes servicios; rendimiento de agua, retención de suelo, purificación de agua basada en transporte de nutrientes (nitrógeno y fósforo).

Tabla 2

Valores espaciales de los servicios ecosistémicos

Servicios ecosistémicos		1970-2000	2021-2040		2061-2080	
			SSP-2.4.5.	SSP-5.8.5.	SSP-2.4.5.	SSP-5.8.5.
Rendimiento de agua mm	Alto	113.19	63.75	61.23	52.09	43.23
	Bajo	0	0	0	0	0
Retención de suelo tn/pixel	Alto	7.24	0.82	0.48	0.79	0.77
	Bajo	0	0	0	0	0
Transporte de nutriente - Nitrógeno kg/pixel	Alto	0.46	0.625	0.675	0.672	0.624
	Bajo	-0.52	-0.653	-0.703	-0.703	-0.653
Transporte de nutriente - Fosforo kg/pixel	Alto	0.38	0.521	0.564	0.561	0.52
	Bajo	0	0	0	0	0

Cada servicio ecosistémico muestra valores espaciales con disminuciones en los periodos temporales y escenarios climáticos con los que fueron evaluados, de acuerdo al resultado respecto al servicio ecosistémico de rendimiento de agua del escenario 1 (1970-2000) al escenario 3 (2061-2080), la variación porcentual total del 61.81%, lo cual indica un alta pérdida de capacidad de retención, a su vez el modelo de rendimiento de suelo basado en transporte de sedimento mostró un reducción del nivel de sedimentos en un valor de 0.77 tn/pixel respecto al escenario 1. En relación al modelo de purificación de agua basado en nutrientes, el valor de transporte de nitrógeno tiene patrones de cambio mínimos, con una disminución porcentual leve en un 7.55 % para exportación de nitrógeno y un 7.80% para exportación de fósforo, respecto al escenario 1 a escenario 3.

3.3. Variaciones de los servicios sobre los escenarios climáticos

La variación sobre el cambio en los diversos servicios ecosistémicos evaluados respecto a los escenarios están en función a la tasa de variación y el cambio de cobertura de usos de suelo a través del cuadro resumen (Tabla 3) respectivamente, de acuerdo con la variabilidad sobre el servicio ecosistémico de rendimiento de agua, para un periodo actual (2021-2040 SSP-5.8.5), que tendrían menor capacidad de retención de agua sería las tierras de uso agrícolas con 17.03 mm y áreas semi naturales y forestales con 21.10 mm, por otra parte bajo un escenario futuro extremo (2061-2080 SSP-5.8.5) las tierras de uso agrícola disminuyen a un 15.05 mm y tierras semi naturales y forestales a 17.70 mm. Porcentualmente inferimos en una tasa total de reducción de los escenarios evaluados en un 59.25%.

Tabla 3*Variación del ESV Rendimiento de agua*

LUCL	Área Base Km ²	Área Actual Km ²	Variación del ESV - Rendimiento de agua mm				
			2000	2021-2040		2061-2080	
				SSP- 2.4.5.	SSP- 5.8.5.	SSP- 2.4.5.	SSP- 5.8.5.
Cuerpos de Agua	15.54	40.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Glaciar	20.18	16.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tierras Agrícolas	107.34	134.22	36.93	18.60	17.03	17.01	15.05
Pasturas	302.46	233.90	51.61	31.31	29.77	25.97	21.59
Humedales	28.42	24.07	36.57	24.52	22.87	21.51	18.05
Área Urbana	0.21	7.72	0.38	17.47	15.85	16.12	13.68
Semi natural y forestal	375.60	393.01	36.57	22.90	21.10	20.34	17.70

En cuanto al servicio de retención de suelo (Tabla 4), para un periodo actual escenario 2 (2021-2040 SSP-5.8.5), los que tendrían menor capacidad de retención de suelo respecto a la exportación de sedimentos serían los humedales con una capacidad de retención de 0.10 tn/km², pasturas con 0.24 tn/km² y área semi naturales y forestales con 0.22 tn/km². Por otra parte, bajo un escenario 3 futuro (2061-2080 SSP5.8.5) muestran un leve incremento en humedales con una capacidad de retención de 0.13 tn/km², pasturas con 0.22 tn/km² y área semi naturales y forestales con 0.30 tn/km². Porcentualmente inferimos en una tasa reducción total de 96.41% respecto a los escenarios evaluados.

