



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA BAJO LAS
CONDICIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA
MICROCUEENCA DEL RIO ZAPATILLA, ILAVE - 2022**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. PAÚL MILKERSON LUPACA CALLIRE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO - PERÚ

2024



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA BAJO LAS CONDICIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA MICROCUENCA DEL RIO ZAPATILLA, ILAVE - 2022

AUTOR

PAÚL MILKERSON LUPACA CALLIRE

RECUENTO DE PALABRAS

27886 Words

RECUENTO DE CARACTERES

135730 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

150 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

9.4MB

FECHA DE ENTREGA

Jan 29, 2024 5:57 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jan 29, 2024 5:59 PM GMT-5

● 20% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base c

- 20% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 2% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)




D. Sr. ALBERTO VELARDE BOAQUIRA
Director Unidad de Investigación
Facultad de Ingeniería Agrícola - UNA - Puno

Ing. Alcides Hector Calderon Montalico
INGENIERO AGRICOLA
CIP: 122022

Resumen



DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios por guiarme, darme salud y por darme la fuerza de voluntad ante las adversidades, la confianza, la determinación para seguir adelante y haber alcanzado uno de mis mayores propósitos en la vida

A mi alma máter la Universidad Nacional del Altiplano.

Al amor de mi vida Q.E.V.F. Bethsaida.

A mi querida hija Caeli Alejandra Lupaca Escobar que me impulsa a seguir adelante dándome fortalezas.

A mi familia por su apoyo incondicional.

Paúl Milkerson Lupaca Callire



AGRADECIMIENTOS

A Dios por cuidarme y protegerme en los momentos más difíciles de mi vida y darme la oportunidad de haber logrado esta meta

A la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola por haberme formado profesionalmente y por la labor que cumple en el logro de nuestra formación profesional.

Al amor de mi vida Q.E.V.F. Bethsaida, a mi querida hija Caeli Alejandra Lupaca Escobar que me impulsa a seguir adelante dándome fortalezas

A mis padres Feliberto Lupaca y Elena Callire, por inculcarme siempre con buenos valores, haberme guiado cuando lo necesite, y con el apoyo y confianza de ustedes como siempre lo hacen.

A todos mis hermanos que siempre han compartido momentos especiales conmigo y me han servido de ejemplo.

Paúl Milkerson Lupaca Callire



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	15
ABSTRACT.....	16
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
1.1.1. Problema general.....	21
1.1.2. Problemas específicos	21
1.2. HIPÓTESIS	22
1.2.1. Hipótesis general	22
1.2.2. Hipótesis específicas	22
1.3. JUSTIFICACIÓN	23
1.4. OBJETIVOS.....	24
1.4.1. Objetivo general	24
1.4.2. Objetivos específicos	24
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	26



2.1.1.	Internacionales	26
2.1.2.	Nacionales	29
2.1.3.	Regionales	31
2.2.	MARCO TEÓRICO	32
2.2.1.	Disponibilidad hídrica	32
2.2.2.	Cambio climático	34
2.2.3.	Efectos del cambio climático en los recursos hídricos.....	35
2.2.4.	Escenarios de cambio climático	35
2.2.4.1.	Vía de concentración representativa - RCP 4.5	37
2.2.4.2.	Vía de concentración representativa - RCP 8.5	38
2.2.5.	Cuantificación de la incertidumbre	38
2.2.5.1.	Downscaling climático.....	40
2.2.6.	Modelo hidrológica con WEAP	42
2.2.6.1.	Procedimiento de uso del modelo hidrológico WEAP	43
2.2.7.	Métodos de determinación de la disponibilidad hídrica	44
2.2.7.1.	Método de Humedad del suelo.....	45
2.2.8.	Zanjas de infiltración para la mejora de la disponibilidad hídrica	50
2.3.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	52
2.3.1.	Disponibilidad hídrica	52
2.3.2.	Precipitación.....	52
2.3.3.	Microcuenca.....	52
2.3.4.	Raster	52
2.3.5.	Escenarios de cambio climático	53
2.3.6.	Simulación hidrológica	53
2.3.7.	Zanjas de infiltración.....	53



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	ZONA DE ESTUDIO.....	54
3.1.1.	Limites.	55
3.1.2.	Vías de comunicación y accesibilidad	55
3.2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	55
3.3.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	56
3.4.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	56
3.4.1.	Población.....	56
3.4.2.	Muestra	56
3.5.	PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	57
3.5.1.	Determinar la disponibilidad hídrica actual en la Microcuenca del río Zapatilla para el año 2022 mediante el método de humedad de suelo en el software WEAP.....	57
3.5.2.	Proyectar la disponibilidad hídrica futura para los años 2050 y 2100 bajo las condiciones de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5 en la microcuenca del río Zapatilla.....	60
3.5.3.	Diseñar zanjas de infiltración con parámetros específicos para la mejora de la disponibilidad hídrica en la microcuenca del río Zapatilla.....	65
3.5.4.	Análisis estadístico.....	67

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA ACTUAL EN LA MICROCUENCA PARA EL AÑO 2022 MEDIANTE EL METODO DE HUMEDAD DE SUELO EN EL SOFTWARE WEAP.....	68
-------------	---	-----------



4.1.1.	Determinación de los parámetros climáticos	68
4.1.2.	Determinación de datos de uso de suelo	81
4.1.2.1.	Área.....	81
4.1.2.2.	Coeficientes de uso de suelo (Kc).....	86
4.1.2.3.	Capacidad de agua del suelo (SW)	87
4.1.2.4.	Capacidad de agua profunda (DW).....	88
4.1.2.5.	Factor de resistencia de la escorrentía (RRF)	88
4.1.3.	Disponibilidad hídrica del año 2022 (actual)	89
4.2.	PROYECTAR LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA FUTURA PARA LOS AÑOS 2050 Y 2100 BAJO LAS CONDICIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO UTILIZANDO LOS ESCENARIOS RCP 4.5 Y RCP 8.5....	92
4.2.1.	Creación de escenarios de cambio climático	92
4.2.1.1.	Disponibilidad hídrica futura al año 2050.....	93
4.2.1.2.	Disponibilidad hídrica futura al año 2100.....	95
4.2.2.	Comparación de la disponibilidad hídrica frente a los diferentes escenarios climáticos	97
4.2.2.1.	Reducción de escala o downscaling.....	98
4.2.2.2.	Incertidumbre del modelo climático para la precipitación.....	100
4.2.2.3.	Incertidumbre del modelo climático para la temperatura	103
4.2.3.	Calidad del agua del río Zapatilla	106
4.3.	DISEÑAR ZANJAS DE INFILTRACIÓN CON PARÁMETROS ESPECÍFICOS PARA LA MEJORA DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO ZAPATILLA	108
4.3.1.	Consideraciones para el diseño de zanjas de infiltración	108
4.3.2.	Pendiente de cada zanja	109



4.3.3. Distanciamiento entre zanjas.....	109
4.3.4. Ancho de base y profundidad de la zanja de infiltración	109
4.3.5. Cálculo del distanciamiento entre zanjas	109
4.3.6. Cálculo de la superficie de captación	110
4.3.7. Coeficiente de escorrentía	110
4.3.8. Determinación del volumen de aportación a la zona de impluvio	110
4.3.9. Determinación del volumen de captura – zona de zanjas (m3)	111
4.3.10. Determinación de la infiltración de la zanja (m2/hr)	111
4.3.11. Verificación del diseño de la zanja de infiltración	112
4.3.12. Distanciamiento corregido entre zanjas	112
4.4. PRUEBA ESTADISTICA	113
4.4.1. Prueba de normalidad.....	113
4.4.2. Prueba de hipótesis.....	114
V. CONCLUSIONES	116
VI. RECOMENDACIONES.....	118
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119
ANEXOS.....	123
Anexo 2. Series de precipitación (mm) de la estación Ilave.....	125
Anexo 3. Series de temperatura (°C) de la estación Ilave	126
Anexo 4. Series de precipitación (mm) de la estación Juli	127
Anexo 5. Series de temperatura (°C) de la estación Ilave	128
Anexo 6. Series de precipitación (mm) de la estación Masacruz.....	129
Anexo 7. Series de temperatura (°C) de la estación Masacruz.....	130
Anexo 8. Identificación de puntos de muestreo y calidad del agua.....	131
Anexo 9. Plantilla de diseño de zanjas de infiltración	138



Anexo 10. Proceso de construcción de zanjas de infiltración.....	140
Anexo 11. Mapa de ubicación de las zanjas de infiltración.....	148

Área: Ingeniería y tecnología

Línea: Ordenamiento territorial y medio ambiente

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 18 de setiembre del 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Datos de uso de suelo.....	43
Tabla 2 Rango de parámetros de Cobertura de Suelos.	49
Tabla 3 Vías de comunicación y accesibilidad al área en estudio	55
Tabla 4 Escenarios climáticos (RCP).....	61
Tabla 5 Área de uso de suelos en la microcuenca del rio Zapatilla	84
Tabla 6 Coeficiente de cultivo de los usos de suelo de la microcuenca del rio Zapatilla	87
Tabla 7 Capacidad del agua del suelo de los usos de suelo de la microcuenca del rio Zapatilla	88
Tabla 8 Factor de resistencia de la escorrentía (RRF) de los usos de suelo de la microcuenca del rio Zapatilla.....	89
Tabla 9 Escenarios climáticos multianuales para los andes peruanos	92
Tabla 10 Comparación de la disponibilidad hídrica frente a los diferentes escenarios climáticos	97
Tabla 11 Valores estadísticos de la variable precipitación y temperatura	100
Tabla 12 Calidad del agua del rio zapatilla.....	107
Tabla 13 Prueba de normalidad	113
Tabla 14 Matriz de datos SPSS.....	115



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Modelo conceptual Método de Humedad del Suelo.....	39
Figura 2 Modelo conceptual Método de Humedad del Suelo.....	46
Figura 3 Zanjas de infiltración	51
Figura 4 Mapa de ubicación de la zona en estudio.....	54
Figura 5 Datos climáticos para la microcuenca del rio Zapatilla del mes de enero ...	69
Figura 6 Datos climáticos para la microcuenca del rio Zapatilla del mes de febrero 70	70
Figura 7 Datos climáticos para la microcuenca del rio Zapatilla del mes de marzo ..	71
Figura 8 Datos climáticos para la microcuenca del rio Zapatilla del mes de abril.....	72
Figura 9 Datos climáticos para la microcuenca del rio Zapatilla del mes de mayo ...	73
Figura 10 Datos climáticos para la microcuenca del rio Zapatilla del mes de junio....	74
Figura 11 Datos climáticos para la microcuenca del rio Zapatilla del mes de julio.....	75
Figura 12 Datos climáticos para la microcuenca del rio Zapatilla del mes de agosto .	76
Figura 13 Datos climáticos para la microcuenca del rio Zapatilla del mes de septiembre	77
Figura 14 Datos climáticos para la microcuenca del rio Zapatilla del mes de octubre	78
Figura 15 Datos climáticos para la microcuenca del rio Zapatilla del mes de noviembre	79
Figura 16 Datos climáticos para la microcuenca del rio Zapatilla del mes de diciembre	80
Figura 17 Uso de suelos de la microcuenca del rio Zapatilla.....	82
Figura 18 Geomorfología de la microcuenca del rio Zapatilla	85
Figura 19 Modelo WEAP para la microcuenca del rio Zapatilla.....	90
Figura 20 Disponibilidad hídrica de la microcuenca del rio Zapatilla del año 2022 ...	90



Figura 21	Disponibilidad hídrica de la microcuenca del río Zapatilla al año 2050 con un escenario climático estable “RCP 4.5”	93
Figura 22	Disponibilidad hídrica de la microcuenca del río Zapatilla al año 2050 con un escenario climático pésimo “RCP 8.5”	94
Figura 23	Disponibilidad hídrica de la microcuenca del río Zapatilla al año 2100 con un escenario climático estable “RCP 4.5”	95
Figura 24	Disponibilidad hídrica de la microcuenca del río Zapatilla al año 2100 con un escenario climático pésimo “RCP 8.5”	96
Figura 25	Reducción de escala del modelo ACCESS-ESM1-5.....	99
Figura 26	Cambio porcentual de precipitación para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5	101
Figura 27	Fracción de incertidumbre precipitación CMIP6.....	102
Figura 28	Cambio de temperatura del aire promedio para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5.....	103
Figura 29	Fracción de incertidumbre temperatura CMIP6	104



ACRÓNIMOS

- SENAMHI** : Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
- MINAGRI** : Ministerio de Agricultura y Riego
- WEAP** : Water Evaluation and Planning (Evaluación y planificación del agua)
- RCP** : Representative Concentration Pathways (Vías representativas de concentraciones)
- GEI** : Gases de efecto invernadero
- DBO** : Demanda Biológica de oxígeno
- DQO** : Demanda Química de Oxígeno
- MMC** : Mil Metros Cúbicos



RESUMEN

El presente estudio se efectuó a razón de que se desconoce el efecto del cambio climático en la disponibilidad hídrica de la microcuenca del río Zapatilla; en ese contexto se planteó el objetivo general de evaluar la disponibilidad hídrica bajo las condiciones de cambio climático en la microcuenca del río Zapatilla de la provincia de el Collao - Ilave, 2022; siendo el método, mediante la determinación de la disponibilidad hídrica actual y futura al año 2050 y 2100 empleando el método de humedad de suelo en el software WEAP; con el uso de los datos climáticos (precipitación, temperatura y velocidad del viento) y datos de uso de suelos; para seguidamente aplicar dos escenarios de cambio climático (escenario estable “RCP4.5” y escenario con un nivel creciente de GEI “RCP8.5”); y diseñar zanjas de infiltración para la mejora de la disponibilidad hídrica en la microcuenca. Resultando una disponibilidad hídrica al año 2022 de 656945.53 MMC; mientras que la disponibilidad hídrica bajo las condiciones del cambio climático al año 2050 será de: 730523.4294MMC para **RCP 4.5** y 1208779.775MMC para **RCP 8.5**; y para el año 2100 será de: 861912.5354MMC para **RCP 4.5** y 2194198.07 MMC para **RCP 8.5**; y se diseñó zanjas de infiltración con separaciones de 2m, distanciamiento de 13m; con un ancho de 0.5 m, con profundidad de 0.40m y un largo de 5m cada zanja; presentando superficie de captación de 12.50m². Concluyendo que la disponibilidad hídrica bajo las condiciones del cambio climático “**RCP 4.5 y RCP 8.5**” será superior al año actual (2022) en la microcuenca del río Zapatilla tanto para el año 2050 y el año 2100.

Palabras clave: Disponibilidad hídrica, microcuenca, cambio climático, zanjas de infiltración.



ABSTRACT

The present study was carried out because the effect of climate change on water availability in the Zapatilla river micro-watershed is unknown; in this context, the general objective was to evaluate water availability under climate change conditions in the Zapatilla river micro-watershed - Ancoamay - Ilave town center, 2022; The method is to determine the current and future water availability in 2050 and 2100 using the soil moisture method in the WEAP software; with the use of climatic data (precipitation, temperature and wind speed) and land use data; and then apply two climate change scenarios (stable scenario "RCP4.5" and scenario with an increasing level of GHG "RCP8.5"); and design infiltration ditches to improve water availability in the micro-watershed. Resulting in a water availability to the year 2022 of 656945.53 MMC; while the water availability under climate change conditions to the year 2050 will be: 730523.4294MMC for RCP 4.5 and 1208779.775MMC for RCP 8.5; and for the year 2100 will be: 861912.5354MMC for RCP 4.5 and 2194198.07 MMC for RCP 8.5; and infiltration ditches were designed with separations of 2m, spacing of 13m; with a width of 0.5m, with a depth of 0.40m and a length of 5m each ditch; presenting catchment area of 12.50m². It is concluded that water availability under climate change conditions "RCP 4.5 and RCP 8.5" will be higher than the current year (2022) in the Zapatilla river microbasin for both 2050 and 2100.

Keywords: Water availability, micro-watershed, climate change, infiltration ditches.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Como consecuencia del cambio climático, las condiciones hidrológicas están cambiando actualmente, lo que tiene variados efectos en los recursos hídricos del mundo (Aguilar, 2016). Según el IPCC (2013), afirma que los peligros asociados con el agua, incluidas las inundaciones y las sequías, desempeñarían un papel sustancial en el crecimiento de la temperatura y la variación de las precipitaciones; en consecuencia, la información sobre la respuesta espaciotemporal del cambio climático en el agua, es crucial para predecir la disponibilidad hídrica futura y desarrollar estrategias de gestión sostenibles (Yang & Men, 2011).

Debido a diversas causas, entre ellas la susceptibilidad a los cambios climáticos extremos, que se manifiestan sobre todo en pérdidas económicas; los recursos hídricos de Perú se ven limitados; así mismo la inclusión de mecanismos dificultan el crecimiento económico, como el agotamiento de reservas hídricas; por la escalada de la temperatura, originado por el cambio climático y las variaciones en los periodos vegetativos de diversos cultivos, entre otros, pueden agravar estos efectos (Castillo, 2022). En consecuencia, es fundamental estimar estos cambios en las zonas con recursos hídricos limitados y alta susceptibilidad climática que están experimentando graves perjuicios del cambio climático en el área agrícola, que pueden representar pérdidas económicas que podrían agravarse y repercuten negativamente en el desarrollo económico (León & Portuguez, 2019). logrando empeorar por la inclusión de otros elementos que tienen un efecto negativo en la economía, como la reducción de la disponibilidad hídrica, la biodiversidad, la producción agrícola primaria y la productividad pesquera (León R. , 2017).



Los modelos hidrológicos son un mecanismo útil para determinar los impactos del clima en la hidrología de cuencas hidrográficas porque proporcionan escenarios en base a la emisión de GEI (León & Portuguez, 2019), con la entrada de datos meteorológicos (temperatura, precipitación y velocidad del viento) y datos de uso del suelo, en el software WEAP que es un modelo que puede generar escenarios futuros basados en una situación de disponibilidad hídrica actual.

No obstante, con respecto a los escenarios climáticos, el IPCC (2013) ofrece una serie de escenarios para la previsión climática (Galindo, 2021), conocidos como Vías de Concentración Representativa (RCP), RCP (2,5, 4,5, 6,0 y 8.5). A excepción del escenario RCP2.5, todos los escenarios (RCP) muestran que la temperatura mundial a finales del siglo 21 será probablemente 1,5 °C más alta que entre 1850 y 1900 (IPCC, 2013). Los (RCP2.6) reúnen un escenario de bajo nivel de GEI, los (RCP4.5 y RCP6.0) incluyen 2 escenarios de estabilidad, y un escenario de alivio (RCP2.6) y un escenario con emisiones excesivas de GEI (RCP8.5) (Castillo, 2022).

La microcuenca del río Zapatilla, una de las que alimentan al lago Titicaca, es esencial para la actividad socioeconómica en la región por su biodiversidad como los humedales, por sus usos en la agricultura y ganadería, para la subsistencia de los pobladores del medio rural y urbano, por su uso en el abastecimiento de agua, entre otros. Sin embargo, al estar expuesta a diversos fenómenos graves, como fuertes lluvias y sequías, la microcuenca es muy susceptible al cambio climático; por ello, es esencial evaluar cómo está afectando el cambio climático al recurso hídrico para gestionarlos adecuadamente y garantizar su estabilidad y sostenibilidad.



Por ello en este estudio se planteó como título: Evaluación de la disponibilidad hídrica bajo las condiciones de cambio climático en la microcuenca del río Zapatilla, Ilave - 2022.

Del mismo modo, el presente proyecto de investigación se divide en 4 capítulos, que se enumeran:

El capítulo I, introducción, establece el problema de estudio, enunciando del problema, hipótesis, justificación y definiendo los objetivos logrados que contempla el estudio.

El capítulo II, manifiesta argumentos relacionados al tema de estudio, referencias del estudio, bases teóricas y marco legal en los cuales se basó el presente proyecto.

El capítulo III, en donde se contempla la metodología del estudio el cual especifica el tipo y diseño de estudio, técnicas e instrumentos, población y muestra, métodos y procesamiento de información.

El capítulo IV, el cual contempla los resultados logrados, y su discusión respectivamente. Finalmente, las conclusiones con recomendaciones.



