

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL  
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

**DIVISIÓN DE EDUCACIÓN**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**ESTIMACIÓN DE LA DINÁMICA FUTURA DE CAUDALES DE LOS TRIBUTARIOS AL  
LAGO POOPÓ EN EL SISTEMA TDPS COMO INSUMO BASE PARA LA  
IDENTIFICACION DE LINEAMIENTOS GENERALES DE ADAPTACIÓN ANTE EL  
CAMBIO CLIMÁTICO.**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN SOMETIDO A CONSIDERACIÓN DE LA DIVISIÓN  
DE EDUCACIÓN Y EL PROGRAMA DE POSGRADO COMO REQUISITO PARA OPTAR  
AL GRADO DE:**

**MÁSTER EN MANEJO Y GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

**MIRIAM PAMELA SOLÓRZANO QUIRÓS**

**TURRIALBA, COSTA RICA**

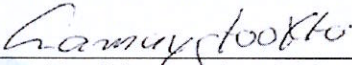
**2022**

Este trabajo de final de graduación ha sido aceptado en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobado por el Comité Examinador de la estudiante, como requisito para optar por el grado de

**MÁSTER EN MANEJO Y GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

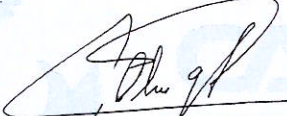
**FIRMANTES:**





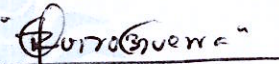
José Ney Ríos Ramírez, M.Sc.

**Coasesor del Trabajo de Graduación**



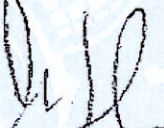
Carlos Alberto Olmos Ágreda, Ph.D.

**Coasesor del Trabajo de Graduación**



Roberto Quiroz Guerra, Ph.D.

**Decano de la Escuela de Posgrado**



Miriam Pamela Solórzano Quirós

**Candidata**

## **DEDICATORIA**

A Chus, por ser un extraordinario compañero de vida.

A mis hermanos, por ser.

A mis enanas, a Oso y a Bombo, por darme felicidad infinita.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al profe Ney, por toda la paciencia y el tiempo que me brindó, así como la disposición de enseñar y transmitir conocimientos, tanto en el trabajo final de graduación como en los cursos que impartió. Absolutamente agradecida.

A Chus, por todo el apoyo que me dio, por acompañarme siempre y ser incondicional. Por inspirarme, por creer en mí, incluso cuando pensaba que no lo iba a lograr y por recordarme mis motivaciones y mis objetivos. Estaré agradecida por siempre, de corazón.

A mis hermanos, por ser los mejores que podría haber tenido.

A mis papás, por ser abnegados y por siempre esforzarse para que pudiéramos estudiar.

A la vida, por poder lograr esta meta tan importante para mí.

A la doctora Laura Benegas, por instarnos a concluir con el programa, y a todos los profesores, compañeros y al CATIE en general, por enseñarme que la educación puede ser cooperativa, paciente, comprensiva, enriquecedora, y que siempre hay oportunidades para aprender de los demás.



## Índice

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.	Antecedentes .....	1
1.2.	Justificación del tema.....	2
1.3.	Importancia .....	3
1.4.	Objetivos .....	4
1.4.1.	Objetivo General .....	4
1.4.2.	Objetivos Específicos .....	4
2.	MARCO REFERENCIAL.....	4
2.1.	Ciclo hidrológico .....	4
2.2.	Balance hídrico.....	6
2.2.1.	Precipitación.....	6
2.2.2.	Escorrentía .....	6
2.2.3.	Evapotranspiración.....	6
2.2.4.	Evapotranspiración potencial.....	7
2.2.5.	Infiltración.....	7
2.3.	Modelos hidrológicos.....	7
2.4.	Modelo SWAT.....	8
2.4.1.	Calibración del modelo SWAT.....	9
2.5.	Cambio climático .....	9
2.6.	Escenarios de cambio climático.....	10
2.7.	Impacto del cambio climático sobre el recurso hídrico.....	11
2.8.	Adaptación al cambio climático .....	12
3.	METODOLOGÍA .....	12
3.1.	Ubicación del área de estudio .....	12
3.2.	Descripción del área de estudio .....	14
3.3.	Procedimientos metodológicos.....	15
4.	RESULTADOS .....	18
4.1.	Simulación hidrológica del sistema TDPS bajo escenarios de cambio climático .....	18
4.2.	Impacto de escenarios climáticos futuros en el Lago Poopó.....	44
4.3.	Lineamientos generales que contribuyan a identificar medidas de adaptación .....	47
5.	CONCLUSIONES .....	51
6.	RECOMENDACIONES.....	52

7.	EXPERIENCIA, ALCANCES Y LIMITACIONES DE LOS RESULTADOS Y LAS LECCIONES APRENDIDAS .....	52
8.	LITERATURA CITADA.....	53
9.	ANEXOS.....	56
9.1.	Datos climáticos actualizado de acuerdo con las proyecciones estimadas.....	56

## Índice de cuadros

Cuadro 1. Clasificación de las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas .....	10
Cuadro 2. Cambios proyectados en la temperatura global de la superficie a corto, mediano y largo plazo para los cinco escenarios (SSP).....	11
Cuadro 3. Fuentes de información para el modelo TDPS .....	16
Cuadro 4. Descripción de los escenarios climáticos modelados para el sistema TDPS.....	18
Cuadro 5. Parámetros de análisis en el escenario base, escenario 1 y escenario 2.....	43
Cuadro 6. Descripción de los escenarios climáticos modelados para el sistema TDPS.....	44
Cuadro 7. Aspectos base a ser considerados en la elaboración de planes de adaptación .....	47
Cuadro 8. Puntos importantes para considerar en el planteamiento de medidas.....	48
Cuadro 9. Promedio mensual de temperatura mínima, periodo 2041-2061, por estación.....	56
Cuadro 10. Promedio mensual de temperatura máxima, periodo 2041-2061, por estación. ....	57
Cuadro 11. Promedio mensual de precipitación (escenario de disminución), periodo 2041-2061, por estación.....	59
Cuadro 12. Promedio mensual de precipitación (escenario de aumento), periodo 2041-2061, por estación.....	60

## Índice de figuras

Figura 1. Esquema del ciclo hidrológico .....	5
Figura 2. Ubicación del sistema TDPS .....	13
Figura 3. Ajustes climáticos para precipitación en el modelo hidrológico .....	17
Figura 4. Promedio mensual de temperatura mínima. Datos históricos y proyecciones .....	19
Figura 5. Promedio mensual de temperatura máxima. Datos históricos y proyecciones .....	20
Figura 6. Promedio mensual de precipitación. Datos históricos y proyecciones (aumento del 20%)... 20	
Figura 7. Promedio mensual de precipitación. Datos históricos y proyecciones (disminución del 20%) .....	21
Figura 8. Componentes del balance hídrico en el sistema TDPS, a partir de la simulación en QSWAT. Escenario 1 .....	21
Figura 9. Componentes del balance hídrico en el sistema TDPS, a partir de la simulación en QSWAT. Escenario 2 .....	22
Figura 10. Mapa del promedio anual de potencial de evapotranspiración en el sistema TDPS. Escenario 1.....	23
Figura 11. Mapa del promedio anual de potencial de evapotranspiración en el sistema TDPS. Escenario 2.....	24
Figura 12. Mapa del promedio anual de percolación en el sistema TDPS. Escenario 1 .....	25
Figura 13. Mapa del promedio anual de percolación en el sistema TDPS. Escenario 2 .....	26
Figura 14. Mapa del promedio anual de agua en el suelo en el sistema TDPS. Escenario 1.....	27
Figura 15. Mapa del promedio anual de agua en el suelo en el sistema TDPS. Escenario 2.....	28
Figura 16. Mapa del promedio anual de escorrentía superficial en el sistema TDPS. Escenario 1 .....	29
Figura 17. Mapa del promedio anual de escorrentía superficial en el sistema TDPS. Escenario 2 .....	30
Figura 18. Mapa del promedio mensual de rendimiento hídrico o producción de agua en el sistema TDPS. Escenario 1 .....	31

Figura 19. Mapa del promedio mensual de rendimiento hídrico o producción de agua en el sistema TDPS. Escenario 2 .....	32
Figura 20. Mapa del promedio anual de rendimiento hídrico o producción de agua en el sistema TDPS. Escenario 1 .....	33
Figura 21. Mapa del promedio anual de rendimiento hídrico o producción de agua en el sistema TDPS. Escenario 2 .....	34
Figura 22. Mapa de escurrimiento mínimo en el sistema TDPS. Escenario 1 .....	35
Figura 23. Mapa de escurrimiento mínimo en el sistema TDPS. Escenario 2 .....	36
Figura 24. Mapa de escurrimiento máximo en el sistema TDPS. Escenario 1 .....	37
Figura 25. Mapa de escurrimiento máximo en el sistema TDPS. Escenario 2 .....	38
Figura 26. Mapa de promedio diario de escurrimiento en el sistema TDPS. Escenario 1.....	39
Figura 27. Mapa de promedio diario de escurrimiento en el sistema TDPS. Escenario 2.....	40
Figura 28. Mapa de promedio anual de escurrimiento en el sistema TDPS. Escenario 1.....	41
Figura 29. Mapa de promedio anual de escurrimiento en el sistema TDPS. Escenario 2.....	42
Figura 30. Escurrimiento de entrada en la subcuenca del Lago Poopó .....	45
Figura 31. Escurrimiento de salida en la subcuenca del Lago Poopó .....	45
Figura 32. Rendimiento hídrico en la subcuenca del Lago Poopó.....	45

## LISTA DE ACRÓNIMOS

ARS	Servicio Agrícola de Investigación
CDKN	Alianza Clima y Desarrollo
CEPA	Centro de Ecología y Pueblos Andinos
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CMNUCC	Convención Marco sobre el Cambio Climático
ESA	Agencia Espacial Europea
GCM	Modelo de Circulación General
GIS	Sistemas de Información Geográfica
HRUs	Unidades de Respuesta Hidrológicas
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
LARS-WG	Long Ashton Research Station Weather Generator
MED	Modelo de elevación digital
MMAyA	Ministerio de Medio Ambiente y Agua
ODI	Overseas Development Institute
RCP	Trayectorias Representativas de Concentración
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
SSP	Trayectorias Socioeconómicas Compartidas
SWAT	Soil and Water Assessment Tool
TDPS	Titicaca- Desaguadero- Poopó- Salar de Coipasa
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

## RESUMEN

El Lago Poopó forma parte del sistema TDPS (Titicaca-Desaguadero-Poopó-Salar de Coipasa), el cual es una cuenca endorreica binacional que se encuentra entre Perú y Bolivia. Este Lago es el segundo de mayor extensión de Bolivia después del Titicaca, sin embargo, en las últimas décadas ha presentado ciclos de pérdida y recuperación de caudal, llegando a reportarse en ocasiones como un lago que se ha secado. El objetivo del presente trabajo fue estimar la dinámica futura en el sistema TDPS y en los caudales de los ríos tributarios que alimentan el Lago Poopó, considerando variaciones proyectadas en la precipitación y temperatura bajo escenarios de cambio climático, por medio de una simulación hidrológica con el programa SWAT, ajustando las variaciones en un modelo hidrológico realizado previamente para el sistema a partir de 37 años de datos históricos de estaciones climáticas. Se consideraron 2 escenarios, con aumento (1) y con disminución de las precipitaciones (2) en un 20% y ambos con aumento de la temperatura en 1.5 °C. Los resultados obtenidos muestran un aumento en la producción de agua en un 134.41% respecto a la modelación base para el escenario 1, y una disminución del 11.46% para el escenario 2, así como un aumento en el escurrimiento para ambos escenarios, respecto a la modelación base. Finalmente se propusieron algunos lineamientos generales que contribuyan a identificar medidas de adaptación al cambio climático en el sistema TDPS.

**Palabras clave:** Lago Poppó, Sistema TDPS, simulación hidrológica SWAT, escenarios de cambio climático, adaptación.

## ABSTRACT

The Poopó Lake is part of the TDPS system (Titicaca-Desaguadero-Poopó- Coipasa Salt Flat), which is a binational endorheic basin located between Peru and Bolivia. This lake is the second largest in Bolivia after the Titicaca Lake, however, in recent decades it has presented cycles of loss and recovery of flow, sometimes being reported as a lake that has dried up. The objective of this study was to estimate the future dynamics in the TDPS system and in the flows of the tributary rivers of Lake Poopó, considering projected variations in precipitation and temperature under climate change scenarios, through a hydrological simulation with the SWAT program, adjusting the variations in a hydrological model previously carried out for the system based on 37 years of historical data from weather stations. Two scenarios were considered, with an increase (1) and with a decrease in precipitation (2) by 20%, and both with a temperature increase of 1.5 °C. The results obtained show an increase in water production of 134.41% compared to the base model for scenario 1, and a decrease of 11.46% for scenario 2, as well as an increase in flow out for both scenarios, compared to the base modeling. Finally, some general guidelines were proposed to help to identify climate change adaptation measures in the TDPS system.

**Key words:** Poppó Lake, TDPS system, SWAT hydrologic simulation, climate change scenarios, adaptation.

# **1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1. Antecedentes**

Las condiciones de los diferentes componentes del ambiente se transforman a lo largo de los años, lo cual afecta su estado. Los lagos no son la excepción, lo que significa que éstos tienen periodos de vida. No obstante, diversas acciones o situaciones pueden generar alteraciones en los cuerpos de agua y acortar esos periodos de vida. Un ejemplo de esto es el llamado mar de Aral, que es un lago ubicado en Asia central y cuya pérdida debido a un uso irracional e inadecuado del recurso hídrico se convirtió en uno de los mayores desastres medioambientales provocados por el ser humano.

De forma más reciente, el Lago Poopó, el cual forma parte del sistema TDPS, ubicado en América del Sur entre Perú y Bolivia, se convirtió en noticia debido a que a finales del año 2015 diversos medios de comunicaciones indicaron que había desaparecido. A mediados de la década de los noventa, se podría decir que se marcó el inicio del ciclo de degradación actual, ya que en ese periodo el Lago también se secó completamente y a partir de ahí no se logró recuperar (Hoffmann, 2016).

Tanto pobladores como científicos tenían conocimiento de las fluctuaciones de caudal del Lago y las estimaciones de los científicos indicaban que el Lago Poopó tenía destinado desaparecer. No obstante, este plazo se ha acelerado, motivo por el cual, de acuerdo con las proyecciones, ha pasado de restarle una vida de siglos a una que se estima en años.

Para los Uros, grupos poblacionales que habitan tradicionalmente en el lago, también era recurrente observar las variaciones en el nivel del lago, ya que en diversas ocasiones anteriores el lago había presentado disminuciones en el nivel de agua, para después de la época lluviosa recuperar caudal. Estos ciclos eran considerados predecibles, sin embargo, últimamente se han presentado fluctuaciones inesperadas, lo cual ha generado mucha incertidumbre sobre el futuro del lago.

Son diversas las condiciones que confluyen e influyen en esta problemática. El arrastre de sedimentos provoca la pérdida de profundidad, lo que aplana aún más el fondo de un lago que ya presenta una topografía plana y dificulta la retención de agua, y además corta la conexión del lago con los afluentes que alimentan su caudal (La difícil labor de resucitar el lago boliviano que murió hace rato).

Respecto a esto es importante mencionar el limitado afluente que alimenta al lago, siendo el río Desaguadero el principal aporte, el cual se ve fuertemente reducido durante la época seca. Adicionalmente la serie de actividades que se encuentran en su curso, demandan una importante cantidad de agua que compromete el afluente que llega al Lago. Sobre esto es necesario dimensionar que el río Desaguadero es el principal aportador de agua del Lago, ya que dos terceras partes del agua del Lago provenían de este río (Hoffmann, 2016).

Su morfología implica otra particularidad, ya que a pesar de ser un lago poco profundo (lo que bien se consideraría como un charco), tenía un área amplia, aumentando su susceptibilidad, ya que esto se

traduce en una capa delgada de agua sensible a las variaciones. "Tiene una gran superficie y un volumen pequeño", tal como indica Darío Achá, biólogo de la Universidad Mayor de San Andrés de La Paz (La difícil labor de resucitar el lago boliviano que murió hace rato).

Otra de las causas son las actividades económicas como la agricultura, minería, la industria, que han realizado desvíos aguas arriba del lago Poopó, lo cual compromete el caudal que recibe. Por ejemplo, el auge que ha tenido la quinua en otros países ha generado el desvío de canales aguas arriba (Casey 2016).

Por su parte la minería, como otra de las actividades principales, aunque afecta en menor medida el volumen de agua, genera una alta contaminación por metales pesados. Y es que la degradación de este lago va más allá de la pérdida de caudal. Estudios indican que los valores de concentración de metales pesados son relativamente altos en comparación a los valores de otros lagos del mundo (Zabaleta Cabrera 1994).

Finalmente, como otro detonante de la problemática se menciona el cambio climático, situación que genera gran preocupación, principalmente en los últimos tiempos, con aumento de temperatura y variaciones climáticas (el incremento de la temperatura en la meseta ha sido más acelerado que el promedio de Bolivia, aumentando 0.9 grados en una década, 1995 a 2005) (Casey 2016). Situación que ha venido a agravar diferentes situaciones en el tema ambiental y que no es la excepción en la degradación de los cuerpos de agua.

## **1.2. Justificación del tema**

El Lago Poopó es un ecosistema de gran importancia para los pobladores por una diversidad de aspectos. Uno de estos es la relevancia cultural del lago, ya que los pobladores lo ven como un padre o una madre, se consideran a sí mismos como "hombres del agua", y sus hábitos y prácticas están sumamente conectadas a este cuerpo de agua.

Sus medios de vida y alimentación se derivan principalmente del lago, como por ejemplo la pesca. Sin embargo, la degradación del lago ha afectado estas actividades, conllevando a otras problemáticas sociales como el desempleo, la migración, siendo los Uros considerados como los primeros refugiados del cambio climático en Bolivia.

La problemática también engloba otros aspectos como pérdida de biodiversidad (flora y fauna), repercusiones en la salud de los pobladores al consumir pescado y agua contaminados del lago.

Del análisis de la problemática se aprecia que hay un deficiente manejo de cuencas. En la región se han realizado proyectos como el "Plan Director de la Cuenca del Lago Poopó", y el "Plan de Acción 2015-2025 para la conservación y el uso sustentable del Sitio Ramsar lagos Poopó y Uru Uru". Entre otras de las acciones que se han llevado a cabo se puede mencionar el dragado del río Desaguadero, una planta de tratamiento, diques de cola. Estas acciones son consideradas, al menos para conservar parcialmente el lago (La difícil labor de resucitar el lago boliviano que murió hace rato).

Sin embargo, hasta el momento éstas no han sido suficientes. Se han presentado solicitudes e incluso denuncias para que se tomen acciones concretas en pro de la recuperación (al menos parcial) de este cuerpo de agua. Incluso fue planteada una ley nacional por parte del Centro de Ecología y Pueblos Andinos (CEPA), con el fin de que se priorice este problema y se destine una mayor cantidad de recursos para su atención, contrario a lo que ha sucedido en los últimos años (Ibáñez 2021).

Debido a lo anterior se considera importante establecer posibles escenarios en los que se pueda estimar condiciones futuras del lago y a partir de los cuales se motive la toma de medidas. El manejo de la cuenca podría permitir conservar y mejorar las condiciones del lago por más tiempo, ya que, aunque es de conocimiento que el lago tiene un tiempo de vida, este se ha acelerado. Tal como sostiene Darío Achá, biólogo de la Universidad Mayor de San Andrés de La Paz (La difícil labor de resucitar el lago boliviano que murió hace rato), las acciones que se pueden tomar no son directamente con el cambio climático, sino medidas para el manejo de la cuenca.

### **1.3. Importancia**

El estudio hidrológico para estimar la dinámica futura de caudales de los tributarios y su impacto en el estado del lago Poopó constituye un insumo más a los estudios que se han realizado en la zona, para analizar el problema de degradación actual al igual que podría ser parte de la base de otros estudios e investigaciones que permitan ampliar el conocimiento sobre este tema. De esta forma el presente trabajo contribuye a generar datos de referencia sobre el panorama futuro del lago.

Con lo anteriormente expuesto se pretende además que la información sea de utilidad para la toma de decisiones vinculadas al manejo y gestión de la cuenca y a la identificación de medidas de adaptación apropiadas, ya que para llevar esto a cabo se debe contar con información sobre los escenarios futuros, de lo contrario se atentará aún más contra el lago y la cuenca en general.

Se debe mencionar que las medidas que se han aplicado de momento no han sido suficientes para detener la degradación del lago. En el TDPS, al ser un sistema tan grande, se pueden incrementar las dificultades debido a que hay múltiples gobiernos locales y nacionales, instituciones involucradas, lo que vuelve más complejo el manejo y la gestión de cuencas.

Este trabajo puede formar parte de los insumos e investigaciones relacionadas por medio de las cuales se sustente e impulse la toma de decisiones, la creación de políticas y asignación de recursos por parte de las instituciones involucradas, principalmente los gobiernos locales.



## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Realizar un estudio hidrológico en la región del sistema endorreico TDPS (Titicaca- Desaguadero- Poopó-Salar de Coipasa), específicamente en el Lago Poppó, por medio de una modelación hidrológica con el programa SWAT, para estimar la dinámica futura de caudales de los tributarios y su impacto en el estado del lago Poopó.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- i. Realizar una simulación hidrológica de los ríos tributarios al lago Poopó, por medio del programa SWAT para estimar los caudales futuros en el área de estudio.
- ii. Estimar el impacto de escenarios climáticos futuros en el Lago Poppó en la variación de caudal de sus ríos tributarios.
- iii. Proponer lineamientos generales que contribuyan a identificar medidas de adaptación relacionadas con las variaciones de caudales del Lago Poppó y sus tributarios.

## **2. MARCO REFERENCIAL**

### **2.1. Ciclo hidrológico**

En términos generales el ciclo hidrológico es la agrupación de las diferentes variaciones que presenta el agua en la naturaleza, lo cual incluye sus distintos estados, así como las diferentes masas de las que pueden formar parte (por ejemplo, agua superficial, agua subterránea, entre otras). Algunas características fundamentales del ciclo hidrológico es que es totalmente irregular e infinito (Villón 2002).

Dado a estas características, no se puede hablar de un inicio. Comenzando de forma aleatoria, el ciclo hidrológico incluye la evaporación del agua de la superficie para formar nubes que posteriormente se condensan, descienden en forma de precipitación. Una parte de esta agua se evapora, otra es interceptada y otra escurre o se infiltra. Una parte de esta agua infiltrada y el agua interceptada se evaporará, otra será absorbida por plantas para luego ser transpirada, mientras que otra parte escurrirá hacia cuerpos de agua superficial o percolará a los almacenamientos subterráneos para posteriormente aflorar; la precipitación que llega a corrientes se infiltrará o llegará a cuerpos de agua superficial (Aparicio Mijares 1992). En la figura 1 se muestra un esquema que representa de forma simplificada el ciclo hidrológico.

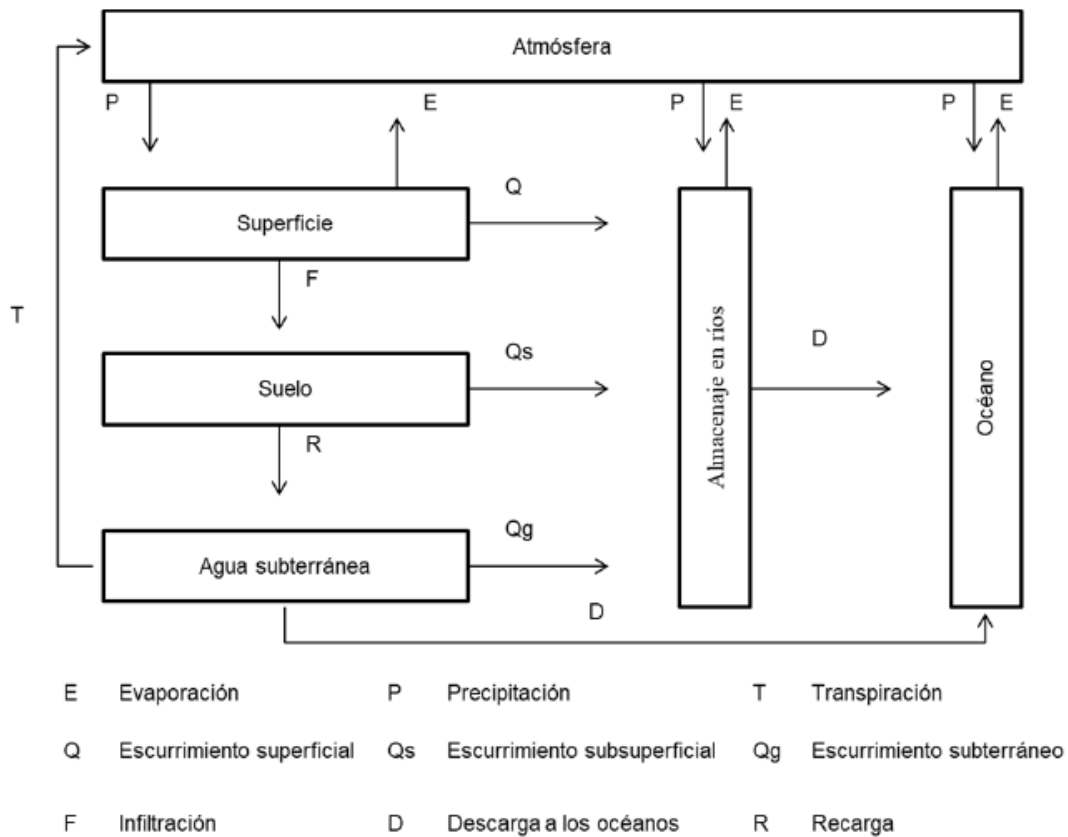


Figura 1. Esquema del ciclo hidrológico

Fuente: Rodríguez (2019) tomado de Villón (2004).

Cuatro quintas partes de la superficie terrestre se encuentran cubiertas de agua y a pesar de que menos del 1% de esta agua está disponible para consumo humano, se ha estimado que existe agua suficiente para satisfacer las necesidades humanas (Davie 2008).

Mientras que en los océanos se evapora una cantidad de agua superior a la que retorna en forma de precipitación, en las masas continentales se recibe una cantidad mayor de precipitación de la que se evaporó. Estos dos componentes del ciclo hidrológico (evaporación y precipitación), junto con la escurrimiento, son los principales procesos de interés de la hidrología. (Davie 2008). Como menciona Pabón y Chaparro citado por Carvajal Vanegas (2017), por medio de la radiación solar se da la evaporación de grandes volúmenes de vapor de agua, y por esto puede ser considerado como el principal propulsor del ciclo hidrológico.

Los volúmenes de precipitación varían enormemente entre las diferentes partes del mundo. En el caso de los climas templados, cerca de una tercera parte de la precipitación se convierte en evaporación, mientras que en las zonas áridas y semiáridas esta porción de evaporación incrementa de forma importante (Davie 2008).

## **2.2. Balance hídrico**

El principio del balance hídrico se basa en la Ley de la Conservación de la materia, siendo que la diferencia del agua que ingresa y la que sale del sistema, en este caso el suelo, es igual al agua almacenada en las cuencas (MMAyA 2016). Tal como menciona (Davie 2008), debido a que en el ciclo hidrológico se considera un ciclo cerrado en la teoría, no hay pérdidas o generación de nueva agua, razón por la cual el resultado debe ser igual a cero. La forma simplificada de esta ecuación es:

$$P \pm E \pm \Delta S \pm Q = 0$$

Donde:

P = precipitación

E = evaporación

S = cambio en el almacenamiento

Q= escorrentía

### **2.2.1. Precipitación**

La precipitación es la transformación de la humedad en cualquiera de sus formas (lluvias, llovizna, granizadas, garúas, nevadas), transportándose desde las nubes hasta llegar al suelo (Villón 2002). Custodio y Llamas citados por Besteiro (2015), señalan que la precipitación es un fenómeno discontinuo, con distribuciones muy cambiantes en el espacio y en el tiempo.