Tabla 4*Variación del ESV Retención de suelo*

LUCL	Área Base Km ²	Área Actual Km ²	Variación del ESV - Sedimentos tn/km ²				
			2000	2021-2040		2061-2080	
				SSP- 2.4.5.	SSP- 5.8.5.	SSP- 2.4.5.	SSP- 5.8.5.
Cuerpos de Agua	15.54	40.39	0.240	0.181	0.233	0.240	0.225
Glaciar	20.18	16.45	0.006	0.005	0.005	0.006	0.005
Tierras Agrícolas	107.34	134.22	0.409	0.238	0.397	0.409	0.387
Pasturas	302.46	233.90	0.240	0.225	0.233	0.240	0.226
Humedales	28.42	24.07	0.137	0.105	0.137	0.137	0.133
Área Urbana	0.21	7.72	0.140	0.100	0.135	0.140	0.130
Semi natural y forestal	375.60	393.01	0.339	0.218	0.333	0.339	0.325

Acerca del servicio de purificación de agua respecto a la exportación de nutrientes, para un periodo actual escenario 2 (2021-2040 SSP-5.8.5), los que tendrían menor exportación de nitrógeno (Tabla 5), serían: pasturas con 0.01 kg/km², área semi naturales y forestales con -0.01 kg/km². A su vez, en un escenario futuro extremo escenario 3 (2061-2080 SSP-5.8.5) muestran un descenso en pasturas con -0.02 kg/km². Además, área semi naturales y forestales con -0.01 kg/km². Porcentualmente inferimos en una tasa reducción total del nitrógeno equivalente al 50% entre los escenarios comparados.

Tabla 5

Variación del ESV – nitrógeno

LUCL	Área Base Km ²	Área Actual Km ²	Variación del ESV - nutrientes - N - kg/Km ²				
			2000	2021-2040		2061-2080	
				SSP-2.4.5.	SSP-5.8.5.	SSP-2.4.5.	SSP-5.8.5.
Cuerpos de Agua	15.54	40.39	0.06	-0.02	0.00	0.00	-0.02
Glaciar	20.18	16.45	0.01	0.17	0.18	0.18	0.17
Tierras Agrícolas	107.34	134.22	0.07	0.05	0.07	0.06	0.05
Pasturas	302.46	233.90	-0.04	-0.02	-0.01	-0.01	-0.02
Humedales	28.42	24.07	0.04	0.08	0.12	0.12	0.08
Área Urbana	0.21	7.72	0.01	0.19	0.23	0.23	0.18
Semi natural y forestal	375.60	393.01	0.42	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01

En relación con el servicio de purificación de agua respecto al fósforo, para un escenario 2 (2021-2040 SSP-5.8.5), los que tendrían menor exportación de fósforo (Tabla 6), serían: pasturas con 0.25 kg/km², humedales con 0.26 kg/km². A su vez, en un escenario 3 (2061-2080 SSP-5.8.5) muestran una leve reducción en; pasturas con 0.24 kg/km², humedales con 0.24 kg/km². Porcentualmente inferimos en una tasa reducción total del fósforo equivalente al 25% entre los escenarios comparados.

Tabla 6

Variación del ESV – fósforo

LUCL	Área Base Km ²	Área Actual Km ²	Variación del ESV - nutrientes - P - kg/Km ²				
			2000	2021-2040		2061-2080	
				SSP-2.4.5.	SSP-5.8.5.	SSP-2.4.5.	SSP-5.8.5.
Cuerpos de Agua	15.54	40.39	0.14	0.18	0.20	0.20	0.18
Glaciar	20.18	16.45	0.00	0.16	0.17	0.17	0.16
Tierras Agrícolas	107.34	134.22	0.17	0.25	0.27	0.27	0.25
Pasturas	302.46	233.90	0.18	0.24	0.25	0.26	0.24