1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dado que los seres humanos llevan décadas consumiendo agua a un ritmo acelerado, lo que contribuye al hambre, las enfermedades, las migraciones e incluso los conflictos en algunas regiones, existe preocupación por la disponibilidad hídrica, que es fundamental para conservar el estilo de vida en áreas rurales-urbanas, el equilibrio de los ecosistemas y el medio ambiente (CIIFEN, 2014). A esta realidad se suma que el cambio climático está generando cambios climáticos que repercuten en los contextos hidrológicos y tienen variados efectos negativos en los sistemas hídricos del mundo (Pilares Hualpa, y otros, 2018).

En el Perú al igual que en muchos países del mundo, debido a una serie de elementos, como el calentamiento global y el empleo de los recursos para fines humanos (como el riego, el abastecimiento de agua, las industrias y la minería), los recursos hídricos cada año son más escasos, estos factores deben tomarse en cuenta en la determinación de la disponibilidad hidrológica en una cuenca (Galindo, 2021). Además, el Perú es reconocido como una nación sensible a las consecuencias negativas del cambio climático, ya que presenta 7 de 9 criterios de susceptibilidad establecidos (Pilares & Alfaro, 2018). La disponibilidad de agua en Perú es cada vez más importante, especialmente a la luz del calentamiento global provocado por la contaminación atmosférica, que eleva la temperatura del medio biótico y provoca posteriormente efectos climáticos que alteran a la disponibilidad de los recursos hídricos (Pilares, 2018).

En la región de Puno particularmente en la microcuenca del río Zapatilla que es característico de una cuenca endorreica; no es ajena a esta situación; siendo las montañas de los Andes, su principal fuente de recursos hídricos; sin embargo, el calentamiento global repercute en su disponibilidad hídrica; por ello es muy importante, ya que los



ecosistemas naturales (Biota) y la población de la localidad del centro poblado de Ancoamay – Ilave; dependen de ello.

Ahondando todo ello la disminución de las precipitaciones provocaría igualmente la baja disponibilidad hídrica, conllevando a la afección de los rendimientos en los cultivos agrícolas, la ganadería, y por ende a la subsistencia de las familias dedicadas a dichas actividades; por ello existe gran preocupación en el recurso hídrico disponible de la microcuenca; por lo cual es necesario conocer la disponibilidad hídrica actual y futura, que pueda presentar la microcuenca del río Zapatilla; que abastece a las zonas rurales y urbanas que dependen de este recurso.

Ante este problema, se plantea realizar una evaluación de la disponibilidad hídrica actual y futura a un escenario cercano y lejano 2050 y 2100 de la microcuenca del río Zapatilla; para plantear una tecnología que permita mejorar la disponibilidad hídrica; planteándose las siguientes interrogantes:

1.1.1. Problema general

¿Cuánto es la disponibilidad hídrica bajo las condiciones de cambio climático en la cuenca del río Zapatilla, Ilave, 2022?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuánto es la disponibilidad hídrica actual en la microcuenca del río Zapatilla mediante el método de humedad de suelo en el software WEAP?



- ¿Cuál es la proyección de la disponibilidad hídrica en la microcuenca del río Zapatilla para los años 2050 y 2100, bajo los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5?
- ¿Es posible diseñar zanjas de infiltración con parámetros específicos para mejorar la disponibilidad hídrica en la microcuenca del río Zapatilla?

1.2. HIPÓTESIS

1.2.1. Hipótesis general

La disponibilidad hídrica es superior bajo un escenario climático pésimo “RCP8.5”, frente a la disponibilidad hídrica bajo a un escenario climático estable “RCP4.5”.

1.2.2. Hipótesis específicas

- La disponibilidad hídrica actual mediante el método de humedad de suelo en el software WEAP es variada durante los meses del año 2022 en la microcuenca del río Zapatilla
- Bajo los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5, la disponibilidad hídrica en la microcuenca del río Zapatilla será significativamente superior en los años 2050 y 2100 en comparación con el año 2022.
- Se plantea el diseño e implementación de zanjas de infiltración, con parámetros específicos, que contribuirá eficazmente a la mejora de la disponibilidad hídrica en la microcuenca del río Zapatilla.



1.3. JUSTIFICACIÓN

Debido a los beneficios al ambiente sociedad y economía que ofrecen a las personas, las cuencas hidrográficas son actualmente ecosistemas importantes las entidades, personas que gestionan los recursos renovables y el ecosistema. No obstante, a lo largo del tiempo, sus condiciones típicas de disponibilidad de recursos hídricos han evolucionado como consecuencia de factores antropogénicos y climáticos que afectan a su sostenibilidad.

Así mismo la falta de información sobre el impacto del cambio climático en la disponibilidad hídrica de la microcuenca del río Zapatilla motiva la realización de este estudio. La evaluación detallada de la disponibilidad actual y futura, junto con la propuesta de medidas como las zanjas de infiltración, es esencial para una gestión sostenible de los recursos hídricos y para anticipar posibles desafíos derivados de las condiciones climáticas cambiantes. Además, este estudio contribuirá al conocimiento científico y brindará información valiosa para la toma de decisiones en la planificación del manejo del agua en la región.

a) Justificación social

El presente trabajo de investigación se justifica socialmente debido a que la determinación de la disponibilidad hídrica de la microcuenca en estudio es un aspecto crucial para garantizar el bienestar de las comunidades que dependen de este recurso, tanto para el abastecimiento humano, agricultura, industria y otros usos; por ello la evaluación de la disponibilidad hídrica permitirá anticipar posibles escenarios de escases y tomar medidas preventivas frente a ello.



b) Justificación económica

En cuanto a la justificación económica; el recurso hídrico presente en la microcuenca del río Zapatilla es esencial para el desarrollo económico de las comunidades; las actividades agrícolas, industriales y comerciales que dependen de un suministro confiable de agua; por ello determinar la disponibilidad hídrica permitirá planificar el desarrollo económico de manera sostenible y evitar conflictos por el uso del agua.

c) Justificación ambiental

En cuanto a la justificación ambiental; actualmente la salud de los ecosistemas acuáticos depende directamente de la disponibilidad de agua en una cuenca; evaluar y gestionar adecuadamente los recursos hídricos ayuda a mantener el equilibrio ambiental, preservar la biodiversidad y garantizar la calidad del agua, y es por ello que se justifica ambientalmente la realización del presente proyecto de investigación.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la disponibilidad hídrica bajo las condiciones de cambio climático en la microcuenca del río Zapatilla, Ilave - 2022

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la disponibilidad hídrica actual en la microcuenca del río Zapatilla mediante el método de humedad de suelo en el software WEAP.



- Proyectar la disponibilidad hídrica futura para los años 2050 y 2100 bajo las condiciones de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5 en la microcuenca del río Zapatilla
- Diseñar zanjas de infiltración con parámetros específicos para la mejora de la disponibilidad hídrica en la microcuenca del río Zapatilla



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Internacionales

Castillo (2022), en su trabajo tuvo el objetivo de estimar la herramienta WEAP para realizar un futuro modelo de disponibilidad del río Itata. La técnica se es mediante un análisis de la topografía de la cuenca, la temperatura y las estadísticas de precipitación, así como su uso del suelo y la geología. Para comprender las ventajas y limitaciones de utilizar datos observados frente a datos simulados, se utilizarán para crear un escenario de referencia (actual) que se aplicará en WEAP. Esta investigación sera base para la realizacion de un modelo operativo que dará a las partes interesadas locales (como la junta de supervisión, las asociaciones del canal y los grupos de interés) y a las autoridades de toma de decisiones una manera fácil de entender los recursos hídricos que están disponibles en varios niveles de la cuenca. Siendo resultante que los datos y la información que se incluyeron posteriormente en WEAP son insuficientes para una modelización realista de los caudales del río. En consecuencia, es necesario comenzar investigaciones sobre las correlaciones entre las masas de aguas superficiales y las aguas subterráneas. No obstante, el cálculo de los caudales mediante modelos simulados podría mejorarse si se conocieran los caudales desviados para el riego.

Manzano (2022), en su estudio con el objeto de estimar el efecto del clima en el régimen hídrico mediante el software HEC-HMS. Dado que suele compartir



propiedades con la cuenca, se empleó la estación meteorológica de Otavalo para verificar los datos de precipitación del satélite CHIRPS. Bajo los escenarios “RCP 4.5”, “RCP 8.5”, se predijo el agua utilizando el modelo CMIP5 GISS-E2-R para dos periodos de tiempo: cercano (2022-2045) y lejano (2046-2070). Las validaciones de los datos satelitales CHIRPS sobre una base mensual y anual mostraron R^2 de 0,88 y 0,73. El modelo hidrológico se calibró y confirmó utilizando datos aforados a lo largo de los años 2000 a 2021, produciendo una R^2 de 0,97. En base a datos del cambio climático, los resultados de la reducción dinámica revelaron una asociación de intensidad media ($R^2 = 0,51$; $BIAS = 0,40$; $RMSE = 88,4$; y $RMSE = 0,81$). El caudal aumentó a lo largo de todos los periodos de tiempo y escenarios, con 2070 (RCP 8,5) con el caudal máximo de 8,71 m³/s. En los escenarios moderados a severos, el cambio climático alteraría considerablemente ($p < 0,002$) las precipitaciones y el caudal. El potencial de recarga de los acuíferos y la disponibilidad de agua durante los periodos de estiaje podrían verse afectadas por las tendencias hacia una subida y una salida más rápidas del agua de la cuenca.

Medina (2021), en su trabajo de investigación con el propósito de estimar la variación hídrica disponible en un embalse en escenarios de cambio climático establecidos para el 2022-2090. Se eligió la cuenca de Milluni como región de investigación, y el embalse de Milluni Grande como punto de salida del estudio. Se utilizó la herramienta Gridded Meteorological Ensemble Tool (GMET) para construir el conjunto de datos por día de precipitación y temperatura, y la herramienta WEAP para realizar la simulación hidrológica. Se utilizó el Modelo Noruego del Sistema Terrestre 1 NorESM1-M, reescalado utilizando el enfoque no paramétrico knn-bootstrap, para acomodar los escenarios climáticos. Para un



período de tiempo y la región de la investigación, se encontraron las siguientes tendencias: un aumento general de la temperatura, una creciente de las precipitaciones en la estación seca y una depresión de las precipitaciones durante la estación húmeda, lo que podría dar lugar a condiciones de sequía. Así mismo, el volumen del embalse tiende a decrecer mientras que su caudal de entrada varía directamente en función de las precipitaciones. La cobertura de las necesidades de los lugares de demanda también puede quedarse corta, con valores mínimos para el sistema de distribución de Meseta y Achachicala alcanzan el 45% y el 27%, respectivamente. En el escenario sombrío RCP 8.5 se acentúa lo resultante.

Mamani (2020), en su trabajo de investigación con el objetivo de estimar los impactos climáticos en el régimen hidrológico y la demanda de agua, En la calibración del programa de simulación WEAP, se evaluaron índices de Nash de 0,751 y valores de Bias de 0,048. Con el fin de proporcionar seguridad, se obtuvieron caudales para las predicciones climáticas futuras según los escenarios RCP 4.5, 8.5 al año 2030 y 2050. Además de analizar el cambio de uso del suelo y se examinaron las técnicas de adaptabilidad en la eficiencia de riego de la demanda. La simulación revela que la única demanda disconforme en los nudos de acueducto de Humanata. Se prevé que en los dos escenarios se produciría un descenso del caudal en base a los efectos de escenarios entre el 9% y el 16% para el RCP 4,5 y de entre el 4,9% y el 8,7% para RCP 8,5. Además, como acción de modificación para garantizar la seguridad hídrica en la cuenca, se sugirió el descenso del déficit en los sistemas al 30%.



2.1.2. Nacionales

Osorio (2021), en su trabajo con el objetivo de conocer el efecto climático en la oferta hídrica del río Lurín. Para proyectar las precipitaciones y la temperatura en el futuro próximo (2020-2050) y lejano (2051-2100), se evaluó la evapotranspiración mediante el método de Hargreaves proyectando el caudal por medio del modelo hidrológico, Para el futuro inmediato, los valores previstos de precipitación, temperatura y evapotranspiración anual oscilaron entre 94 y 845 mm, 13 y 22 °C y 942 y 1462 mm. Para el futuro lejano, los valores previstos oscilaban entre 95 y 974 mm, 13 y 26 °C, y 812 y 1643 mm, respectivamente. En zonas altas de cuenca, se prevé que el caudal anual disminuya (en caudales del 0,3% al 9,4% y del 0,3% al 14,3%.); en la zona media, que incremente (en caudales del 0,8% al 30,3% y del 0,8% al 45,9%); y en áreas bajas, que se den ambas instintos (en caudales del 0,8% al 32,6% y del 0,8% al 49,4%). El caudal disminuyó en la zona superior durante el verano (junio-septiembre) y el invierno (octubre-abril) entre un 0,1% y un 3,4% y entre un 0,2% y un 12,2%, respectivamente. Sin embargo, el caudal aumentó significativamente en las zonas media e inferior.

Rosario (2020), en su estudio tuvo como fin estimar la disposición de agua y la necesidad de agua para proyectar la disponibilidad hídrica futura al año 2100. Para modelizar el balance hídrico de la zona, la investigación utilizó la Evaluación y Planificación Hídrica (WEAP) como instrumento crucial. Los resultados muestran que la disponibilidad es significativamente elevada que la demanda real de agua en la región de cada una de las cuencas particulares analizadas dentro de la cuenca del Alto Marañón, incluso después de aceptar la exactitud de los datos



hidrometeorológicos y la eficacia del modelo hidrológico WEAP. La disponibilidad hidroeléctrica en la cuenca del Alto Maraón es de 160,40 m³/s anuales en promedio, con una demanda media anual de 0,48 m³/s, siendo sus principales afluentes los ríos Lauricocha (29,89 m³/s), Nupe (23,45 m³/s), Vizcarra (45,56 m³/s) y Aco (6,04 m³/s). El sector agrícola representa el 78,6% del consumo total anual de agua, mientras que la minería supone el 21,2% y la población el 0,2%. Adicionalmente, para el escenario 2100 (escenario con cambio climático) se pronosticó un incremento de temperatura y precipitación, lo que se traduce en un incremento del agua en la cuenca que alcanza alrededor de 161,72 m³/s, es decir, casi 27 veces la demanda actual.

León, Portuguez, & Chávarri (2019), en su artículo científico con el propósito de estimar los impactos climáticos en la oferta hídrica del río Piura, utilizando el modelo hidrológico SWAT. Utilizando datos climáticos diarios de seis localidades y caudales mensuales de una localidad, se calibró y verificó el modelo SWAT para un periodo de 23 años (1986-2008). Se utilizaron los modelos climáticos mundiales para los escenarios RCP8.5 y RCP4.5 A partir de datos de referencia, y se redimensionaron utilizando el generador climático MarkSim. Los escenarios climáticos predicen un incremento medio de la temperatura y las precipitaciones de +2,9°C y 39,3% para el periodo medido, respectivamente. El futuro patrón de evapotranspiración era en general descendente, con una ligera tendencia al alza en el borde noroeste de la cuenca. Por ejemplo, la proyección de escorrentía media hasta 2050, en 4 escenarios, muestra un aumento del + 71,8%, o alrededor de 55,9 m³/s, para octubre y abril, con el mayor incremento en noviembre. Por otro lado, se observa un descenso del -66,1%, o unos 12 m³/s, de mayo a septiembre, siendo julio el mes que registra el mayor descenso.



Olivera (2019), en la investigación con el fin de fijar la disponibilidad del agua del río Shullcas frente a un escenario climático, en función de cómo determine la industria agrícola la oferta y demanda de agua. Para ello se necesitaron datos hidrometeorológicos, la cantidad de parcelas agrícolas, clases de cultivos y otros factores. Los resultados mostraron que el suministro actual de agua es suficiente para compensar los requerimientos de los cultivos. No obstante, en los escenarios climáticos S1 y S2 al año 2039, la disponibilidad hídrica para agricultura en el escenario S1 sería de 0,50 MMC en julio y de un máximo de 27,59 MMC en febrero, mientras que la disponibilidad hídrica para empleo agrícola en el escenario S2 sería de -0,30 MMC en julio y de un máximo de 0,30 MMC en febrero.

2.1.3. Regionales

Quispe & Huanca (2021), en su estudio con el fin de estimar la disponibilidad hídrica en el río Ilave influenciado por la climatología, para la evaluación prospectiva se utilizaron datos de los escenarios de trayectoria de los modelos climáticos mundiales (2025-2050) identificando un incremento de la temperatura máxima de 0,06 °C y un descenso de la temperatura de -0,20%, se prevé que las precipitaciones pasen de -38,08 mm a -0,29 mm en los escenarios de cambio climático, disminuyendo más en la estación lluviosa y aumentando durante la temporada seca. Se prevé que los recursos hídricos fluyan menos durante la estación de lluvias, del -41,2% al 40,0%, y menos durante la estación seca, del -33,8% al 0,1%. Debido a que el caudal refleja las variaciones de temperatura y precipitaciones, concluyendo que la disponibilidad de agua disminuirá un -41,2% de aquí a 2050.



Galindo (2021), en su estudio con el objetivo de efectuar la simulación hidrológica en el embalse Morocollo. La estrategia del estudio estuvo en 3 etapas; en la primera se recopilaron datos, se examinaron y se procesaron los datos hidrometeorológicos y geomorfológicos específicos de la cuenca. En la 3ra se estimó la cantidad útil mediante el método del algoritmo de los picos secuenciales y se efectuó la simulación hidrológica del embalse para dos escenarios utilizando entradas y salidas en el programa informático Excel. La demanda total se calculó en la segunda sección basándose en las áreas de riego reconocidas en el ámbito de estudio y en las pérdidas globales. El otro considera tanto la demanda agrícola como las necesidades previstas de la población, mientras que el primero sólo considera la demanda agrícola. Se descubrió que el volumen asignado permitía una deficiencia porcentual en tiempo y volumen del 0,28% y el 0,10%, respectivamente, cuando se simulaba la capacidad del embalse para el primer escenario. Los resultados para el segundo escenario fueron del 19,17% y el 6,16%, respectivamente. Se decide que la construcción de la presa de Morocollo es la mejor opción, ya que los resultados de la modelización hidrológica manifiestan que no habrá temor a una escasez de agua en el embalse de Morocollo. Los resultados de ambos escenarios se utilizarán como datos analíticos para determinar el modo de explotación de la presa de Morocollo.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Disponibilidad hídrica

La disponibilidad hídrica se define como el agua que provee un determinado sistema hídrico para el abastecimiento de agua de un específico grupo



de usuarios de agua y la cantidad que esta puede tener está definida tanto de las fuentes superficiales y subterráneas (Galindo, 2021).

El suministro utilizable, tanto a nivel superficial como subterráneo, en el que una parte del agua se utiliza para un fin determinado y será accesible a largo plazo, puede denominarse disponibilidad de agua. Se considera que el suministro utilizable es la fuente de agua que, tras la precipitación y después de satisfacer la demanda (en este ejemplo, la necesidad de las plantas), está accesible para su uso por parte de las personas en sus múltiples labores sociales, económicas y culturales (Aguilar, 2016).

En términos agrícolas la disponibilidad hídrica está ligado netamente a la producción agraria pero la distribución del recurso hídrico es diferente según cada región del país. En las partes de la sierra predomina el riego por parte de las lluvias, pero esto en si no es un riego optimo debido a que la precipitación cae espacialmente diferente en cada zona haciendo que las plantas no lleguen a disponer del recurso hídrico en el tiempo oportuno (Galindo, 2021).

Además, la disponibilidad hídrica; viene directamente influenciada por la cantidad de agua presente en una cuenca en específico; dicha cuenca es un área geográfica en la que todas las aguas fluyen hacia un único río principal o cuerpo de agua, conocido como el río principal de la cuenca. Todas las precipitaciones, escorrentías, arroyos y ríos dentro de esa área convergen hacia ese punto central (Medina, 2021).



Según León, Portuguese, & Chávarri (2019), las cuencas hidrográficas son fundamentales para entender el ciclo del agua y la gestión sostenible de los recursos hídricos. Se dividen en dos tipos principales:

a) Cuenca endorreica: En este tipo, el agua no tiene salida hacia el océano o mar.

Todas las aguas de lluvia que caen en la cuenca se acumulan en lagos o se infiltran en el suelo.

b) Cuenca exorreica: En este caso, el agua fluye hacia el océano o mar. La mayoría de las cuencas hidrográficas son de este tipo.