Tal como indica (Villón 2002), "la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones y análisis forman el punto de partida de los estudios concernientes al uso y control del agua".

### **2.2.2. Escorrentía**

Se entiende por escorrentía como aquellas aguas que fluyen a través de la superficie terrestre o debajo de ella hasta llegar a una corriente para transportarse en ella y desfogar en la salida de la cuenca. Estas aguas de escorrentía se dividen en tres tipos, de acuerdo con el camino que sigan hasta la salida de la cuenca: escurrimiento superficial, escurrimiento subsuperficial y escurrimiento subterráneo (Aparicio Mijares 1992).

Por otra parte, se clasifica en escurrimiento directo cuando presenta un efecto instantáneo y escurrimiento de base en los casos que hay un efecto retardado (Villón 2002).

### **2.2.3. Evapotranspiración**

La evapotranspiración es la unión de dos procesos considerados de salida de agua dentro del ciclo hidrológico: la evaporación y la transpiración. La evaporación por una parte es el fenómeno por medio del cual el agua líquida cambia a estado gaseoso, convirtiéndose en vapor de agua (vaporización). Es

un proceso que requiere de absorción de energía y ésta proviene de radiación solar directa y de la temperatura del ambiente. En el caso de la transpiración, la vaporización ocurre desde el agua de las plantas, a través de sus estomas. Debido a que ambos procesos en la naturaleza se dan al mismo tiempo, se torna complejo estudiarlos de forma separada (Ordoñez Gálvez 2011).

#### **2.2.4. Evapotranspiración potencial**

De acuerdo con el concepto introducido por Thornthwaite citado por Ordoñez Gálvez (2011), se entiende por Evapotranspiración potencial a "la cantidad de agua que perderá una superficie completamente cubierta de vegetación en crecimiento activo si en todo momento existe en el suelo humedad suficiente para su uso máximo por las plantas".

#### **2.2.5. Infiltración**

La infiltración es el fenómeno ocurrido por el movimiento del agua por medio de la superficie del suelo, así como en el interior de este, gracias a las fuerza gravitacional y capilar. El mayor porcentaje de las salidas denominadas como "pérdidas" (intercepción, retención, evaporación y transpiración), corresponde a la infiltración (Aparicio Mijares 1992). Como indica Villón citado por Carvajal Vanegas (2017), la diferencia entre la infiltración y la percolación es que en la primera el agua se moviliza por las capas superficiales del suelo mientras que en la segunda el movimiento es a través de las capas del subsuelo.

### **2.3. Modelos hidrológicos**

Los modelos hidrológicos son una herramienta que busca representar, ya sea por medio de una representación física o matemática, y a partir de ecuaciones empíricas o conceptuales, los distintos procesos que se llevan a cabo en la distribución de la precipitación y generación de caudal en una cuenca, para diversas condiciones hidrometeorológicas (Weber *et al.* 2010).

Estos modelos pueden ser clasificados por múltiples categorías, no obstante, se puede considerar que las tres principales son: 1) por conceptualización de procesos básicos (empíricas, conceptuales o basadas en procesos), 2) basados en algoritmos básicos (determinísticos o estocásticos), y 3) por su representación espacial (agrupados o distribuidos) (Cabrera 2015).

A pesar de que en sus inicios se utilizaban únicamente para representar los mecanismos individuales de los procesos más importantes del ciclo hidrológico, con el desarrollo de las herramientas digitales, estos modelos han pasado a ser utilizados para la representación de la cuenca hidrológica para extensos periodos de tiempo, y tanto para el proceso de transformación de la precipitación en caudal, como para el movimiento vertical del agua en el ciclo hidrológico (Weber *et al.* 2010).

## 2.4. Modelo SWAT

SWAT ("Soil and Water Assessment Tool", o "Herramienta para la Evaluación del Suelo y Agua" en español), es modelo de tipo continuo en el tiempo, diseñado por el Servicio Agrícola de Investigación (ARS) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) en conjunto con la Universidad de Texas, para "predecir el impacto de las prácticas agrícolas químicas, en cuencas grandes y complejas con variedad de suelos, uso de la tierra y condiciones de manejo sobre un tiempo prolongado" (Uribe 2010).

Para llevar a cabo la simulación, se debe realizar una división de la cuenca hidrográfica en subvertientes o cuencas, lo cual resulta de gran utilidad, principalmente cuando se presentan usos de suelo muy heterogéneos, generando un impacto en la hidrología de la zona. Para cada subvertiente se ingresa información y se categoriza en los siguientes aspectos: clima, unidades de respuesta hidrológicas (HRUs), estanques o humedales, agua subterránea, canal principal y drenaje de la subcuenca (Uribe 2010).

De acuerdo con Neitsch *et al.* (2009), la ecuación de balance hídrico que utiliza el sistema para simular el ciclo hidrológico es la siguiente:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})$$

Donde:

$SW_t$  = Contenido final de agua en el suelo (mm).

$SW_0$  = Contenido inicial de agua en el suelo diario (mm).

$t$  = Tiempo en días.

$R_{day}$  = Precipitación diaria (mm).

$Q_{surf}$  = Escorrentía Superficial diaria (mm).

$E_a$  = Evapotranspiración diaria (mm).

$W_{seep}$  = Cantidad de agua que se infiltra en el suelo diariamente (mm).

$Q_{gw}$  = Flujo de retorno diario (mm).

De acuerdo Carvajal Vanegas citado por Rodríguez (2019), para realizar simulación en el modelo SWAT es necesario en primer lugar delimitar la cuenca usando el modelo de elevación digital (MED) y agregando la red hídrica (de forma opcional); posteriormente establecer las Unidades de Respuesta Hidrológica, utilizando capas en formato ráster de los distintos tipos y usos de suelos y la pendiente resultante del modelo de elevación digital; y finalmente ejecutar la simulación, incorporando la información climática diaria. Con esto es posible calibrar el modelo, haciendo uso de datos de salidas de la cuenca, información que también podrá ser utilizada como línea base.

Entre los principales atributos, se puede mencionar que SWAT ha probado ser una herramienta interdisciplinaria para modelado de cuencas hidrográficas de gran aceptación a nivel internacional,

siendo utilizada en casi 100 países para diversas investigaciones sobre recurso hídrico, más de 2000 de ellas, en cientos de diferentes revistas, además de que ha sido integrada exitosamente a Sistemas de Información Geográfica (GIS) para recopilar, manipular y analizar las entradas y salidas (Dile *et al.* 2016).

#### **2.4.1. Calibración del modelo SWAT**

Debido a que SWAT requiere una gran cantidad de parámetros de entrada, su calibración es complicada, razón por la cual existen diversas técnicas de calibración, tanto de tipo manual como automatizados. En el caso de SWAT CUP, se puede realizar un ajuste manual de los parámetros y de los rangos de forma repetitiva entre las ejecuciones de calibración automática. Esta interacción manual obliga al usuario a tener una mejor comprensión de los procesos hidrológicos generales y de la sensibilidad de los parámetros (Arnold *et al.* 2012).

#### **2.5. Cambio climático**

Al hablar de cambio climático se hace referencia a las variaciones que se presentan en el clima por extensos periodos de tiempo (décadas o incluso mayores), con alteraciones en los registros promedio y con variaciones en sus propiedades. Estos cambios pueden originarse por procesos naturales (tanto internos como externos), o a partir de acciones de origen antropogénico que generan alteraciones en la atmósfera y en el uso del suelo (IPCC 2014). No obstante, sobre esto es importante resaltar que, tal como indica el IPCC (2014), la Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMNUCC) lo define como “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a variabilidad climática natural observada durante períodos de tiempo comparables”.

A nivel global en las últimas décadas se han presentado diversos cambios sin precedentes debido al cambio del clima. Según lo indicado por CDKN y ODI (2014) en el Quinto Reporte de Evaluación del IPCC, algunos de los principales son:

- El aumento promedio de la temperatura de la superficie terrestre a partir de mediados del siglo XIX ha sido de 0.85 grados Celsius.
- Aumento acelerado de los niveles del mar en comparación a los dos milenios anteriores.
- Variaciones en la precipitación de muchas partes del mundo, generando alteraciones en los sistemas de agua dulce, con una consecuente afectación de la calidad y la cantidad de agua disponible.

De acuerdo con este mismo informe, en el caso de América Latina algunos impactos observados con una alta y muy alta confianza de atribución son:

- Pérdida de glaciares en los Andes.
- Incremento de caudal en la cuenca del Río de la Plata.

- Crecimiento en la ocurrencia de precipitaciones fuertes con un consecuente incremento en el riesgo de deslizamientos de tierra e inundaciones en el sudeste de América del Sur, y en América Central y el norte de América del Sur.
- Variaciones en los flujos extremos del río Amazonas.
- Erosión costera y otros impactos físicos del nivel del mar.

## 2.6. Escenarios de cambio climático

En el Quinto Informe de Evaluación del IPCC se plantearon cuatro escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero, denominados como Trayectorias Representativas de Concentración (RCP, por sus siglas en inglés).

Posteriormente en el Sexto Informe de Evaluación emitido en el año 2021 se amplió el planteamiento a cinco escenarios con el fin de considerar la respuesta del clima a una mayor diversidad de las futuras variables (tanto de gases de efecto invernadero, como de usos de la tierra y de contaminantes atmosféricos), así como para incluir la actividad solar y el forzamiento de fondo de los volcanes en las proyecciones. Estos escenarios se denominan Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP, por sus siglas en inglés) e incluyen proyecciones a corto (2021–2040), mediano (2041–2060) y largo plazo (2081–2100) (IPCC 2021).

Estas trayectorias se clasifican tomando en consideración diferentes escenarios de desarrollo socioeconómico y políticas climáticas (ver cuadro 1), y se pueden combinar con RCPs, las cuales implican distintos niveles de mitigación (IPCC 2020).

Cuadro 1. Clasificación de las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas

<b>SSP1</b>	<b>SSP2</b>	<b>SSP3</b>	<b>SSP4</b>	<b>SSP5</b>
Pico y disminución de población, reducción de desigualdades, mejor uso de la tierra, optimización del uso de recursos, tecnología y estilos de vida armoniosos con el ambiente	Crecimiento demográfico, ingresos y progreso tecnológico medio. Se mantienen patrones de producción y consumo. Reducción gradual de desigualdad.	Aumento de población, bajos ingresos, desigualdades, consumo y producción intensivo, barreras al comercio. Cambio lento de la tecnología.	Crecimiento demográfico e ingresos medios, desigualdad entre y dentro de las regiones.	Pico y disminución de población, altos ingresos, reducción de desigualdades, libre comercio. Uso intensivo de los recursos.

Fuente: Elaborado con base en IPCC 2020.

De cualquier forma, para todos los escenarios se estima que la temperatura de la superficie global continuará aumentando al menos hasta mediados del siglo XXI. Con esto se pronostica que el ciclo hidrológico sea más intenso y variable (IPCC 2021).

En el siguiente cuadro se resume la estimación óptima y el rango (muy probable) de aumento de temperatura que se estima para cada uno de los escenarios, para los diferentes plazos:

Cuadro 2. Cambios proyectados en la temperatura global de la superficie a corto, mediano y largo plazo para los cinco escenarios (SSP).

Escenario	Corto plazo (2021–2040)		Mediano plazo (2041–2060)		Largo plazo (2081–2100)	
	Estimación óptima (°C)	Rango muy probable (°C)	Estimación óptima (°C)	Rango muy probable (°C)	Estimación óptima (°C)	Rango muy probable (°C)
SSP1-1.9	1.5	1.2 a 1.7	1.6	1.2 a 2.0	1.4	1.0 a 1.8
SSP1-2.6	1.5	1.2 a 1.8	1.7	1.3 a 2.2	1.8	1.3 a 2.4
SSP2-4.5	1.5	1.2 a 1.8	2.0	1.6 a 2.5	2.7	2.1 a 3.5
SSP3-7.0	1.5	1.2 a 1.8	2.1	1.7 a 2.6	3.6	2.8 a 4.6
SSP5-8.5	1.6	1.3 a 1.9	2.4	1.9 a 3.0	4.4	3.3 a 5.7

Fuente: Elaborado con base en IPCC 2021.

## 2.7. Impacto del cambio climático sobre el recurso hídrico

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (2008) señala que se ha identificado una relación entre el calentamiento global observado a lo largo de las últimas décadas y las variaciones en el ciclo hidrológico a gran escala, específicamente en el aumento del contenido de vapor de agua en la atmósfera; cambios en las características, intensidad y valores máximos de precipitación; reducción de la capa de nieve, derretimiento de las masas de hielo; alteraciones en la humedad del suelo y en la escorrentía. Estas situaciones generan grandes alteraciones en la distribución de agua en sus diferentes estados.

Estas alteraciones han generado la intensificación de condiciones extremas, por ejemplo, se ha observado un aumento de las precipitaciones en latitudes septentrionales altas, mientras que desde la década de los setenta han disminuido las lluvias entre los 10°S y los 30°N; aumenta la frecuencia de lluvias intensas en las algunas partes y por otro lado se duplica la superficie global de tierra que se clasifica como muy seca, siendo así que se proyecta un agravamiento tanto del riesgo de inundaciones como de sequías, dejando algunas zonas en mayores condiciones de vulnerabilidad frente al cambio climático (IPCC 2008).



## **2.8. Adaptación al cambio climático**

El IPCC (2001) define la adaptación al cambio climático como el “ajuste de sistemas naturales o humanos, en respuesta a estímulos climáticos reales o previstos o a sus efectos, que modera los daños o explota oportunidades provechosas”. Es este sentido se puede hablar de diferentes tipos de adaptación, como por ejemplo la adaptación anticipadora y la reactiva, la adaptación privada y la pública, y la adaptación autónoma y la planificada (IPCC 2001).

Sánchez y Reyes (2015), indican algunas opciones de medidas de adaptación en el sector del recurso hídrico, entre las cuales se pueden mencionar:

- Conservación del agua y gestión de la demanda
- El manejo de cuencas
- Gestión del uso de la tierra
- Uso eficiente del agua y cambio de patrones de uso
- Reciclaje de agua
- Eficiencia de riego
- Infraestructura de gestión del agua
- Mejoras institucionales y de gobernanza para asegurar la aplicación efectiva de las medidas de adaptación

A través de las medidas de adaptación es posible reducir riesgos relacionados a fenómenos climáticos extremos, desertificación, degradación de la tierra e inseguridad alimentaria (IPCC 2020). Estas acciones son necesarias para abordar los impactos del cambio climático que no se pueden gestionar por medio de las acciones de mitigación, por lo que ambas medidas son necesarias e importantes (CDKN y ODI 2014).

## **3. METODOLOGÍA**

### **3.1. Ubicación del área de estudio**

El sistema endorreico TDPS (Titicaca- Desaguadero- Poopó- Salar de Coipasa) se encuentra en los países de Perú y Bolivia. Específicamente la subcuenca del Lago Poopó se ubica en Bolivia y pertenece al departamento de Oruro. A su vez, ocupa las provincias Cercado, Poopó, Avaroa, Sebastian Pagador, Ladislao Cabrera, Sur Carangas y Saucari, y éstas tienen influencia de los ríos Desaguadero, Mauri y Márquez, y el Paso Julián, para conformar la cuenca lacustre del lago Poopó. Ésta se localiza en la parte central del Altiplano, entre las coordenadas 66°20' a 67°55' de longitud oeste 17°07'a 20°01' de latitud sur (MMAyA 2015).

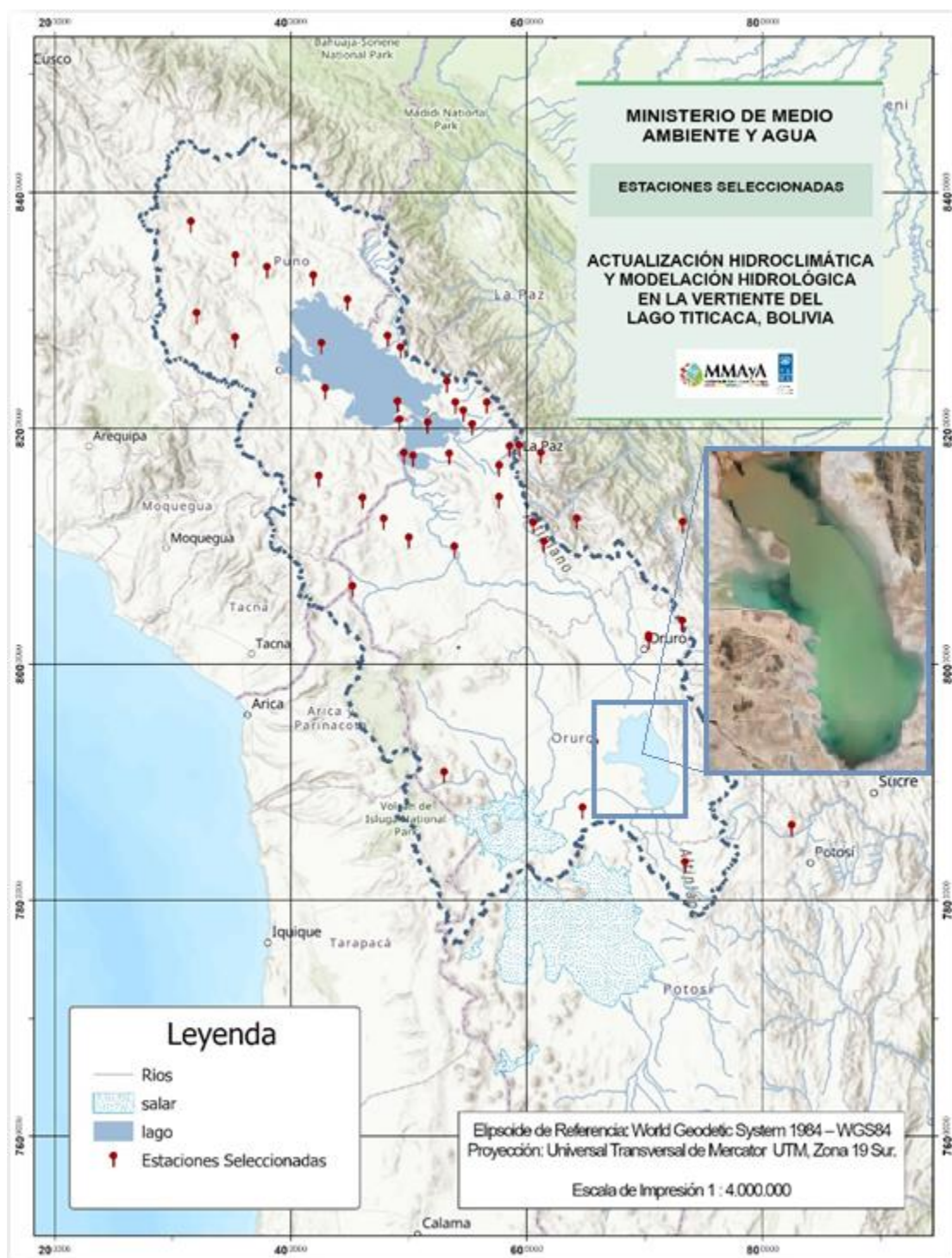


Figura 2. Ubicación del sistema TDPS  
 Fuente: Adaptado de Ríos, Ney 2021<sup>1</sup> y Google Earth.

<sup>1</sup> Ríos, Ney. 2021. Actualización hidroclimática y modelación hidrológica en la vertiente del Lago Titicaca, Bolivia” en el marco del Proyecto Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en el Sistema Titicaca – Desaguadero – Poopó – Salar de Coipasa”. Informe de resultados de la modelación. 50 p.

### 3.2. Descripción del área de estudio

El sistema hídrico TDPS es una cuenca endorreica transfronteriza ubicada a una altura promedio de 3800 m.s.n.m., entre Bolivia, Perú y Chile. Está conformado por las cuencas hidrográficas del Lago Titicaca, río Desaguadero, Lago Poppó y Salar de Coipasa (Asencios Astorayme 2020). Este sistema cubre un área de 143900 km<sup>2</sup> (Calizaya Terceros 2009), y se encuentra rodeado por dos ramales de Los Andes; la Cordillera Oriental que lo separa de la Amazonía, y la Cordillera Occidental que lo separa de la cuenca desértica del Pacífico (Pouilly *et al.* 2014).

El clima del sistema se caracteriza por una alta radiación solar, aridez extrema, y muy bajas temperaturas. La tasa anual de precipitación es baja (Asencios Astorayme 2020), y presenta un gradiente de precipitación Norte-Sur y Este-Oeste. Las zonas que limitan con la cuenca amazónica son más húmedas, alcanzando valores de hasta 1000 mm/año en la parte Norte del sistema, y mayores a 1300 mm/año sobre el Lago Titicaca. Sucede lo contrario en el extremo sudoeste donde las precipitaciones son de aproximadamente 200 mm/año. Gran parte de las precipitaciones (más del 70%), se presentan durante los meses de diciembre a marzo, la cual es "transportada como vapor precipitable por los vientos alisios desde el Atlántico Tropical y la extensa llanura amazónica al Este" (Pouilly *et al.* 2014).

Los flujos de aire ejercen influencia de forma diferenciada, siendo que el flujo del oriente traslada el aire húmedo de las tierras bajas hasta el este del Altiplano y el flujo de occidente impide el transporte de humedad del este (Canedo Rosso *et al.* 2010).

La evapotranspiración potencial se estima entre los 1000 a los 1850 mm/año, teniendo la parte sur los valores más altos. Se considera que el sistema es muy sensible a las variaciones climáticas (Pouilly *et al.* 2014).

A través de diferentes épocas del cuaternario el sistema experimentó variaciones en sus cuerpos de agua superficial, presentándose épocas en las que gran parte de su superficie era ocupada por uno o dos grandes lagos y otras en las que el único lago era el Titicaca, pero con una superficie y profundidad menor a la que tiene actualmente (Pouilly *et al.* 2014).

Por su parte la subcuenca del Lago Poppó, con una superficie de 24000 km<sup>2</sup>, es una cuenca endorreica localizada en el altiplano boliviano, específicamente en el departamento de Oruro, entre las coordenadas 67°10' de longitud oeste y 18°05' latitud sur, a una altitud entre los 3500 y más de 4000 m.s.n.m. (Quino *et al.* 2006). Las cordilleras de los Andes rodean el altiplano del Sistema, el cual está conformado por una serie de llanuras, serranías y cerros aislados (UNEP 1996).

El lago Poppó, con una extensión de aproximadamente 2400 kilómetros cuadrados de superficie, es el segundo lago más grande de Bolivia, después del lago Titicaca. En cuanto a las dimensiones del lago existen diversos datos en la literatura, esto está muy relacionado con la variabilidad de caudal que se experimenta en este cuerpo de agua. Estos datos también varían mucho dependiendo de la fecha de la publicación, e incluso se identifica como uno de los "sistemas acuíferos más variables del país". Algunas

fuentes indican que posee una superficie total del 2530 km<sup>2</sup>, aunque con un área promedio de 600 km<sup>2</sup>. Con la profundidad sucede lo mismo, ya que se habla de profundidades entre 0.5 y 2.5, y 1.4 metros como promedio (Zabaleta Cabrera 1994).

En otras fuentes se habla de una superficie que ronda los 2500 y 3000 km<sup>2</sup>, sin embargo, esto referido a la época en la que contaba con un abundante caudal. La profundidad máxima del lago no era mayor a 5 m en el siglo anterior, y no mayor a 2 o 3 metros en las últimas décadas. Esto se ve plasmado en datos. Por ejemplo, el director de cuencas de la Gobernación de Oruro se refiere a la existencia de 250 sistemas de riego, legales, ubicados en el Río Desaguadero (Hoffmann 2016).

Los suelos presentan una compactación elevada con una baja porosidad que imposibilita la infiltración y almacenamiento de agua, generando escurrimiento y riesgo de erosión, además de tener alta variabilidad textural, una capa arable poco profunda, y un bajo contenido de materia orgánica lo que produce una baja retención de agua y nutrientes (Quino *et al.* 2006).

A nivel socioeconómico, en la región se han presentado algunas problemáticas como migración producto del desempleo, abandono de la pequeña agricultura, pérdida de organizaciones sociales, debilitamiento de la gestión comunitaria, aumento de conflictos, entre otros (Guevara Gil *et al.* 2018).

### **3.3. Procedimientos metodológicos**

**Objetivo específico I: Realizar una simulación hidrológica de los ríos tributarios al lago Poopó, por medio del programa SWAT para estimar los caudales futuros en el área de estudio.**

Para llevar a cabo el primer objetivo específico se utilizó como insumo principal la información generada en el Informe "Actualización hidroclimática y modelación hidrológica en la vertiente del Lago Titicaca, Bolivia" en el marco del Proyecto Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en el Sistema Titicaca – Desaguadero – Poopó – Salar de Coipasa", realizado por el Ríos, Ney el 2021 a solicitud del Ministerio de Medio Ambiente y Agua del Estado Plurinacional de Bolivia.

En ese informe se desarrolló una modelación hidrológica distribuida para el sistema TDPS, sector Bolivia. Se utilizaron estaciones de monitoreo y estaciones meteorológicas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) de Bolivia para la obtención de datos de caudal, precipitación y temperatura.

Para los otros insumos requeridos por el programa SWAT se utilizaron las siguientes fuentes:

Cuadro 3. Fuentes de información para el modelo TDPS

Insumo	Fuente
Modelo Digital De Elevaciones (MDE)	Misión SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), version 4.1.
Red Hídrica	Generada a partir del MDE por medio de la aplicación ArcGis.
Datos de clima	Ministerio de Medio Ambiente y Agua (Bolivia)
Cobertura y uso de la tierra	Agencia Espacial Europea (ESA). Proyecto ESA-CCI-LC.
Suelos	Base de Datos armonizada de Los Suelos del Mundo (Harmonized World Soil Database - HWSD).

Fuente: Elaborado con base en Ríos, N 2021

Al momento de la realización de este trabajo se recibió como insumo un modelo calibrado del sistema TDPS con toda la información e insumos requeridos por SWAT (indicados en la tabla anterior), y fue a partir de dicho modelo con su correspondiente información, que se llevó a cabo el objetivo específico.

Para esa modelación inicial se contaba con datos de 45 estaciones, del periodo de enero de 1980 a agosto del 2016.

Para establecer las anomalías y ejecutar la simulación, inicialmente se utilizaron las bases del WorldClim, específicamente las variables de temperatura mínima y máxima, y precipitación mensual en una resolución espacial de 30 segundos, para los modelos de circulación global MPI-ESM1-2-HR, MPI-ESM1-2-LR, MIROC-ES2L, y MIROC6, para la trayectoria socioeconómica compartida ssp370 y el periodo de 2041-2060, para la zona en estudio, esto en el caso de los datos climáticos futuros. Como datos históricos se utilizaron las variables de temperatura promedio y precipitación, también con una resolución de 30 segundos, del periodo 1970-2000, igualmente para la zona en estudio.

Para el cálculo de las anomalías se aplicaron las siguientes fórmulas, haciendo uso del programa RStudio:

$$Anomalía_{Pcp} = \left( \frac{Pcp_{futura} - Pcp_{actual}}{Pcp_{actual}} \right) * 100$$

Siendo:

$Anomalía_{Pcp}$  = Anomalía de precipitación mensual (%)

$Pcp_{futura}$  = Precipitación mensual futura (mm)

$Pcp_{actual}$  = Precipitación mensual actual (mm)

$$Anomalía_{Tmp} = Tmp_{futura} - Tmp_{actual}$$

Siendo:

$Anomalia_{T_{mp}}$  = Anomalía de temperatura mensual (°C)

$T_{mp_{futura}}$  = Temperatura mensual futura (°C)

$T_{mp_{actual}}$  = Temperatura mensual actual (°C)

Los datos resultantes de este proceso no fueron consecuentes con los estudios sobre este tema, como los llevados a cabo por el IPCC, donde se estima un aumento de temperatura a nivel global, ya que estos cálculos dieron como resultado disminuciones de temperatura en el sistema TDPS, incluso en varios grados, razón por la cual se decidió no utilizar estos resultados en la simulación.