Humedales	28.42	24.07	0.19	0.24	0.26	0.26	0.24
Área Urbana	0.21	7.72	0.00	0.22	0.24	0.24	0.22
Semi natural y forestal	375.60	393.01	0.19	0.26	0.28	0.28	0.26

4. DISCUSIÓN

Los resultados del modelo InVEST, correspondientes al modelo de rendimiento de agua y retención de suelo, son los que más se ven influenciados por el cambio climático (Gao et al., 2017). En el escenario 2 representado por el periodo actual de 2021-2040, el rendimiento de agua disminuye continuamente, en tierras agrícolas, pasturas y humedales, especialmente del escenario 1 base al escenario 2 precisando la disminución más grande. En contraste con Fu et al. (2017) que también tuvo un declive en su resultado en los primeros 20 años de cambio. Precisar que otro factor de influencia es el uso de suelo identificado por diversos autores (Gong et al., 2019), como un impulsor de las alteraciones en los ecosistemas y sus servicios debido a que influye en las dinámicas ecológicas (Ahmed, 2002). Precisamente (Weatherhead & Knox, 2000), indica que los efectos del cambio climático sean más presentes en el servicio ecosistémico a una escala local, y global (Döll, 2002), del modelo de suministro de agua. Por lo tanto, el modelo muestra una tendencia general decreciente, respecto a los tres escenarios evaluados, con una tasa de disminución total 61.80%. Sin embargo, la disminución no significa que el uso del agua sea más eficiente (Fu et al., 2017).

Respecto a la retención de suelo, los resultados indican una disminución general progresiva en los valores., En el escenario 1 al escenario 2, con una reducción de 88.67%, principalmente en tierras de usos agrícolas, pasturas, humedales y cuerpos de agua, en un incremento leve, lo que indica un aporte poco significativo a la purificación de agua. Si bien, la distribución espacial de la retención de suelo presenta una disminución, también presenta reducciones en el modelo de retención de suelo, (Wang et al., 2023). Sin embargo, la retención del suelo es sensible a las lluvias, según el modelo RUSLE (Lavorel et al., 2019), con respecto a los cambios en el factor producción de agua y retención del suelo se vieron influenciados por las alteraciones en las precipitaciones (Guo et al., 2022), además las alteraciones en las lluvias, perjudican el aporte del agua en la zonas bajas, por ello afectan directamente a los procesos del sistema hidrológico (Zhu et al., 2022), a su vez los procesos de sedimentación y erosión se ven afectados por el cambio climático (Qiao et al, 2023), y se desarrollan en zonas con bajos niveles de pendientes (Jha et al., 2022). Cabe mencionar que la capacidad de regular la cantidad de sedimentos erosionados que llegan a la red de fluvial, brindan el beneficio de mantener la calidad del suelo, agua y las funciones de los embalses óptimos (Qiao et al., 2023).

Por otro lado, el servicio de purificación de agua, basado en exportación de nitrógeno y fósforo, presentan valores incrementados espacialmente, respecto al escenario 1 base frente al escenario 2, en un +0.141 kg/píxel de fósforo y +0.162 kg/píxel de nitrógeno lo que indica una captación general ascendente en retención de nutrientes, en usos de tierra como; pasturas y humedales, puesto que la retención es más probable en zonas cercanas a corrientes fluviales con pendientes pronunciadas. No obstante, para un escenario 3, la variación tiende a un patrón de cambio mínimo, comparado con (Wang et al., 2023), indica que es más probable que el nitrato se exporte a las corrientes en suelos con mayor humedad cercanas a corrientes que estén mejor conectadas con trayectorias de flujos cortos, que ayuden a transportar fácilmente con menos tiempo de desnitrificación.

A su vez, los factores de exportación de nutrientes influyen dentro de un tipo de uso de la tierra, la densidad de uso de pastoreo (particularmente importante para el nitrógeno), topología, tipo de suelo y precipitaciones (Sharps et al., 2017). Además, que los nutrientes se retengan en cuencas en periodos secos y se exporten en corrientes durante periodos húmedos (Wang et al., 2023), también dentro de los factores que afectan a los servicios ecosistémicos, se ve reflejado en el cambio climático ya que al cambiar las concentraciones de CO₂ representados en las rutas de concentraciones de emisiones SSP (Gidden et al., 2019), reduzcan la producción de agua, producción primaria neta y retención de suelo (Li et al., 2020).