2.2.2. Cambio climático

Es un cambio del clima global y regional en relación con el clima histórico provocado por factores naturales y/o antropogénicos. La variabilidad en los GEI, la radiación extraterrestre y la cobertura terrestre afectan a factores climáticos como la temperatura, la presión, las lluvias y la nubosidad, que contribuyen a este cambio (Parra, 2016). El cambio climático se evidenció por primera vez con el crecimiento de 0,1 °C en la temperatura global de los océanos entre 1961 y 2003, que fue acompañado por altas tasas de calentamiento entre 1991 y 2003 y que, en promedio, crecen con el tiempo a escalas no lineales. Por otro lado, establecer la causa del cambio climático en la hidrografía, la industria agrícola y otros sectores es realmente muy importante (ONU, 2020). Otras previsiones, basadas en la premisa de que los combustibles fósiles predominarían en todo el mundo, muestran un incremento de las emisiones de GEI entre 10 años 2020 - 2030 que oscila entre el 30% y el 90% (IPCC, 2007).



Los escenarios climáticos, según el informe de 2007 del IPCC, "son escenarios que podrían ocurrir en el futuro y componen una herramienta adecuada para examinar cómo incidirán las fuerzas motrices en las emisiones posteriores y para analizar la incertidumbre de dicho análisis". Así, las situaciones se transforman en un elemento esencial para comprender a la climatología, sobre todo para la modelización del clima, que a la vez ayuda a determinar el impacto e intentar la adaptación y la mitigación (Parra, 2016).

2.2.3. Efectos del cambio climático en los recursos hídricos

Debido la creciente de la temperatura mundial de la corteza y a la aceleración del deshielo de los glaciares, el cambio del clima puede tener un resultado directo en los patrones de precipitación y evapotranspiración. También puede modificar el suministro de agua y exacerbar las temporadas de inundaciones y sequías en diversas partes del mundo. Además, se prevé que para 2050 varios sistemas hídricos del mundo se enfrentarán a graves peligros, entre ellos la disminución de agua. siendo la falta relativa o la limitación del uso del agua en un sistema de abastecimiento, normalmente provocada por sequías prolongadas o por actividades humanas. El aumento de la economía y población, los cambios en la calidad de vida y el desarrollo de las infraestructuras de suministro de agua pueden originar un gran aumento de la escasez de agua (Manzano, 2022).

2.2.4. Escenarios de cambio climático

Las emisiones de GEI son la base de las predicciones climáticas; estas emisiones son los subproductos de sistemas dinámicos extremadamente intrincados en los que influyen los avances sociales y técnicos, las normativas



medioambientales y las tendencias demográficas y socioeconómicas. Para representar con la mayor precisión posible el rango de incertidumbre de las previsiones, se suele elegir un conjunto de escenarios. Caracterización, a menudo conocida como caracterización futura, es un sinónimo común de escenario (IPCC, 2013).

El IPCC (2007), define los escenarios son predicciones de cómo evolucionarán la sociedad y el medio ambiente en el futuro, en base a hipótesis sobre el aumento de las emisiones de GEI y aerosoles, el crecimiento demográfico, la expansión económica y la normativa medioambiental.

Para ayudar a tomar decisiones políticas, los escenarios actuales reflejan las posibles consecuencias (físicas, ecológicas y económicas) y las posibles soluciones. La Comunidad de Modelos de Evaluación Integrada creó estos escenarios, que difieren de los empleados en el 4to Informe de Evaluación (IE4) del IPCC (IAMC) (CIIFEN, 2014).

Los escenarios climáticos actualizados presentan los siguientes rasgos (Parra, 2016).

- Para crear escenarios basados en políticas futuras, es necesario proporcionar amplia información a las comunidades implicadas en la adaptación y el crecimiento socioeconómico.
- Comprenden los forzamientos radiativos de forma suficientemente diferente como para distinguir sus efectos a largo plazo sobre el clima.
- Son coherentes con todos los escenarios de emisiones, estabilización y amortiguamiento publicados y revisados por expertos.



Los cuatro nuevos escenarios se denominan RCP 2,6, RCP 4,5, RCP 6,0 y RCP 8,5 en función del forzamiento radiativo (RF) que generan en el año 2100. Los escenarios RCP (Representative Concentration Pathways) incluyen uno con un grado de forzamiento mínimo (RCP2.6), dos con estabilidad (RCP4.5 y RCP6.0) y uno con un nivel de forzamiento elevado (RCP8.5) y un escenario con elevadas emisiones (RCP8.5).

Un escenario climático futuro es un pronóstico creíble que muestra cómo se espera que se comporte el clima en un área en un número específico de años, utilizando modelos de proyección climática y datos históricos (IPCC, 2013).

Sin embargo, pretenden brindar la idea de los contextos que logren darse dentro de una cuenca para el impacto de la toma rápida de dictámenes por parte de los actores clave de la cuenca con respecto al contexto del cambio climático (Pilares & Alfaro, 2018). Debe tenerse en cuenta que la proyección no es una afirmación incuestionable de lo sucederá en el rango de años posteriores estimados (Pilares & Alfaro, 2018).

Los dos escenarios de emisiones siguientes son los más cruciales para cualquier modelización y proceden del 5to informe del IPCC, al que se denomina Representative Concentration's Pathways "RCP" (CIIFEN, 2014).

2.2.4.1. Vía de concentración representativa - RCP 4.5

En este escenario estabilizador, la fuerza radiativa alcanzará los 4,5 W/m² en el año 2100 sin superarla nunca. Las medidas climáticas, que en este contexto implican castigar el consumo de carbono, se consideran



necesarias para alcanzar este objetivo. En este escenario, 9 mil millones de personas habitan en la Tierra en 2065, y 8.700 millones lo hacen en 2100. Se necesitan tres órdenes de magnitud más de energía, mientras que se demandan tres órdenes de magnitud más de energía. El carbón está sujeto a controles de precios y, a medida que avanza la tecnología de captura y acopio de carbono (CAC), el sector eléctrico se convierte en un sumidero de carbono. En este contexto se produce un pico de emisiones de GEI en torno a 2040, seguido de un periodo de descenso hasta 2080, momento en el que se estabilizan (IPCC, 2013).

2.2.4.2. Vía de concentración representativa - RCP 8.5

Muestra un recorrido con importantes emisiones y concertaciones. La rápida expansión de la población, el lento crecimiento del PIB y un ritmo glacial de avance tecnológico y de eficiencia energética son sus principales presunciones socioeconómicas. Como resultado, la demanda energética y las emisiones de GEI aumentan significativamente. Las políticas climáticas no se llevan a cabo en este escenario (Parra, 2016).

2.2.5. Cuantificación de la incertidumbre

La incertidumbre de partición definida por Hawking & Sutton (2011), define las tres fuentes de incertidumbres de la siguiente manera:

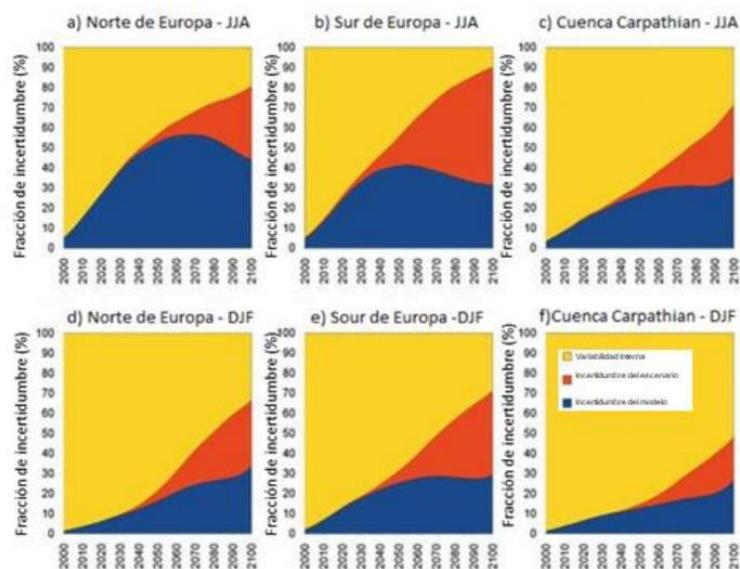
- a) Variabilidad interna del sistema climático**, se define como las fluctuaciones naturales que surgen en ausencia de forzamiento radiativo. La variabilidad interna en los modelos climático globales (GCM's) y los modelos climático regionales (RCM's) puede dividirse en sus componentes a gran escala y a

escala local (Karoly & Wu 2005). La componente a gran escala puede atribuirse a la variabilidad caótica del clima a escala global, producido principalmente por el propio modelo climático global (GCM) y la componente a escala local se le atribuye al downscaling estadístico de los modelos (Mezghani and Hingray, 2009).

b) La incertidumbre del modelo, se da debido a la dispersión entre las diferentes respuestas climáticas obtenidas con diferentes modelos para la misma configuración de forzamiento, así mismo, se debe a las limitaciones de la estructura del modelo y parametrizaciones utilizadas para representar procesos geofísicos. C. La incertidumbre del escenario, La incertidumbre del escenario está relacionada con el futuro poco conocido de las emisiones de gases de efecto invernadero, por ejemplo, causa incertidumbre en el forzamiento radiativo futuro y, por lo tanto, en el clima (Bruno, 2023).

Figura 1

Modelo conceptual Método de Humedad del Suelo.



Nota. Obtenido de (Bruno, 2023)

Las fracciones de la incertidumbre total en la de la temperatura son diferentes en el norte y el sur de Europa. La incertidumbre del escenario (color naranja) crece más para todas las estaciones sobre el sur de Europa que sobre el norte. Para la parte norte de Europa es menor que la incertidumbre del modelo (color azul) en DJF y JJA Sobre la parte sur de Europa, cuanto más cálida es la estación, antes supera el escenario el papel de la incertidumbre del modelo para el año de 2075 (color azul, Fig. 1 b, e). La incertidumbre del modelo (color azul) es muy significativa en JJA para ambas regiones, y alcanza su punto máximo en torno a 2070 para el norte Europa y 2050 para el sur Europa. El sur de Europa comparte valores más bajos de importancia del modelo para todas las estaciones que el norte de Europa, lo que puede deberse a la mayor sensibilidad del modelo en el Norte a cambios de circulación más intensos. Las proyecciones de temperatura sobre la cuenca de los Carpathian son más parecidas a los resultados de temperatura de Europa del Norte, pero presentan una variabilidad natural significativamente mayor que en las escalas continentales más grandes. Es la más importante fuente de incertidumbre para todas las estaciones.

2.2.5.1. Downscaling climático

Los modelos climáticos globales (GCM) tienen limitaciones cuando se trabaja a escalas más bajas porque, por ejemplo, no reflejan con precisión la topografía local, lo que afecta la temperatura local. Como resultado, sería importante reducir los modelos circulatorios mundiales. Tanto la técnica de reducción de escala dinámica como el método de reducción de escala estadístico u observacional son bien conocidos en el campo de la ciencia del clima (Coaquira, 2023).



El término "Downscaling de escala" se refiere al proceso mediante el cual los pronósticos globales generados por GCM se ajustan para adaptarse a las características regionales, locales o a nivel de cuenca. En este paso, creamos conexiones entre varios factores estadísticas combinadas de modelos climáticos globales y registros de sensores meteorológicos (Coaquira, 2023).

a) Reducción de escala dinámica- Según Coaquira (2023), menciona que utilizar el método de reducción de escala dinámica, se puede derivar una gran cantidad de información climática de los modelos de circulación general. Los diferenciales que describen tales procesos pueden resolverse mediante la reducción de escala dinámica con el uso de un modelo de circulación general que proporcione condiciones iniciales y de contorno.

b) Reducción de escala estadística- La reducción de escala estadística se basa en el establecimiento de correlaciones cuantitativas entre los factores de superficie a pequeña escala (predictores) y las variables atmosféricas a gran escala, se puede usar la siguiente expresión para expresar esta conexión: La precipitación (R) y la temperatura (X) se pueden predecir usando la fórmula $R = F(X)$, donde F es una función fija o aleatoria que vincula las dos variables (Lineal o no lineal), y X es un predictor. (presión atmosférica a nivel del mar, humedad específica, etc.).

Existen tres principales categorías de métodos estadísticos utilizados para la reducción de escala en el contexto del cambio climático:



productores de clima, sistemas de tipificación del clima y modelos de regresión. Estos métodos asumen que las relaciones lineales y no lineales entre las variables predictoras a gran escala y las variables predictivas a escala local permanecerán constantes, considerando así los efectos del cambio climático. Los métodos más recientes no lineales utilizan algoritmos de optimización complejos, lo cual resulta en un mayor tiempo de cálculo en comparación con los métodos lineales tradicionales

2.2.6. Modelo hidrológica con WEAP

Los modelos hidrológicos son herramientas matemáticas donde se intenta analizar el funcionamiento de los diferentes parámetros que intervienen en el ciclo hidrológico con cierto grado de aproximación (Galindo, 2021).

Estimar la cantidad de recursos hídricos y su distribución en el tiempo en los lugares de interés utilizando modelos hidrológicos en un sistema (Galindo, 2021).

Se han diseñado herramientas acordes con las necesidades contemporáneas para permitir la toma de acciones que avalen y compensen las numerosas demandas originadas. El programa WEAP es una de estas herramientas. Ha ganado amplia aceptación en diversas naciones y apoya investigaciones la demanda, la oferta y calidad hidrica, tomando en cuenta tanto las condiciones hidroclimatológicas de la cuenca como las características del suelo, ya sea en una sola cuenca o en un grupo de cuencas (Aguilar, 2016).

2.2.6.1. Procedimiento de uso del modelo hidrológico WEAP

El balance hídrico es simulado por WEAP como escorrentía superficial, evapotranspiración, infiltración, escorrentía subsuperficial y flujo de base. WEAP necesita datos climatológicos y de uso de suelos para la estimación del balance hídrico para cada una de las principales unidades geográficas que el modelo debe tener en cuenta. Las regiones de captación a las que el modelo se refiere como cuencas o unidades hidrológicas y que deben ser especificadas a través de métodos de delimitación de cuencas se relacionan con estas unidades fundamentales de modelación. Es posible caracterizar la cubierta vegetal en cada zona de captación, así como su extensión y distribución estimadas, utilizando esta técnica (WEAP, 2009).

A continuación, se describen brevemente los factores clave de uso del suelo que tiene en cuenta el modelo:

Tabla 1

Datos de uso de suelo

USO DE SUELO	
Área	Superficie de tierra para la cubierta terrestre dentro de la unidad hidrográfica.
Kc	Coefficiente de cultivo para un determinado tipo de tierra en relación con el cultivo estándar.
Capacidad de agua en la raíz (SW)	El agua conservando el potencial de la capa superficial de suelo, representado en (mm).
Capacidad de agua profunda (DW)	almacenamiento de agua de la capa profunda del subsuelo (fondo de la cuenca). Independientemente del tipo de uso, la cuenca tiene un valor constante. No se tiene en cuenta si el lugar de la demanda tiene una conexión de flujo con un nodo de aguas subterráneas.
Factor de Resistencia al Escurrimiento (RRF)	utilizado para regular la reacción de la escorrentía superficial. El intervalo de este indicador va de 0,1 a 10, y los valores más elevados darán lugar generalmente a una menor escorrentía. Dependiendo de la aplicación, esta opción podría ser diferente.

Nota. Obtenido de (WEAP, 2009)



Las precipitaciones, la temperatura, la humedad, la velocidad del viento, las calibraciones de los modelos y los resultados son sólo algunos ejemplos de la información climática necesaria para la modelización. Por último, pero no por ello menos importante, en el estudio del abastecimiento de agua debe incluirse información sobre la cuenca y uso de suelos de la cuenca (WEAP, 2009).

2.2.7. Métodos de determinación de la disponibilidad hídrica

Tres algoritmos son empleados por el modelo WEAP durante la simulación:

- Demandas
- Precipitación/escorrentía.
- Humedad del suelo

En la simulación del modelo WEAP se utilizan tres algoritmos o módulos: Demanda. 1. **Humedad del suelo**. Es crucial tener en cuenta que la adopción de algunas de estas técnicas puede ser una opción dependiendo del nivel deseado de complejidad o profundidad y la cantidad de información disponible (WEAP, 2009).

La técnica de las **demandas** es la más sencilla de estas tres. Con el fin de evaluar cualquier demanda de riego que pueda hacerse para cubrir la parte de la necesidad de evapotranspiración que las precipitaciones no alcanzan a cubrir, este enfoque emplea coeficientes de cultivo, la cuantificación de la evapotranspiración potencial en un área hidrográfica. Sin embargo, este enfoque no reproduce procesos como la escorrentía o la infiltración (WEAP, 2009).



Utilizando su coeficiente de cultivo, la técnica **lluvia-escorrentía** calcula también la evapotranspiración para la irrigación de cultivos. Según la disposición topológica de la cuenca investigada, el resto de la precipitación que no se utiliza mediante evapotranspiración se simula como escorrentía hacia el río o podría dividirse entre flujo subsuperficial hacia el sistema acuífero y escorrentía hacia el río (WEAP, 2009).

2.2.7.1. Método de Humedad del suelo

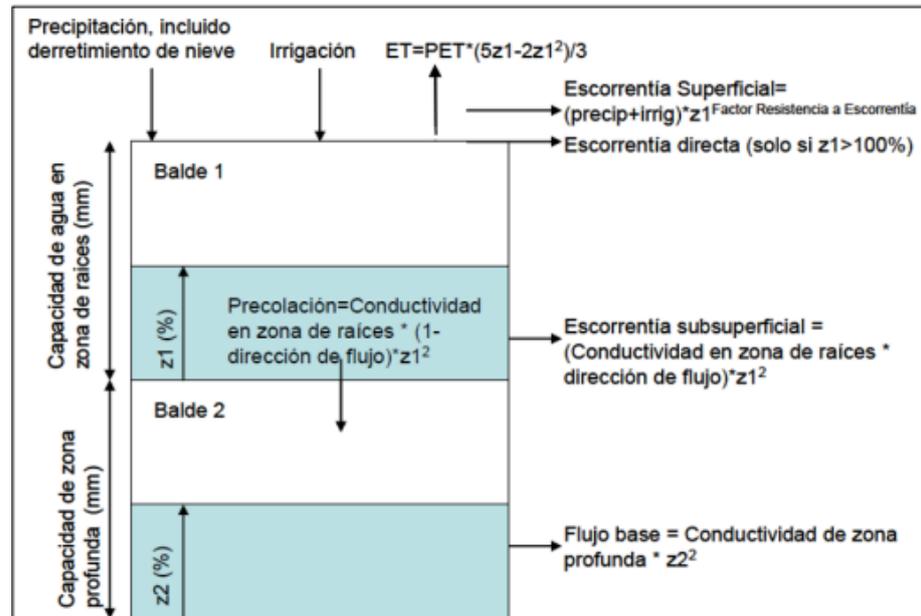
Los flujos de interés en este estudio se han simulado utilizando la técnica de Humedad del Suelo, que es la más complicada de las tres. Su principal característica distintiva es la forma en que se representa la cuenca mediante 2 capas de suelo. Mientras que la capa superior modela la evapotranspiración presentando datos meteorológicos (precipitaciones y temperatura) y los tipos del suelo de la cuenca (espesor de la zona radicular, espesor de la zona profunda, índice de conductividad, saturación del suelo), la capa inferior modela el caudal base del río y el cambio de la humedad.

Para esta investigación, se empleó el método de la humedad del suelo. La cuenca de captación, las dos capas de suelo y la posibilidad de acumulación de nieve están representadas por este método, que es el más complicado de WEAP. La evapotranspiración es calculada en el estrato superior del suelo simulando la irrigación y la precipitación en áreas agrícolas y no agrícolas, así como la escorrentía superficial y subsuperficial y el cambio en la humedad. Según Rosario (2020), esta técnica permite caracterizar el tipo de suelo por las consecuencias de estos procesos. La

capa más baja del suelo simula el flujo de base del río, así como las fluctuaciones en la humedad del suelo.

Figura 2

Modelo conceptual Método de Humedad del Suelo.



Nota. Obtenido de (Rosario, 2020)

Se proporcionan las fórmulas matemáticas esenciales para calcular el balance, junto con el modelo conceptual. La cuenca hidrográfica puede dividirse en N porciones fraccionarias, que reflejan diversos tipos y usos del suelo. Para cada región j de la N considerada, se calcula un balance hídrico. El balance hídrico se determina mediante la fórmula siguiente y la hipótesis de que el clima es uniforme en toda cada zona discretizada:

$$R_{aj} \frac{dz_{1j}}{dt} = P_e(t) - PET(t)k_{c,j}(t) \left(\frac{5z_{1j} - 2z_{1j}^2}{3} \right) - P_e(t)z_{1j}^{RRFj} - f_j k_{s,j} z_{1j}^2 - (1 - f_j) k_{s,j} z_{1j}^2$$



Donde:

$Z_{1,j}$: almacenamiento relativo expresado en porcentaje del almacenamiento efectivo global de la zona radicular.