En su lugar se utilizó una anomalía establecida para ambos parámetros, que está ajustada a las características particulares de la zona. Se trabajó con un ajuste de temperatura correspondiente a un aumento del 1.5%, y en el caso de la precipitación se trabajaron 2 escenarios; por una parte, un aumento del 20% y por otra parte una disminución del 20%, con el fin de abarcar diferentes comportamientos climáticos que se podrían presentar.

Estas anomalías climáticas fueron incorporadas en el modelo calibrado por medio de las variables climáticas "Ajuste de lluvia" (RFINC) y "Ajuste de temperatura" (TMPINC), en la sección de "Edición de entradas de las subcuencas" del Swat Editor.

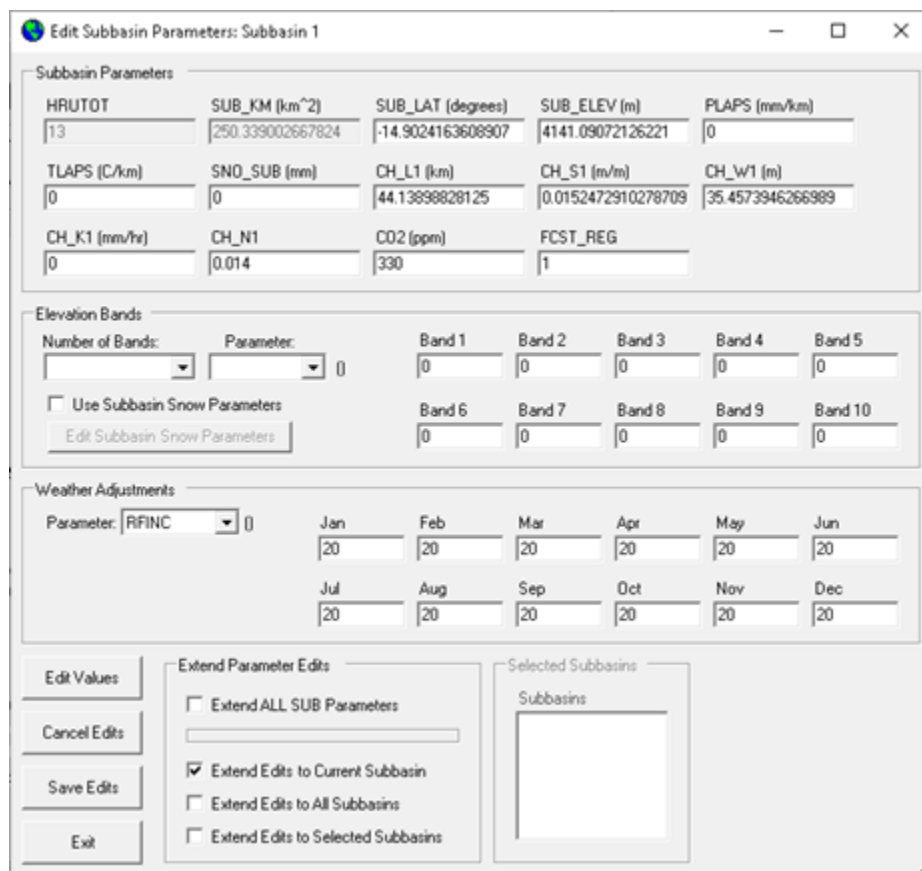


Figura 3. Ajustes climáticos para precipitación en el modelo hidrológico

Los parámetros climáticos ajustados se muestran en el anexo 1.

Teniendo los nuevos datos de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación, se procedió a ejecutar la simulación, manteniendo el mismo periodo de tiempo de la simulación anterior (36 años, con un periodo de calentamiento de cinco años), y manteniendo el mismo método para estimar la evapotranspiración de referencia (Hargreaves).

**Objetivo específico II: Estimar el impacto de escenarios climáticos futuros en el Lago Poppó en la variación de caudal de sus ríos tributarios.**

Una vez se obtuvieron los resultados de potencial de evapotranspiración, percolación, agua en el suelo, escorrentía superficial, rendimiento hídrico o producción de agua y producción de canales, se procedió a realizar el análisis, comparando los resultados de las proyecciones, con los datos del informe de "Actualización hidroclimática y modelación hidrológica en la vertiente del Lago Titicaca, Bolivia" en el marco del Proyecto Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en el Sistema Titicaca – Desaguadero – Poppó – Salar de Coipasa" y de la simulación inicial, esto con el fin de evaluar los cambios que se estima ocurrirán en el sistema TDPS, específicamente cómo estos afectarán o influirán en el afluente que alimenta el Lago Poppó, y de esta forma valorar el impacto que podría tener en éste.

**Objetivo específico III: Proponer lineamientos generales que contribuyan a identificar medidas de adaptación relacionadas con las variaciones de caudales del Lago Poppó y sus tributarios.**

El tercer objetivo de este trabajo consistió en proponer lineamientos generales que contribuyan a identificar medidas de adaptación relacionadas con las variaciones de caudales del Lago Poppó y sus tributarios. Para esto se realizó una revisión de información, investigaciones, estudios y planes relacionados a fin de proponer pautas generales que deben ser consideradas para posteriormente establecer e implementar medidas de adaptación que permitan proteger y conservar en lo posible el Lago Poppó en el largo plazo.

**4. RESULTADOS**

**4.1. Simulación hidrológica del sistema TDPS bajo escenarios de cambio climático**

Como se mencionó anteriormente, se simularon 2 escenarios, en los cuales se modificaron los variables climáticas de la siguiente forma:

Cuadro 4. Descripción de los escenarios climáticos modelados para el sistema TDPS

Escenario 1	Escenario 2
+ 1.5 °C	
+ 20%	- 20%

A diferencia de la temperatura, se consideraron dos escenarios de cambio de la precipitación, debido a la incertidumbre existente sobre las variaciones que se prevén en las mismas por los efectos del cambio climática. Como menciona Carvajal Vanegas (2017), "las variaciones en precipitación son inciertas debido a los diversos modelos de circulación existentes y los patrones inciertos de precipitación para algunas regiones".

La aplicación de estas anomalías climáticas dio como resultado diferentes valores de temperatura mínima y máxima y 2 grupos de valores distintos de precipitación. Se muestran a continuación gráficos con los promedios mensuales de estas variables, tanto de los datos históricos, como de los promedios futuros estimados.

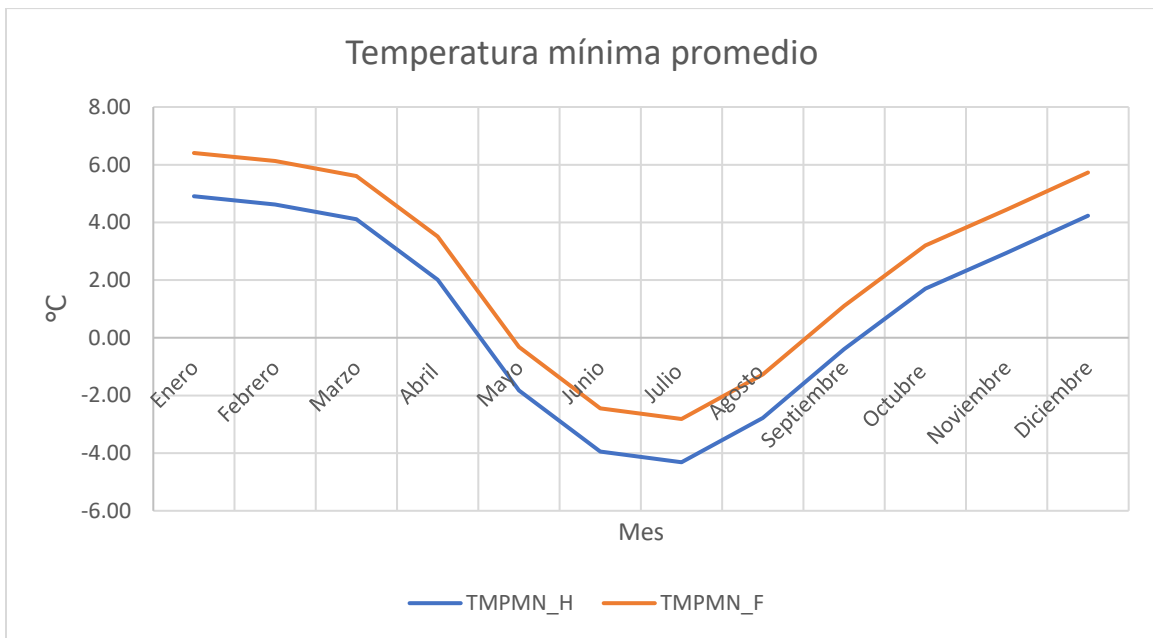


Figura 4. Promedio mensual de temperatura mínima. Datos históricos y proyecciones



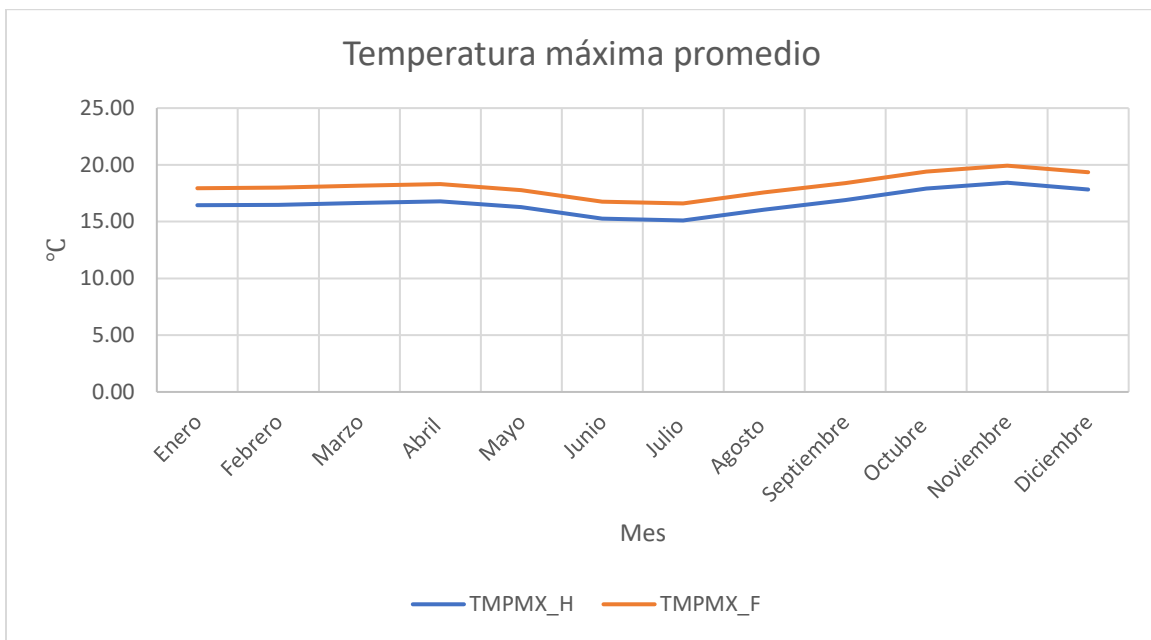


Figura 5. Promedio mensual de temperatura máxima. Datos históricos y proyecciones

Los valores de temperatura máxima, tanto los datos históricos como los proyectados, se mantienen en un rango promedio entre 15 y 20 °C. En el caso de la temperatura mínima esto rangos oscilan en más de 8 °C. Para los valores de precipitación, tanto en el escenario de aumento como en el de disminución, se mantiene el mismo patrón, siendo los meses de mayo a septiembre los que presentan valores de precipitación más bajos.

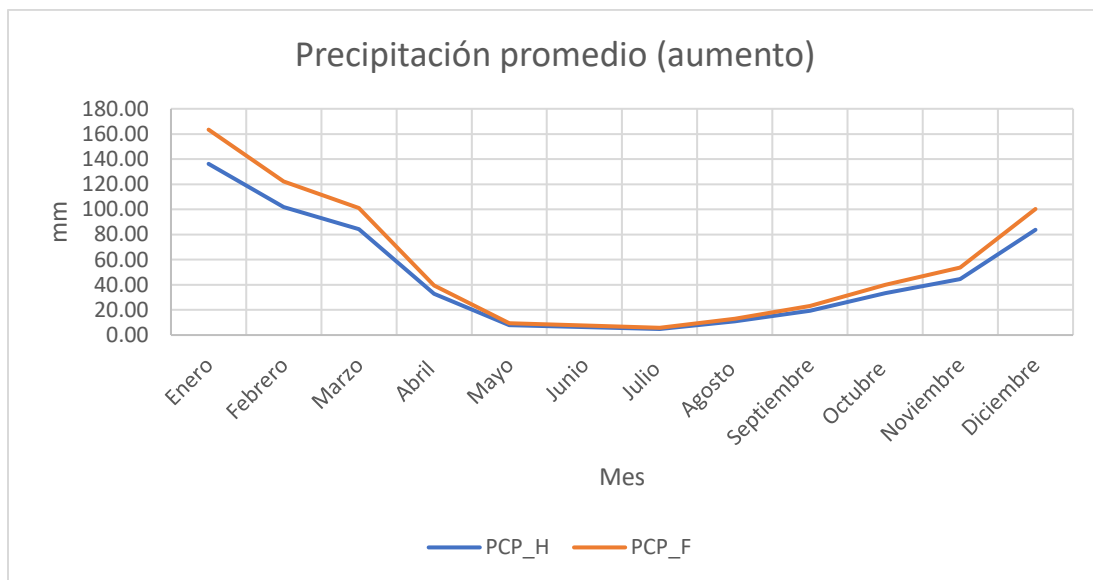


Figura 6. Promedio mensual de precipitación. Datos históricos y proyecciones (aumento del 20%)

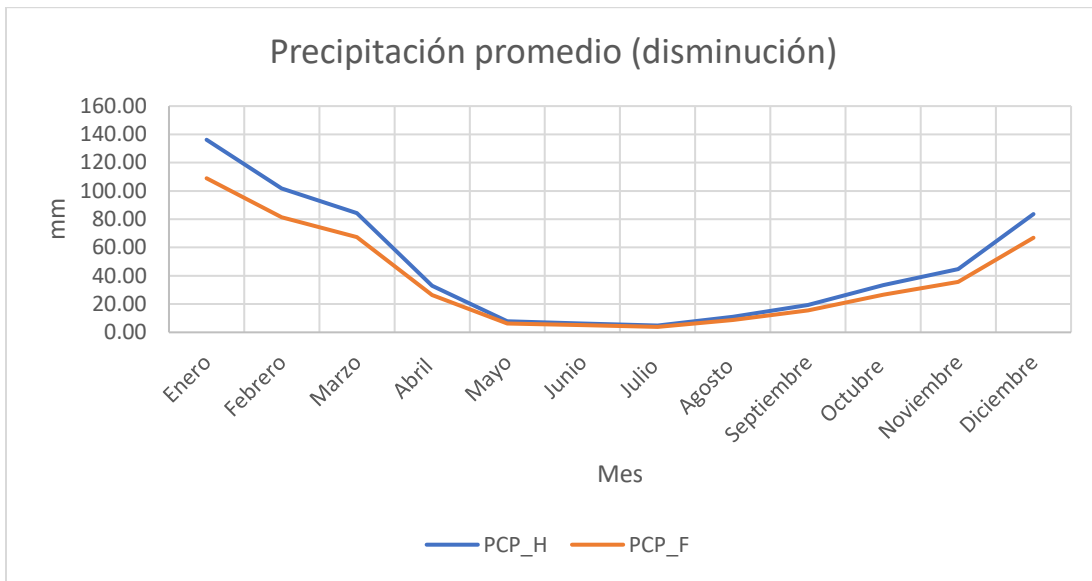


Figura 7. Promedio mensual de precipitación. Datos históricos y proyecciones (disminución del 20%)

La precipitación media anual en el sistema, de acuerdo con los datos históricos, es de 471.81. En las simulaciones futuras se estima una precipitación media anual de 566.17 mm para el escenario 1, y de 377.45 mm para el escenario 2. En el caso del escenario 2 los valores se encuentran dentro del rango de bajas precipitaciones que Calizaya Terceros (2009) describe entre los eventos climáticos extremos en la cuenca del Lago Poopó (precipitaciones entre 200 a 400 mm).

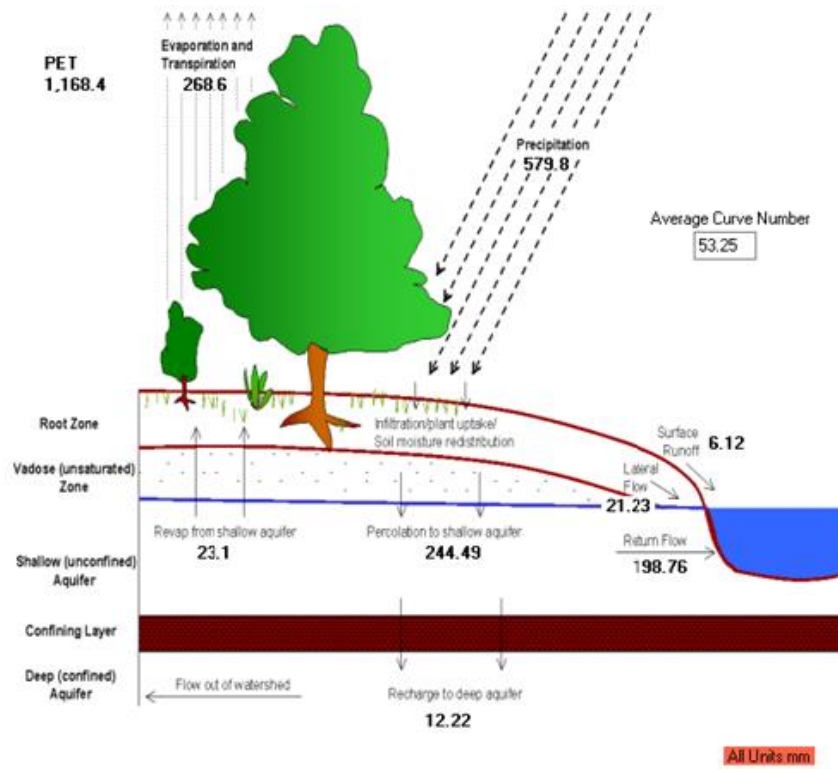


Figura 8. Componentes del balance hídrico en el sistema TDPS, a partir de la simulación en QSWAT. Escenario 1

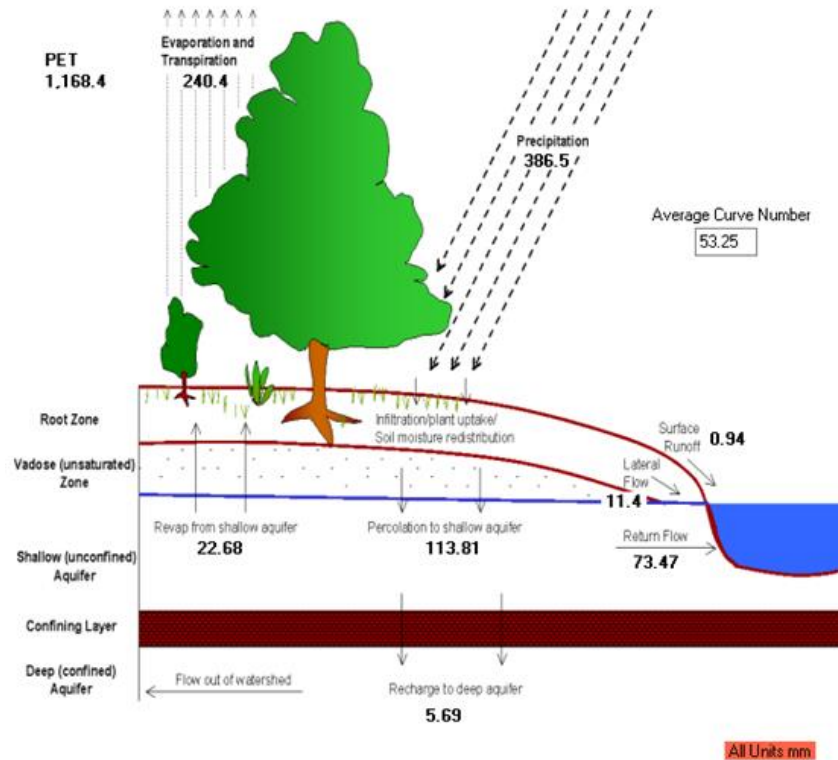


Figura 9. Componentes del balance hídrico en el sistema TDPS, a partir de la simulación en QSWAT. Escenario 2

La salida resultante de la simulación del escenario 1 dio como resultado una evapotranspiración de 268.6 mm, una precipitación de 579.8 mm, una escorrentía superficial de 6.12 mm, un flujo lateral de 21.23 y un flujo de retorno de 198.76 mm. En el caso de la simulación del escenario 2 estos resultados fueron de 240.4 mm, 386.5 mm, 0.94 mm, 11.4 mm, y 73.47 mm, respectivamente. Hay una disminución considerable de los valores del escenario 2, respecto al escenario 1, lo cual está relacionado a las precipitaciones estimadas. Respecto a los valores de la simulación inicial (datos históricos), en ambos casos hay una disminución de los valores de evapotranspiración, así como un aumento en el valor de flujo de retorno.

Respecto a la evapotranspiración a nivel del sistema, se presenta el mismo rango de valores en el escenario 1 como en el escenario 2, con un rango que va de los 405 mm a los 1764 mm. Los valores más altos se presentan en la sección media del sistema.

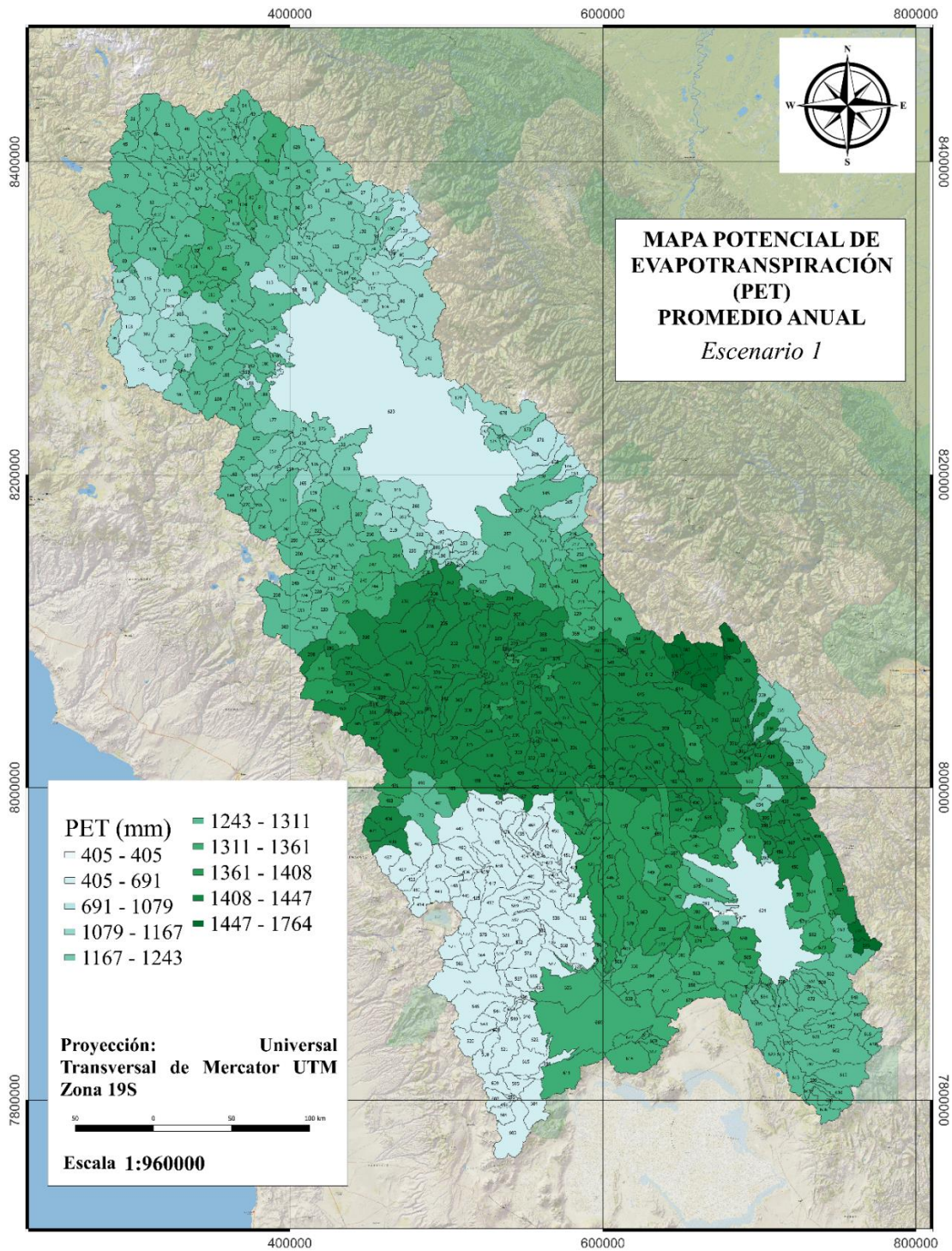


Figura 10. Mapa del promedio anual de potencial de evapotranspiración en el sistema TDPS. Escenario 1



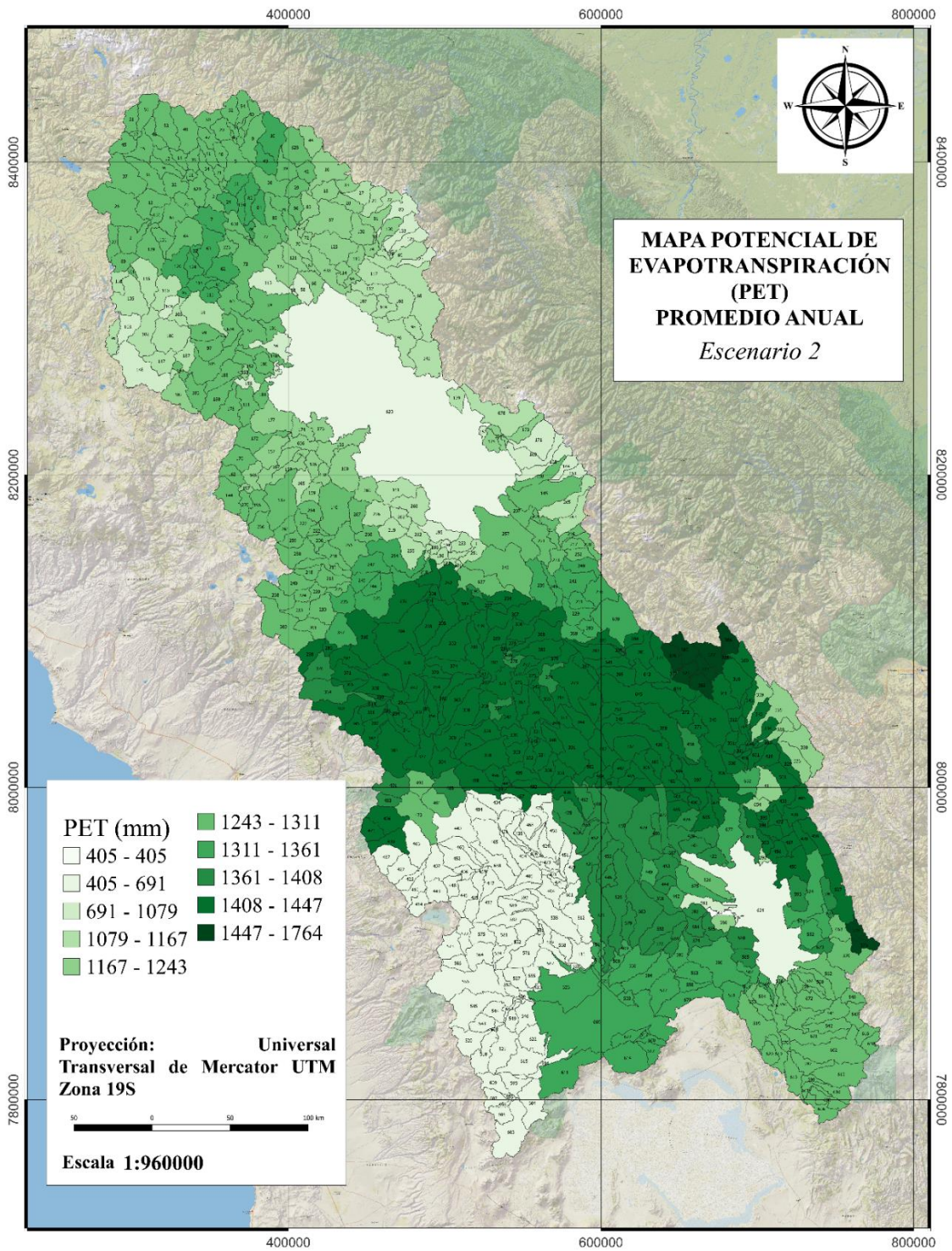


Figura 11. Mapa del promedio anual de potencial de evapotranspiración en el sistema TDPS. Escenario 2



La percolación a nivel de cuencas, parámetro referente al agua que infiltra a niveles más profundos que los segmentos donde se encuentra la raíz (Ríos, Ney 2021), presenta valores entre 30 y 861 mm en el caso del escenario 1, y de y entre 10 y 521 en el caso del escenario 2. En ambos casos los valores más altos se encuentran en los alrededores del Lago Titicaca. La parte baja del sistema presenta los valores más bajos.