En relación al impacto del uso de la tierra, su composición, intensidad y patrones, son un factor muy influyente en los servicios ecosistémicos (Tammi et al., 2017). Las zonas de cambio de impacto de uso de la tierra suelen ser más pequeñas en comparación con las zonas que permanecen sin cambios (Xu et al., 2017), y las zonas donde este no cambia, son afectados por el clima. Por ello, la producción de agua, purificación de agua y la retención del suelo, estén afectadas directamente por el cambio climático (Cong et al., 2020). Por otro lado en diversos estudios han confirmado que los ecosistemas en relación con los factores climáticos también se influyen entre sí, la interacción más significativa es la precipitación y la temperatura que muestran una fluctuación de cambios más presente (Wang et al., 2023).

5. CONCLUSIÓN

Los servicios ecosistémicos evaluados muestran la dinámica y el comportamiento de los mismos, frente a los efectos del cambio climático expresado en el aumento y reducción de valores espaciales correspondientes a cada servicio. De acuerdo al resultado se ha evidenciado que el cambio climático tiene mayor efecto en el modelo de rendimiento de agua, por la alta reducción de sus valores espaciales. A su vez, resaltamos que la retención de suelo que presentaron cambios significativos, el modelo de purificación de agua, mostro patrones mínimos de cambio, sin embargo, cada servicio fue influenciado por la temperatura y precipitación, frente a cada escenario climático evaluado.

REFERENCIAS

- Ahmed, M. T. (2002). Millennium ecosystem assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 9(4), 219–220. <https://doi.org/10.1007/BF02987493>
- ANA. (2014). Inventario nacional de glaciares y lagunas. Autoridad Nacional del Agua.
- Anderson, E., Marengo, J., Villalba, R., Halloy, S., Young, B., & Cordero, D. (2011). Consecuencias del cambio climático para los ecosistemas y servicios ecosistémicos en los Andes tropicales. *Cambio Climático y Biodiversidad En Los Andes Tropicales*. Instituto Interamericano Para La Investigación Del Cambio Global (IAI) y Comité Científico Sobre Problemas Del Medio Ambiente (SCOPE), 1–18.
- Bai, Y., Chen, Y., Alatalo, J. M., Yang, Z., & Jiang, B. (2020). Scale effects on the relationships between land characteristics and ecosystem services- a case study in Taihu Lake Basin, China. *Science of the Total Environment*, 716. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137083>
- Bai, Y., Zheng, H., Ouyang, Z., Zhuang, C., & Jiang, B. (2013). Modeling hydrological ecosystem services and tradeoffs: A case study in Baiyangdian watershed, China. *Environmental Earth Sciences*, 70(2), 709–718. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-2154-5>
- Bai, Y., Zhuang, C., Ouyang, Z., Zheng, H., & Jiang, B. (2011). Spatial characteristics between biodiversity and ecosystem services in a human-dominated watershed. *Ecological Complexity*, 8(2), 177–183. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2011.01.007>
- Bennett, E. M., Peterson, G. D., & Gordon, L. J. (2009). Understanding relationships among multiple ecosystem services. *Ecology Letters*, 12(12), 1394–1404. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01387.x>
- Cabral, P., Feger, C., Levrel, H., Chambolle, M., & Basque, D. (2016). Assessing the impact of land-cover changes on ecosystem services: A first step toward integrative planning in Bordeaux, France. *Ecosystem Services*, 22, 318–327. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.08.005>
- Cano, D., & Haller, A. (2018). Los servicios ecosistémicos hidrológicos: entre la urbanización y el cambio climático. Percepción campesina y experta en la subcuenca del río Shullcas, Perú. *Espacio y Desarrollo*, 31, 7–32. <https://doi.org/10.18800/espacioydesarrollo.201801.001>
- Cong, W., Sun, X., Guo, H., & Shan, R. (2020). Comparison of the SWAT and InVEST models to determine hydrological ecosystem service spatial patterns, priorities and trade-offs in a complex basin. *Ecological Indicators*, 112. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106089>
- Díaz, R. D., Machaca, A. D., Belizario, G., & Lujano, E. (2023). Efectos del Cambio Climático Sobre los Ecosistemas de Montaña en la Cordillera Carabaya - Perú. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 38. <https://doi.org/10.1590/0102-778638230088>
- Döll, P. (2002). Impact of Climate Change and Variability on Irrigation Requirements: A Global Perspective. *Climatic Change*, 54(3), 269–293. <https://doi.org/10.1023/A:1016124032231>
- Esri, Inc. (2022). ArcGIS Desktop: Release 10.8.1. In Environmental Systems Research Institute, Inc., California.
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302–