R_{dj} : Capacidad de almacenamiento efectivo para la fracción j de la cubierta de uso del suelo en la zona radicular [mm].

P_e : Precipitación efectiva en la cuenca, incluida la fusión, calculada como $P_e = P_{imc} + mr$, donde el coeficiente de fusión:

- mc : viene determinado por la relación entre las temperaturas de fusión y de congelación.
- mr : se determina mediante la fórmula $mr = A_{cimc}$, donde A_{ci} es la acopio de nieve determinada por la siguiente ecuación: $A_{ci} = A_{ci-1} + (1 - mc)$

PET : evapotranspiración potencial estimada mediante el método Penman-Monteith, donde $k_{c,j}$ es el coeficiente de cultivo para cada proporción de la superficie cubierta.

$P_e(t)Z_{1,j}^{RRFj}$: Esta abreviatura significa escorrentía superficial, donde $RRFj$ es el factor de escorrentía de la cubierta del suelo. Los valores más altos de esta variable indican una escorrentía superficial reducida.

$f_j k_{s,j} z_{1,j}^2$: representa el flujo interno.

$(1 - f_j) k_{s,j} z_{1,j}^2$: Es la percolación.

$k_{s,j}$: Conductividad de la zona radicular (mm/tiempo).



f_j : El agua se divide horizontal y verticalmente por un coeficiente de partición que depende del terreno, del tipo de suelo y de la cubierta.

a) Parámetros de construcción del modelo

- **Área:** Se indica el tamaño total de la cuenca en kilómetros cuadrados, y también se incluyen aquí los porcentajes correspondientes a los distintos tipos de flora y usos del suelo.
- **Kc:** Dado que las características de cada cultivo dependen esencialmente de él, el coeficiente de cultivo (Kc) de cada cultivo es único.
- **Capacidad de retención de humedad (Soil water capacity, SWC):**
La capacidad de la capa superior del suelo o de la zona radicular para almacenar agua en milímetros.
- **Capacidad de retención profunda (Deep water capacity, DWC):**
Habla de la capacidad de la zona profunda o capa inferior del suelo para almacenar agua, que se mide en milímetros (mm).
- **Factor de resistencia al escurrimiento (Runoff resistance factor, RRF):** Este parámetro, que está relacionado con la cubierta vegetal y pendiente del suelo, sirve para regular cómo se gestiona la reacción de la escorrentía superficial. Existen valores de 0,1 a 10. A medida que aumentan los valores de RRF, suele disminuir la escorrentía.

Tabla 2*Rango de parámetros de Cobertura de Suelos.*

Tipo de Cobertura	Kc	SWC	RRF	PFD
Agri	0.5 – 1	100 – 200	5 – 10	0 – 1
Ap	0.1 – 1.25	70 – 300	0.1 – 1.5	0 – 1
Bo	1 – 1.5	100 – 600	0.1 – 1.5	0 – 1
Gl	0.1 – 1.25	50 – 100	0.5 – 2	0 – 1
Ma	0.7 – 1	100 – 1500	0.5 – 1	0 – 1
PF	0.5 – 1	100 – 2000	5 – 10	0 – 1
Pj	0.9 – 1	100 – 600	0.1 – 1.5	0 – 1
Lag	1 – 1.25	50 – 100	0.1 – 0.5	0 – 1

Nota. Obtenido de (Rosario, 2020)**b) Parámetros climáticos**

- **Precipitación (Precipitation):** Se refiere a la información de datos históricos de precipitación media mensual de la estación climatológica del lugar de la investigación.
- **Temperatura (Temperature):** Hace referencia a la información que presenta los promedios mensuales de temperatura a lo largo del tiempo de la estación climatológica del lugar de la investigación.
- **Humedad Relativa (Humidity):** El valor anual estimado de este parámetro puede determinarse en función del lugar de investigación. Es la media mensual de humedad relativa. Utilice el "Asistente de Series Temporales Mensuales" si dispone de valores mensuales.
- **Viento (Wind):** Es la velocidad media mensual del viento, y las unidades deben ser m/s o km/h. Utilice el "Asistente para series temporales mensuales" si sus datos son mensuales.



2.2.8. Zanjas de infiltración para la mejora de la disponibilidad hídrica

Las zanjas de infiltración se dimensionaron en su día como mejoradores de suelos, control de la erosión y proporcionar humedad local en regiones semiáridas. No obstante, cuando las zanjas se construyen sobre materiales porosos, generan flujos de recarga considerables que ahora se utilizan como una de las formas más eficaces de rellenar artificialmente los acuíferos, principalmente en rocas fracturadas de alta montaña, sin sacrificar su capacidad para frenar la erosión laminar o por surcos (Flores, 2004).

Según las pruebas de campo, los afloramientos rocosos tienen una conductividad hidráulica superior a la de los suelos y una mayor capacidad de infiltración, por lo que se recomienda construir zanjas de infiltración en ellos. Es esencial que presente un estrato superficial suelto (suelo) que consienta la distribución y colocación de las zanjas de infiltración (Mamani E. , 2017).

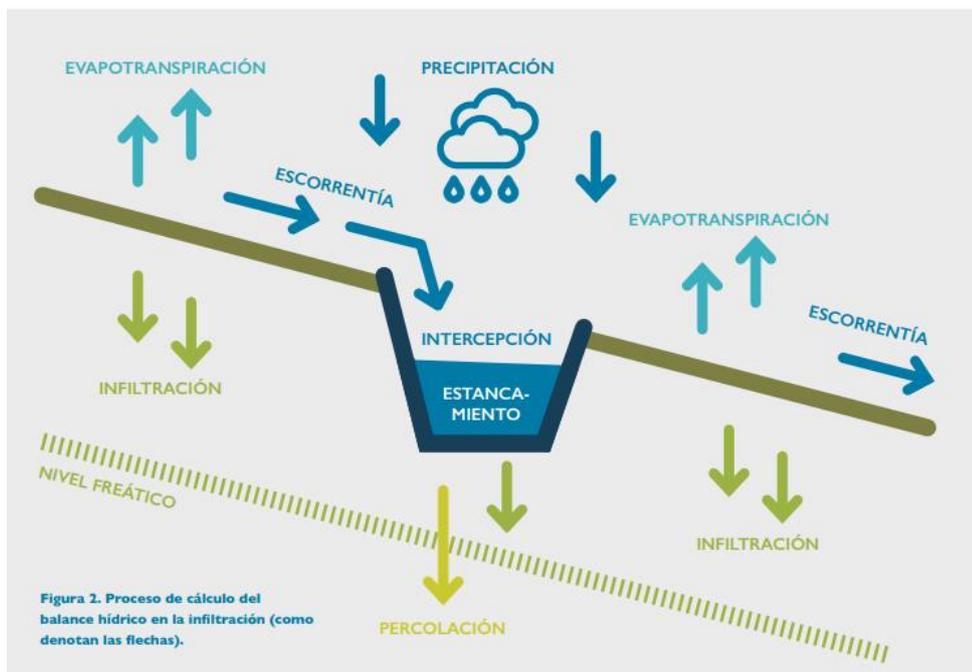
La cantidad de precipitación que cae sobre la zona a recargar debe ser inferior o similar a la cantidad que es captada y absorbida por la zanja, y deben reaccionar a esta cantidad en una diferencia de tiempo. En otras palabras, la cantidad total de afluencias que convergen en ella no debe ser superior a la capacidad de escorrentía e infiltración. Las zanjas de infiltración deben tener una pendiente del 1% (hasta el 2% según la naturaleza del terreno) y deben discurrir transversalmente a la pendiente máxima del terreno. Dado que el agua de lluvia es la fuente para abastecer, las zanjas deben ser paralelas y estar separadas entre sí entre 10 y 13 metros. La pendiente del terreno debe tenerse en cuenta a la hora de ajustar la relación de distancias o cualquier otra corrección que se realice en el momento de la ejecución. Del mismo modo, las dimensiones pueden modificarse

para aumentar la base, el ancho y la profundidad, conservando la idea de similitud de volúmenes de agua y de conectividad en zanjas en los sectores de mayor permeabilidad (afloramiento de roca agrietada). La tierra retirada de la zanja debe colocarse en la parte inferior, creando un pequeño montículo. Para evitar que el suelo vuelva a la zanja en la primera lluvia, el material removido debe colocarse a una distancia de unos 20 cm (Flores, 2004).

La regla básica para el diseño de zanjas de infiltración es que la cantidad de agua de lluvia que precipita en la zona del impluvio debe ser menor o similar a la cantidad que es captada y absorbida por la zanja. En otras palabras, la cantidad total de agua que converge en la zanja no debe ser mayor que la capacidad de la zanja (Flores, 2004).

Figura 3

Zanjas de infiltración



Nota. Obtenido de (MINAGRI, 2014)



2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

2.3.1. Disponibilidad hídrica

Se describe como la cantidad de agua que puede ser accesible a un sector para su uso en fines municipales, industriales o agrícolas. La infraestructura del país, el progreso económico y la calidad influirán en la forma en que se utilice el agua (Olivera, 2019).

2.3.2. Precipitación

Es toda agua meteórica que precipita sobre la superficie, como (llovizna, lluvia, diluvio) y sólida (nieve, aguanieve, granizo), como precipitación depositada u oculta (rocío, escarcha blanca, escarcha,). Son el resultado de un cambio de presión o de temperatura (Rosario, 2020)

2.3.3. Microcuenca

Son zonas con aguas superficiales con un área de drenaje menor a 500 km² pueden converger en un efluente principal, depósito natural, pantano o en el mar si entran en una red hidrográfica natural con uno o diversos rios naturales que se unen en un curso mayor (Minambiente, 2022).

2.3.4. Raster

Raster es un método de almacenamiento y representación de datos que utiliza puntos individuales. Según Rosario (2020), "cada uno de estos puntos contiene valores de atributos utilizados para el procesamiento de imágenes".



2.3.5. Escenarios de cambio climático

Es una estrategia para estimar sistemáticamente los cambios climáticos potenciales en el futuro; se basa en técnicas con principios científicos sólidos que se utilizan para comprender cómo responderán los diversos sistemas ambientales al cambio climático futuro (Olivera, 2019).

2.3.6. Simulación hidrológica

Recreación de ambientes y situaciones (Fingidas y controladas), imposibles de analizar sin ayuda de un ordenador (Castillo, 2022).

2.3.7. Zanjas de infiltración

Excavaciones excavadas en el suelo en forma de canales de sección rectangular o trapezoidal denominadas zanjas de infiltración se construyen a lo largo de las curvas de nivel para retener el agua destinada a los pastos y cultivos situados debajo de las zanjas (MINAGRI, 2014).

CAPÍTULO III

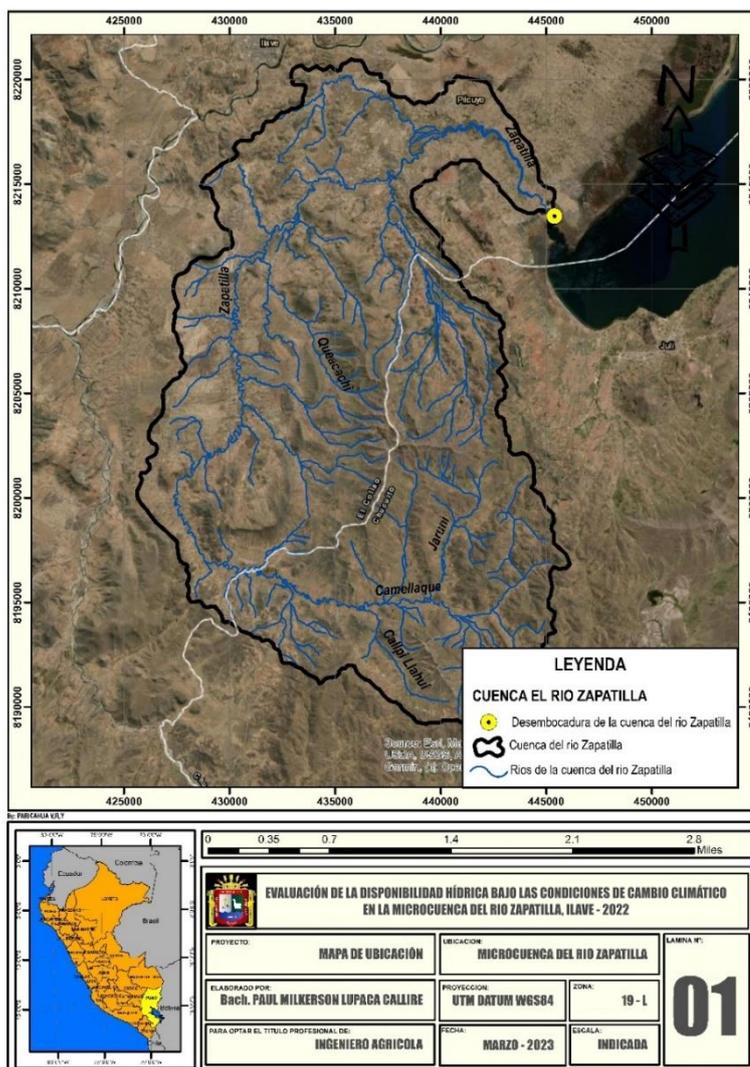
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE ESTUDIO

Geográficamente se ubica entre las coordenadas 8°18'50,00" a 8°22'50,00" Norte y 427,000.00 a 444,000.00 Este, su extensión territorial es de 44,525 hectáreas, con un perímetro de 118 Km, el principal río que drena esta microcuenca es el río Zapatilla, la longitud que desarrolla es de 84 Km

Figura 4

Mapa de ubicación de la zona en estudio



3.1.1. Límites.

La microcuenca del río Zapatilla viene limitando por el norte con la cuenca Aguas Calientes; por el sur con la cuenca Unicachi, por el este con el Lago Titicaca; y por el oeste igualmente con la cuenca Aguas Calientes.

3.1.2. Vías de comunicación y accesibilidad

La principal vía de acceso y comunicación desde la ciudad de Puno, hacia el área en estudio es la terrestre, tal cual se muestra en la tabla 3.

Tabla 3

Vías de comunicación y accesibilidad al área en estudio

Partida	Fin	Distancia	Tiempo	Tipo de vía	Medio de transporte
Puno	Ilave	130.00 km	1:30 h.	Carretera asfaltada	Bus/Automóvil
Ilave	Pilcuyo	18.6 km	0:31 h	Carretera asfaltada	Bus/Automóvil
Pilcuyo	C.P. Acoamaya (microcuenca)	10.0 km	0:10 h		

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es de tipo **DESCRIPTIVA**, la cual trata de describir las cualidades y rasgos de ideas, eventos, variables o hechos en un escenario particular (Hernández & Mendoza, 2018).

Especificando que en el presente estudio se buscará describir la disponibilidad hídrica actual y futura bajo condiciones climáticas para posteriormente diseñar zanjas de infiltración para la mejora de la disponibilidad hídrica.



Dado que la investigación no modificará intencionadamente las variables para ver cómo afectan a otros factores, el diseño de la investigación es **NO EXPERIMENTAL** (Hernández & Mendoza, 2018).

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

- **Técnicas**

Las principales técnicas en el presente estudio es la observación, y la otra técnica es la revisión bibliográfica de tesis, artículos científicos, libros, páginas webs, entre otros.

- **Instrumentos**

Los principales instrumentos a emplear en el presente proyecto de investigación fueron: Software Microsoft Office; Software Microsoft Excel; Software ArcGIS 10.5; Software WEAP.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1. Población

La población en estudio está representada por la disponibilidad hídrica de la microcuenca del río Zapatilla, situada en el centro poblado de Ancoamaya – Ilave; el cual según datos del INEI (2017), presenta una población de 210 habitantes (102 hombres y 108 mujeres)

3.4.2. Muestra

La muestra es la misma especificada que la población; siendo en este caso la disponibilidad hídrica de la microcuenca del río Zapatilla; situada en el centro



poblado de Ancoamay – Ilave; el cual según datos del INEI (2017), presenta una población de 210 habitantes (102 hombres y 108 mujeres)

3.5. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

La metodología empleada para cumplir con los objetivos de este estudio se basó en la compilación de todos los datos requeridos de diversas fuentes, incluyendo tesis, libros, publicaciones científicas y sitios web. Asimismo, se recopilaron datos de organizaciones como SENAMHI.

3.5.1. Determinar la disponibilidad hídrica actual en la Microcuenca del río Zapatilla para el año 2022 mediante el método de humedad de suelo en el software WEAP.

Para ello, se utilizará el programa WEAP, una herramienta de modelización computacional para el manejo y distribución del agua, que incluye específicamente un modelo hidrológico y funciona sobre la base de un balance de oferta y demanda de agua, para la determinación de la disponibilidad mensual actual de agua de la microcuenca del río Zapatilla.

- **Método para determinar la disponibilidad hídrica**

Para el presente proyecto de investigación se escogió el método de la **humedad del suelo** siendo el más completo de los otros 3 métodos según las consideraciones establecidas por Mamani (2023), el cual indica que el programa es unidimensional; por su facilidad y potencial de concordar de mejor manera los resultados. Cuya realización del esquema se basa en la delimitación del área en estudio; con sus principales tributarios; utilizando dos principales datos para su



modelado (datos climáticos y datos de uso de suelo) para el conocimiento de la disponibilidad hídrica.

a) Delimitación de la microcuenca -. Para la delimitación de la microcuenca se ha apoyado mediante las divisorias de la red principal de agua del río zapatilla en el software ArcGIS.

b) Datos climáticos-. El modelo de recursos hídricos (WEAP) requiere valores meteorológicos por ello se recopilaron los datos más recientes, como precipitaciones, temperatura, humedad y velocidad del viento, de las estaciones meteorológicas del SENAMHI próximas a la región de investigación.

- **Precipitación (Precipitation):** Se refiere a la información de datos históricos de precipitación media mensual de la estación climatológica del lugar de la investigación.
- **Temperatura (Temperature):** Hace referencia a la información que presenta los promedios mensuales de temperatura a lo largo del tiempo de la estación climatológica del lugar de la investigación.
- **Humedad Relativa (Humidity):** El valor anual estimado de este parámetro puede determinarse en función del lugar de investigación. Es la media mensual de humedad relativa. Utilice el "Asistente de Series Temporales Mensuales" si dispone de valores mensuales.
- **Viento (Wind):** La velocidad del viento debe indicarse en (m/s) o (km/h). Utilice el "Asistente para series temporales mensuales" si sus datos son mensuales.



c) Datos de uso de suelo-. Los datos de los tipos de uso de la tierra en el estudio se derivaron del mapa de cobertura vegetal del Perú en formato Shapefile. Procediendo al recorte para nuestra área de estudio en ArcGIS y el cálculo del área de cada tipo de cobertura del suelo para la microcuenca del río Zapatilla.

Así mismo en la región de investigación también se realizó la calibración de los datos de uso del suelo utilizando las características que se indican a continuación:

Coefficiente de Cultivo (Kc): Proporción entre la evapotranspiración real de un cultivo y la de un cultivo de referencia en idénticas circunstancias climáticas.

Soil Water Capacity (SW): La capacidad del suelo para almacenar agua en el estanque superior.

Deep Water Capacity (DW): Capacidad del suelo de la laguna inferior para almacenar agua.

Runoff Resistance Factor (RRF): Capacidad de resistencia al escurrimiento.

d) Simulación de disponibilidad hídrica actual-. Con los datos Climáticos del año 2022 y los parámetros calibrados del modelo WEAP, se procedió con la generación o simulación de disponibilidad hídrica mediante el método de humedad del suelo.



3.5.2. Proyectar la disponibilidad hídrica futura para los años 2050 y 2100 bajo las condiciones de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5 en la microcuenca del río Zapatilla

Posteriormente a la determinación de la disponibilidad hídrica actual se realizó su modelamiento a un escenario futuro al año 2050 y 2100 considerando el cambio climático mediante el siguiente procedimiento.

- **Creación de escenarios de cambio climático**

En una distribución mensual, se seleccionaron los periodos de modelación de 2022 a 2050 y de 2022 a 2100 para la entrada de datos para simular la disponibilidad hídrica de la microcuenca del río Zapatilla - Ilave con el software WEAP.