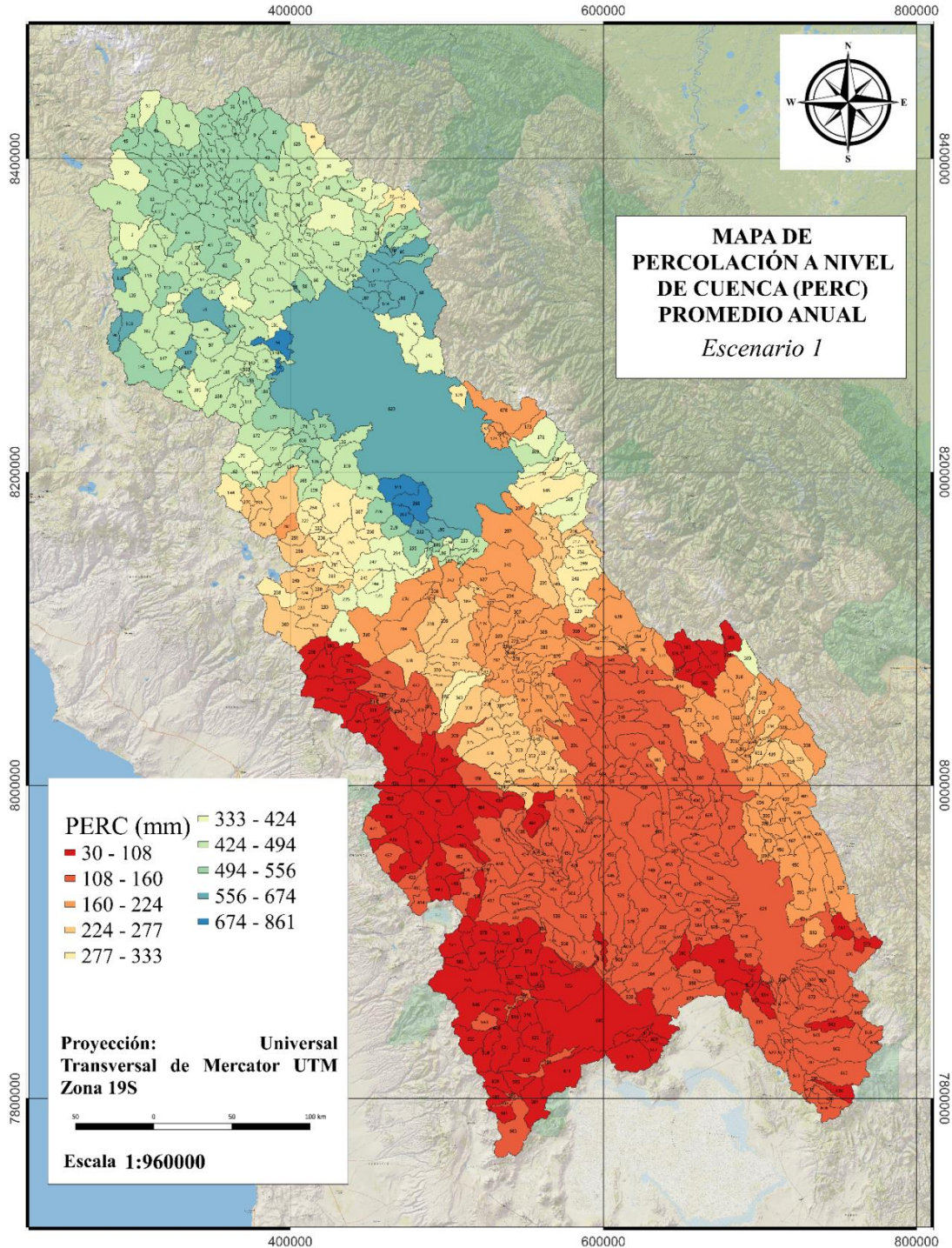


Figura 12. Mapa del promedio anual de percolación en el sistema TDPS. Escenario 1



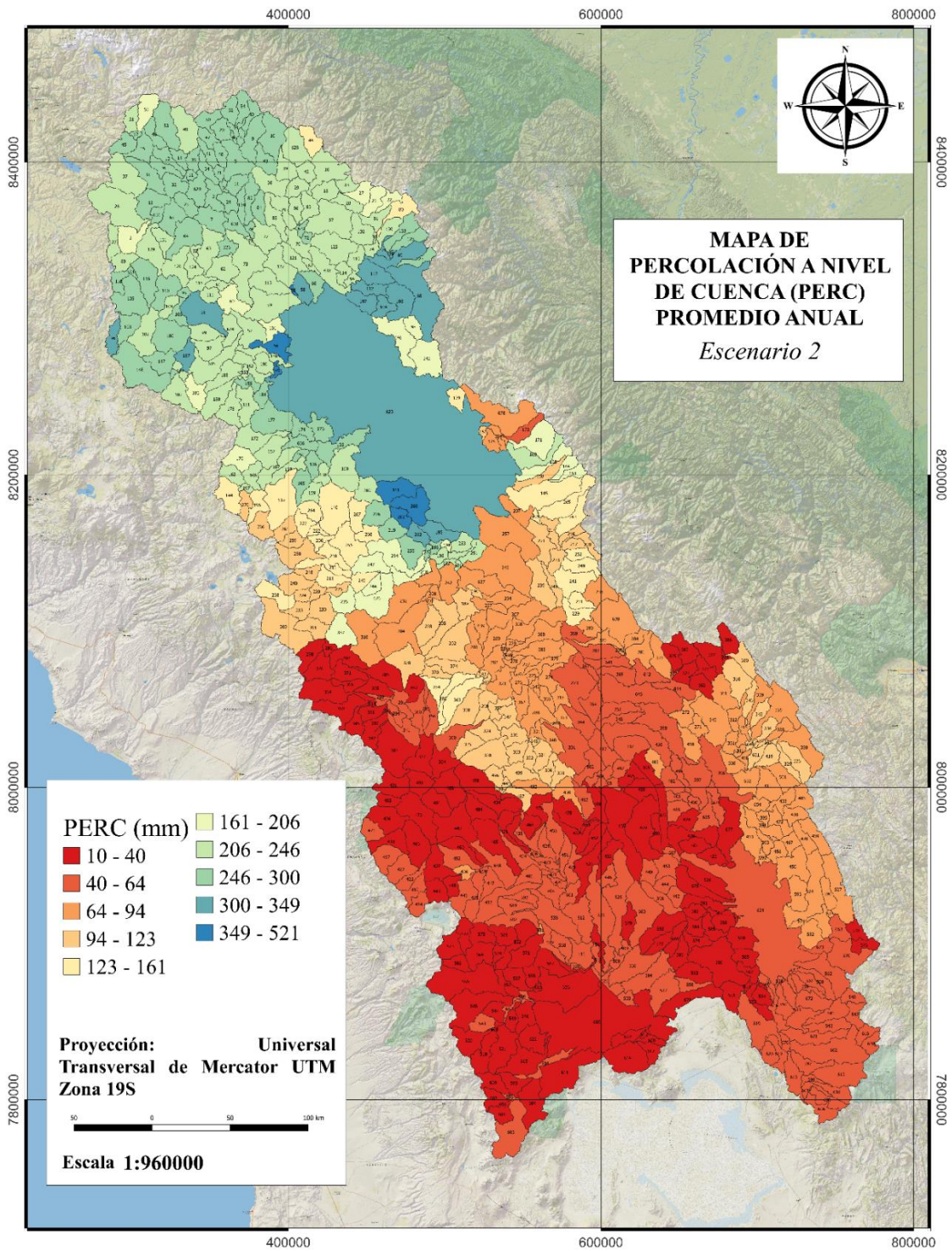


Figura 13. Mapa del promedio anual de percolación en el sistema TDPS. Escenario 2



El parámetro de agua en el suelo presenta valores que se encuentran en un rango entre 81 mm hasta 23470 en el caso del escenario 1. Los valores disminuyen en el escenario 2, donde se presentan valores entre un rango de 78 a 23367. En ambos escenarios los valores más altos se presentan en y alrededor de los lagos y en el trayecto del río Desaguadero.

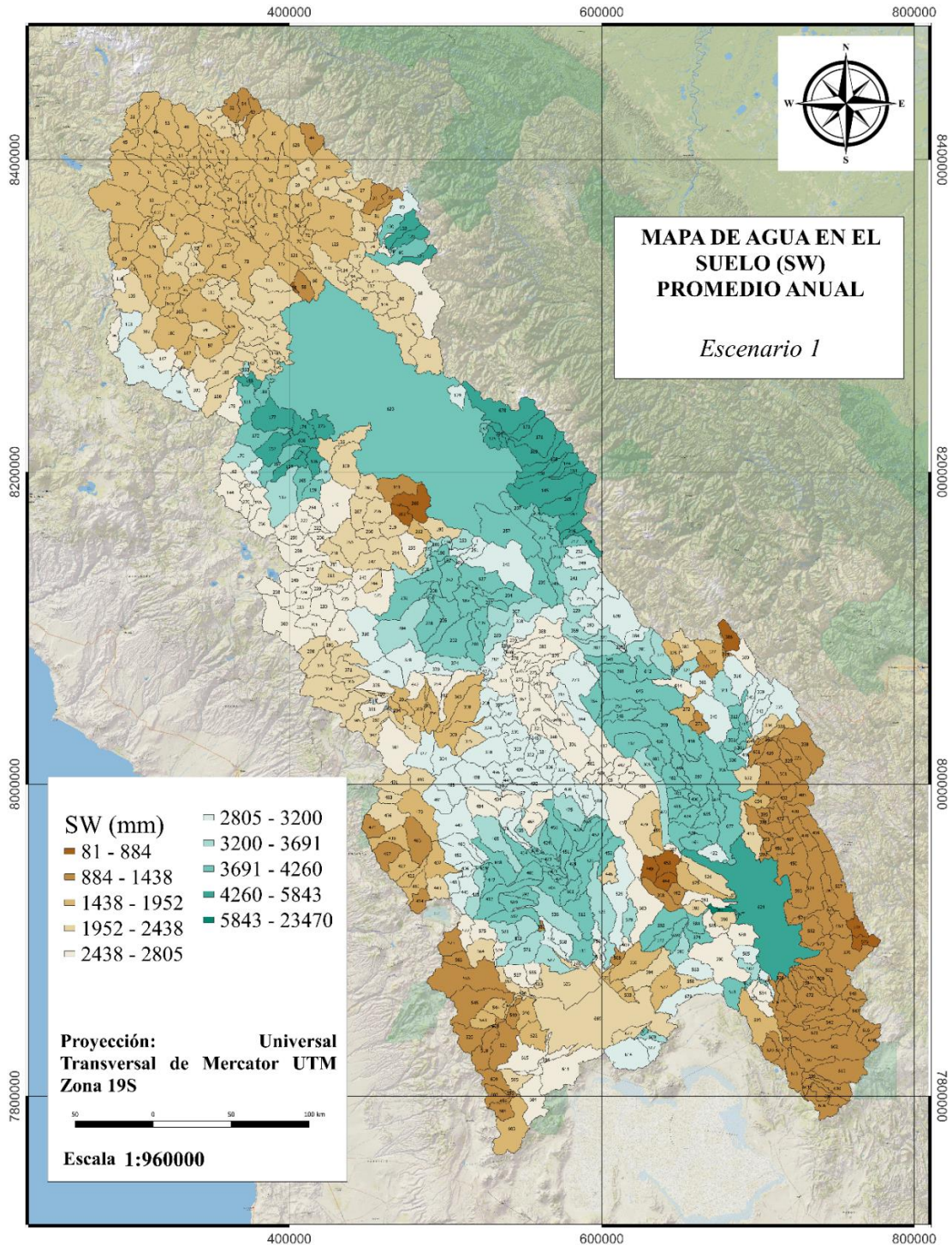


Figura 14. Mapa del promedio anual de agua en el suelo en el sistema TDPS. Escenario 1  
27



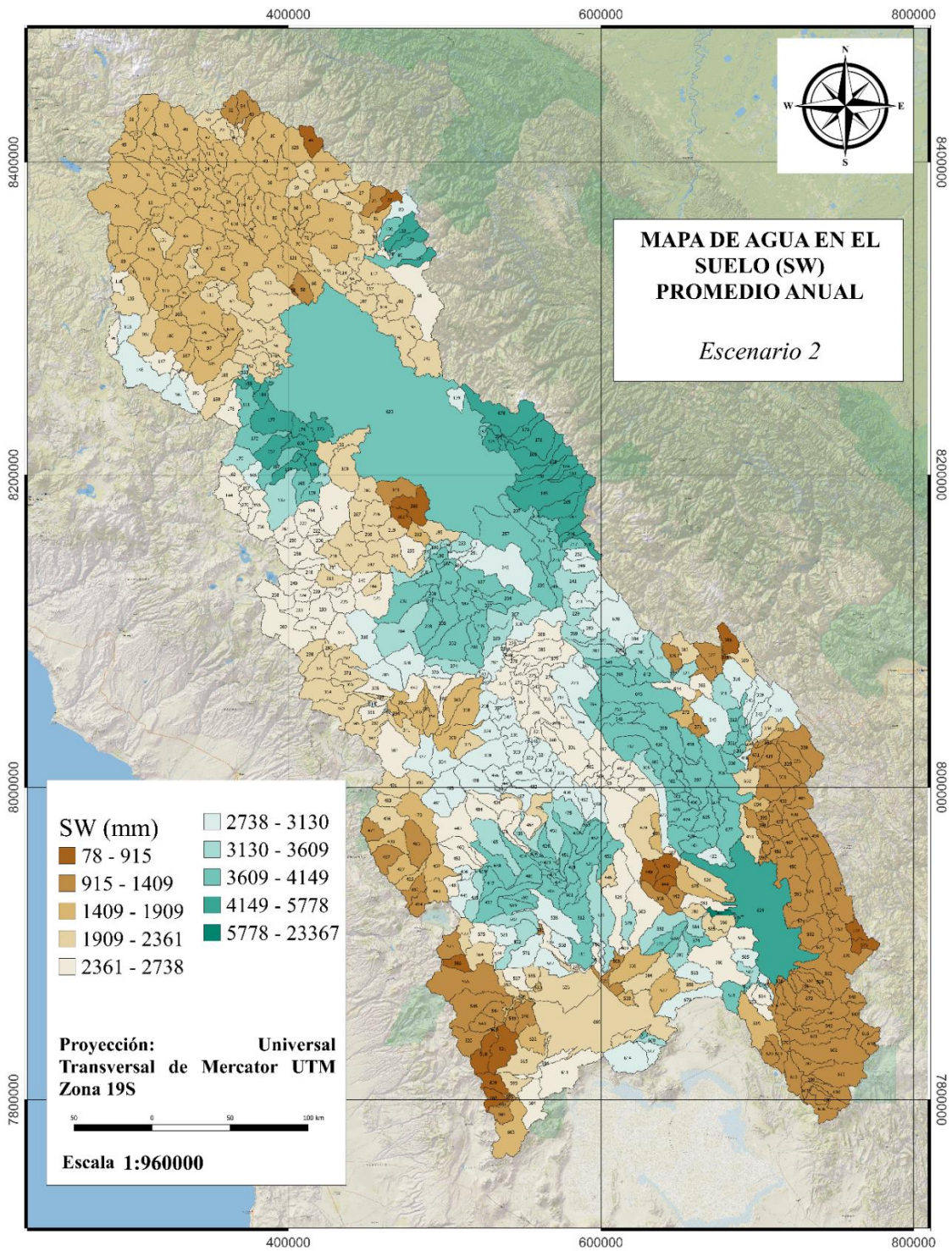


Figura 15. Mapa del promedio anual de agua en el suelo en el sistema TDPS. Escenario 2



Los valores de escorrentía superficial también son mayores en el escenario 1, con valores de 0 a 48.7 mm. En el escenario 2 estos valores llegan hasta los 11.08 mm. En ambos casos los valores más altos se encuentran en los alrededores del lago Titicaca.

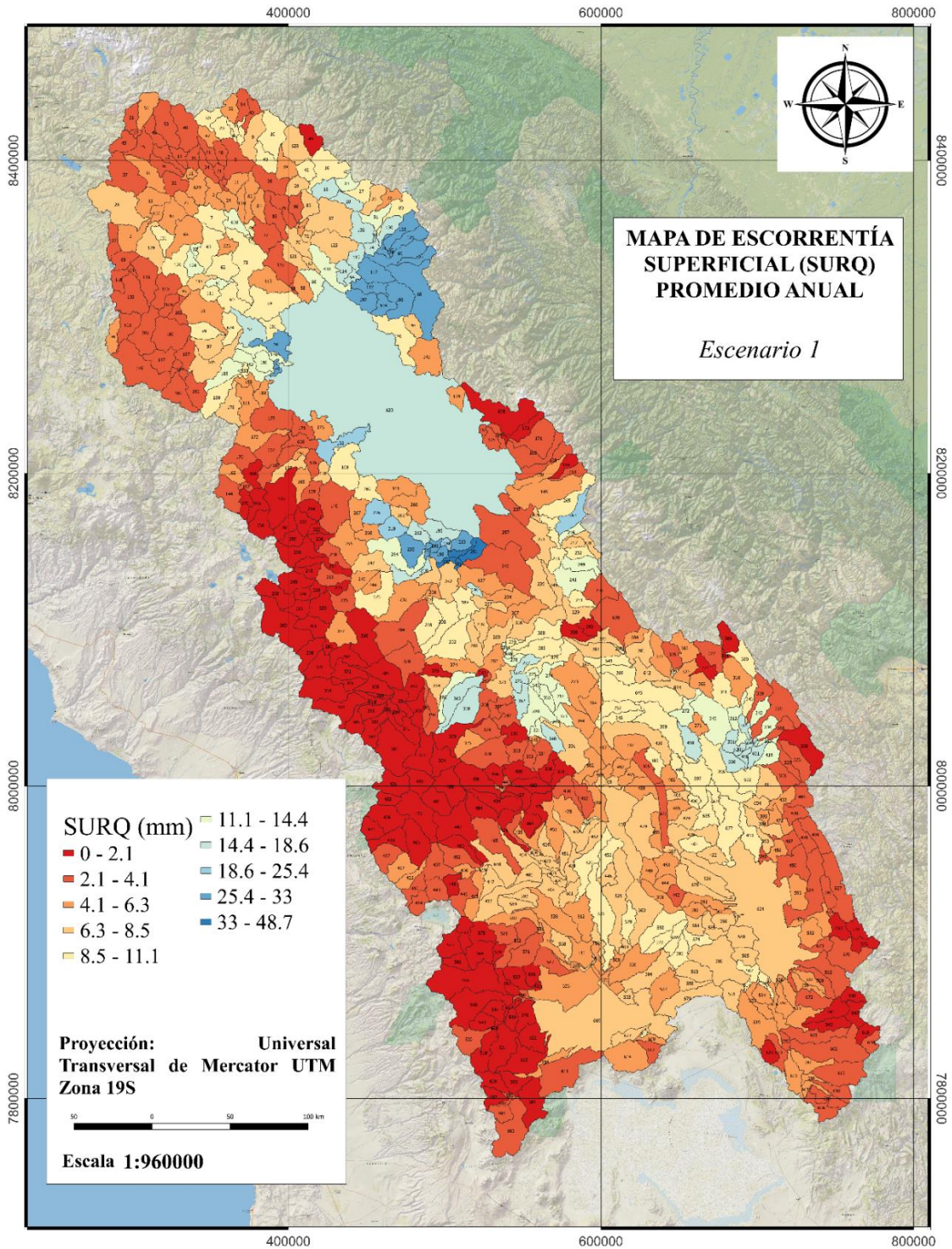


Figura 16. Mapa del promedio anual de escorrentía superficial en el sistema TDPS. Escenario 1



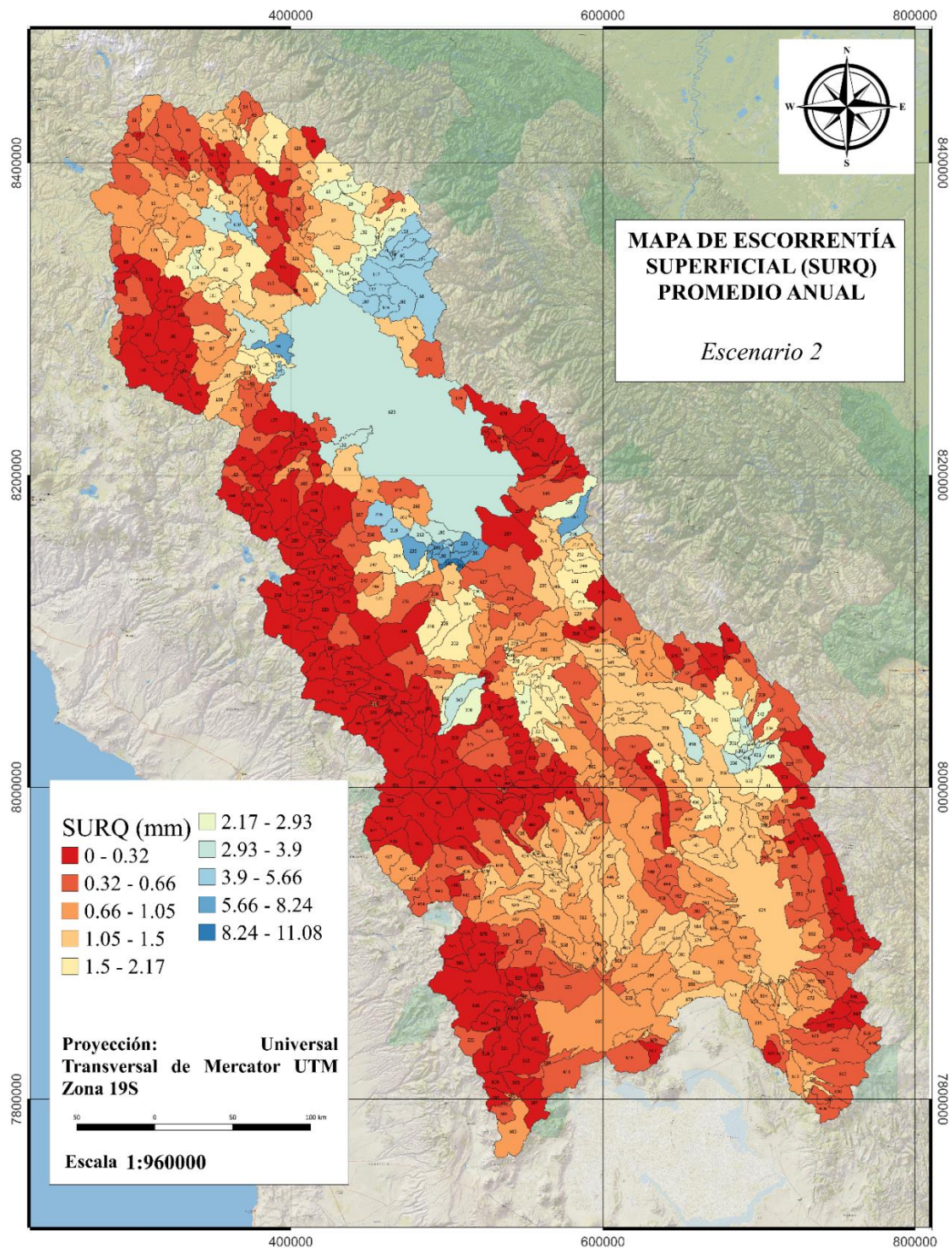


Figura 17. Mapa del promedio anual de escurrentía superficial en el sistema TDPS. Escenario 2

Respecto al rendimiento hídrico o producción de agua, al igual que en los parámetros anteriores, el escenario 1 presenta valores más altos tanto en el promedio mensual como en el promedio anual. La parte norte del sistema presenta los valores más altos, y estos desciende hacia la parte baja del sistema, siendo que la subcuenca del Lago Poppó y sus alrededores presentan entre los valores más bajos.



El escenario 1 presenta valores de 1.3 a 73.9 mm en el promedio mensual, y valores entre 16 y 887 mm en el promedio anual. En el caso del escenario 2 estos rangos son de 0.1 a 44.7 mm, y de 1 a 537 mm, respectivamente.