4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>

- Flores, L. F., Galaiti, S. E., Escobar, M., & Purkey, D. (2016). Modeling of Andean páramo ecosystems' hydrological response to environmental change. *Water (Switzerland)*, 8(3). <https://doi.org/10.3390/w8030094>
- Fu, Q., Li, B., Hou, Y., Bi, X., & Zhang, X. (2017). Effects of land use and climate change on ecosystem services in Central Asia's arid regions: A case study in Altay Prefecture, China. *Science of the Total Environment*, 607–608, 633–646. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.241>
- Gao, J., Li, F., Gao, H., Zhou, C., & Zhang, X. (2017). The impact of land-use change on water-related ecosystem services: a study of the Guishui River Basin, Beijing, China. *Journal of Cleaner Production*, 163, S148–S155. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.049>
- Gidden, M. J., Riahi, K., Smith, S. J., Fujimori, S., Luderer, G., Kriegler, E., van Vuuren, D. P., van den Berg, M., Feng, L., Klein, D., Calvin, K., Doelman, J. C., Frank, S., Fricko, O., Harmsen, M., Hasegawa, T., Havlik, P., Hilaire, J., Hoesly, R., ... Takahashi, K. (2019). Global emissions pathways under different socioeconomic scenarios for use in CMIP6: a dataset of harmonized emissions trajectories through the end of the century. *Geoscientific Model Development*, 12(4), 1443–1475. <https://doi.org/10.5194/gmd-12-1443-2019>
- Gong, J., Liu, D., Zhang, J., Xie, Y., Cao, E., & Li, H. (2019). Tradeoffs/synergies of multiple ecosystem services based on land use simulation in a mountain-basin area, western China. *Ecological Indicators*, 99, 283–293. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.12.027>
- Guijarro, J. . A. (2020). Manual de Usuario de Paquete Climatol versión 4.0.0. Nota Técnica, 40.
- Guo, S., Wu, C., Wang, Y., Qiu, G., Zhu, D., Niu, Q., & Qin, L. (2022). Threshold effect of ecosystem services in response to climate change, human activity and landscape pattern in the upper and middle Yellow River of China. *Ecological Indicators*, 136, 108603. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108603>
- IPCC. (2014). Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Parte A: mundial y aspectos sectoriales. Contribución Del Grupo de Trabajo II.
- Jha, S. K., Negi, A. K., & Alatalo, J. M. (2022). Quantification of ecosystem services providing socio-economic benefits to customary owners of natural resources in Pauri, western Himalaya. *Current Research in Environmental Sustainability*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2021.100121>
- Lavorel, S., Colloff, M. J., Locatelli, B., Gorddard, R., Prober, S. M., Gabillet, M., Devaux, C., Laforgue, D., & Peyrache-Gadeau, V. (2019). Mustering the power of ecosystems for adaptation to climate change. *Environmental Science and Policy*, 92, 87–97. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.11.010>
- Li, J., Chen, H., & Zhang, C. (2020). Impacts of climate change on key soil ecosystem services and interactions in Central Asia. *Ecological Indicators*, 116. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106490>
- Llaczka A, Acuña D, Jácome D, De la cruz G, Paredes G, Bruno J, Alvares E, & Flores W. (2021). Escenarios Climáticos para el Perú al 2050 Resumen Ejecutivo. <https://hdl.handle.net/20.500.12542/1470>
- Llambí, L. D., Becerra, M. T., Peralvo, M., Avella, A., Baruffol, M., & Flores, L. J. (2020).