Aplicando dos escenarios de cambio climático, uno donde las labores de mitigación resultan en un grado de estabilización o escenario climático estable (RCP4.5), y el otro donde las emisiones de GEI aumentan o alcanzan niveles muy altos (RCP8.5).

Tabla 4*Escenarios climáticos (RCP)*

Nombre	Forzamiento radioactivo (FR)	Concentración de CO ₂ (ppm)	Temperatura anómala	Precipitación Anómala
RCP 8.5	>8.5Wm ² en 2100	>1370 CO ₂ equivalente en 2100	3.0 °C	2 – 3 %
RCP 4.5	4.5 Wm ² en estabilización después del 2100	650 CO ₂ equivalente (estabilización después del 2100)	0.4 °C	0.2 – 0.5%

Nota. Obtenido de (MINAM, 2021)

La disponibilidad hídrica se calculó para los años 2050 y 2100 bajo dos escenarios climáticos utilizando el software WEAP (RCP 4.5 y RCP 8.5).

- **Descarga de modelos climáticos globales**

Los modelos climáticos globales (GCM), necesarios para este trabajo fueron aquellos que necesariamente cuenten con información de precipitación y temperatura, en este caso se tomó el modelo ACCESSESM1-5; obtenido del servidor Climate Explorer que es un servidor que recopila herramientas de análisis y una gran cantidad de datos climáticos

- **Reducción de escala o downscaling**

Dado el amplio alcance de la resolución espacial de los Modelos Climáticos Globales (GCM), no resulta viable su aplicación directa en escalas más pequeñas, como lo señala Rauscher et ál. (2010) y para abordar este desafío, se implementó un enfoque de downscaling estadístico.



En el proceso de downscaling, para esta investigación se emplearon datos climáticos procedentes del SENAMHI de estaciones meteorológicas (Juli, Ilave y Mazocruz) tomando datos desde 1984 al 2014, estos datos fueron utilizados para calibrar y ajustar las series temporales de los GCMs. Para llevar a cabo el downscaling estadístico se empleó el método de corrección de sesgo por medio de un proceso de ajuste lineal.

Para abordar este proceso se aplicó un factor de corrección a la media, varianza y/o quintiles de la serie temporal del modelo, es decir se contrastó las curvas de duración mensual, utilizando datos históricos recopilados junto con los resultados obtenidos del proceso de ajuste espacial. A partir de esto, se crean funciones de transferencia que se aplican tanto a las mediciones de precipitación como a las de temperatura con el propósito de acercarla a la variable observada y obtener una serie temporal corregida; llevándose a cabo empleando el software libre RStudio.

- **Caracterización de la incertidumbre**

La metodología de partición de incertidumbre, propuesta por Hawkins & Sutton (2009), indica que la suma de tres fuentes independientes: (1) variabilidad interna, (2) incertidumbre del modelo e (3) incertidumbre del escenario; da como resultado la incertidumbre total de un conjunto de modelos. Como aplicación de esta metodología se tiene el estudio propuesto por Szabó & Szépszó (2016), estos autores evaluaron las fuentes de incertidumbres en dos regiones de Europa y en la cuenca Carpathian, la aplicación de esta metodología se realizó para la región en estudio con el objetivo determinar el aporte de las fuentes de incertidumbre de la

temperatura y precipitación para el período futuro 2015 – 2100. (incluido el escenario cercano al año 2050 y lejano al año 2100)

Para cálculo de las fuentes de incertidumbre se ejecutan los siguientes pasos:

Realizar un ajuste de polinomio de cuarto orden a la temperatura del aire promedio estacional $X_T(t)$ y la precipitación estacional acumulada $X_P(t)$, período 1951 – 2100, mostrada en la siguiente ecuación:

$$X_T(t) = \Delta T(t) + T + \varepsilon(t)$$

$$X_P(t) = \left(\frac{\Delta T(t) + 100}{100} \right) * P * \left(\frac{\varepsilon(t) + 100}{100} \right)$$

Dónde:

T y P son los promedios polinómicos de temperatura y precipitación para el periodo de referencia de 1981–2014.

$\Delta T(t)$ se calcula como, la diferencia de la serie valores polinómicos evaluados en 2014 - 2100 menos el promedio de los valores polinómicos evaluados en su período de referencia.

$$\Delta T(t) = T(t) + T$$

$\Delta P(t)$ se calcula en porcentaje, es la división de la serie valores polinómicos evaluados en 2014 - 2100 entre el promedio de los valores polinómicos evaluados en su período de referencias, multiplicado por cien menos cien.

$$\Delta P(t) = \frac{P(t)}{P} * 100 - 100$$

$\varepsilon(t)$ son los residuos de temperatura, serie de datos del polinomio menos el dato del modelo en el período 1951-2100.

$\varepsilon(t)$ son los residuos de precipitación, serie de datos del modelo entre la serie de datos del polinomio 1951-2100, multiplicado por cien menos cien.

$$\varepsilon(t) = \frac{XP(t)}{P(t)} * 100 - 100$$

Variabilidad interna $V(t)$ se calcula como la varianza de los residuos, sin embargo, solo para realizar la gráfica de variabilidad interna estacional se calcula aplicando desviación estándar

$$V(t) = var\varepsilon(t) \quad t = (2022 \dots \dots 2050) \rightarrow (2051 \dots \dots 2100)$$

- Previo al cálculo de la variabilidad interna de la temperatura, se realiza un recalculado de 30 años del conjunto de modelos, luego se calcula la desviación estándar (solo para gráfico) y varianza (para todos los siguientes cálculos), finalmente se aplica una media móvil de 10 años para el suavizar la serie.
- Para el cálculo de variabilidad interna de precipitación se realiza de la misma manera explicada anteriormente, pero con datos de residuos de precipitación en porcentaje.
- La incertidumbre del modelo $M(t)$, representa el cálculo de la varianza de los modelos para cada escenario donde se obtiene una serie, luego se suma las series de los escenarios y se divide entre en número de escenarios.

$$M(t) = \frac{1}{Ns} * \sum_s var_m \Delta T(t)$$

Donde:

Ns: número de escenarios

- La incertidumbre del escenario $S(t)$, representa la suma de las series de los modelos en cada escenario y se divide entre en número de modelos

(equivalente al promedio), luego se calcula la varianza de las series de escenarios.

$$S(t) = var_s * \left(\frac{1}{Nm} * \sum_m \Delta T(t) \right)$$

Donde:

Nm: número de modelos

- Incertidumbre total T(t), es definida por la suma de variabilidad interna, la incertidumbre del modelo e incertidumbre del escenario. El porcentaje de fracción de incertidumbre será de cada una de ellas entre el total por 100.

$$T(t) = V(t) + M(t) + S(t)$$

Donde:

T(t): incertidumbre total

V(t): variabilidad interna

M(t): variabilidad del modelo

S(t): variabilidad del escenario

3.5.3. Diseñar zanjas de infiltración con parámetros específicos para la mejora de la disponibilidad hídrica en la microcuenca del río Zapatilla

Para el presente trabajo de investigación se diseñará zanjas de infiltración para la mejora de la disponibilidad hídrica mediante **zanjas de infiltración**, tomando las consideraciones descritas por Mamani (2017), y las consideraciones establecidas del MINAGRI (2014).



a) Cálculo del distanciamiento entre zanjas

$$d = b + e$$

Donde:

b: base (0.50m)

e: espaciamiento (2.00m; según pendiente de terreno)

b) Cálculo de la superficie de captación

$$S = l * d$$

Donde:

l: Largo (5.00m según MINAGRI)

d: Distanciamiento

c) Determinación del volumen de aportación a la zona de impluvio

$$V_{ai} = P * S * e$$

Donde:

P: Precipitación (184.82mm según la modelación en el área en estudio o 0.184)

S: Superficie de captación

e: Coeficiente de escorrentía

d) Determinación del volumen de captura – zona de zanjas (m3)

$$V_{CZ} = b * h * l$$

Donde:

b: base de la zanja (0.50m)

h: altura de la zanja (0.40m)



l : largo de la zanja (5.00m)

e) Determinación de la infiltración de la zanja (m²/hr)

$$V_{in} = b * v * l$$

Donde:

b : base de la zanja (0.50m)

v : velocidad de infiltración de la zanja (0.08m/h)

l : largo de la zanja (5.00m)

f) Verificación del diseño de la zanja de infiltración

$$V_{ai} \leq V_{cz} + V_{in}$$

g) Distanciamiento corregido entre zanjas

$$d = \frac{b * (h + v)}{P * e}$$

3.5.4. Análisis estadístico

Se usó el procedimiento estadístico, análisis de la Variancia (ANOVA); el cual es un instrumento estadístico para tomar decisiones y evaluar si la media de los datos difiere significativamente o no; todo ello realizado en el programa IBM SPSS Statistic, siguiendo el siguiente criterio especificado:

P-valor $\leq \alpha$, se rechaza la Ho; Se acepta la Ha

P-valor $> \alpha$, se acepta la Ho; Se rechaza la Ha



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA ACTUAL EN LA MICROCUENCA PARA EL AÑO 2022 MEDIANTE EL METODO DE HUMEDAD DE SUELO EN EL SOFTWARE WEAP.

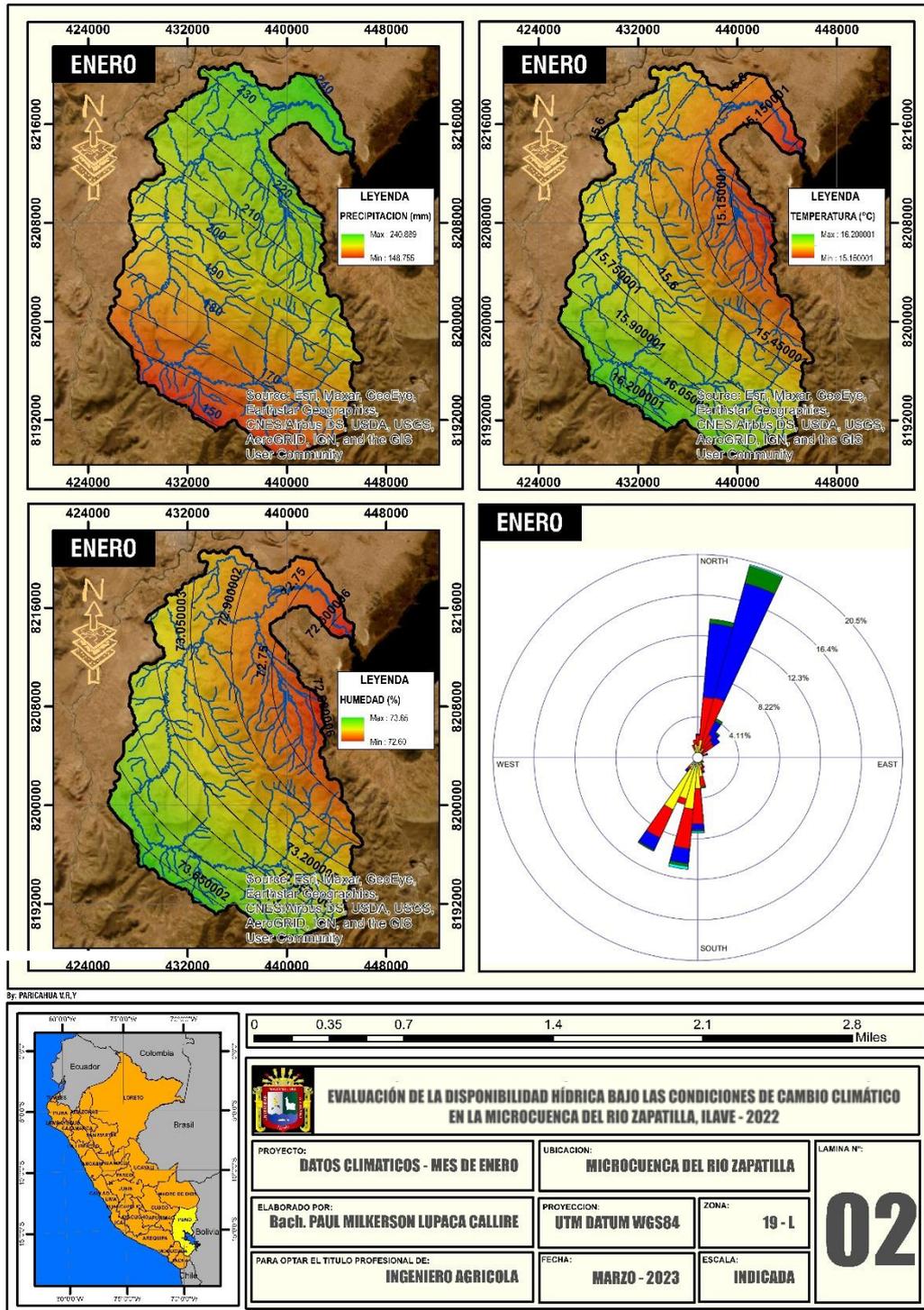
Con respecto al objetivo específico 1; Determinar la disponibilidad hídrica actual en la microcuenca del río Zapatilla para el año 2022 mediante el método de humedad de suelo en el software WEAP. para el cumplimiento de presente objetivo se compilo datos climáticos, datos de uso de suelo, para su interpolación en el software WEAP, y mediante ello conocer la disponibilidad hídrica; tal cual como se detalla a continuación.

4.1.1. Determinación de los parámetros climáticos

Ante ello se recolecto datos climáticos (precipitación, Temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento) para el año 2022, de las estaciones meteorológicas más próximas al área en estudio; siendo en este caso de la estación Ilave, Masocruz, Juli y Isla Taquile; y todo ello modelado en el software ArcGIS para contrastarlo en la microcuenca del rio Zapatilla, tal cual como se aprecian en las siguientes figuras.

Figura 5

Datos climáticos para la microcuenca del río Zapatilla del mes de enero

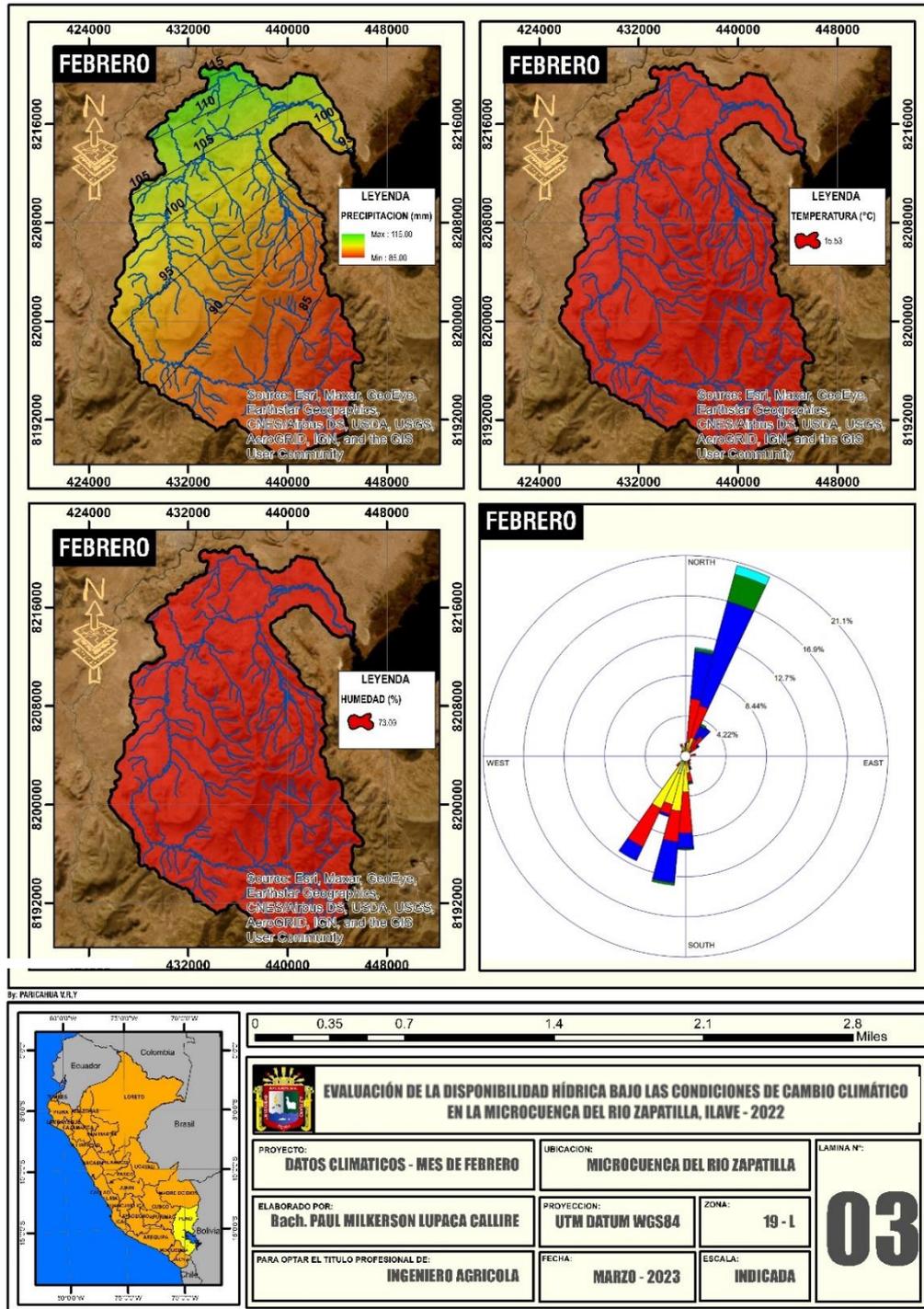


En la figura 5, se aprecia los datos climáticos para la microcuenca del río Zapatilla especificado para el mes de enero; indicando que presenta una precipitación que fluctúa entre 148.755mm a 240.889mm; además una

temperatura que fluctúa entre 15.50°C a 16.20°C; también una humedad relativa que fluctúa entre 72.60% a 73.65%, y con una velocidad del viento promedio de 4.77/s con dirección predominante desde el Nor Este hacia el Sur Oeste.

Figura 6

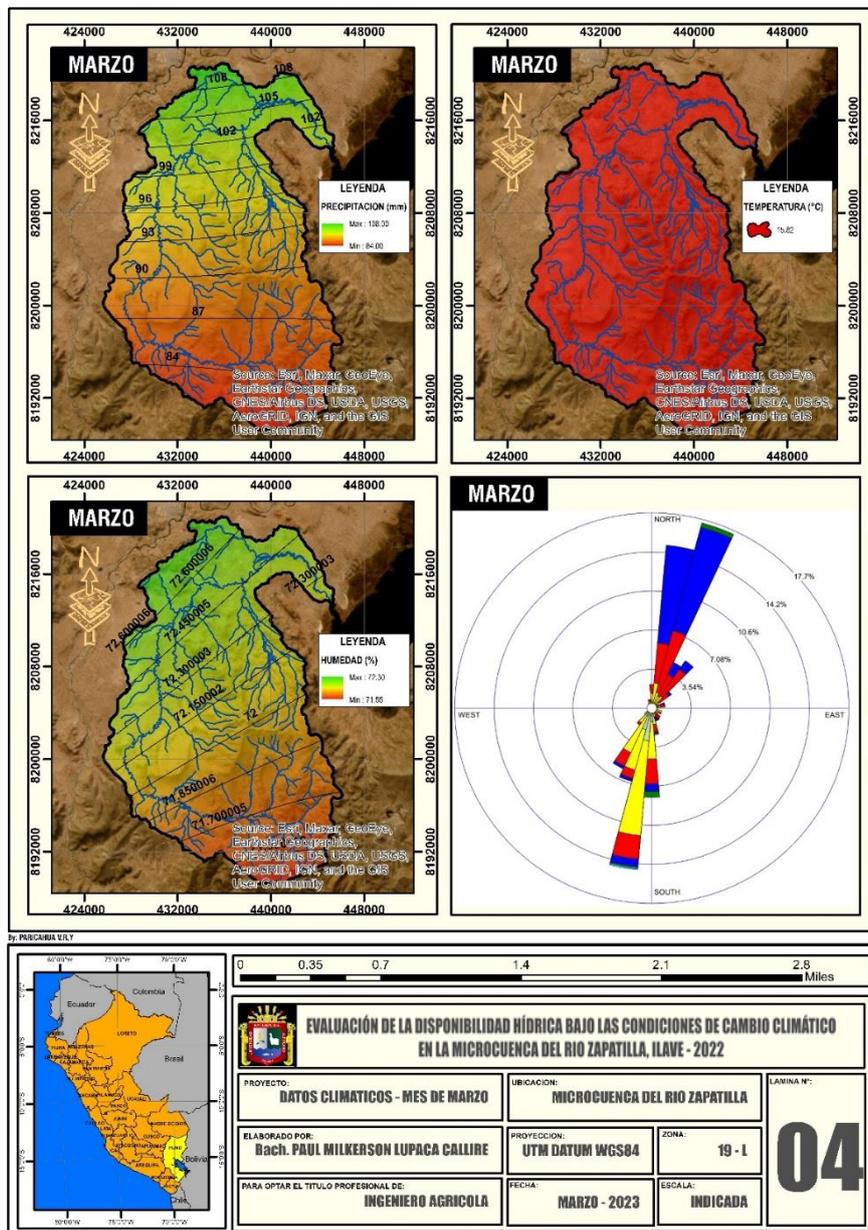
Datos climáticos para la microcuenca del río Zapatilla del mes de febrero



En la figura 6, se aprecia los datos climáticos para la microcuenca del río Zapatilla especificado para el mes de febrero; indicando que presenta una precipitación que fluctúa entre 85.00mm a 115.00mm; además una temperatura promedio de 15.53°C; también una humedad relativa promedio de 73.09, y con una velocidad del viento promedio de 4.63m/s con dirección predominante desde el Nor Este hacia el Sur Oeste.