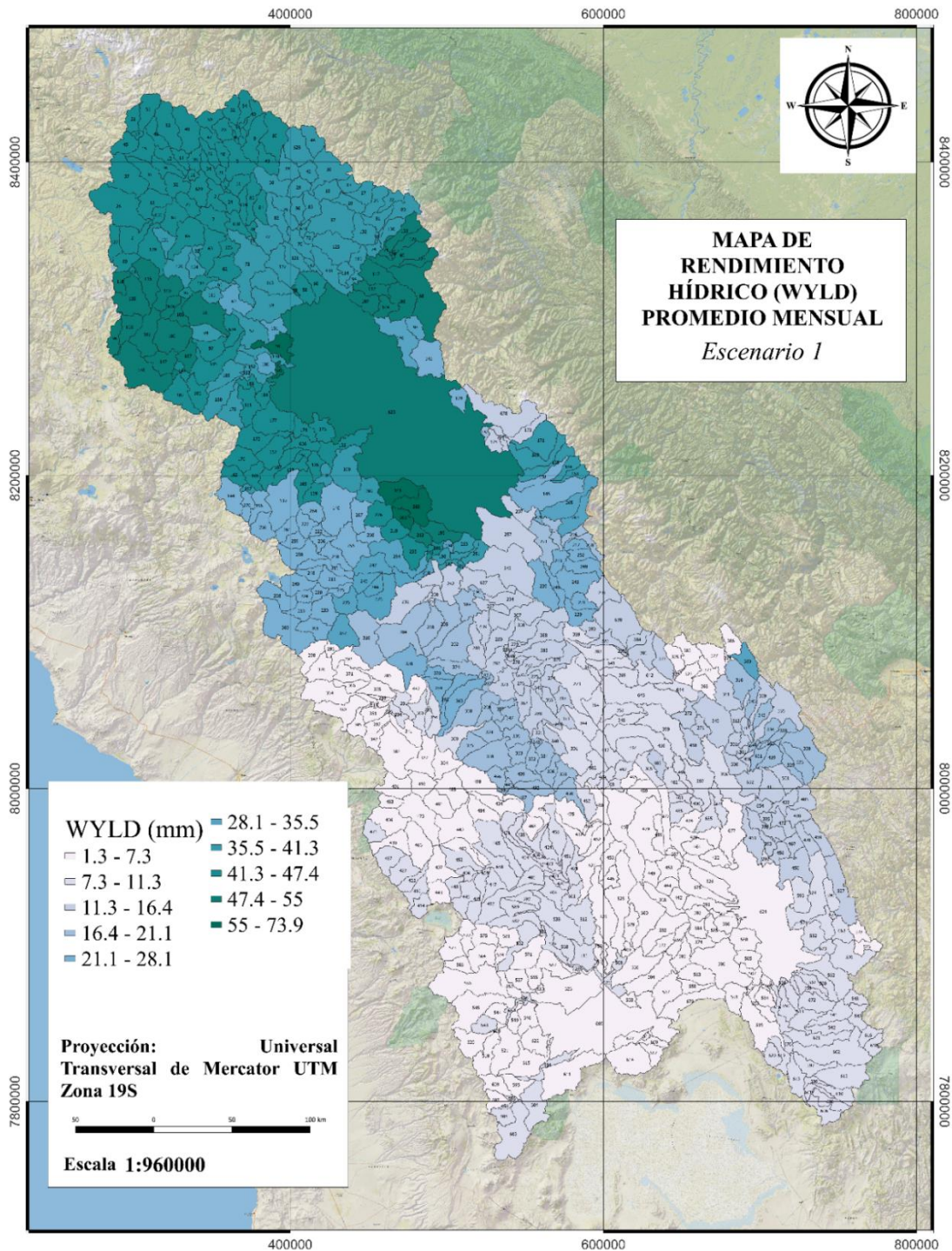


Figura 18. Mapa del promedio mensual de rendimiento hídrico o producción de agua en el sistema TDPS. Escenario 1



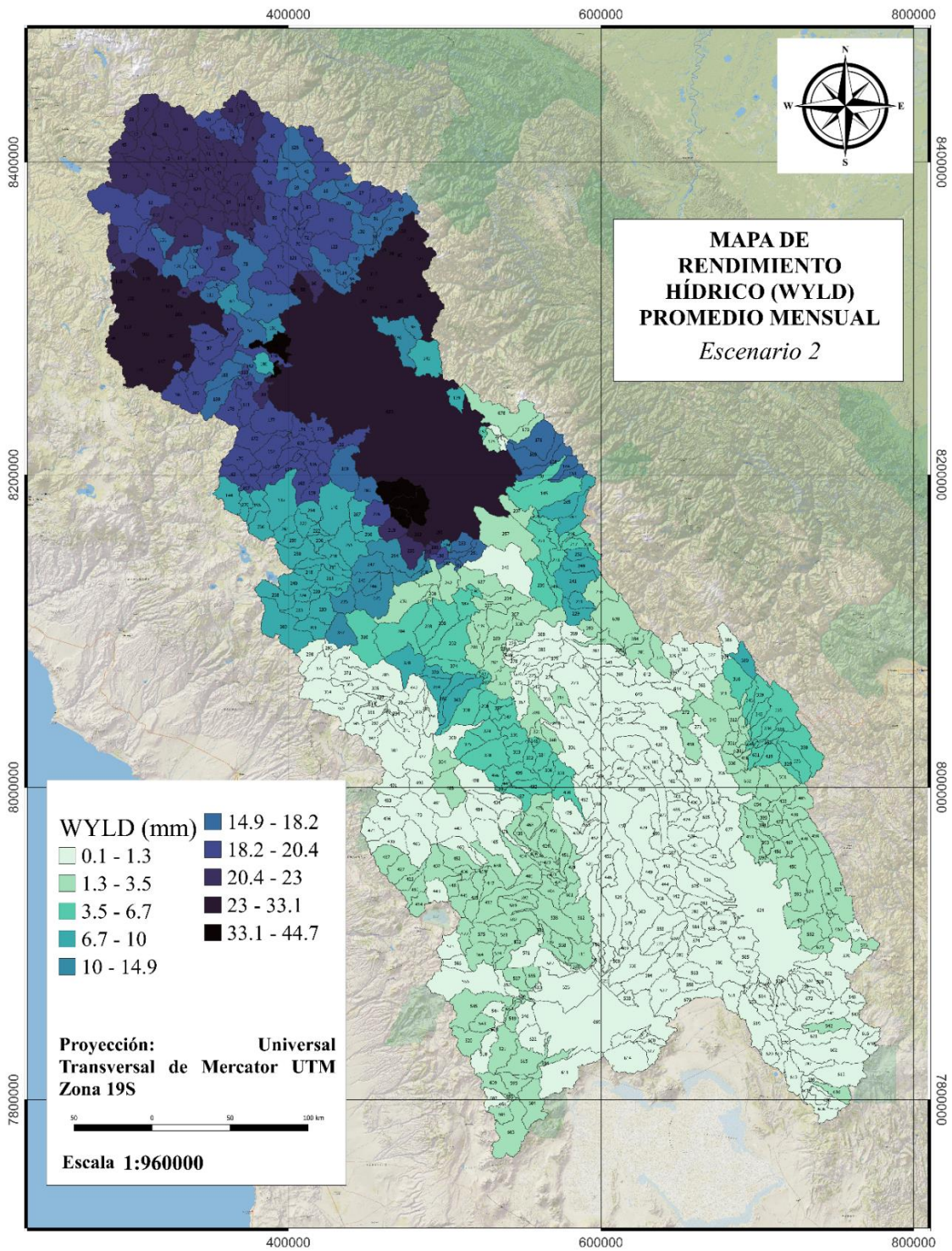


Figura 19. Mapa del promedio mensual de rendimiento hídrico o producción de agua en el sistema TDPS. Escenario 2



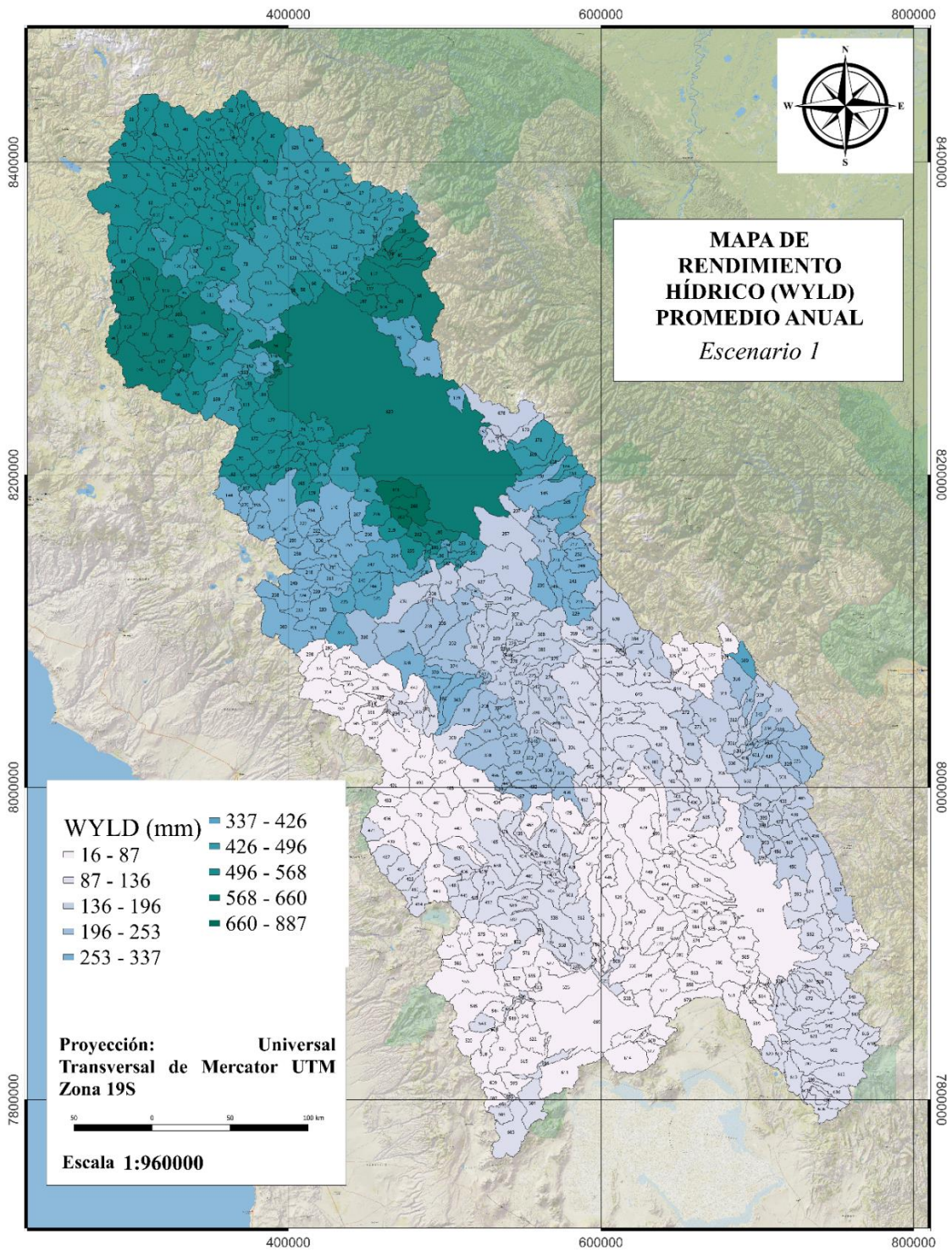


Figura 20. Mapa del promedio anual de rendimiento hídrico o producción de agua en el sistema TDPS. Escenario 1



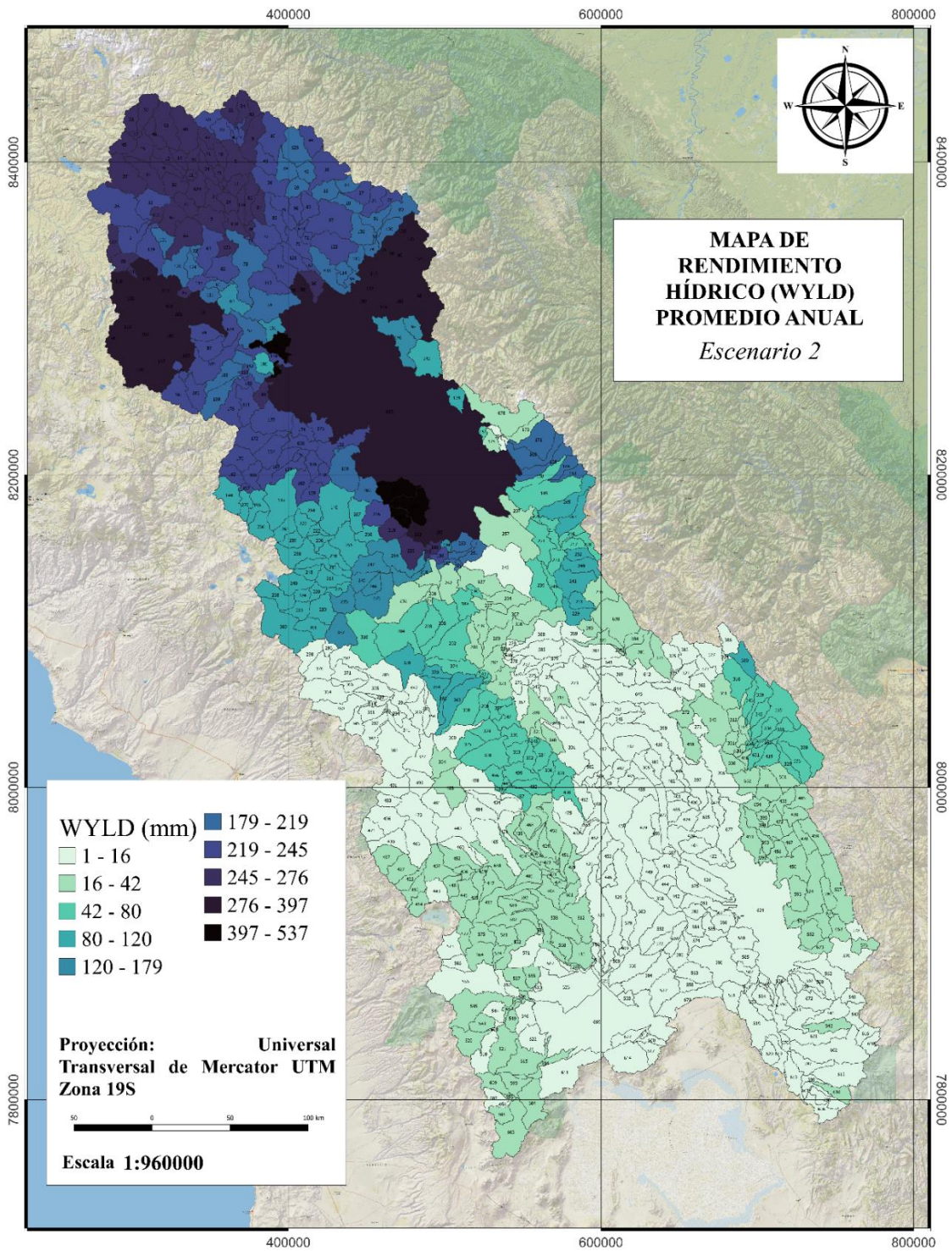


Figura 21. Mapa del promedio anual de rendimiento hídrico o producción de agua en el sistema TDPs. Escenario 2



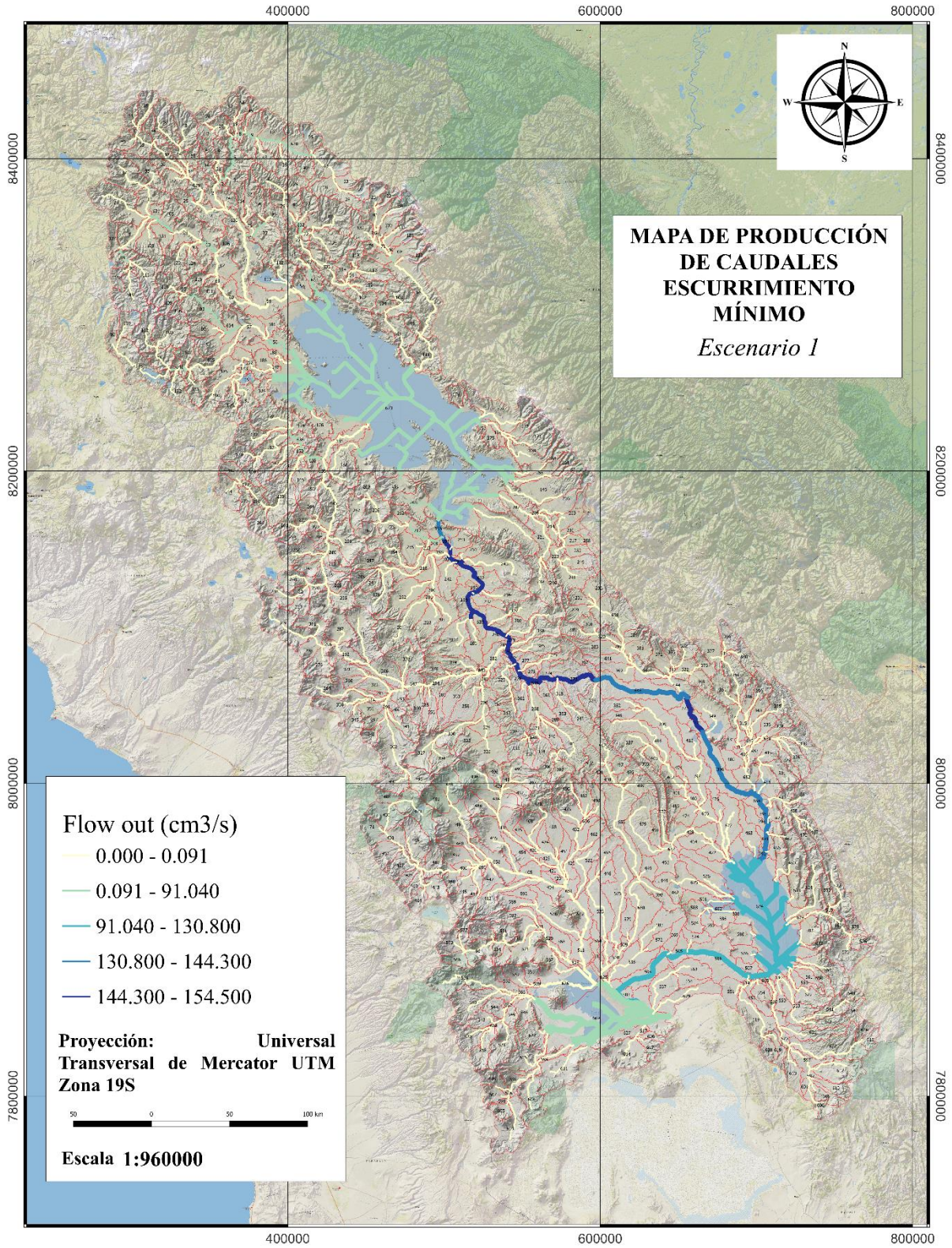


Figura 22. Mapa de escurrimiento mínimo en el sistema TDPS. Escenario 1



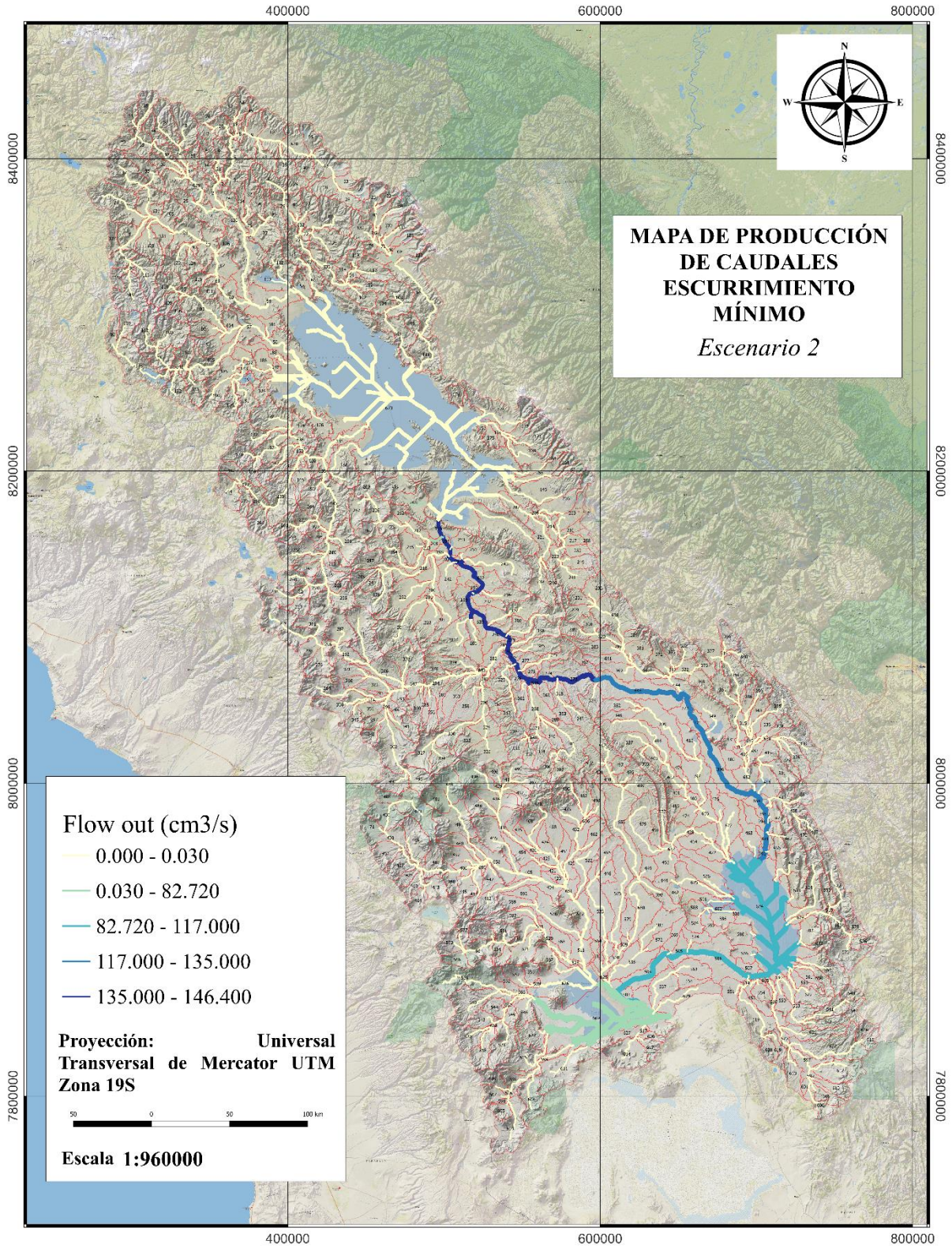


Figura 23. Mapa de escurrimiento mínimo en el sistema TDPS. Escenario 2



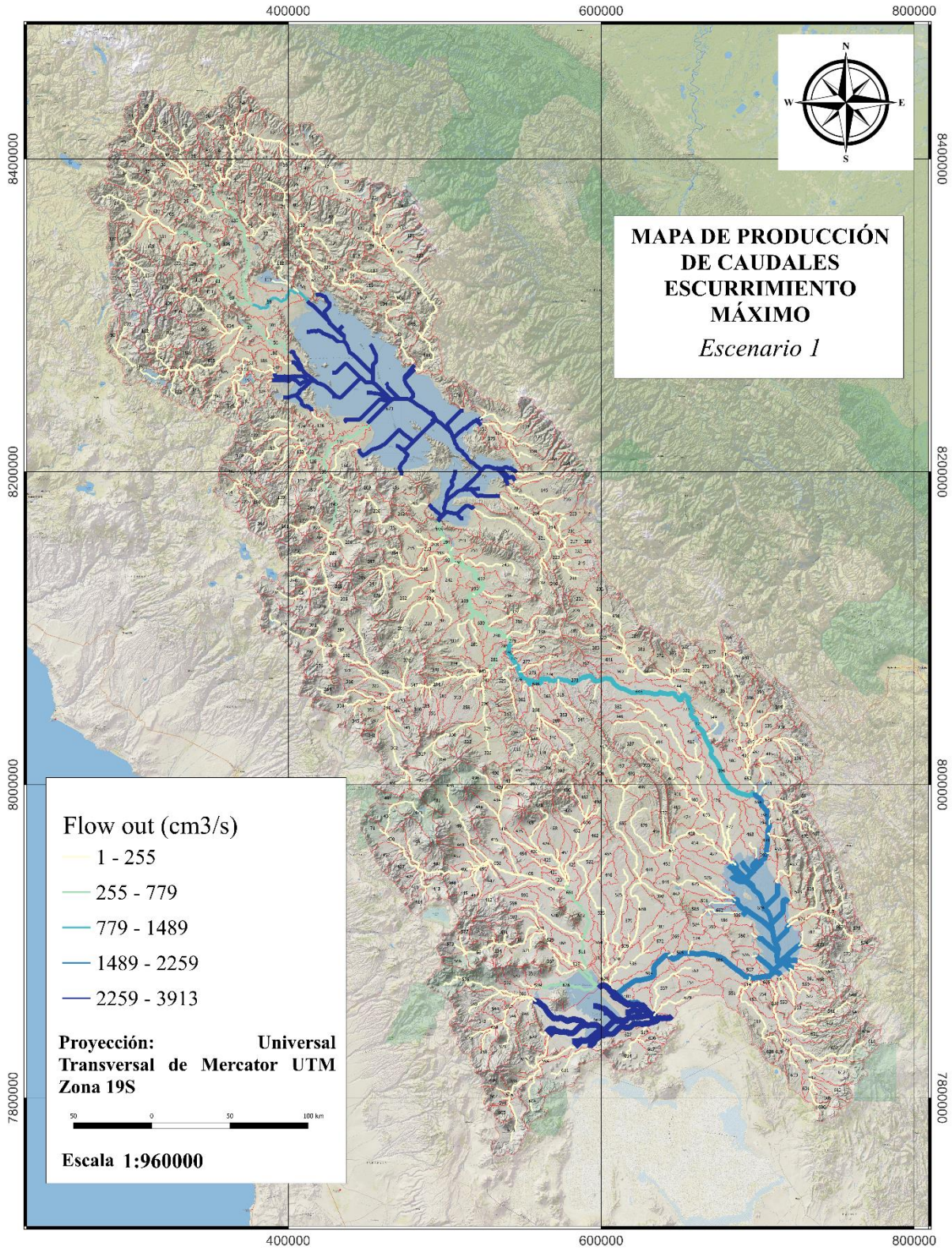


Figura 24. Mapa de escurrimiento máximo en el sistema TDPS. Escenario 1



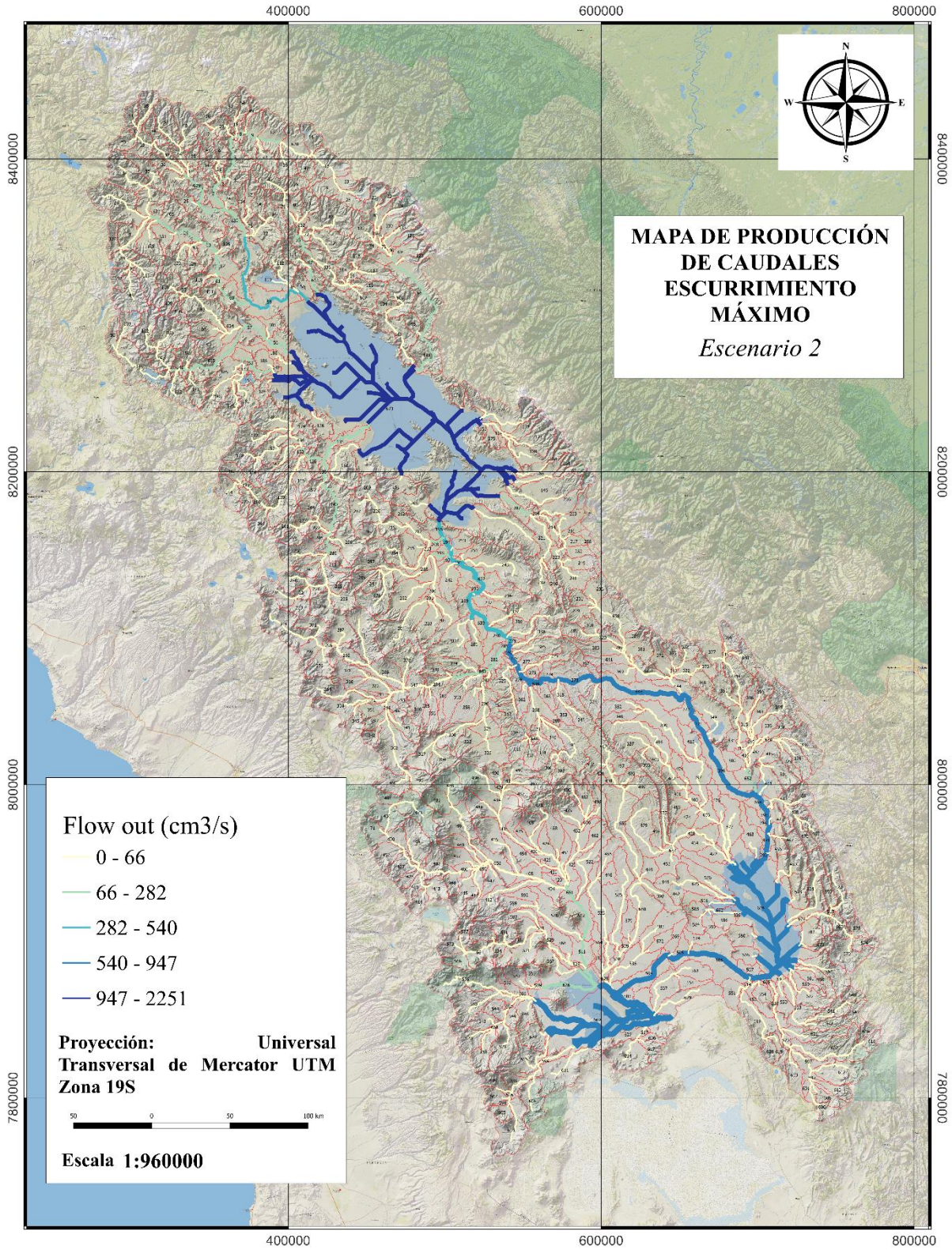


Figura 25. Mapa de escurrimiento máximo en el sistema TDPS. Escenario 2



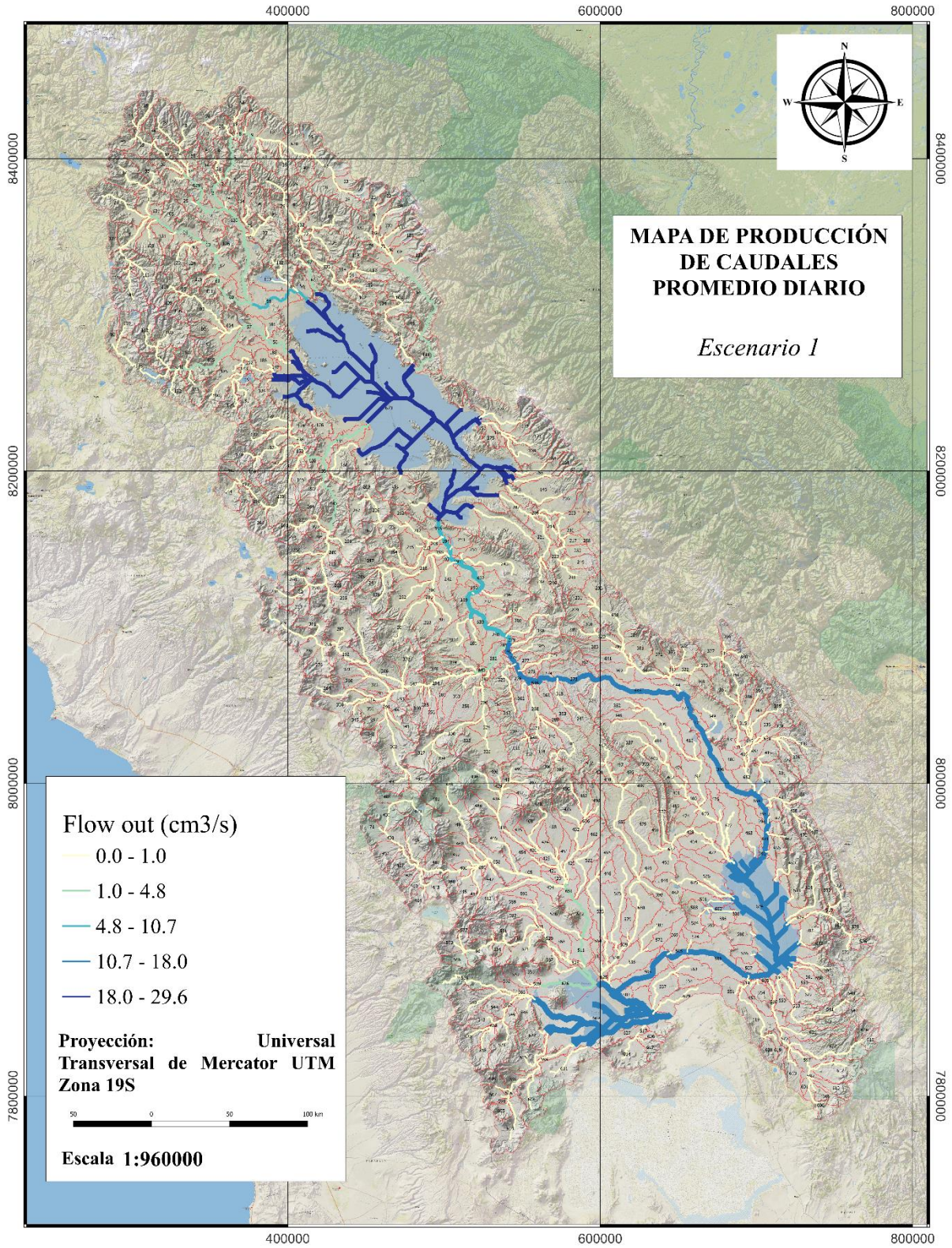


Figura 26. Mapa de promedio diario de escurrimiento en el sistema TDPS. Escenario 1