- Monitoring Biodiversity and Ecosystem Services in Colombia's High Andean Ecosystems: Toward an Integrated Strategy. *Mountain Research and Development*, 39(3), A8–A20. <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-19-00020.1>
- MINAM. (2019). *Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú - Memoria Descriptiva*. Ministerio Del Ambiente, 1–119. <https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-nacional-ecosistemas-peru>
- Narvaez Montoya, C., Torres Martínez, J. A., Pino Vargas, E., Cabrera Olivera, F., Loge, F. J., & Mahlknecht, J. (2022). Predicting adverse scenarios for a transboundary coastal aquifer system in the Atacama Desert (Peru/Chile). *Science of the Total Environment*, 806. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150386>
- Navarro-Racines, C., Tarapues, J., Thornton, P., Jarvis, A., & Ramirez-Villegas, J. (2020). High-resolution and bias-corrected CMIP5 projections for climate change impact assessments. *Scientific Data*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0343-8>
- Nelson, E., Mendoza, G., Regetz, J., Polasky, S., Tallis, H., Cameron, Dr., Chan, K. M., Daily, G. C., Goldstein, J., Kareiva, P. M., Lonsdorf, E., Naidoo, R., Ricketts, T. H., & Shaw, Mr. (2009). Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(1), 4–11. <https://doi.org/10.1890/080023>
- Palomo, I. (2017). Climate Change Impacts on Ecosystem Services in High Mountain Areas: A Literature Review. *Mountain Research and Development*, 37(2), 179–187. <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-16-00110.1>
- Percy, S., Lubchenco, J., Almeida, F., Armsworth, P., Bennett, A., Ebi, K., Ehrmann, J., Griffith, J., Kumar, P., Pagiola, S., Prickett, G., Richards, D., Tinto, R., Rivera, J., Thompson, V., Wenblad, A., & Yohe, G. (2005). Millennium Ecosystem Assessment Business and Industry Synthesis Team Synthesis Team Members Synthesis Team Co-chairs Business Council for Sustainable Development-Brazil World Business Council for Sustainable Development A Report of the Millennium Ecosystem Assessment.
- Qiao, X., Li, Z., Lin, J., Wang, H., Zheng, S., & Yang, S. (2023). Assessing current and future soil erosion under changing land use based on InVEST and FLUS models in the Yihe River Basin, North China. *International Soil and Water Conservation Research*. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.07.001>
- Rocca, M. E., Brown, P. M., MacDonald, L. H., & Carrico, C. M. (2014). Climate change impacts on fire regimes and key ecosystem services in Rocky Mountain forests. *Forest Ecology and Management*, 327, 290–305. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.04.005>
- Rosario, A. M. G. (2018). Recuperación de Servicios Ecosistémicos de Áreas Afectadas por el Aluvión de 2012 en la Microcuenca Santa Cruz, Huaylas, Ancash. *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña*, 4. <https://doi.org/10.36580/rgem.i4.77-96>
- Sharp, R., Tallis, H. T., Ricketts, T., Guerry, A. D., Wood, S. A., Chaplin-Kramer, R., & Vogl, A. L. (2014). InVEST user's guide. The Natural Capital Project. Stanford, CA, USA.
- Sharps, K., Masante, D., Thomas, A., Jackson, B., Redhead, J., May, L., Prosser, H., Cosby, B., Emmett, B., & Jones, L. (2017). Comparing strengths and weaknesses of three ecosystem services modelling tools in a diverse UK river catchment. *Science of the Total Environment*, 584–585, 118–130. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.160>