Figura 7

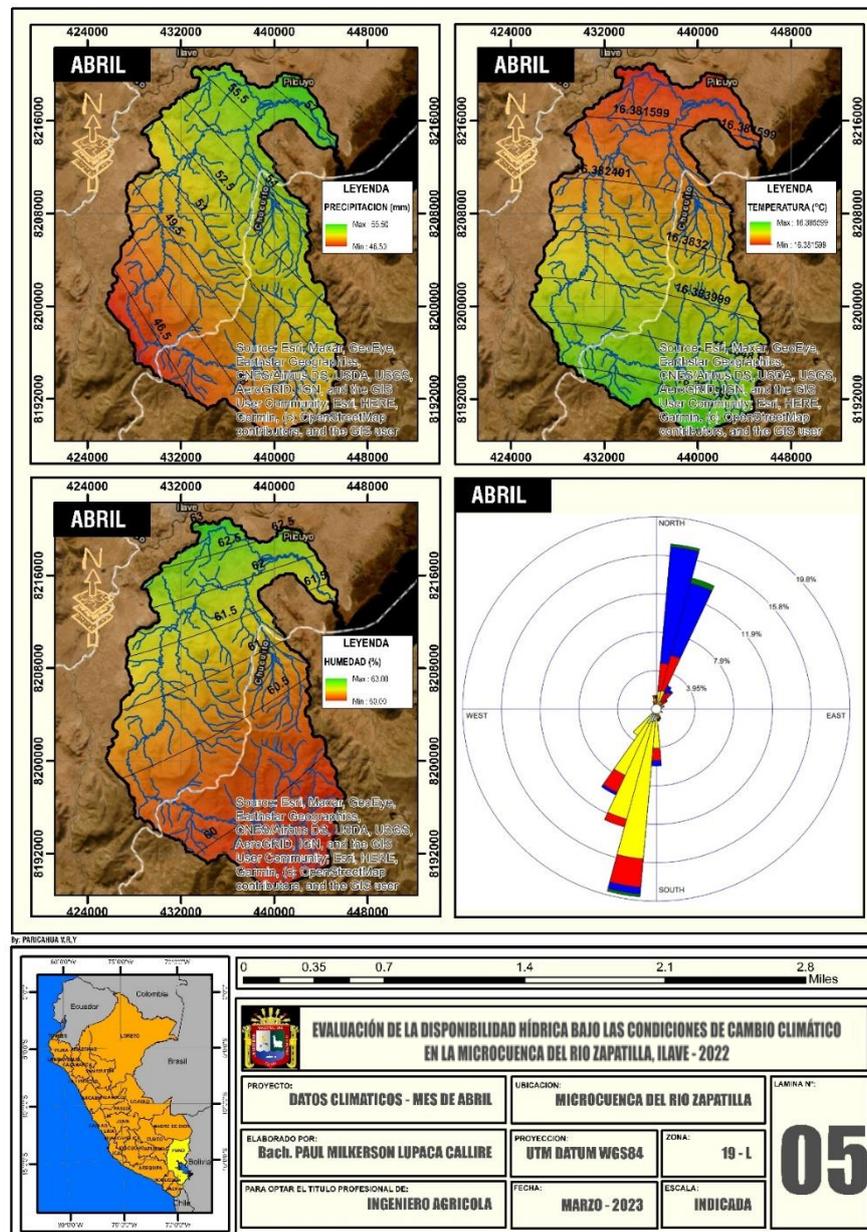
Datos climáticos para la microcuenca del río Zapatilla del mes de marzo



En la figura 7, se aprecia los datos climáticos para la microcuenca del río Zapatilla especificado para el mes de marzo; indicando que presenta una precipitación que fluctúa entre 84.00mm a 108.00mm; además una temperatura promedio de 15.82°C; también una humedad relativa que fluctúa entre 71.55% a 72.30%, y con una velocidad del viento promedio de 4.17m/s con dirección predominante desde el Nor Este hacia el Sur Oeste.

Figura 8

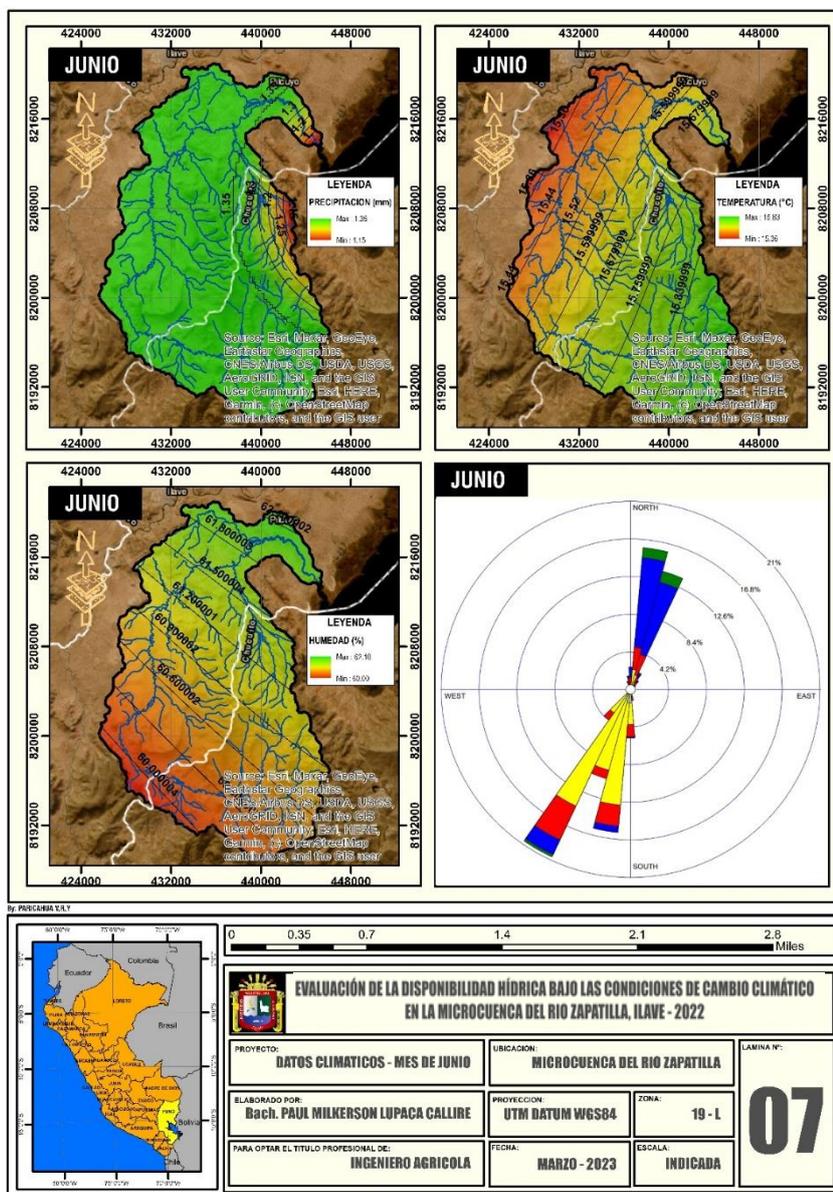
Datos climáticos para la microcuenca del río Zapatilla del mes de abril



En la figura 9, se aprecia los datos climáticos para la microcuenca del río Zapatilla especificado para el mes de mayo; indicando que presenta una precipitación que fluctúa entre 0.00mm a 0.048mm; además una temperatura que fluctúa entre 15.75°C a 16.20°C; también una humedad relativa que fluctúa entre 60.00% a 68.00%, y con una velocidad del viento promedio de 4.22m/s con dirección predominante desde el Nor Este hacia el Sur Oeste.

Figura 10

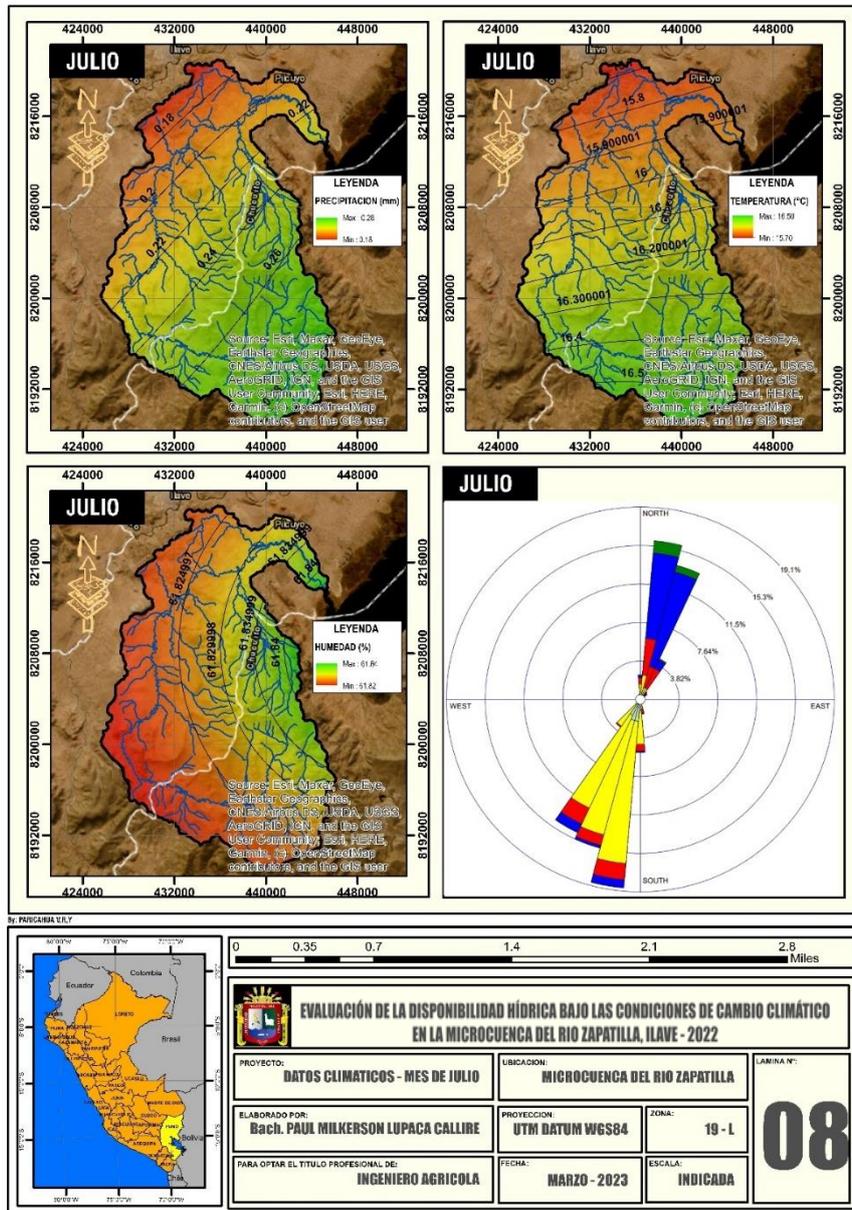
Datos climáticos para la microcuenca del río Zapatilla del mes de junio



En la figura 10, se aprecia los datos climáticos para la microcuenca del río Zapatilla especificado para el mes de junio; indicando que presenta una precipitación que fluctúa entre 1.15mm a 1.35mm; además una temperatura que fluctúa entre 15.36°C a 15.83°C; también una humedad relativa que fluctúa entre 60.00% a 62.10%, y con una velocidad del viento promedio de 4.17m/s con dirección predominante desde el Nor Este hacia el Sur Oeste.

Figura 11

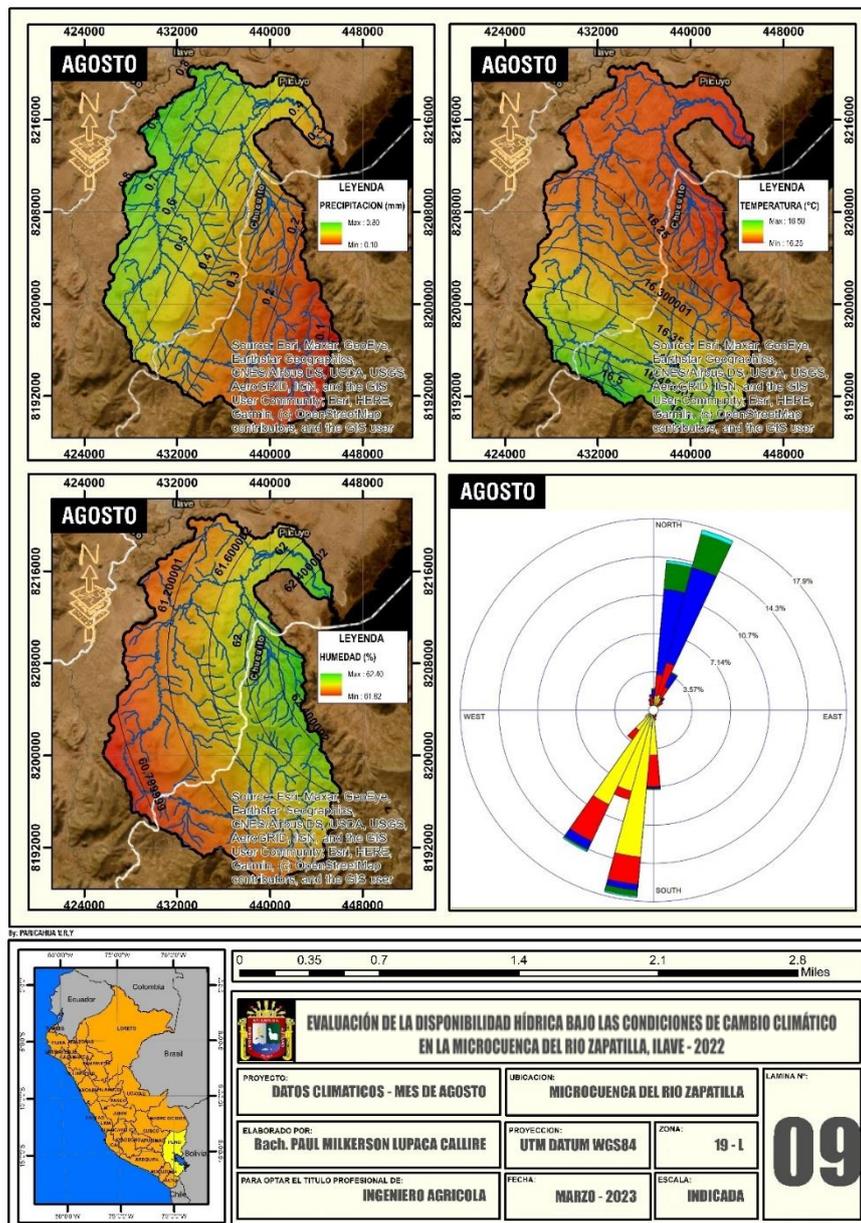
Datos climáticos para la microcuenca del río Zapatilla del mes de julio



En la figura 11, se aprecia los datos climáticos para la microcuenca del río Zapatilla especificado para el mes de julio; indicando que presenta una precipitación que fluctúa entre 0.18mm a 0.28mm; además una temperatura que fluctúa entre 15.70°C a 16.50°C; también una humedad relativa que fluctúa entre 61.82% a 61.84%, y con una velocidad del viento promedio de 3.93m/s con dirección predominante desde el Nor Este hacia el Sur Oeste.

Figura 12

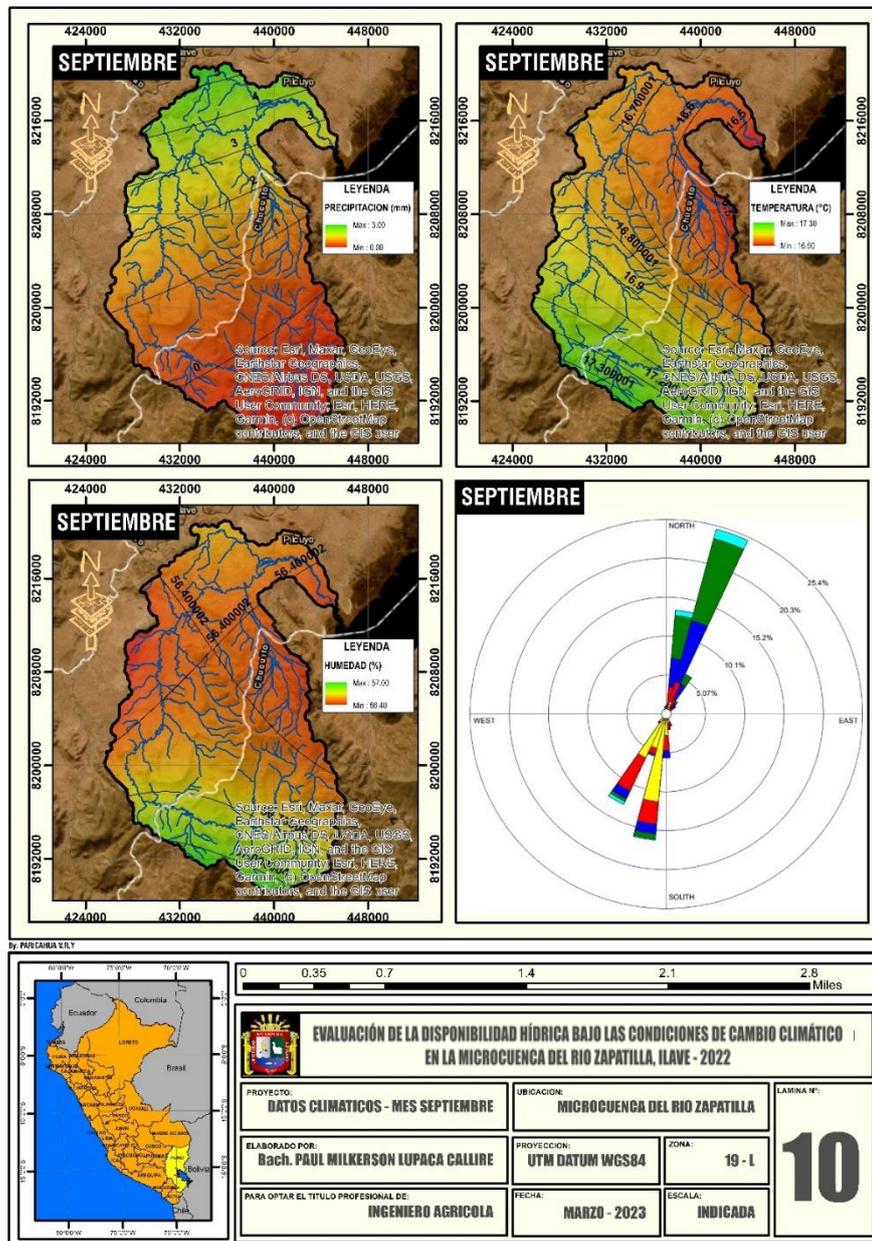
Datos climáticos para la microcuenca del río Zapatilla del mes de agosto



En la figura 12, se aprecia los datos climáticos para la microcuenca del río Zapatilla especificado para el mes de agosto; indicando que presenta una precipitación que fluctúa entre 0.10mm a 0.80mm; además una temperatura que fluctúa entre 16.25°C a 16.50°C; también una humedad relativa que fluctúa entre 61.82% a 62.40%, y con una velocidad del viento promedio de 4.57m/s con dirección predominante desde el Nor Este hacia el Sur Oeste.