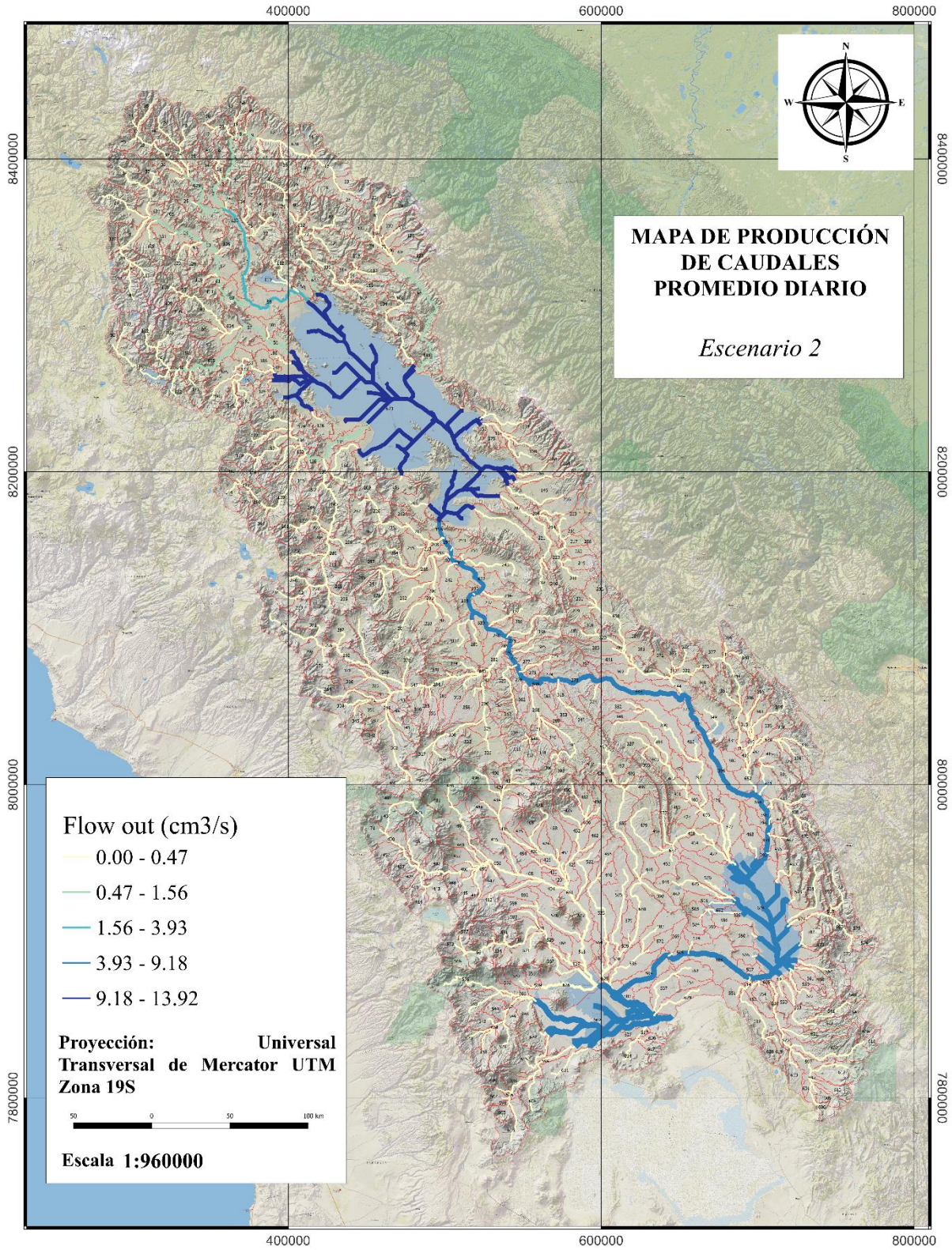


Figura 27. Mapa de promedio diario de escurrimiento en el sistema TDPS. Escenario 2



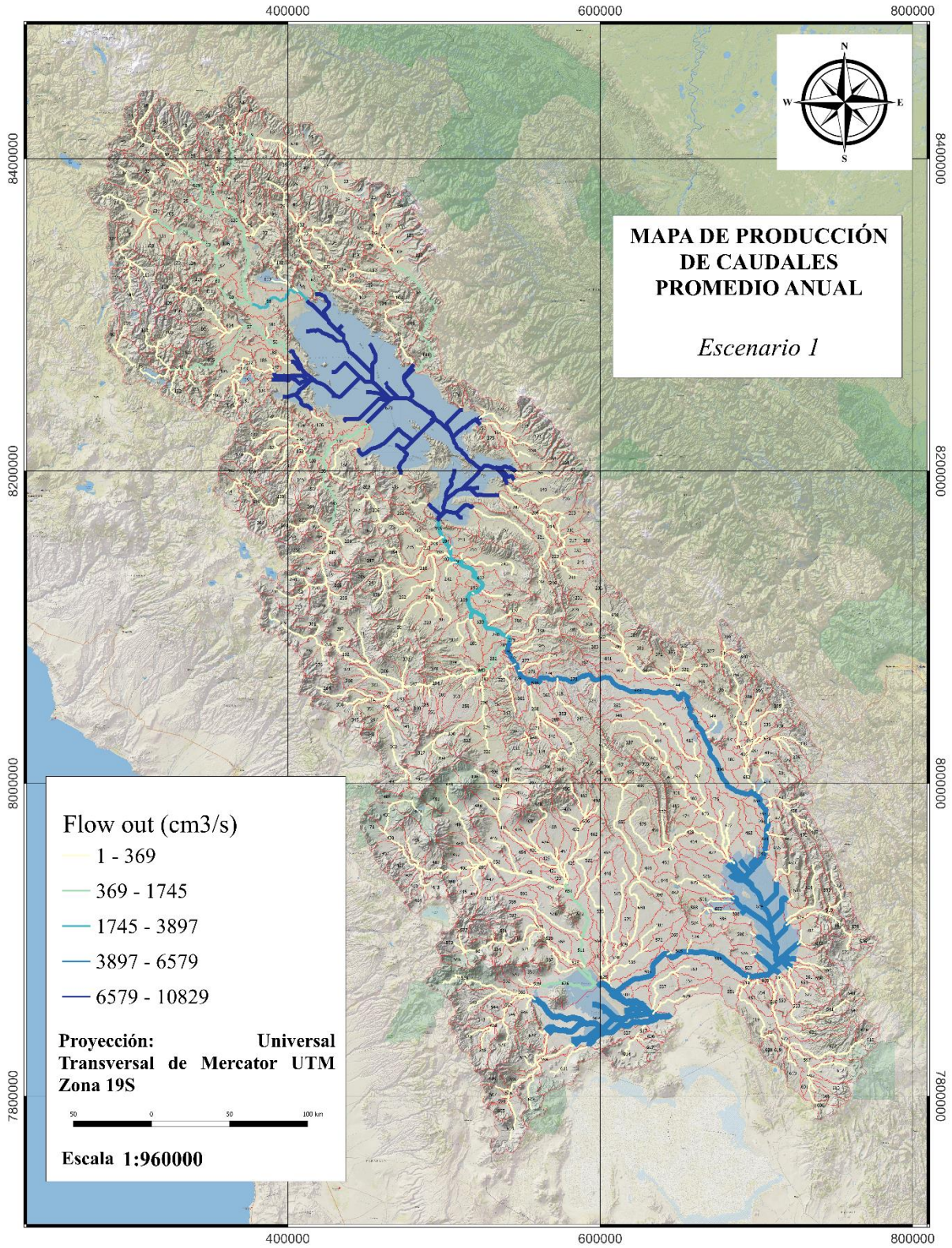


Figura 28. Mapa de promedio anual de escurrimiento en el sistema TDPS. Escenario 1



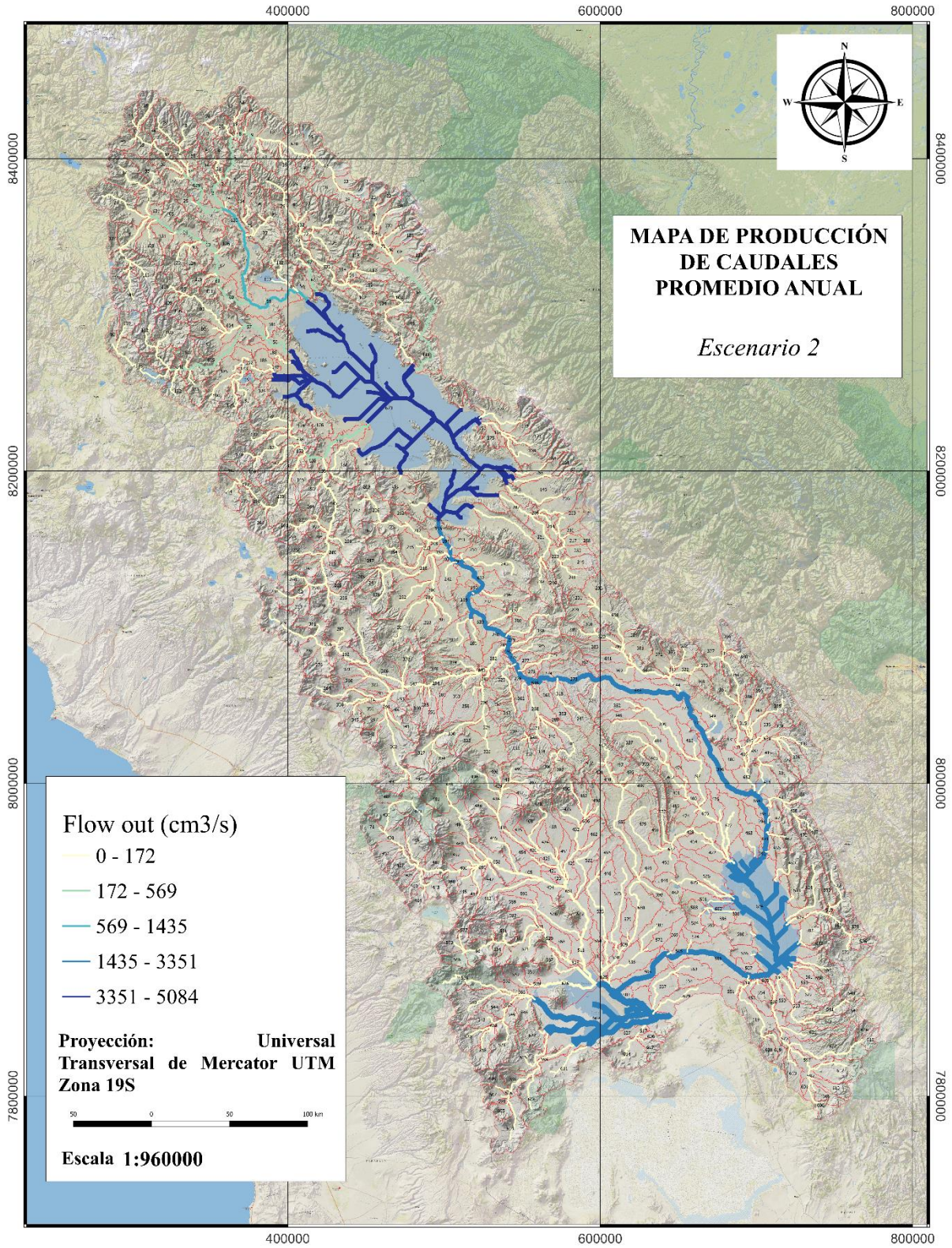


Figura 29. Mapa de promedio anual de escurrimiento en el sistema TDPS. Escenario 2

Al haberse analizado 2 escenarios con variaciones tan significativas en los valores de precipitación es de esperar que los resultados de la modelación presenten diferencias importantes. Los valores de percolación a nivel de cuenca, agua en el suelo, escorrentía superficial, rendimiento hídrico y producción de caudales, son mayores para el escenario 1 respecto al escenario 2, donde se consideró una disminución de las precipitaciones en un 20%.

En cuanto a las variaciones de los resultados de los escenarios 1 y 2 respecto a la simulación con datos históricos, también se presentan diferencias considerables. En el caso del escenario 1, hay una diferencia positiva en todos los parámetros, a excepción de la evapotranspiración, la erosión hídrica y la escorrentía superficial. Por el contrario, en el escenario 2 predominan los parámetros con diferencia negativa, siendo las excepciones el potencial de evapotranspiración, la percolación y el flujo de retorno.

En el siguiente cuadro se presentan los resultados obtenidos para los diferentes parámetros, tanto para el escenario 1 y 2, como para la modelación con los datos históricos.

Cuadro 5. Parámetros de análisis en el escenario base, escenario 1 y escenario 2

<b>Parámetro</b>	<b>Escenario base</b>	<b>Escenario 1 (+20 % prc)</b>	<b>Porcentaje de cambio (%)</b>	<b>Escenario 2 (-20 % prc)</b>	<b>Porcentaje de cambio (%)</b>
Potencial de evapotranspiración (mm)	1155.60	1223.58	5.88	1223.58	5.88
Evapotranspiración (mm)	347.52	273.02	-21.44	242.82	-30.13
Percolación (mm)	66.20	265.47	301.01	122.82	85.53
Flujo lateral (mm)	11.19	20.85	86.33	11.14	-0.45
Flujo de retorno (mm)	49.93	216.79	334.19	78.98	58.18
Agua en el suelo (mm)	2545.44	2603.93	2.30	2515.99	-1.16
Erosión hídrica (ton/ha)	1.94	0.25	-87.11	0.03	-98.45
Escorrentía superficial (mm)	45.51	6.77	-85.12	1.05	-97.69
Producción de agua (mm)	109.98	257.81	134.42	97.38	-11.46

De los resultados obtenidos se considera importante resaltar los valores de producción de agua, ya que como menciona Martínez Solano (2019), éste es uno de los parámetros más relevantes de SWAT en lo que respecta a gestión del recurso hídrico, puesto que determina el volumen de agua utilizable para almacenamiento en reservorios. Como indica este autor, la producción de agua está determinada por la acción conjunta de diferentes procesos que se llevan a cabo en los ecosistemas, así como de otros elementos como la precipitación, geología, edafología y cobertura vegetal.



La producción de agua en el escenario 1 presenta un porcentaje de cambio de 134.42% respecto al escenario base y equivale a un 45.54% de la precipitación. En el caso del escenario 2, el porcentaje de cambio es de -11.46%, y correspondiente a un 25.80% de la precipitación.

De los datos analizados se puede apreciar que resulta ser más favorecedor el escenario 1, en términos de disponibilidad del recurso hídrico y que ésta se encuentra en mayor medida en la parte norte del sistema.

También se debe resaltar que, a pesar del aumento de temperatura, los valores de evapotranspiración en los escenarios 1 y 2 son menores, lo cual influye en los resultados, ya que en el sistema TDPS, por ser una cuenca endorreica, el principal medio de pérdida de agua es la evapotranspiración (Torres-Batló *et al.* 2020).

#### 4.2. Impacto de escenarios climáticos futuros en el Lago Poopó

Otro de los objetivos de la presente investigación consistía en estimar el impacto de las variaciones climáticas proyectadas en el Lago Poopó, considerando la variación de caudal en sus ríos tributarios. En el cuadro 6 se muestran los escurrimientos promedio ("flow out") en el sistema TDPS, tanto mínimo, como máximo, promedio diario y promedio anual.

Cuadro 6. Descripción de los escenarios climáticos modelados para el sistema TDPS

<b>Parámetro</b>	<b>Escenario base</b>	<b>Escenario 1 (+20 % prc)</b>	<b>Porcentaje de cambio (%)</b>	<b>Escenario 2 (-20 % prc)</b>	<b>Porcentaje de cambio (%)</b>
Escurrimiento mínimo	0.012	130	1083233.33	117	974900
Escurrimiento máximo	66.59	2023	2937.99	774.2	1062.64
Escurrimiento promedio diario	0.25	15.78	6212	8.91	3464
Escurrimiento promedio anual	92.13	5762.90	6155.18	3252.83	3430.70

\*Unidades en cm<sup>3</sup>/s.

Como se observa en el cuadro anterior, para todos los parámetros (escurrimiento mínimo, máximo, promedio diario y promedio anual), el escenario 1 presenta valores superiores (en 11.11%, 161.30%, 77.10%, 77.17% respectivamente), respecto al escenario 2, de lo que se puede deducir, como es de esperar, que hay un efecto positivo en los caudales con el aumento de 20% en las precipitaciones, respecto a la línea base. Sin embargo, y a pesar de que en el escenario 2 se proyectó una disminución en las precipitaciones en un 20%, los valores en todos los parámetros de escurrimiento son mayores en el escenario 2 respecto al escenario base, es decir, la simulación con los datos históricos.

En lo que respecta específicamente a la subcuenca del Lago Poopó, se generaron gráficos con los valores de la línea base, y los escenarios 1 y 2, para los parámetros de escurrimiento (a la salida y a la entrada de la cuenca), y el rendimiento hídrico o producción de agua. En los 3 parámetros se puede observar que el escenario 1 presenta los valores más altos. En el caso del escenario 2, a pesar de que hay una disminución de las precipitaciones del 20% con respecto al escenario base, se estima un mayor escurrimiento.

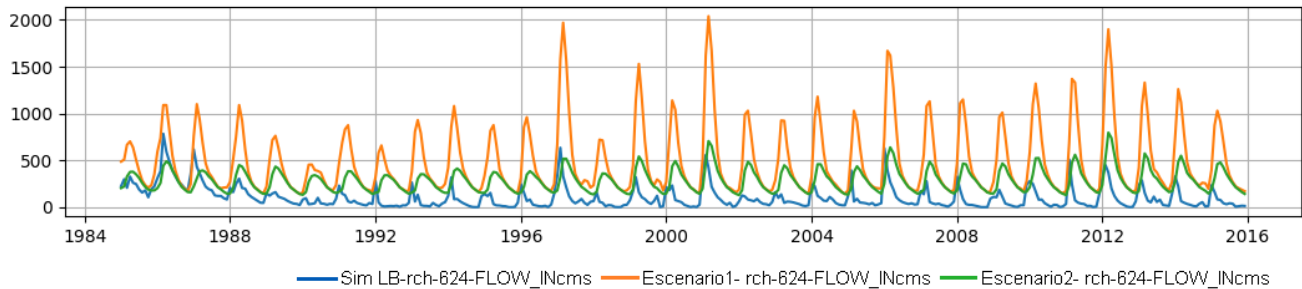


Figura 30. Escurrimiento de entrada en la subcuenca del Lago Poopó

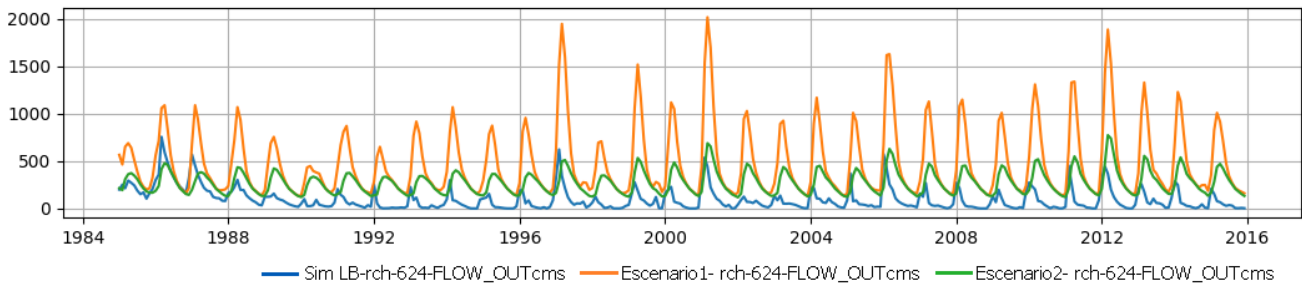


Figura 31. Escurrimiento de salida en la subcuenca del Lago Poopó

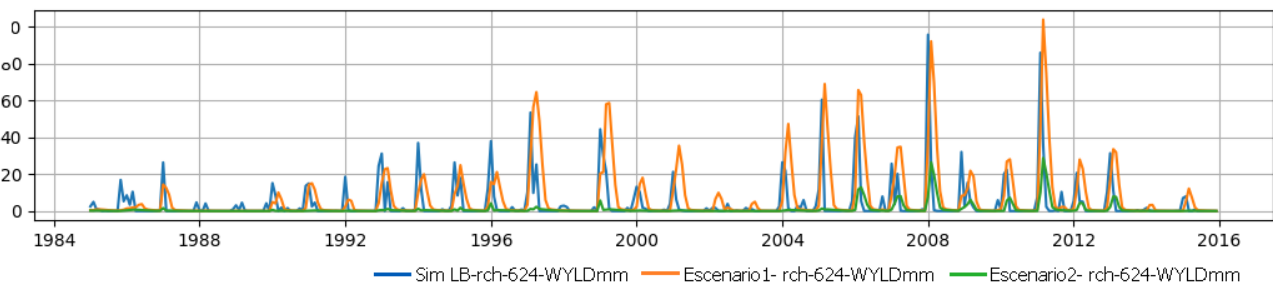


Figura 32. Rendimiento hídrico en la subcuenca del Lago Poopó

Respecto al escenario 2, los resultados son contrario a lo esperado, considerando que se estimó una reducción de las precipitaciones, y como indica Torres-Batló *et al.* (2020) "las extensiones anuales máximas y mínimas del lago dependen en gran medida de la precipitación anual".

Sin embargo, se debe considerar que el sistema TDPS presenta una alta complejidad hidrológica, especialmente en el sector boliviano (Ríos N 2021), y su caudal está determinado principalmente por el río Desaguadero, más que por la precipitación y evaporación regional, ya que es su principal aportador de caudal (Pillco Zolá y Bengtsson 2006).

La capacidad de aporte del río Desaguadero es cerca de 10 veces mayor que los ríos regionales. Durante el período húmedo el caudal de los ríos regionales es de 17.24 m<sup>3</sup>/s, mientras que el del río Desaguadero es de 90.16 m<sup>3</sup>/s. Para el período poco lluvioso estos valores son 1.04 m<sup>3</sup>/s y 43.29 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. El caudal medio anual de los ríos regionales es de 6.48 m<sup>3</sup>/s y el río Desaguadero es de 69.44 m<sup>3</sup>/s (Calizaya Terceros 2009). Otros autores indican que el caudal medio del Desaguadero es de 66 m<sup>3</sup>/s (Pillco y Bengtsson, citado por Calizaya Terceros 2009).

El porqué de los resultados del escenario 2 puede deberse a diferentes motivos, como por ejemplo derretimiento de nieve, como es el caso del estudio realizado por Boninsegna y Villalba (2008), donde se encontró que no existía una relación lineal entre el caudal mensual y la temperatura media mensual. En ese caso, cuando la temperatura alcanzaba valores mayores a 10 °C, el caudal incrementaba exponencialmente.

Además de esto, se han identificado casos en los que se presenta un incremento del volumen medio de caudal de los ríos durante períodos de mayor impacto del cambio climático, por lo que las variaciones de caudal de los ríos y extremos hidrológicos continúa considerándose incierta (Elcacho 2021).

Sobre estos resultados también es importante mencionar que para los escenarios futuros se mantiene un patrón de variabilidad como sucede en el escenario actual, por lo que es probable que se sigan presentando los ciclos de pérdida y recuperación de caudal en el lago.

El Sistema TDPS es complejo y presenta mucha variabilidad climática a lo largo de su territorio. En el Altiplano el clima es extremo debido al alto boliviano, que amortigua el ingreso de aire húmedo a la región, y a la barrera orográfica de los Andes que influye en el clima regional. En la parte norte se encuentra el Lago Titicaca, que representa alrededor del 99% del agua superficial total del Altiplano; las precipitaciones se presentan principalmente en y alrededor de este lago, causadas en parte por la humedad proveniente del Amazonas. Este lago también es el responsable de aportar la mayor parte de humedad a la región árida del sur. Estas condiciones climáticas particulares, así como la topografía, los microclimas y la escasez de datos, tornan complejo la realización de modelaciones hidrológicas en este sistema (Canedo Rosso *et al.* 2016). Por este motivo, se considera necesario continuar con la realización de estudios que permitan mayor claridad en los resultados.