- Tammi, I., Mustajärvi, K., & Rasinmäki, J. (2017). Integrating spatial valuation of ecosystem services into regional planning and development. *Ecosystem Services*, 26, 329–344. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.11.008>
- USAID. (2011). *Estudio de Escritorio de Adaptación y Vulnerabilidad al Cambio Climático en Perú*. Agencia de Los Estados Unidos Para El Desarrollo Internacional, Washington, DC.
- Wang, Q. J., Yang, J., Heidbüchel, I., Yu, X., & Lu, C. (2023). Flow paths and wetness conditions explain spatiotemporal variation of nitrogen retention for a temperate, humid catchment. *Journal of Hydrology*, 625. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130024>
- Wang, R., Zhao, J., Lin, Y., Qin, B., Chen, G., Bao, L., & Long, X. (2023). Study on the response and prediction of SDGs based on different climate change scenarios: The case of the urban agglomeration in central Yunnan. *Ecological Indicators*, 156, 111076. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111076>
- Weatherhead, E. K., & Knox, J. W. (2000). Predicting and mapping the future demand for irrigation water in England and Wales. *Agricultural Water Management*, 43(2), 203–218. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(99\)00058-X](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(99)00058-X)
- Xu, S., Liu, Y., Wang, X., & Zhang, G. (2017). Scale effect on spatial patterns of ecosystem services and associations among them in semi-arid area: A case study in Ningxia Hui Autonomous Region, China. *Science of the Total Environment*, 598, 297–306. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.009>
- Yao, J., Chen, Y., Guan, X., Zhao, Y., Chen, J., & Mao, W. (2022). Recent climate and hydrological changes in a mountain–basin system in Xinjiang, China. In *Earth-Science Reviews (Vol. 226)*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.103957>
- Yu, Y., Li, J., Zhou, Z., Ma, X., & Zhang, X. (2021). Response of multiple mountain ecosystem services on environmental gradients: How to respond, and where should be priority conservation? *Journal of Cleaner Production*, 278. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123264>
- Zhu, Z., Wang, K., Lei, M., Li, X., Li, X., Jiang, L., Gao, X., Li, S., & Liang, J. (2022). Identification of priority areas for water ecosystem services by a techno-economic, social and climate change modeling framework. *Water Research*, 221. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118766>

ANEXOS

Anexo 1.

Evidencia de sumision del articulo

[EA] Acuse de recibo de envío

Esteban Jobbágy via Ecología Austral <noreply@ecologiaaustral.com.ar>

Dom 10/12/2023 21:32

Para: Juan Eduardo Vigo Rivera <eduardo.vigo@upeu.edu.pe>

Juan Eduardo Vigo Rivera:

Gracias por enviar el manuscrito, "Efectos del cambio climático sobre los servicios ecosistémicos altoandino en el área de influencia del nevado Allincajac – Perú" a Ecología Austral. Con nuestro sistema de gestión de revistas en línea, podrá iniciar sesión en el sitio web de la revista y hacer un seguimiento de su progreso a través del proceso editorial:

URL del manuscrito:

https://ojs.ecologiaaustral.com.ar/index.php/Ecologia_Austral/authorDashboard/submission/2367

Nombre de usuario/a: jevr72

En caso de dudas, contáctenos a manuscritos@ecologiaaustral.com.ar

Eva L. Florio

Editora de compaginación y comunicación

Ecología Austral

Esteban Jobbágy

Este es un mail automatico, por favor no lo responda

Ecología Austral - <http://ojs.ecologiaaustral.com.ar>

Anexo 2.

Copia de resolución de inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato articulo aprobado por el consejo de facultad correspondiente

"AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL"

RESOLUCIÓN N° 0743-2022/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña 16 de agosto de 2022

VISTO:

El expediente de **Delia Margot Mendoza Luque**, identificado(a) con Código Universitario N° 201610728 y **Pedro Victor Quispe Apaza**, identificado(a) con Código Universitario N° 201612424, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que **Delia Margot Mendoza Luque** y **Pedro Victor Quispe Apaza**, han solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Efectos del cambio climático y uso de la tierra en el valor de los servicios ecosistémicos altoandino en el área de influencia del nevado Allincapec – Puno" y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 16 de agosto de 2022, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato articulo titulado "**Efectos del cambio climático y uso de la tierra en el valor de los servicios ecosistémicos altoandino en el área de influencia del nevado Allincapec – Puno**" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar a **Ing. Renny Daniel Díaz Aguilar** como ASESOR para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato articulo el cual fue dictaminado por: **Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera** y **Ing. Verónica Haydeé Pari Mamani**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.




Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA




Dr. Santiago Ramírez López
SECRETARIO ACADÉMICO

CC:
-Interesado
Asesor
Dirección General de Investigación
Archivo

Anexo 3.

Panel fotográfico de la ejecución en campo del proyecto de investigación