Figura 13

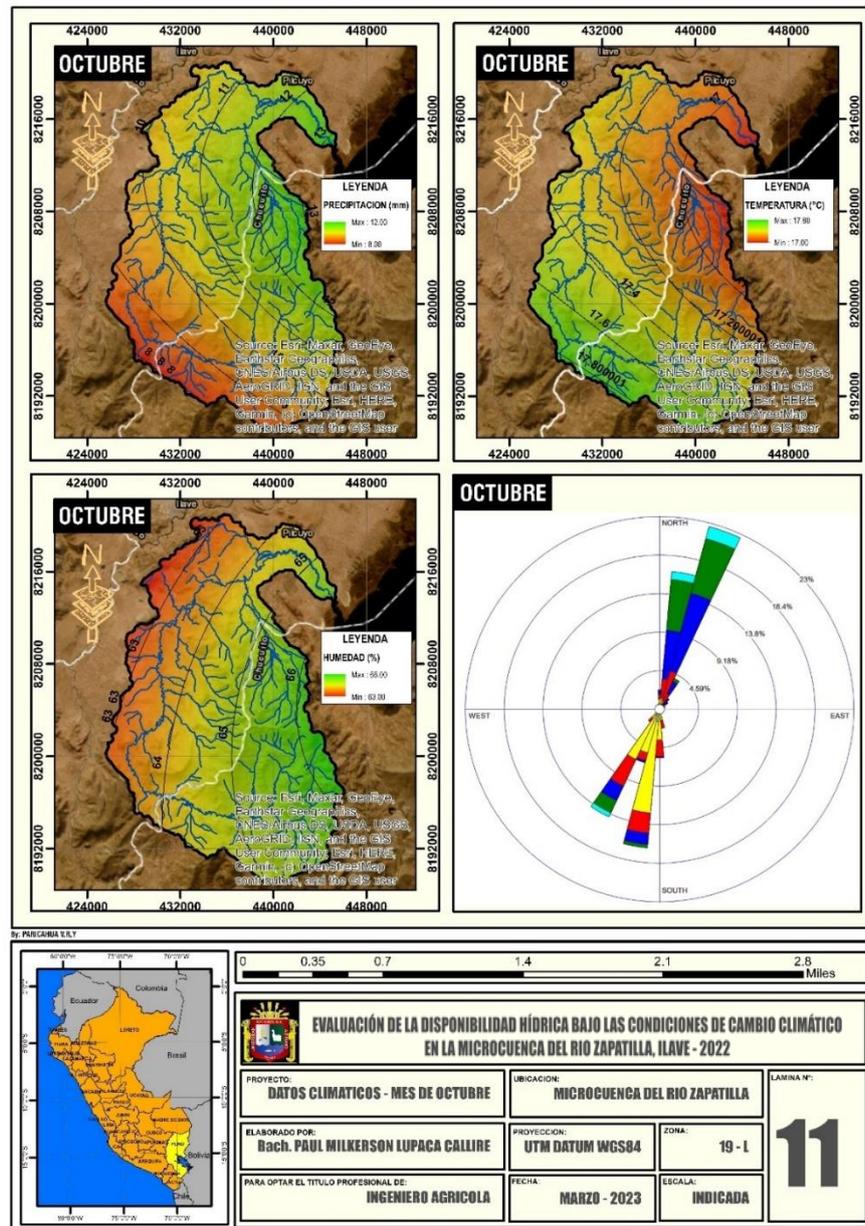
Datos climáticos para la microcuenca del río Zapatilla del mes de septiembre



En la figura 13, se aprecia los datos climáticos para la microcuenca del río Zapatilla especificado para el mes de septiembre; indicando que presenta una precipitación que fluctúa entre 0.00mm a 3.00mm; además una temperatura que fluctúa entre 16.50°C a 17.30°C; también una humedad relativa que fluctúa entre 56.40% a 57.00%, y con una velocidad del viento promedio de 4.92m/s con dirección predominante desde el Nor Este hacia el Sur Oeste.

Figura 14

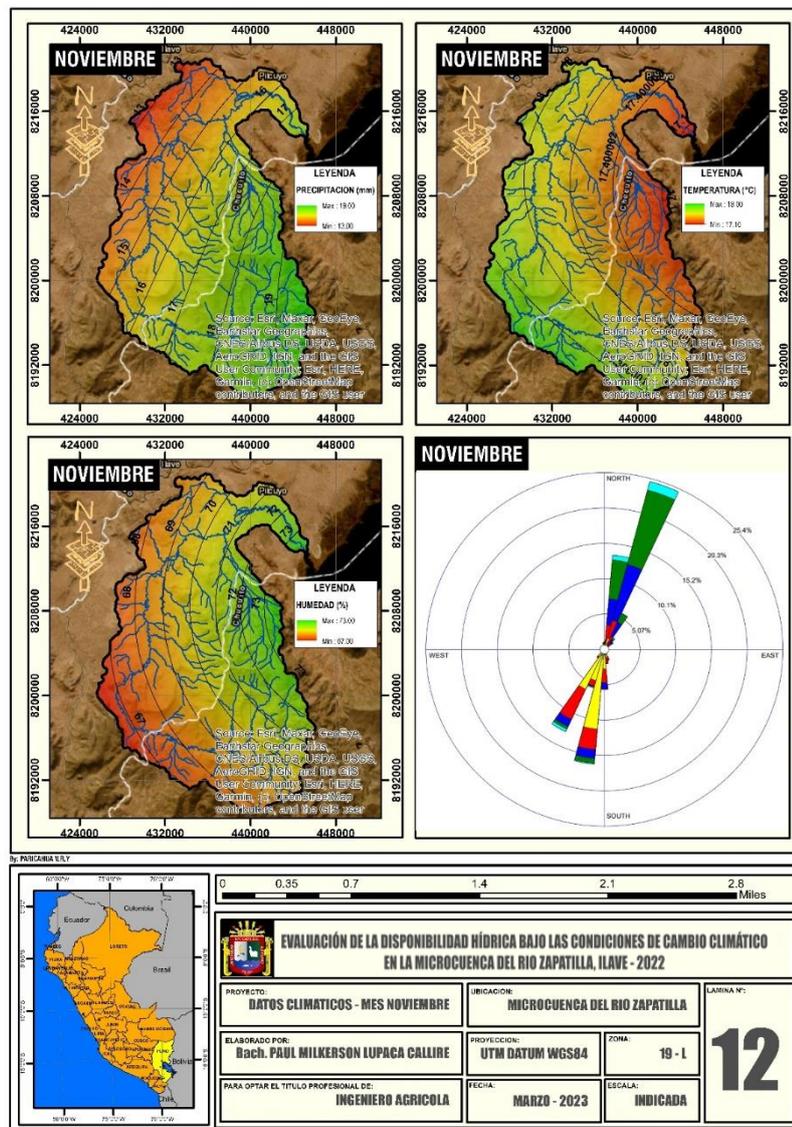
Datos climáticos para la microcuenca del río Zapatilla del mes de octubre



En la figura 14, se aprecia los datos climáticos para la microcuenca del río Zapatilla especificado para el mes de octubre; indicando que presenta una precipitación que fluctúa entre 8.00mm a 12.00mm; además una temperatura que fluctúa entre 17.00°C a 17.80°C; también una humedad relativa que fluctúa entre 63.00% a 66.00%, y con una velocidad del viento promedio de 5.38m/s con dirección predominante desde el Nor Este hacia el Sur Oeste.

Figura 15

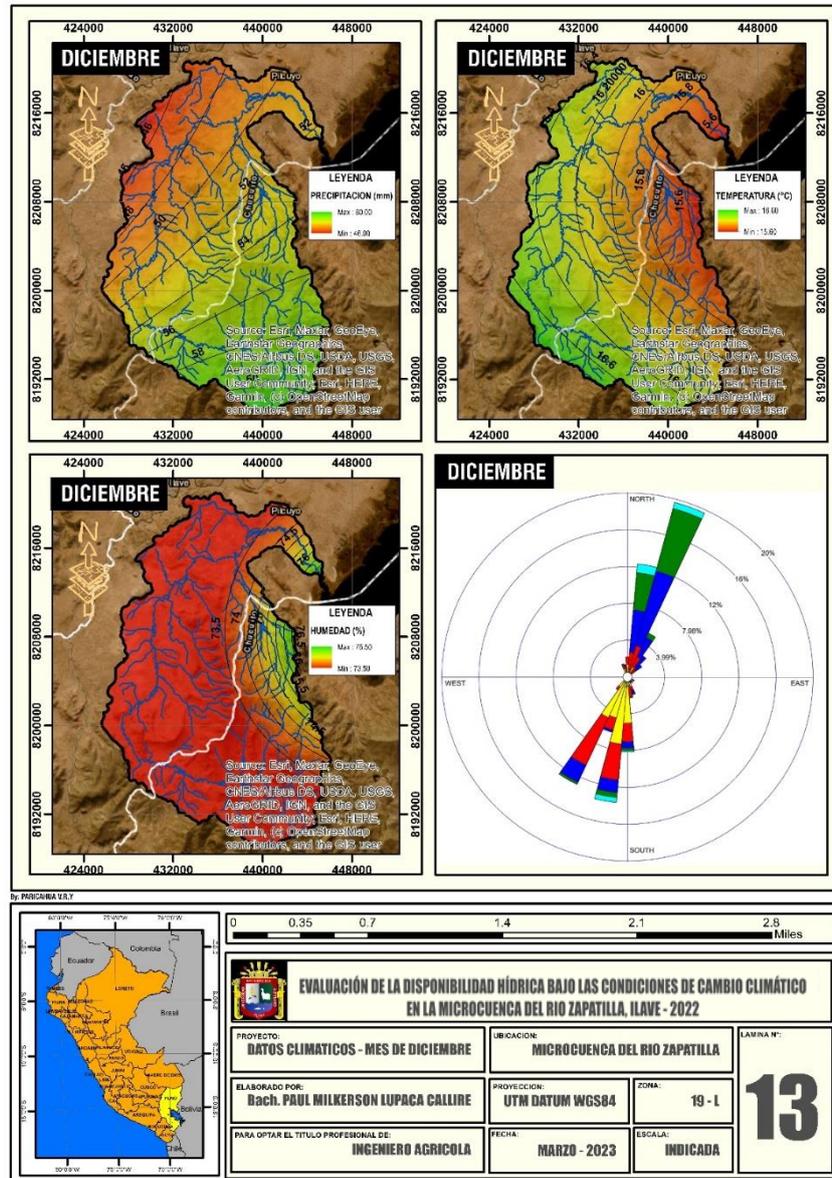
Datos climáticos para la microcuenca del río Zapatilla del mes de noviembre



En la figura 15, se aprecia los datos climáticos para la microcuenca del río Zapatilla especificado para el mes de noviembre; indicando que presenta una precipitación que fluctúa entre 13.00mm a 19.00mm; además una temperatura que fluctúa entre 17.10°C a 18.00°C; también una humedad relativa que fluctúa entre 67.00% a 73.00%, y con una velocidad del viento promedio de 5.53m/s con dirección predominante desde el Nor Este hacia el Sur Oeste.

Figura 16

Datos climáticos para la microcuenca del río Zapatilla del mes de diciembre





En la figura 16, se aprecia los datos climáticos para la microcuenca del río Zapatilla especificado para el mes de diciembre; indicando que presenta una precipitación que fluctúa entre 46.00mm a 60.00mm; además una temperatura que fluctúa entre 15.60°C a 16.60°C; también una humedad relativa que fluctúa entre 73.50% a 76.50%, y con una velocidad del viento promedio de 5.35m/s con dirección predominante desde el Nor Este hacia el Sur Oeste.

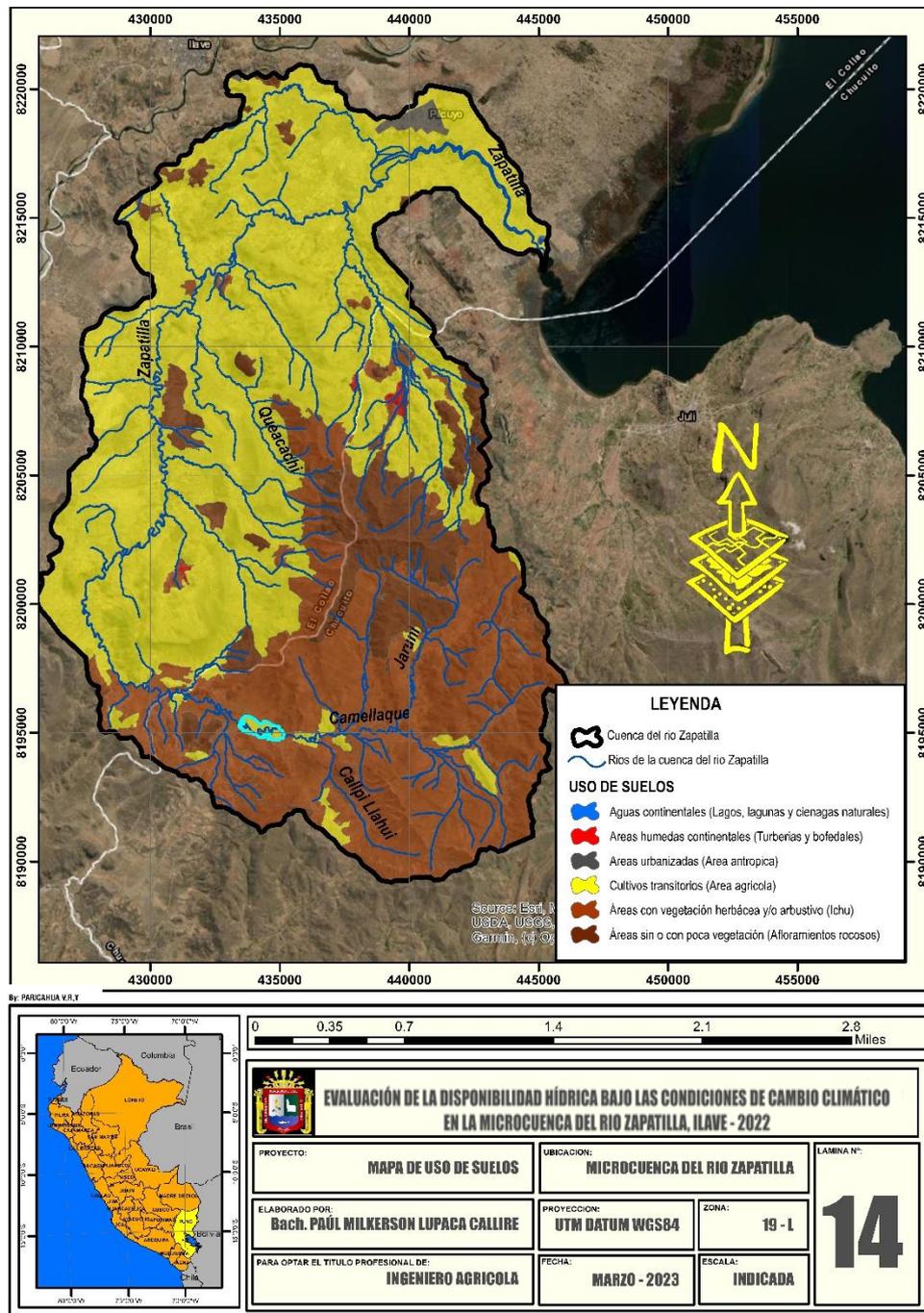
4.1.2. Determinación de datos de uso de suelo

4.1.2.1. Área

La microcuenca del río Zapatilla abarca una extensión territorial de 428.60km², todo ello está conformado por los diferentes usos de suelo; que a continuación se ilustra:

Figura 17

Uso de suelos de la microcuenca del río Zapatilla



En la figura 17, se aprecia el uso de suelo de la microcuenca del río Zapatilla; indicando que presenta diferentes usos de suelos; siendo en este caso de: **1)** Aguas continentales (Lagos, lagunas y cienagas naturales); **2)** Áreas húmedas continentales (Turberias y bofedales); **3)** Áreas



urbanizadas (Área antrópica); **4**) Cultivos transitorios (Área agrícola); **5**) Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo (Ichu); y **6**) Áreas sin o con poca vegetación (Afloramientos rocosos)

En la tabla 5, se aprecia el Área de uso de suelos en la microcuenca del río Zapatilla, indicando que el área de Aguas continentales (Lagos, lagunas y cienagas naturales) presenta una extensión territorial de 2.95km², equivalente al 0.69% del área; también las áreas húmedas continentales (Turberias y bofedales) presenta una extensión territorial de 2.95km², equivalente al 1.12% del área, siendo la que menor extensión abarca en la microcuenca; además las áreas urbanizadas (Área antrópica) presentan una extensión territorial de 1.92km², equivalente al 0.45% del área; de igual manera los cultivos transitorios (Área agrícola) presentan una extensión territorial de 242.49km², equivalente al 56.58% del área, siendo este el que mayor predomina en la microcuenca; seguido por las áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo (Ichu) que presentan una extensión territorial de 138.01km², equivalente al 32.20% del área; y finalmente las áreas sin o con poca vegetación (Afloramientos rocosos) presentan una extensión territorial de 42.11km², equivalente al 9.83% del área respectivamente.

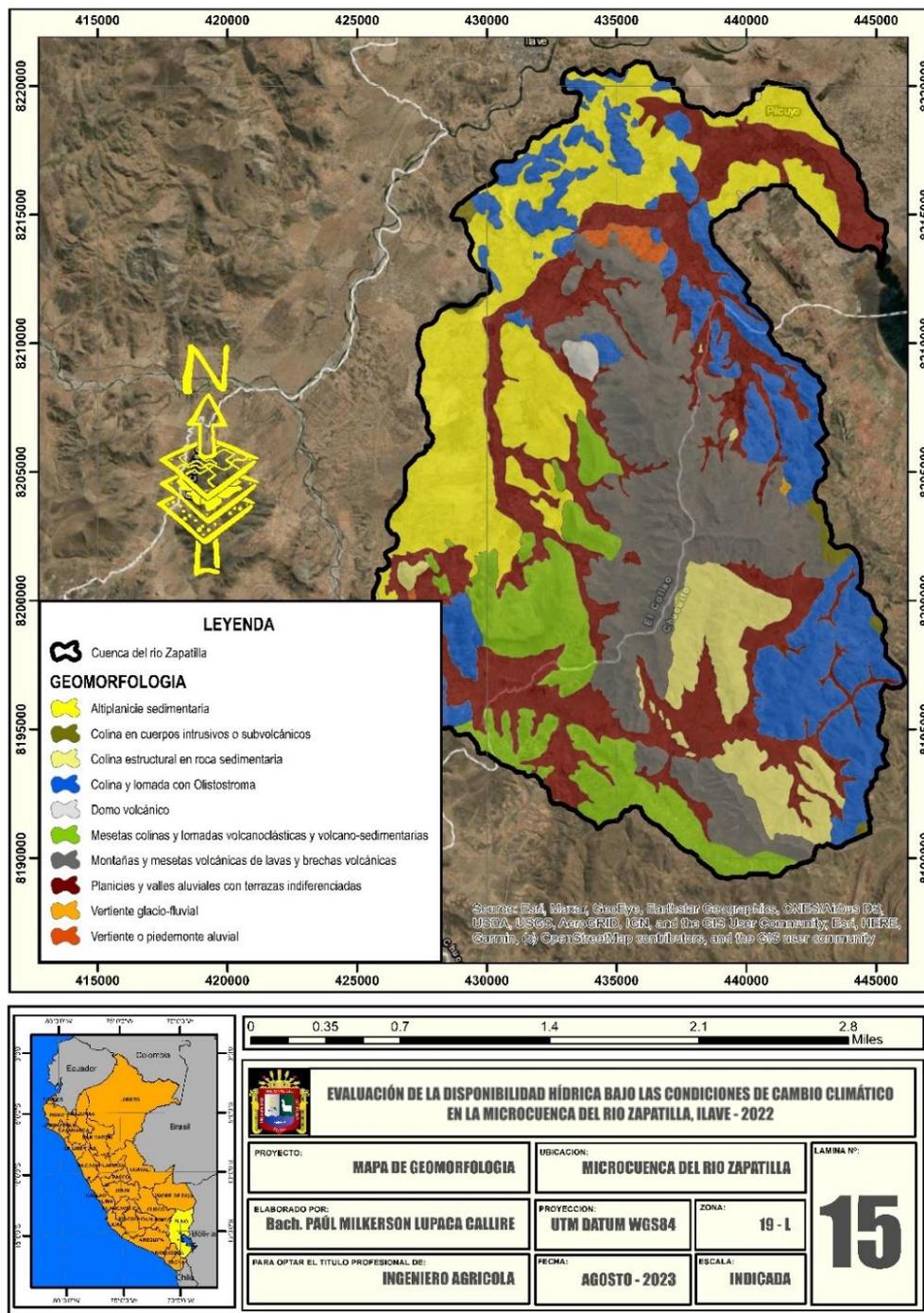
Tabla 5

Área de uso de suelos en la microcuenca del río Zapatilla

N°	Uso de suelos	Área (km ²)	Área (%)
1	Aguas continentales (Lagos, lagunas y cienagas naturales)	2.95	0.69
2	Áreas húmedas continentales (Turberias y bofedales)	1.12	0.26
3	Áreas urbanizadas (Área antrópica)	1.92	0.45
4	Cultivos transitorios (Área agrícola)	242.49	56.58
5	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo (Ichu)	138.01	32.20
6	Áreas sin o con poca vegetación (Afloramientos rocosos)	42.11	9.83
TOTAL		428.60	100.00

Figura 18

Geomorfología de la microcuenca del río Zapatilla



En la figura 18, se aprecia la geomorfología de la microcuenca del río Zapatilla; indicando que presenta las siguientes geomorfologías: Altiplanicie sedimentaria, Colina en cuerpos intrusivos o subvolcánicos,



Colina estructural en roca sedimentaria, Colina y lomada con Olistostroma, Domo volcánico, Mesetas colinas y lomadas volcanoclásticas y volcano-sedimentarias, Montañas y mesetas volcánicas de lavas y brechas volcánicas, Planicies y valles aluviales con terrazas indiferenciadas, Vertiente glacio-fluvial, Vertiente o piedemonte aluvial respectivamente

4.1.2.2. Coeficientes de uso de suelo (Kc)

En la tabla 6, se aprecia el coeficiente de cultivo (Kc), de la microcuenca del río Zapatilla, indicando que los usos de suelo de: áreas urbanizadas (Área antrópica); cultivos transitorios (Área agrícola); áreas sin o con poca vegetación (Afloramientos rocosos), presentan un K de 1.00, además las áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo (Ichu) presentan un K de 2.00; y también las áreas húmedas continentales (Turberias y bofedales) presentan un K de 3.00; y finalmente las aguas continentales (Lagos, lagunas y cienagas naturales) presentan un K de 3.50.