También se debe tomar en cuenta que, a pesar de que las estimaciones de variación de temperatura a nivel general apuntan hacia un aumento, en el caso de las precipitaciones no sucede lo mismo y aún existe mucha incertidumbre y discrepancia respecto a las variaciones que los distintos estudios estiman que se presentarán en los patrones de lluvia. De acuerdo con Canedo Rosso *et al.* (2016), hay estudios que proyectan disminuciones considerables en la precipitación y evapotranspiración de la parte sur de la subcuenca del Lago Titicaca, así como reducción generalizada en las precipitaciones a lo largo del Altiplano. No obstante, otros estudios estiman un aumento en la precipitación en los Andes, lo que podría resultar en aumento de la humedad y la escorrentía. A pesar de estas discrepancias en las estimaciones, es necesario que se establezcan medidas enfocadas a una conservación del recurso hídrico, ya que estudios estiman disminución general en el total anual de agua renovable en Bolivia (Canedo Rosso *et al.* 2016).

Adicionalmente, se debe considerar que han sido publicados informes de entes especializados en cambio climático a nivel mundial, donde se proyectan eventos climáticos futuros aún más extremos, así como estimaciones del impacto de incrementos de temperatura a largo plazo en el recurso hídricos con reducciones drásticas en el volumen de agua en lagos, ríos, glaciares y humedales, principalmente en la época seca (Baptista Téllez 2017; Torres-Batló *et al.* 2020).

### **4.3. Lineamientos generales que contribuyan a identificar medidas de adaptación**

Tomando en cuenta las condiciones de la cuenca y la situación respecto al recurso hídrico se considera necesario implementar medidas de adaptación frente al cambio climático. De acuerdo con Hoffman (2015), Bolivia aún se encuentra en proceso de concientización sobre la necesidad de adaptación al cambio climático y adopción de políticas nacionales, departamentales y municipales. Según este autor, se han mostrado avances en programas de adaptación al cambio climático, sin embargo, hace falta una institucionalidad funcional por parte del gobierno.

Debido a esto, se planteó como tercer objetivo proponer algunos lineamientos generales a ser considerados para la identificación de medidas de adaptación. Para la formulación de propuestas de lineamientos se realizó una revisión bibliográfica que consideró los avances y marcos conceptuales que se han desarrollado a nivel internacional para la protección de lagos o cuerpos de agua por efectos del cambio climático, o bien políticas de planes de adaptación en general.

En este proceso, es necesario conocer los criterios que deben ser considerados para identificar y establecer medidas de adaptación en materia de cambio climático. A nivel general Margulis, citado por Inchausty (2018), enlista algunos aspectos base importantes que deben ser tomados en cuenta en la elaboración de planes de adaptación, los cuales se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 7. Aspectos base a ser considerados en la elaboración de planes de adaptación

1. Identificar el problema: vulnerabilidades, riesgos climáticos e impactos
2. Identificar las alternativas de adaptación
3. Evaluar las compensaciones y los riesgos
4. Identificar limitaciones de capacidad
5. Transversalización de la adaptación en los planes sectoriales
6. Implementación, monitoreo y retroalimentación
7. Comunicación, compromiso y participación

Fuente: Margulis (2017) tomado de Inchausty (2018).

Otras reflexiones de Margulis que es importante considerar en este tema son las siguientes:

- Transversalización: Abordaje de las problemáticas desde varios sectores, ya que el cambio climático afecta a diversos de éstos. Se pueden realizar acciones, proyectos y programas adaptados de forma específica a algún departamento o instancia.

- Enfoque de adaptación: Los objetivos del enfoque deben responder al tipo de impacto y contexto particular, de forma que haya concordancia entre las unidades de análisis y las áreas con necesidad de adaptación.
- Temporalidad de la adaptación: Los plazos de la planificación deben ser superiores a los periodos de gobierno con el fin de que sea posible la implementación efectiva.

Para el establecimiento de lineamientos es fundamental la información, el desarrollo y la transferencia tecnológica. En estos procesos se debe procurar que los objetivos y metas sean definidos de la mejor manera, teniendo claro las necesidades reales de adaptación. En este sentido también es primordial incluir procesos de seguimiento, en los cuales se consideren indicadores medibles y aprendizajes, teniendo objetivos macro que reflejen el estado óptimo de lo que se desea cuidar o mejorar (Vicuña 2019).

Además de esto, se considera que hay ciertos puntos que es imperativo sean considerados en el establecimiento de medidas de adaptación, como en este caso. Se indican en el cuadro 8 a continuación.

Cuadro 8. Puntos importantes para considerar en el planteamiento de medidas

Protección del recurso hídrico, y demás recursos naturales de la cuenca y del sistema
Garantizar el bienestar de los pueblos
Priorización de grupos vulnerables
Enfoque equitativo
Procesos participativos (incluir a la población en la toma de decisiones, realización de talleres con las comunidades, entre otros)
Preservación de la cultura
Parámetros medibles
Marco jurídico que respalde los planes de adaptación

Lineamientos generales:

Teniendo estas bases en cuenta, se proponen los siguientes lineamientos generales con el fin de que contribuyan a identificar medidas de adaptación:

1. El sistema TDPS se considera como una unidad integral, y por lo tanto debe ser considerada como tal en la toma de decisiones, planificación, manejo y gestión, e implementación de medidas.

El sistema TDPS es una cuenca binacional, y la planificación y las acciones propuestas no deben implementarse a nivel individual en cada país, ya que como el sistema integral que es, los impactos negativos o positivos afectarán a la totalidad de este.

2. Incorporación del enfoque de manejo y gestión integral de cuencas, impulsando la seguridad hídrica frente al cambio climático, con una adecuada protección y monitoreo de fuentes, tanto superficiales como subterráneas.

Para lograr efectividad en la adaptación al cambio climático, es necesario que la planificación de todo el sistema TDPS se realice desde un enfoque de manejo y gestión integral de cuencas, de forma tal que se vele por la protección de las diferentes fuentes de recurso hídrico, tanto superficiales como subterráneas, y se monitoree el uso del recurso, garantizando que dicho uso sea sostenible y equitativo.

3. La información generada a partir de las investigaciones y estudios del sistema TDPS se integra a los procesos de planificación e implementación de medidas para la adaptación al cambio climático.

Para que haya una adecuada planificación y para que las medidas para la adaptación al cambio climático sean efectivas, es necesario que la toma de decisiones se realice a partir de información generada por estudios e investigaciones robustas que describan de forma certera la realidad actual y estimaciones futuras del sistema.

4. Los modelos de gobernanza, participación y coordinación institucional contribuyen a promover comunidades resilientes, y adaptación humana y de la biodiversidad ante el cambio climático (BID-MINAE-SINAC-DDC 2015).

Los efectos del cambio climático afectan a los diferentes grupos de la población, por lo que una mayor participación ciudadana en los procesos de adaptación contribuirá a crear comunidades más resilientes al cambio climático, maximizando la efectividad de las medidas de adaptación.

5. La participación de las comunidades debe ser pilar en la toma de decisiones, y su cosmovisión de la madre Tierra debe estar reflejada en los principios que determinen las medidas de adaptación al cambio climático.

Los pueblos presentes dentro del sistema TDPS, principalmente en los alrededores del lago, cuentan con una cultura muy arraigada a este cuerpo de agua y los elementos del ambiente tienen una gran significancia en su vida por lo que se considera fundamental incorporar el conocimiento ancestral de las comunidades en la formulación de medidas de adaptación.

6. La planificación sobre la explotación del recurso hídrico debe ser formulada a partir de la disponibilidad del recurso y no en función de la demanda.

Para lograr la conservación del recurso hídrico es imperativo que exista un adecuado monitoreo sobre la explotación del recurso; usuarios, usos, entre otros. La gestión del recurso y el otorgamiento de concesiones debe ser consecuente a la disponibilidad, y no únicamente responder a la demanda, principalmente de grandes empresas. Este es un punto fundamental para garantizar un acceso equitativo entre los diferentes usuarios.

7. Fortalecer las relaciones entre las estrategias y medidas de adaptación al cambio climático y las de mitigación de los efectos de gases con efecto invernadero, e incorporarlas en procesos de planificación de la biodiversidad y otros sectores (BID-MINAE-SINAC-DDC 2015).

Considerando los impactos del cambio climático, es necesario que las estrategias relacionadas a este tema incluyan tanto enfoques de adaptación, como de mitigación al cambio climático, buscando lograr una sinergia entre ambas acciones, con el fin de lograr resultados más provechosos en el largo plazo.

8. Reforzar y acondicionar las capacidades técnicas e institucionales para incorporar las medidas de adaptación al cambio climático en la planificación (BID-MINAE-SINAC-DDC 2015).

Para contar con el conocimiento y las herramientas necesarias para poder establecer e implementar adecuadamente las medidas de adaptación al cambio climático es necesario que se fortalezcan las capacidades técnicas relacionadas a conservación de la biodiversidad y cambio climático, así como las capacidades de las diversas instituciones para cumplir su papel en dichos procesos.

9. Gestionar recursos financieros que permitan la incorporación de la adaptación al cambio climático en las comunidades.

A la problemática ambiental y del recurso hídrico se aúnan las condiciones socioeconómicas de las comunidades, agravando la situación, por lo que es necesario contar con recursos económicos que permitan implementar medidas de adaptación ante el cambio climático, principalmente en las comunidades más vulnerables.

10. Establecer una coordinación entre países para la toma de decisiones en materia de adaptación al cambio climático.

El trabajo de planificación y de implementación de medidas de adaptación al cambio climático debe considerar una labor a nivel de gobiernos locales, sin embargo, también es necesario que se realice una coordinación entre los países en los que se encuentra el sistema TDPS, de forma que éste sea considerado de forma integral.

11. Fortalecimiento de los procesos de gobernanza e institucionalidad por medio de herramientas como la comunicación, la concientización y la incidencia política (BID-MINAE-SINAC-DDC 2015).

Para lograr que las medidas de adaptación al cambio climático sean exitosas es necesario que haya una adecuada conciencia en la población sobre los efectos del cambio climático, debido a esto, la comunicación, la concientización y la incidencia política, son herramientas que se consideran necesarias para fortalecer la gobernanza y la institucionalidad en los procesos de adaptación al cambio climático.

12. Promover el desarrollo de investigaciones científicas, recolección y análisis de datos relacionados con la adaptación al cambio climático.

Para lograr una adecuada adaptación ante el cambio climático es fundamental incluir entre las acciones el desarrollo de estudios que permitan conocer la situación de los diferentes componentes de la problemática, de forma tal que las medidas que se planteen tengan un sustento científico.

13. Fomentar e implementar enfoques de adaptación basada en ecosistemas y soluciones basadas en la naturaleza.

Uso de elementos de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos para hacer frente al cambio climático buscando minimizar los impactos negativos del mismo en las comunidades, y en la medida de lo posible obtener resultados positivos ante dichas circunstancias.

Finalmente se mencionan algunas pautas de utilidad que pueden ser consideradas para la priorización en la selección de medidas de adaptación (Departamento de Cambio Climático del Ministerio del Medio Ambiente Chile 2015):

- Vulnerabilidad. Priorización de grupos más vulnerables donde se estima un mayor impacto de los efectos del cambio climático.
- Urgencia. Primar a los sectores en los que el cambio climático ya ha generado efectos adversos, o son conocidos e inminentes.
- Sinergia entre medidas. Priorizar las medidas que benefician a más de un sector o que también son positivas para la mitigación.
- Medidas sin arrepentimiento. Medidas que tienen un efecto positivo inherente.
- Eficacia. De acuerdo con la efectividad en términos de disminuir el riesgo a los efectos del cambio climático o de aumentar la capacidad adaptativa.
- Factibilidad. Posibilidad mayor de implementación considerando las capacidades.
- Flexibilidad. Priorizar las medidas de adaptación que se puedan modificar en caso de que los impactos reales no sean acordes a lo proyectado.
- Costo/Beneficio. En los casos en los que el análisis económico es un factor por considerar.

## 5. CONCLUSIONES

- 1) Es evidente que existe mucha incertidumbre sobre las variaciones que habrá a nivel climático y el impacto que éstas tendrán en los ecosistemas. El monitoreo e investigaciones continuas son fundamentales para lograr cierto nivel de preparación ante las mismas y disminuir los impactos. En este sentido, los estudios hidrológicos y modelaciones con programas como SWAT son herramientas de suma importancia en el manejo y gestión de cuencas.
- 2) El sistema TDPS es una cuenca binacional compleja cuyas afectaciones repercuten en ambos países y el futuro del Lago Poopó depende fuertemente de las acciones que se lleven a cabo aguas arriba de la cuenca. Debido a esto, el sistema TDPS debe analizarse y manejarse de forma integral, siendo necesario que se lleve a cabo una coordinación entre los países para que la implementación de medidas sea efectiva.



- 3) Los impactos del cambio climático son inevitables, razón por la cual es necesario que se implementen medidas de adaptación. No obstante, esto debe complementar en paralelo con planes de mitigación que permitan disminuir los efectos adversos del cambio climático.

## **6. RECOMENDACIONES**

- 1) Se recomienda continuar con la realización de estudios que permitan generar información por medio de la cual sea posible la toma de decisiones y la implementación de medidas de una forma asertiva. Esto contribuirá a amortiguar los efectos del cambio climático, permitiendo así disminuir la afectación a las comunidades.
- 2) Entre los objetivos de conservación del lago se deben incluir acciones enfocadas al uso y explotación sostenible del recurso hídrico, control de concesiones de agua, regulación en las actividades económicas, entre otros.
- 3) Sería provechoso contar con información de las variables climáticas de radiación solar, humedad relativa y viento, para que sean incluidas en la modelación y que los resultados sean más exactos.

## **7. EXPERIENCIA, ALCANCES Y LIMITACIONES DE LOS RESULTADOS Y LAS LECCIONES APRENDIDAS**

Por medio de la realización de este trabajo final de graduación fue posible ratificar la importancia que tienen los modelos hidrológicos como SWAT como una herramienta en los procesos del manejo y gestión de cuencas. En este sentido, para este tipo de modelaciones es de suma importancia contar con bases de datos robustas, que permitan predicciones más certeras.

En el contexto de trabajo final de graduación se entiende que existe una limitante de tiempo, ya que son muchos los objetivos que debe ser dejados por fuera en un tema tan relevante. Debido a esto se resalta la importancia de continuar con investigaciones sobre el tema.

Sin embargo, también se considera que aun con las limitantes, estos estudios pueden servir como una base para futuras investigaciones que continúen con el análisis de la problemática y el planteamiento de medidas. Más aún en casos como este, donde confluyen gran diversidad de factores, la realización continua de estudios es fundamental para poder realizar un abordaje adecuado.

Sobre esto también se considera importante mencionar que sistemas complejos como el sistema TDPS requieren colaboración de diferentes sectores en la investigación.

## 8. LITERATURA CITADA

- Aparicio Mijares, FJ. 1992. Fundamentos de hidrología de superficie. Primera reimpresión. México, D.F., México, Editorial Limusa. 302 p.
- Arnold, JG; Moriasi, DN; Gassman, PW; Abbaspour, KC; White, MJ; Srinivasan, R; Santhi, C; Harmel, RD; van Griensven, A; Van Liew, MW; Kannan, N y Jha, MK. 2012. SWAT: Model use, calibration, and validation. Transactions of the ASABE 55(4):1491-1508.
- Asencios Astorayme, HJ. 2020. Actualización hidroclimática y modelación hidrológica en la vertiente del lago Titicaca, Perú. Proyecto: Gestión integrada de los recursos hídricos en el sistema Titicaca – desaguadero – Poopó – salar de Coipasa (TDPS). Séptimo entregable. 136 p.
- Baptista Téllez, MM. 2017. Predicción de caudales bajo el impacto de cambio climático en condiciones de información limitada en la micro cuenca del río Azanaque, Oruro. Tesis Lic. La Paz, Bolivia, Universidad Mayor de San Andrés. 84 p.
- Besteiro, SI. 2015. Cobertura forestal y dinámica del agua. Estudio de caso: Agua y forestación. Estudio de caso en Llanura Pampeana Argentina. Saarbrücken, Alemania, Editorial Académica Española. 142 p.
- BID-MINAE-SINAC-DDC. 2015. Estrategia y plan de acción para la adaptación del sector biodiversidad de Costa Rica al cambio climático (2015-2025). San José, Costa Rica. 70 p.
- Boninsegna, JA; Villalba, R. 2008. Documento sobre la oferta hídrica en los oasis de riego de Mendoza y San Juan en escenarios de Cambio Climático. Los escenarios de Cambio Climático y el impacto en los caudales (en línea). Consultado 06 jul. 2022. Disponible en [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmpinta\\_documento\\_marco\\_sobre\\_la\\_oferta\\_hdrica\\_en\\_los\\_oa.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmpinta_documento_marco_sobre_la_oferta_hdrica_en_los_oa.pdf)
- Cabrera, J. 2015. Modelos hidrológicos (en línea). Consultado 30 ene. 2022. Disponible en [http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas\\_interes/modhidro\\_1.pdf](http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/modhidro_1.pdf). 1-8.
- Calizaya Terceros, A. 2009. Water resources management efforts for best water allocation in the Lake Poopó basin, Bolivia. Tesis Ph.D. Lund, Suecia, Lund University. 150 p.
- Camargo-Bravo, A; García-Cueto, RO. 2012. Evaluación de dos Modelos de Reducción de Escala en la Generación de Escenarios de Cambio Climático en el Valle de Mexicali en México. Información Tecnológica 23(3):11-20.
- Canedo Rosso, C; Zolá, RP; Berndtsson, R. 2016. Role of Hydrological Studies for the Development of development of the TDPS system. Water 8(144):1-14.
- Carvajal Vanegas, D. 2017. Dinámica hídrica bajo condiciones climáticas cambiantes en la subcuenca del río Tempisquito, cuenca del Tempisque, Guanacaste, Costa Rica. Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 77 p.
- Casey, N. 2016. Sin este lago, ¿adónde iremos?: Los nuevos refugiados climáticos de Bolivia (en línea). The New York Times, Nueva York, Estados Unidos; 07 jul. Consultado 14 dic. 2021. Disponible en <https://www.nytimes.com/es/2016/07/07/espanol/america-latina/sin-este-lago-adonde-iremos-los-nuevos-refugiados-climaticos-de-bolivia.html>.
- CDKN (Alianza Clima y Desarrollo); ODI (Overseas Development Institute). 2014. El Quinto Reporte de Evaluación del IPCC: ¿Qué implica para Latinoamérica? Resumen Ejecutivo. 40 p.
- Davie, T. 2008. Fundamentals of Hydrology. Segunda edición. Nueva York, Estados Unidos de América, Routledge. 200 p.

- Departamento de Cambio Climático del Ministerio del Medio Ambiente. 2015. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Santiago, Chile. 280 p.
- Dile, YT; Daggupati, P; George, C; Srinivasan, R; Arnold, J. 2016. Introducing a new open source GIS user interface for the SWAT model. *Environmental Modelling & Software* 85:129-138.
- Elcacho, J. 2021. ¿Los ríos se quedan sin agua o son más caudalosos por el cambio climático? (en línea). *La Vanguardia*, Barcelona, España; 12 mar. Consultado 07 jul. 2022. Disponible en <https://www.lavanguardia.com/natural/20210312/6374014/rios-quedan-agua-son-mas-caudalosos-cambio-climatico.html>
- Guevara Gil, JA; Pinto Ortiz, Y; Segura Urrunaga, F. 2018. El derecho y la gestión de aguas transfronterizas: quintas Jornadas de Derecho de Aguas. Lima, Perú, Pontificia Universidad Católica del Perú. 412 p.
- Hoffmann, D. 07 mar. 2016. ¿Se podrá recuperar el Lago Poopó? (en línea, blog). La Paz, Bolivia, Fundación Instituto Boliviano de la Montaña. Consultado 06 ene. 2022. Disponible en <https://cambioclimatico-bolivia.org/about.php>.
- Hoffmann, D. 2015. Experiencias de adaptación al cambio climático en Bolivia y recomendaciones para políticas públicas. *Policy Paper*. 8 p.
- Ibáñez, M. 2021. CEPA denuncia que desde 2014 ninguna autoridad hace algo por salvar al lago Poopó (en línea). *La Razón*, La Paz, Bolivia; 13 ago. Consultado 11 dic. 2021. Disponible en <https://www.la-razon.com/ciudades/2021/08/13/cepa-denuncia-que-desde-2014-ninguna-autoridad-hace-algo-por-salvar-al-lago-poopo/>.
- Inchausty, V. 2018. Propuesta de lineamientos sobre cambio climático a escala de paisaje para ser incluidos en los planes de manejo (maestros) de las cinco áreas protegidas del Paisaje Sur. Proyecto AIPA- Visión Amazónica. Unión Europea, Redparques, WWF, FAO, UICN, ONU Medio Ambiente. Bogotá, Colombia.
- IPCC. 2001. Cambio climático 2001: Mitigación. Resúmenes del Grupo de Trabajo III (en línea). Consultado 29 ene. 2022. Disponible en <https://archive.ipcc.ch/ipccreports/tar/vol4/spanish/pdf/wg3sum.pdf>
- IPCC. 2008. El cambio climático y el agua. Eds. Bates, B; Kundzewicz, ZW; Wu, S; Palutikof, J. Ginebra, Suiza, Secretaría del IPCC. 224 p.
- IPCC. 2013. Cambio climático 2013: Bases físicas. Resumen para responsables de políticas, resumen técnico y preguntas frecuentes (en línea). E. Eds. Stocker, TF; Qin, D; Plattner, GK; Tignor, M; Allen, SK; Boschung, J; Nauels, A; Xia, Y; Bex, V; Midgley, PM. Consultado 29 ene. 2022. Disponible en [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5\\_SummaryVolume\\_FINAL\\_SPANISH.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf)
- IPCC. 2014. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectorial Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Eds. Field, CB; Barros, VR; Dokken, DJ; Mach, KJ; Mastrandrea, MD; Bilir, TE, Chatterjee, M; Ebi, KL; Estrada, YO; Genova, RC; Girma, B; Kissel, ES; Levy, AN; MacCracken, S; Mastrandrea, PR; White, LL. Cambridge, United Kingdom, Cambridge University Press. 1131 p.
- IPCC. 2020. El cambio climático y la tierra: Informe especial del IPCC sobre el cambio climático, la desertificación, la degradación de las tierras, la gestión sostenible de las tierras, la seguridad

- alimentaria y los flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres. Resumen para responsables de políticas. Eds. Masson-Delmotte, V; Zhai, P; Pörtner, HO; Roberts, D; Skea, J; Calvo Buendía, E; Shukla, PR; Slade, R; Connors, S; van Diemen, R; Ferrat, M; Haughey, E; Luz, S; Neogi, S; Pathak, M; Petzold, J; Portugal Pereira, J; Vyas, P; Huntley, E; Kissick, K; Belkacemi, M; Malley, J. Consultado 29 ene. 2022. Disponible en [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL\\_SPM\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/06/SRCCL_SPM_es.pdf)
- IPCC. 2021. Summary for Policymakers. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds. Masson-Delmotte, V; Zhai, P; Pirani, A; Connors, SL; Péan, C; Chen, Y; Goldfarb, L; Gomis, MI; Matthews, JBR; Berger, S; Huang, M; Yelekçi, O; Yu, R; Zhou, B; Lonnoy, E; Maycock, TK; Waterfield, T; Leitzell, K; Caud; N. Cambridge, United Kingdom, Cambridge University Press. 40 p.
- La difícil labor de resucitar el lago boliviano que murió hace rato (en línea). El Tiempo, Bogotá, Colombia; 24 ago. 2021. Consultado 16 dic. 2021. Disponible en <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/la-dficial-labor-de-resucitar-al-poopo-lago-boliviano-que-murio-hace-rato-612771>
- Martínez Solano, HJ. 2019. Dinámica de servicios ecosistémicos y comportamiento hidrológico bajo escenarios de cambio climático en la región hidrográfica del estero de Jaltepeque, El Salvador. Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 88 p.
- MMAyA (Ministerio de Medio Ambiente y Agua). 2015. Plan de Acción 2015-2025 para la conservación y el uso sustentable del Sitio Ramsar Lagos Poopó y Uru Uru. La Paz, Bolivia. 92 p.
- MMAyA (Ministerio de Medio Ambiente y Agua); Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego. 2016. Guía metodológica para la elaboración de balances hídricos superficiales: análisis de variabilidad climática de oferta y demanda hídrica. Versión resumida. 100 p.
- Neitsch, SL; Arnold, JG; Kiniry, JR; Williams, JR. 2009. Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009. Texas Water Resources Institute. 618 p.
- Ordoñez Gálvez, JJ. 2011. Balance Hídrico Superficial (en línea). Cartilla técnica. Sociedad Geográfica de Lima. Perú. 44 p. Consultado 30 ene. 2022. Disponible en [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/balance\\_hidrico.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/balance_hidrico.pdf)
- Pillco Zolá, R; Bengtsson, L. 2006. Long-term and extreme water level variations of the shallow Lake Poopó, Bolivia. Hydrological Sciences Journal 51(1):98-114.
- Pouilly, M; Lazzaro, X; Point, D; Aguirre, M. 2014. Línea base de conocimientos sobre los recursos hidrológicos en el sistema TDPS con enfoque en la cuenca del Lago Titicaca. Quito, Ecuador, IRD - UICN. 320 pp.
- Quino, I; Quintanilla, J; García, MA; Cáceres, L. 2006. Determinación de la calidad fisicoquímica de las aguas subterráneas en la región norte y este del Lago Poopó. Revista Boliviana de Química 23(1):48-52.
- Ríos Ramírez, JN. 2021. Actualización hidroclimática y modelación hidrológica en la vertiente del Lago Titicaca, Bolivia" en el marco del Proyecto Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en el Sistema Titicaca – Desaguadero – Poopó – Salar de Coipasa. Informe final. 86 p.
- Rodríguez, E. 2019. Análisis de sensibilidad en producción de agua y erosión hídrica bajo escenarios de cobertura vegetal y clima en la sección alta de la cuenca del río Yaque del Norte, República Dominicana. Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 90 p.

- Sánchez, L; Reyes, O. 2015. Medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático en América Latina y el Caribe: Una revisión general. Santiago, Chile, CEPAL. 73 p.
- Torres-Batló, J; Martí-Cardona, B; Pillco-Zolá, R. 2020. Mapping Evapotranspiration, Vegetation and Precipitation Trends in the Catchment of the Shrinking Lake Poopó. *Remote Sens* 12(73):1-20.
- UNEP (División de Aguas Continentales Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 1996. Diagnostico Ambiental del Sistema Titicaca-Desaguadero-Poopo-Salar de Coipasa (Sistema TDPS) Bolivia-Perú. Washington, D.C., Estados Unidos de América, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 223 p.
- Uribe, N. 2010. Conceptos básicos y guía rápida para el usuario: Versión SWAT2005 (en línea). Consultado 31 ene. 2022. Disponible en <https://swat.tamu.edu/media/46967/swat2005-tutorial-spanish.pdf>
- Vicuña, S; Aldunce, A; Stehr, F; Cid, A; Rivera, K; Alencar, C; Álvarez, J; Barton, J; Berger, C; Berroeta, J; Boisier, E; Bustos, S; Bustos, T; Correa, S; Cortés, L; Cubillos, F; De la Barrera, F; Donoso, L; Farías, D; Farías, R; Fuster, P; Gese, A; Godoy, L; Guerra, C; Guida, C; Ibarra, M; Jadrijevic, R; Jiliberto, G; Lillo, E; Medel, C; Meruane, F; Meza, M; Montedónico, J; Muñoz, L; Muñoz, M; Musalem, A; Navarro, C; Ovalle, R; Palma, C; Pelano, A; Pica, J; Piquer, D; Poblete, R; Ponce, P; Repetto, M; Rojas, A; Rudnick, G; Santis, J; Selles, C; Silva, M; Silva, D; Soto, S; Ureta, C; Vargas, G; Vida y P, Winckler. 2019. Lineamientos para el desarrollo de planes de adaptación: Aplicación de recursos hídricos. Informe de las mesas Adaptación y Agua. Santiago, Chile, Comité Científico COP25, Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.
- Villón, M. 2002. Hidrología. Cartago, Costa Rica, ITCR. 433 p.
- Weber, JF; Dasso, CM; Jorquera, E. 2010. Desarrollo y calibración de un modelo hidrológico de simulación mixta. *Mecánica Computacional XXIX*:15-18
- Zabaleta Cabrera, VL. 1994. Análisis situacional de la pesca en el Lago Poopó y la incidencia de los cambios ambientales en las comunidades influenciadas. Tesis Lic. Oruro, Bolivia, Universidad Técnica de Oruro. 178 p.

## 9. ANEXOS

### 9.1. Datos climáticos actualizado de acuerdo con las proyecciones estimadas

Cuadro 9. Promedio mensual de temperatura mínima, periodo 2041-2061, por estación.

Estación/ Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
<b>Achiri</b>	4.74	4.64	3.85	1.04	-4.09	-6.35	-6.93	-5.15	-2.88	-0.53	1.24	3.15
<b>Andamarca</b>	6.30	5.90	5.38	2.55	-2.13	-4.47	-4.67	-3.02	-0.29	2.12	3.74	5.43
<b>Arapa</b>	5.85	5.66	5.05	2.89	-1.53	-4.13	-4.67	-2.73	0.58	2.91	3.97	5.17
<b>AyoAyo</b>	5.96	5.24	4.24	0.69	-5.13	-8.09	-8.34	-6.03	-2.25	1.12	2.89	4.90
<b>Belen</b>	5.15	4.56	3.72	1.40	-2.62	-4.45	-4.83	-3.05	0.05	2.13	3.21	4.53
<b>CabanaFo</b>	6.43	6.24	5.54	3.21	-1.67	-4.79	-5.28	-3.30	0.23	2.73	4.28	5.91
<b>Calacoto</b>	4.31	3.73	2.97	-0.34	-6.02	-8.62	-9.06	-7.19	-4.25	-1.51	0.49	2.85
<b>Carabuco</b>	7.35	7.30	7.03	5.61	2.99	1.47	1.16	2.37	4.25	5.67	6.45	7.12
<b>Charaña</b>	2.50	2.11	1.36	-1.81	-6.24	-8.57	-9.12	-7.61	-5.28	-3.15	-1.61	0.70

<b>Chillca</b>	2.50	2.11	1.36	-1.81	-6.24	-8.57	-9.12	-7.61	-5.28	-3.15	-1.61	0.70
<b>Chuquibambilla</b>	4.23	4.21	3.62	1.17	-4.30	-7.35	-7.84	-5.67	-2.16	0.37	1.49	3.23
<b>Collana</b>	5.85	5.49	5.12	3.36	0.51	-1.31	-1.74	-0.49	1.48	3.38	4.45	5.50
<b>Copacabana</b>	6.69	6.61	6.67	6.27	4.94	3.77	3.55	4.14	4.68	5.82	6.41	6.68
<b>Copancara</b>	5.75	5.31	4.80	2.96	-1.41	-3.14	-3.45	-1.60	1.23	3.33	4.33	5.38
<b>Desaguadero</b>	6.33	6.21	5.75	3.98	0.61	-1.29	-1.62	-0.28	2.05	3.94	5.08	6.08
<b>ElAltoAeropuerto</b>	5.40	5.23	4.72	2.87	-0.33	-2.18	-2.52	-1.31	0.83	2.87	3.95	4.98
<b>Hichucota</b>	2.68	2.61	2.34	1.56	-0.47	-2.22	-2.89	-2.41	-1.21	0.45	1.61	2.36
<b>Huancane</b>	5.91	5.68	5.11	3.23	-0.65	-2.87	-3.44	-1.77	1.34	3.47	4.42	5.46
<b>HuarayaMoho</b>	6.62	6.44	5.99	4.63	2.06	0.52	0.11	1.27	3.12	4.66	5.47	6.21
<b>HuarinaCotaCota</b>	5.94	5.63	5.03	3.06	-0.84	-3.01	-3.46	-1.91	0.81	3.15	4.33	5.39
<b>Huayrocondo</b>	5.15	4.70	3.88	1.69	-2.40	-4.45	-4.61	-3.08	-0.53	1.79	2.93	4.35
<b>Ilave</b>	6.54	6.35	6.07	4.45	1.42	-0.48	-0.87	0.45	2.39	4.28	5.21	6.14
<b>Independencia</b>	14.67	14.62	14.24	13.07	10.38	8.90	8.54	9.87	11.66	13.42	14.31	14.80
<b>IslaSuana</b>	9.12	9.09	8.93	7.97	5.99	4.61	4.33	5.20	6.58	7.91	8.59	9.10
<b>IslaTaliq</b>	8.21	8.15	8.15	7.55	6.26	5.16	4.68	5.37	6.51	7.56	8.19	8.37
<b>Lampa</b>	5.74	5.55	5.15	2.91	-1.52	-3.97	-4.29	-2.72	-0.07	1.81	2.88	4.60
<b>Laycacota</b>	8.87	8.71	8.51	7.57	5.83	4.64	4.32	5.06	6.25	7.65	8.25	8.78
<b>Luribay</b>	14.67	14.62	14.24	13.07	10.38	8.90	8.54	9.87	11.66	13.42	14.31	14.80
<b>MazoCruz</b>	2.19	1.68	1.06	-2.32	-8.34	-11.29	-11.69	-10.29	-7.82	-5.41	-3.45	-0.43
<b>OruroAeropuerto</b>	6.72	6.25	5.47	2.09	-3.54	-6.55	-6.62	-4.38	-0.89	2.33	3.98	5.88
<b>Palca_LP</b>	10.08	9.82	9.54	7.88	4.78	3.14	2.57	3.96	6.14	7.99	9.13	10.07
<b>Pampahuta</b>	1.37	1.27	0.88	-1.26	-5.84	-8.78	-9.77	-8.48	-6.62	-4.11	-2.49	-0.21
<b>Patacamaya</b>	6.49	5.82	5.13	2.31	-2.18	-4.48	-4.44	-2.52	0.47	2.87	4.13	5.68
<b>Pizacoma</b>	4.72	4.37	3.81	1.45	-2.66	-4.47	-4.79	-3.24	-1.26	0.56	2.00	3.53
<b>Pucara</b>	5.80	5.63	4.99	2.56	-2.40	-5.38	-5.89	-3.68	-0.18	2.34	3.52	4.87
<b>RioMulato</b>	3.51	2.66	1.52	-2.22	-7.39	-10.20	-10.40	-8.73	-6.17	-3.11	-1.03	1.66
<b>SanJuanHuancollo</b>	7.26	7.22	6.98	5.99	3.91	2.57	2.17	3.19	4.64	6.02	6.74	7.27
<b>SanMartin</b>	6.26	5.87	5.31	2.13	-3.16	-6.03	-6.37	-3.41	-0.15	2.70	4.37	5.82
<b>SantiagoDeMachaca</b>	2.67	2.24	1.13	-2.84	-8.53	-11.38	-11.79	-9.90	-7.04	-4.84	-2.83	0.00
<b>TahuacoYunguyo</b>	5.48	5.23	5.09	3.63	0.91	-0.72	-1.00	0.28	2.21	3.60	4.62	5.27
<b>Tiawanacu</b>	5.41	5.19	4.52	1.97	-2.68	-5.15	-5.42	-3.74	-0.55	1.86	3.42	4.90
<b>TodoSantos_Or</b>	19.01	18.79	18.97	18.30	16.38	14.82	14.71	15.98	17.48	19.36	20.50	20.34
<b>Viacha</b>	5.56	5.25	4.56	2.07	-2.86	-5.53	-5.85	-3.79	-0.56	2.06	3.54	4.81
<b>VillaPuni</b>	7.09	6.93	6.69	5.73	3.59	2.18	1.79	2.70	4.23	5.40	6.19	6.85
<b>Yocalla</b>	9.16	8.65	7.87	5.58	1.68	-0.47	-0.44	1.92	4.26	6.67	8.13	8.98

Cuadro 10. Promedio mensual de temperatura máxima, periodo 2041-2061, por estación.

Estación/ Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
<b>Achiri</b>	19.14	19.12	19.26	19.46	18.92	17.83	17.68	18.83	19.82	21.06	21.77	21.11
<b>Andamarca</b>	20.07	19.93	20.04	19.75	18.26	16.84	16.72	18.03	19.19	20.89	21.70	21.35

<b>Arapa</b>	17.14	17.23	17.30	17.61	17.59	16.90	16.87	17.59	18.39	18.85	19.15	18.46
<b>AyoAyo</b>	17.78	17.99	18.27	18.61	18.43	17.33	17.10	17.98	18.56	19.58	20.24	19.46
<b>Belen</b>	15.96	16.10	16.46	16.69	16.36	15.45	15.01	15.91	16.43	17.23	17.63	17.09
<b>CabanaFo</b>	20.39	20.45	20.61	20.45	19.16	17.75	17.63	19.10	20.22	21.82	22.64	22.16
<b>Calacoto</b>	19.21	19.33	19.40	19.65	19.01	17.82	17.57	18.85	19.82	21.18	21.82	21.12
<b>Carabuco</b>	16.35	16.52	16.47	16.41	15.95	15.12	14.84	15.60	16.23	17.10	17.62	17.21
<b>Charaña</b>	20.36	20.28	20.30	20.02	18.38	16.66	16.64	18.01	19.25	20.98	21.96	21.86
<b>Chillca</b>	15.82	15.75	16.11	16.54	16.30	15.18	15.15	15.74	16.11	17.12	17.25	16.97
<b>Chuquibambilla</b>	16.70	16.95	17.05	17.37	17.33	16.70	16.74	17.74	18.56	18.97	19.11	18.09
<b>Collana</b>	18.10	18.25	18.60	18.98	18.57	17.57	17.28	18.30	19.01	20.05	20.60	19.89
<b>Copacabana</b>	15.87	16.08	16.22	16.35	15.87	14.80	14.57	15.51	16.28	17.20	17.69	17.19
<b>Copancara</b>	16.84	16.98	17.09	17.30	16.95	16.06	15.90	16.79	17.50	18.27	18.58	17.99
<b>Desaguadero</b>	16.46	16.49	16.59	16.48	15.86	14.70	14.41	15.27	16.11	17.37	17.97	17.59
<b>ElAltoAeropuerto</b>	15.53	15.66	15.87	16.16	16.07	15.09	14.90	15.86	16.47	17.19	17.65	16.96
<b>Hichucota</b>	13.53	13.56	13.68	13.85	13.97	13.24	13.25	14.13	15.00	15.59	15.85	14.88
<b>Huancane</b>	16.29	16.37	16.41	16.71	16.69	16.13	16.10	16.63	17.44	17.76	18.12	17.38
<b>HuarayaMoho</b>	15.63	15.73	15.64	15.81	15.60	14.95	14.92	15.70	16.66	17.12	17.52	16.80
<b>HuarinaCotaCota</b>	16.45	16.63	16.80	17.06	16.84	15.93	15.75	16.69	17.37	18.14	18.34	17.70
<b>Huayrocondo</b>	17.24	17.34	17.38	17.54	17.06	16.19	16.04	16.89	17.62	18.40	18.83	18.28
<b>Ilave</b>	16.30	16.40	16.45	16.69	16.41	15.50	15.40	16.18	16.88	17.77	18.22	17.66
<b>Independencia</b>	23.58	23.25	23.59	23.87	23.42	22.49	22.19	23.25	23.88	25.05	25.61	25.00
<b>IslaSuana</b>	16.40	16.50	16.59	16.71	16.24	15.24	15.05	15.91	16.67	17.60	18.06	17.58
<b>IslaTaliq</b>	15.96	16.07	16.05	16.25	16.00	15.22	15.16	15.94	16.77	17.45	17.87	17.23
<b>Lampa</b>	17.57	17.52	17.55	17.81	17.91	17.27	17.34	18.04	18.98	19.38	19.80	18.98
<b>Laykacota</b>	20.42	20.60	20.83	21.21	20.96	19.84	19.55	20.64	21.29	22.20	22.77	21.99
<b>Luribay</b>	27.64	27.82	28.17	28.35	27.77	26.77	26.41	27.08	27.70	28.76	29.45	28.69
<b>MazoCruz</b>	16.52	16.39	16.91	17.31	16.97	16.07	15.94	16.86	17.71	18.95	19.29	18.53
<b>OruroAeropuerto</b>	20.37	20.54	20.77	20.79	19.58	18.16	18.05	19.42	20.58	22.06	22.63	22.04
<b>Palca_LP</b>	18.45	18.46	18.84	19.05	18.28	17.11	16.99	18.14	19.14	20.50	20.96	20.29
<b>Pampahuta</b>	13.53	13.56	13.68	13.85	13.97	13.24	13.25	14.13	15.00	15.59	15.85	14.88
<b>Patacamaya</b>	19.62	19.79	20.06	20.52	20.16	19.02	18.80	19.57	20.00	21.16	21.67	21.12
<b>Pizacoma</b>	18.24	18.18	18.41	18.64	18.28	17.26	17.10	18.15	19.12	20.11	20.70	19.97
<b>Pucara</b>	17.36	17.37	17.42	17.71	17.75	17.08	17.10	17.81	18.68	19.11	19.48	18.72
<b>RioMulato</b>	17.81	17.87	17.75	17.44	15.64	13.86	13.71	15.21	16.58	18.39	19.34	19.07
<b>SanJuanHuancollo</b>	16.92	16.92	16.96	17.06	16.61	15.68	15.53	16.30	17.06	17.99	18.44	17.98
<b>SanMartin</b>	20.20	19.71	20.19	19.16	17.13	15.77	15.70	16.74	18.39	20.33	21.66	21.61
<b>SantiagoDeMachaca</b>	19.07	18.90	19.12	19.28	18.82	17.85	17.78	18.82	19.82	20.94	21.72	21.10
<b>TahuacoYunguyo</b>	15.87	16.08	16.22	16.35	15.87	14.80	14.57	15.51	16.28	17.20	17.69	17.19
<b>Tiawanacu</b>	17.78	17.77	17.93	18.27	17.67	16.64	16.35	17.53	18.34	19.23	19.78	19.06
<b>TodoSantos_Or</b>	19.19	18.97	19.16	18.82	17.34	16.10	16.14	17.12	17.90	19.50	20.34	20.51
<b>Viacha</b>	17.51	17.56	17.65	17.90	17.36	16.41	16.20	17.21	17.98	18.82	19.31	18.67



<b>VillaPuni</b>	16.15	16.31	16.47	16.55	16.15	15.29	14.92	15.75	16.33	17.17	17.62	17.15
<b>Yocalla</b>	23.80	24.07	24.65	25.07	24.29	22.93	22.79	24.02	25.10	26.07	26.45	25.82

Cuadro 11. Promedio mensual de precipitación (escenario de disminución), periodo 2041-2061, por estación

Estación/ Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
<b>Achiri</b>	108.24	72.68	57.85	19.88	2.35	4.53	2.22	5.84	6.42	14.42	26.13	58.04
<b>Andamarca</b>	67.18	53.30	32.44	10.42	1.35	2.22	1.65	3.29	3.41	9.24	13.06	35.74
<b>Arapa</b>	111.91	96.78	90.35	39.57	7.90	5.94	2.73	10.95	19.42	43.94	50.56	84.82
<b>AyoAyo</b>	81.94	49.24	40.02	15.50	4.03	4.57	4.18	7.90	15.85	23.07	26.82	52.70
<b>Belen</b>	83.04	55.57	43.72	16.88	9.02	8.42	6.07	10.25	17.17	21.33	31.88	54.44
<b>CabanaFo</b>	79.74	58.18	44.79	15.39	3.25	4.31	3.95	8.73	16.63	19.70	24.38	43.50
<b>Calacoto</b>	99.97	65.26	50.50	15.66	2.66	3.40	2.08	5.16	6.84	14.97	21.07	58.11
<b>Carabuco</b>	93.20	57.73	51.02	25.69	9.26	5.74	5.42	11.48	16.68	26.62	36.54	67.56
<b>Charaña</b>	65.33	53.00	40.74	11.24	1.06	1.76	0.75	2.30	1.47	6.14	12.36	30.83
<b>Chillca</b>	79.11	58.30	50.17	14.81	3.54	4.07	3.60	8.72	16.75	19.50	30.70	49.94
<b>Chuquibambilla</b>	124.11	99.25	100.70	45.00	5.97	4.16	1.59	6.44	13.56	41.93	55.75	94.80
<b>Collana</b>	103.58	64.78	57.73	22.91	5.96	5.14	4.13	10.08	19.21	27.46	38.65	68.31
<b>Copacabana</b>	165.47	118.61	104.44	44.70	14.32	9.89	6.55	13.40	24.53	38.31	51.40	89.31
<b>Copancara</b>	102.12	68.98	57.71	19.10	6.74	5.91	3.48	9.78	15.12	24.81	31.24	55.49
<b>Desaguadero</b>	147.63	121.39	100.17	33.66	5.63	7.13	4.67	10.53	15.49	28.54	43.66	77.11
<b>EIAItoAeropuerto</b>	107.90	77.75	66.75	27.79	8.34	5.94	5.61	11.50	21.34	37.51	42.12	76.96
<b>Hichucota</b>	137.54	110.23	78.89	38.50	10.31	8.67	5.21	10.50	14.74	27.53	40.72	77.53
<b>Huancane</b>	120.24	83.98	83.44	35.51	8.71	4.73	2.98	8.47	22.98	41.74	48.96	85.95
<b>HuarayaMoho</b>	156.44	107.87	94.47	45.57	13.02	7.89	5.40	13.05	30.55	47.51	56.69	103.89
<b>HuarinaCotaCota</b>	105.56	69.20	67.55	24.86	8.97	7.30	4.43	10.26	16.61	32.14	39.62	72.11
<b>Huayrocondo</b>	110.71	75.84	57.91	23.10	8.63	6.17	5.63	11.44	20.24	31.18	37.42	67.19
<b>Ilave</b>	137.40	107.70	96.33	39.33	7.29	5.13	4.52	10.63	18.83	33.08	40.96	73.84
<b>Independencia</b>	147.58	118.26	90.90	32.17	11.10	7.78	9.90	19.82	29.64	41.97	69.23	102.71
<b>IslaSuana</b>	161.70	131.06	107.42	46.76	11.04	9.74	7.22	15.18	24.98	43.46	53.99	96.45
<b>IslaTaliq</b>	186.75	161.50	147.47	61.37	12.53	8.17	5.91	13.75	30.13	48.78	59.51	109.17
<b>Lampa</b>	127.74	109.88	93.06	43.39	5.54	3.90	1.55	7.70	16.74	40.10	53.34	97.70
<b>Laykacota</b>	96.17	66.80	52.79	21.29	7.51	6.06	4.71	9.90	20.11	31.05	33.88	66.41
<b>Luribay</b>	65.27	41.30	33.62	9.36	4.32	3.30	3.11	6.09	10.45	12.47	26.66	48.23
<b>MazoCruz</b>	107.72	96.56	71.60	22.97	3.87	2.58	2.24	5.90	5.82	16.70	26.60	58.00
<b>OruroAeropuerto</b>	84.97	64.20	49.37	15.80	2.58	4.18	3.18	9.04	19.87	17.82	24.98	51.11
<b>Palca_LP</b>	85.67	57.89	42.39	18.02	6.23	5.40	5.42	9.18	17.36	25.39	31.72	53.78
<b>Pampahuta</b>	145.81	126.55	106.49	47.01	7.46	3.00	2.26	7.54	11.57	34.41	53.78	100.76
<b>Patacamaya</b>	80.86	56.45	39.44	14.03	4.82	4.98	2.34	7.06	17.14	17.30	25.25	48.38
<b>Pizcoma</b>	129.55	108.11	83.13	24.86	3.12	3.89	3.23	7.00	6.81	16.82	26.05	78.83
<b>Pucara</b>	125.24	100.76	94.57	42.45	7.17	4.27	2.47	8.23	16.78	47.36	52.46	94.69
<b>RioMulato</b>	62.50	43.82	35.58	6.98	1.25	1.34	1.73	4.20	3.90	7.90	12.19	31.25

<b>SanJuanHuancollo</b>	129.42	104.32	91.46	36.37	5.96	5.94	3.64	10.58	17.40	28.41	45.42	75.28
<b>SanMartin</b>	73.58	54.97	28.74	6.44	0.82	1.13	0.92	1.63	2.38	5.50	8.18	27.94
<b>SantiagoDeMachaca</b>	99.81	74.16	55.72	17.95	1.99	2.97	1.65	4.50	4.95	13.97	19.62	47.16
<b>TahuacoYunguyo</b>	155.58	118.50	106.14	40.38	10.66	9.58	6.06	13.59	23.27	39.76	50.87	90.82
<b>Tiawanacu</b>	88.65	63.84	50.70	21.81	6.12	4.58	4.33	7.27	14.24	23.12	31.82	53.74
<b>TodoSantos_Or</b>	65.66	53.20	33.49	5.00	0.93	1.39	2.01	0.62	1.09	2.59	5.60	20.83
<b>Viacha</b>	102.94	63.55	50.93	21.76	6.98	4.06	5.58	9.00	17.94	30.17	37.86	61.63
<b>VillaPuni</b>	110.43	68.23	57.53	26.18	11.33	6.73	6.13	11.15	21.63	27.85	37.64	71.86
<b>Yocalla</b>	81.45	55.98	43.38	16.00	1.34	0.40	0.66	1.98	5.31	14.71	20.09	45.65

Cuadro 12. Promedio mensual de precipitación (escenario de aumento), periodo 2041-2061, por estación

Estación/ Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
<b>Achiri</b>	162.36	109.02	86.77	29.82	3.53	6.79	3.34	8.76	9.64	21.62	39.19	87.06
<b>Andamarca</b>	100.76	79.94	48.66	15.62	2.03	3.34	2.47	4.93	5.11	13.86	19.60	53.60
<b>Arapa</b>	167.87	145.16	135.53	59.35	11.84	8.90	4.09	16.43	29.14	65.92	75.84	127.22
<b>AyoAyo</b>	122.92	73.86	60.02	23.24	6.05	6.85	6.26	11.86	23.77	34.61	40.22	79.04
<b>Belen</b>	124.56	83.35	65.58	25.32	13.54	12.64	9.11	15.37	25.75	31.99	47.82	81.66
<b>CabanaFo</b>	119.60	87.26	67.19	23.09	4.87	6.47	5.93	13.09	24.95	29.54	36.56	65.24
<b>Calacoto</b>	149.95	97.90	75.74	23.50	4.00	5.10	3.12	7.74	10.26	22.45	31.61	87.17
<b>Carabuco</b>	139.80	86.59	76.52	38.53	13.90	8.60	8.14	17.22	25.02	39.92	54.82	101.34
<b>Charaña</b>	97.99	79.50	61.10	16.86	1.60	2.64	1.13	3.44	2.21	9.22	18.54	46.25
<b>Chillca</b>	118.67	87.46	75.25	22.21	5.32	6.11	5.40	13.08	25.13	29.26	46.06	74.90
<b>Chuquibambilla</b>	186.17	148.87	151.04	67.50	8.95	6.24	2.39	9.66	20.34	62.89	83.63	142.20
<b>Collana</b>	155.38	97.16	86.59	34.37	8.94	7.72	6.19	15.12	28.81	41.20	57.97	102.47
<b>Copacabana</b>	248.21	177.91	156.66	67.06	21.48	14.83	9.83	20.10	36.79	57.47	77.10	133.97
<b>Copancara</b>	153.18	103.46	86.57	28.64	10.10	8.87	5.22	14.66	22.68	37.21	46.86	83.23
<b>Desaguadero</b>	221.45	182.09	150.25	50.48	8.45	10.69	7.01	15.79	23.23	42.82	65.48	115.67
<b>ElAltoAeropuerto</b>	161.84	116.63	100.13	41.69	12.52	8.92	8.41	17.26	32.02	56.27	63.18	115.44
<b>Hichucota</b>	206.32	165.35	118.33	57.76	15.47	13.01	7.81	15.76	22.10	41.29	61.08	116.29
<b>Huancane</b>	180.36	125.98	125.16	53.27	13.07	7.09	4.46	12.71	34.46	62.62	73.44	128.93
<b>HuarayaMoho</b>	234.66	161.81	141.71	68.35	19.54	11.83	8.10	19.57	45.83	71.27	85.03	155.83
<b>HuarinaCotaCota</b>	158.34	103.80	101.33	37.28	13.45	10.96	6.65	15.38	24.91	48.20	59.42	108.17
<b>Huayrocondo</b>	166.07	113.76	86.87	34.64	12.95	9.25	8.45	17.16	30.36	46.78	56.12	100.79
<b>Ilave</b>	206.10	161.56	144.49	58.99	10.93	7.69	6.78	15.95	28.25	49.62	61.44	110.76
<b>Independencia</b>	221.38	177.40	136.36	48.25	16.66	11.68	14.86	29.72	44.46	62.95	103.85	154.07
<b>IslaSuana</b>	242.54	196.60	161.12	70.14	16.56	14.62	10.82	22.78	37.48	65.20	80.99	144.67
<b>IslaTaliq</b>	280.13	242.24	221.21	92.05	18.79	12.25	8.87	20.63	45.19	73.18	89.27	163.75
<b>Lampa</b>	191.60	164.82	139.58	65.09	8.32	5.86	2.33	11.54	25.12	60.16	80.00	146.54
<b>Laykacota</b>	144.25	100.20	79.19	31.93	11.27	9.10	7.07	14.84	30.17	46.57	50.82	99.61
<b>Luribay</b>	97.91	61.94	50.42	14.04	6.48	4.96	4.67	9.13	15.67	18.71	39.98	72.35

<b>MazoCruz</b>	161.58	144.84	107.40	34.45	5.81	3.88	3.36	8.84	8.74	25.04	39.90	87.00
<b>OruroAeropuerto</b>	127.45	96.30	74.05	23.70	3.86	6.26	4.76	13.56	29.81	26.74	37.46	76.67
<b>Palca_LP</b>	128.51	86.83	63.59	27.02	9.35	8.10	8.12	13.76	26.04	38.09	47.58	80.66
<b>Pampahuta</b>	218.71	189.83	159.73	70.51	11.18	4.50	3.38	11.30	17.35	51.61	80.68	151.14
<b>Patacamaya</b>	121.30	84.67	59.16	21.05	7.24	7.48	3.50	10.60	25.72	25.96	37.87	72.56
<b>Pizacoma</b>	194.33	162.17	124.69	37.30	4.68	5.83	4.85	10.50	10.21	25.24	39.07	118.25
<b>Pucara</b>	187.86	151.14	141.85	63.67	10.75	6.41	3.71	12.35	25.16	71.04	78.70	142.03
<b>RioMulato</b>	93.74	65.74	53.38	10.46	1.87	2.02	2.59	6.30	5.86	11.86	18.29	46.87
<b>SanJuanHuancollo</b>	194.14	156.48	137.18	54.55	8.94	8.90	5.46	15.86	26.10	42.61	68.14	112.92
<b>SanMartin</b>	110.36	82.45	43.12	9.66	1.22	1.69	1.38	2.45	3.58	8.26	12.28	41.90
<b>SantiagoDeMachaca</b>	149.71	111.24	83.58	26.93	2.99	4.45	2.47	6.74	7.43	20.95	29.44	70.74
<b>TahuacoYunguyo</b>	233.38	177.74	159.22	60.58	16.00	14.38	9.10	20.39	34.91	59.64	76.31	136.24
<b>Tiawanacu</b>	132.97	95.76	76.04	32.71	9.18	6.86	6.49	10.91	21.36	34.68	47.74	80.60
<b>TodoSantos_Or</b>	98.50	79.80	50.23	7.50	1.39	2.09	3.01	0.92	1.63	3.89	8.40	31.25
<b>Viacha</b>	154.40	95.33	76.39	32.64	10.48	6.08	8.38	13.50	26.92	45.25	56.78	92.45
<b>VillaPuni</b>	165.65	102.35	86.29	39.28	16.99	10.09	9.19	16.73	32.45	41.77	56.46	107.78
<b>Yocalla</b>	122.17	83.96	65.06	24.00	2.02	0.60	0.98	2.96	7.97	22.07	30.13	68.47