Tabla 6

Coefficiente de cultivo de los usos de suelo de la microcuenca del río Zapatilla

N°	Uso de suelos	Coefficiente de Cultivo (Kc)
1	Aguas continentales (Lagos, lagunas y cienagas naturales)	3.50
2	Áreas húmedas continentales (Turberias y bofedales)	3.00
3	Áreas urbanizadas (Área antrópica)	1.00
4	Cultivos transitorios (Área agrícola)	1.00
5	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo (Ichu)	2.00
6	Áreas sin o con poca vegetación (Afloramientos rocosos)	1.00

Nota. Obtenido de (ANA, 2019)

4.1.2.3. Capacidad de agua del suelo (SW)

En la tabla 7, se aprecia la capacidad de agua del suelo (SW), de la microcuenca del río Zapatilla, especificando que las aguas continentales (Lagos, lagunas y cienagas naturales) presentan un SW de 1100; las áreas húmedas continentales (Turberias y bofedales) presentan un SW de 1000; las áreas urbanizadas (Área antrópica) presentan un SW de 100; los cultivos transitorios (Área agrícola) presentan un SW de 300; las áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo (Ichu) presentan un SW de 240 y finalmente las áreas sin o con poca vegetación (Afloramientos rocosos) presentan un SW de 620.

Tabla 7

Capacidad del agua del suelo de los usos de suelo de la microcuenca del río Zapatilla

N°	Uso de suelos	Capacidad de agua del suelo (SW)
1	Aguas continentales (Lagos, lagunas y cienagas naturales)	1100
2	Áreas húmedas continentales (Turberias y bofedales)	1000
3	Áreas urbanizadas (Área antrópica)	100
4	Cultivos transitorios (Área agrícola)	300
5	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo (Ichu)	240
6	Áreas sin o con poca vegetación (Afloramientos rocosos)	620

Nota: Según el modelo (WEAP, 2009)

4.1.2.4. Capacidad de agua profunda (DW)

Según la Autoridad Nacional del Agua (2019); para las zonas altoandinas; como es el caso del área en estudio (microcuenca del río Zapatilla); presentan una capacidad de agua profunda (DW) de 3600.

4.1.2.5. Factor de resistencia de la escorrentía (RRF)

En la tabla 8, se aprecia el factor de resistencia de la escorrentía (RRF), de la microcuenca del río Zapatilla, indicando que las aguas continentales (Lagos, lagunas y cienagas naturales) presentan un RRF de 1.00; las áreas húmedas continentales (Turberias y bofedales) presentan un RRF de 8.20; las áreas urbanizadas (Área antrópica) presentan un RRF de 1.00; los cultivos transitorios (Área agrícola) presentan un RRF de 0.50; las áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo (Ichu) presentan un RRF de 1.70 y finalmente las áreas sin o con poca vegetación (Afloramientos rocosos) presentan un RRF de 3.30 respectivamente.

Tabla 8

Factor de resistencia de la escorrentía (RRF) de los usos de suelo de la microcuenca del río Zapatilla

N°	Uso de suelos	Factor de resistencia de la escorrentía (RRF)
1	Aguas continentales (Lagos, lagunas y cienagas naturales)	1.00
2	Áreas húmedas continentales (Turberias y bofedales)	8.20
3	Áreas urbanizadas (Área antrópica)	1.00
4	Cultivos transitorios (Área agrícola)	0.50
5	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo (Ichu)	1.70
6	Áreas sin o con poca vegetación (Afloramientos rocosos)	3.30

Nota. Obtenido de (ANA, 2019)

4.1.3. Disponibilidad hídrica del año 2022 (actual)

Para la determinación de la disponibilidad hídrica, se usó los datos anteriormente encontrados los cuales fueron interpuestos en el Software WEAP, formando un esquema conceptual del modelo, especificadas para la microcuenca del río Zapatilla apreciada en la siguiente figura:

Figura 19

Modelo WEAP para la microcuenca del río Zapatilla

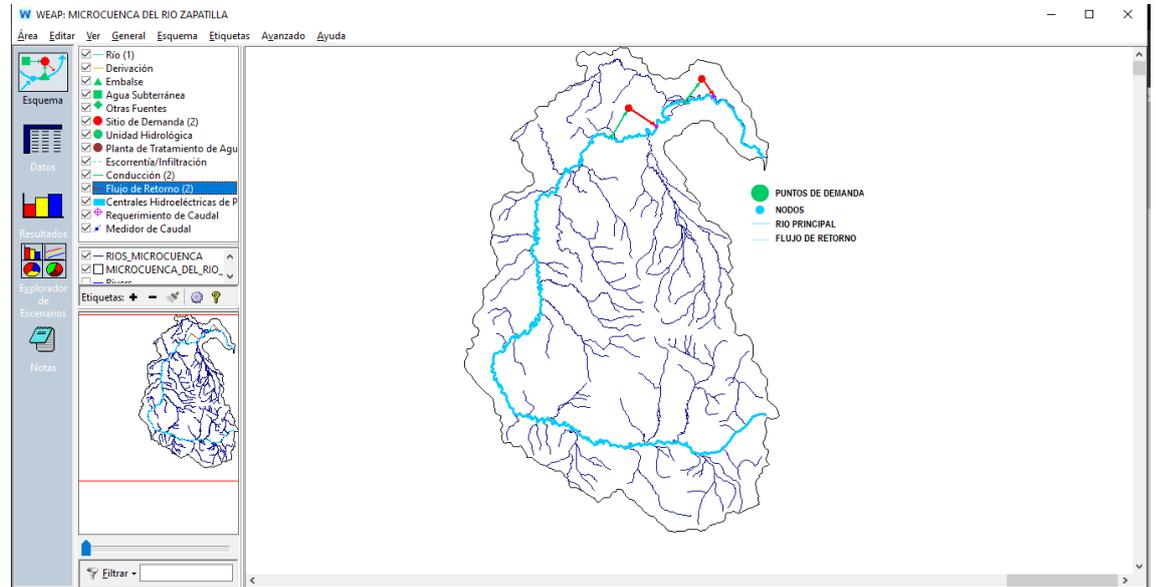
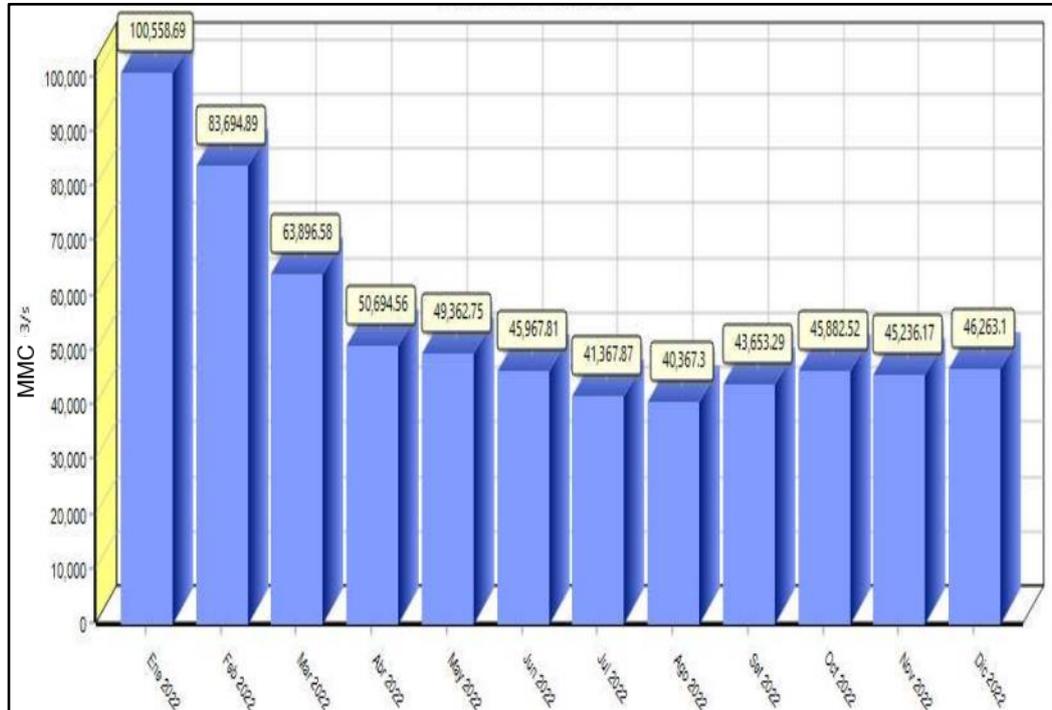


Figura 20

Disponibilidad hídrica de la microcuenca del río Zapatilla del año 2022



Nota. Elaboración propia basado en el software WEAP



En la figura 20, se aprecia la disponibilidad hídrica de la microcuenca del río Zapatilla del año 2022, indicando que la disponibilidad hídrica por mes es de: Enero con 100558.69 mil metros cúbicos-MMC; Febrero con 83694.89 MMC; Marzo con 63896.58 MMC; Abril con 50694.56 MMC; Mayo con 49362.75 MMC; Junio con 45967.81 MMC; Julio con 41367.87 MMC; Agosto con 40367.3 MMC; Septiembre con 43653.29 MMC; Octubre con 45882.52 MMC; Noviembre con 45236.17 MMC; y diciembre con 46263.1 MMC; presentando una disponibilidad hídrica global al año 2022 de 656945.53 MMC respectivamente.

Los resultados obtenidos en la presente investigación con respecto al estudio realizado Olivera (2019), es diferente debido a encontró una disponibilidad hídrica de 11219.780 MMC en la cuenca del río Shullcas para el año 2019. Este trabajo de investigación, en comparación, es diferente porque utilizó la evapotranspiración de los cultivos y la radiación solar extraterrestre además de los datos habituales en su modelación utilizando el Software WEAP. Todo ello con el fin de determinar la disponibilidad de agua para el año 2019, todo ello para un área aproximada de 223.11km²; Así también con respecto al estudio de Pilares (2018), presentan características distintas encontrando que la cuenca del río Cabanillas del Altiplano de Puno, que cubre un área de 2845km², tiene una disponibilidad de agua para el año 2018 de 643674.000 MMC. Esto difiere de otros estudios debido a que se utilizó el software WEAP para modelar tanto el consumo de agua de las zonas agrícolas como de las zonas de uso poblacional.

4.2. PROYECTAR LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA FUTURA PARA LOS AÑOS 2050 Y 2100 BAJO LAS CONDICIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO UTILIZANDO LOS ESCENARIOS RCP 4.5 Y RCP 8.5.

Con respecto al objetivo específico 2; Proyectar la disponibilidad hídrica futura para los años 2050 y 2100 bajo las condiciones de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5 en la microcuenca del río Zapatilla; para el cumplimiento de presente objetivo se realizó la creación de dos escenarios climáticos al año 2050 y 2100; presentando los siguientes resultados:

4.2.1. Creación de escenarios de cambio climático

Para la creación de escenarios de cambio climático; se utilizaron las precipitaciones y temperaturas mensuales del área en estudio ya desarrolladas anteriormente; aplicando dos trayectorias de vías representativas de concentraciones” de gases invernaderos (en inglés: Representative Concentration Pathways “RCP”), comprendiendo un escenario estable (RCP4.5), u escenario óptimo con respecto a los gases de efecto invernadero - GEI, y un escenario pésimo con un muy alto nivel de emisiones de GEI (RCP8.5), todo ello realizado para el **año 2050 y 2100** respectivamente

Tabla 9

Escenarios climáticos multianuales para los andes peruanos

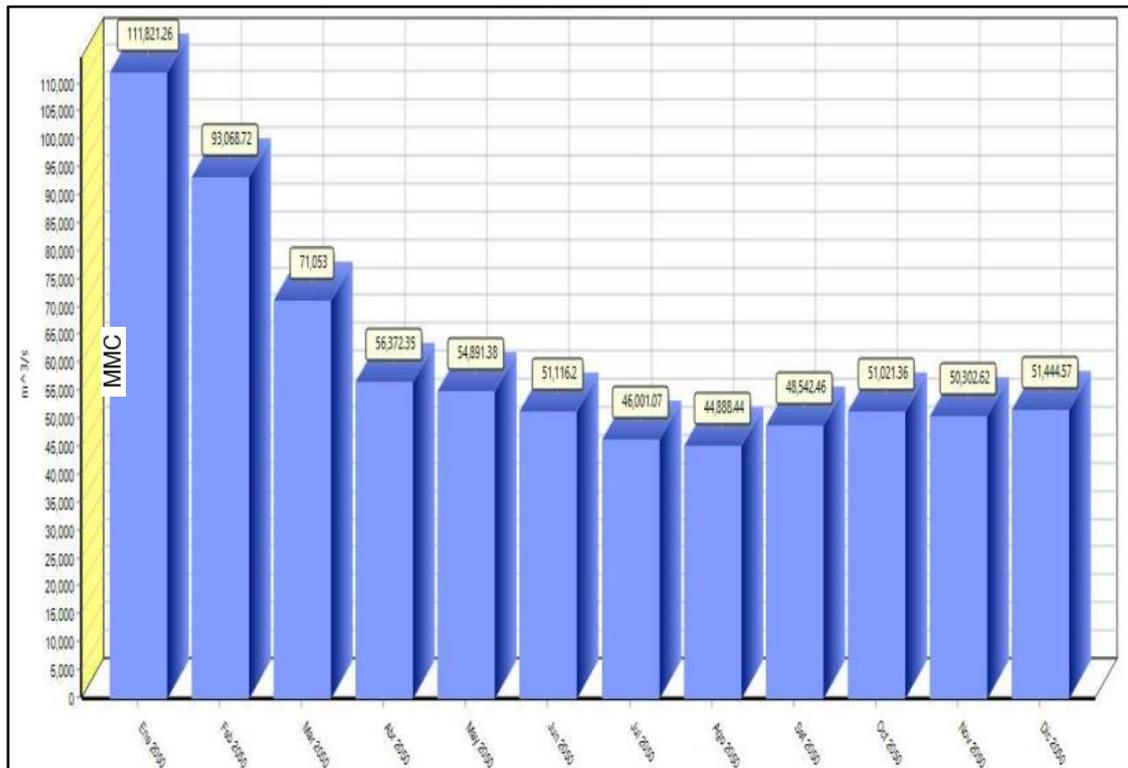
RCP	FR	Tendencia	CO ₂ al año 2100	Aumento de precipitación	Aumento de temperatura
RCP4.5	2.6 W/m ²	Estable	650ppm	0.2 – 0.5%	0.4 °C
RCP8.5	8.5 W/m ²	Creciente	1370 ppm	2 – 3 %	3.0 °C

Nota. Obtenido de (MINAM, 2021)

4.2.1.1. Disponibilidad hídrica futura al año 2050

Figura 21

Disponibilidad hídrica de la microcuenca del río Zapatilla al año 2050 con un escenario climático estable “RCP 4.5”

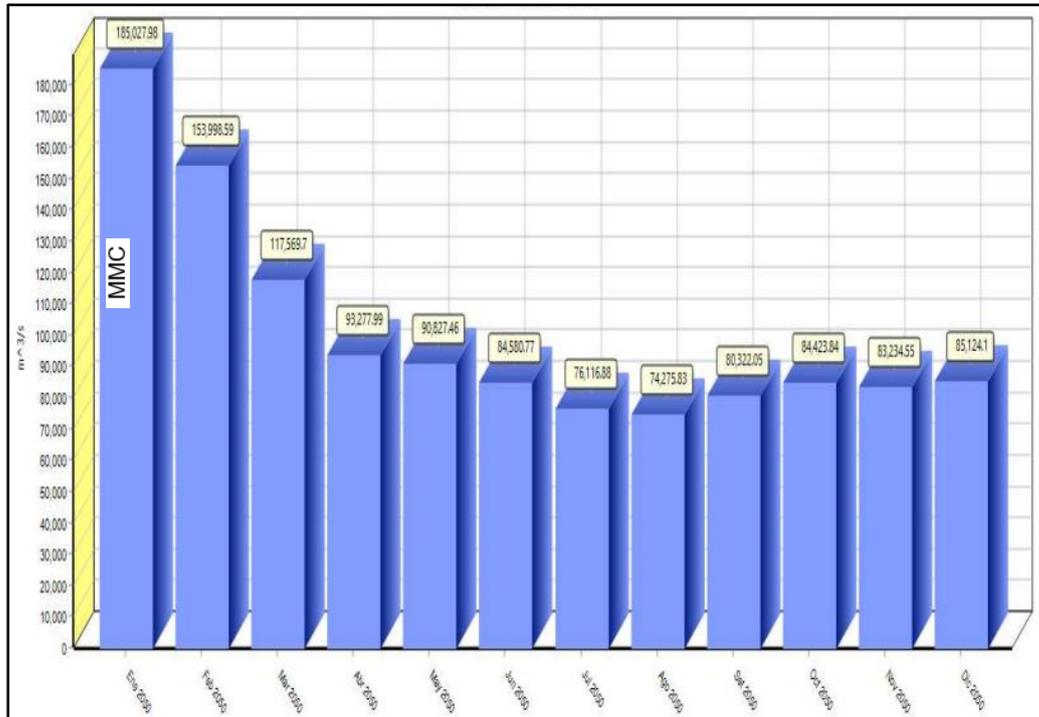


Nota. Elaboración propia basado en el software WEAP

En la figura 21, se aprecia la disponibilidad hídrica de la microcuenca del río Zapatilla al año 2050 con un escenario climático estable “RCP 4.5”, indicando que la disponibilidad hídrica por mes será de: Enero con 111821.26MMC; Febrero con 93068.72MMC; Marzo con 71053.00MMC; Abril con 56372.35MMC; Mayo con 54891.38MMC; Junio con 51116.20MMC; Julio con 46001.07MMC; Agosto con 44888.44MMC; Septiembre con 48542.46MMC; Octubre con 51021.36MMC; Noviembre con 50302.62MMC; y diciembre con 51444.57 MMC, respectivamente.

Figura 22

Disponibilidad hídrica de la microcuenca del río Zapatilla al año 2050 con un escenario climático pésimo “RCP 8.5”



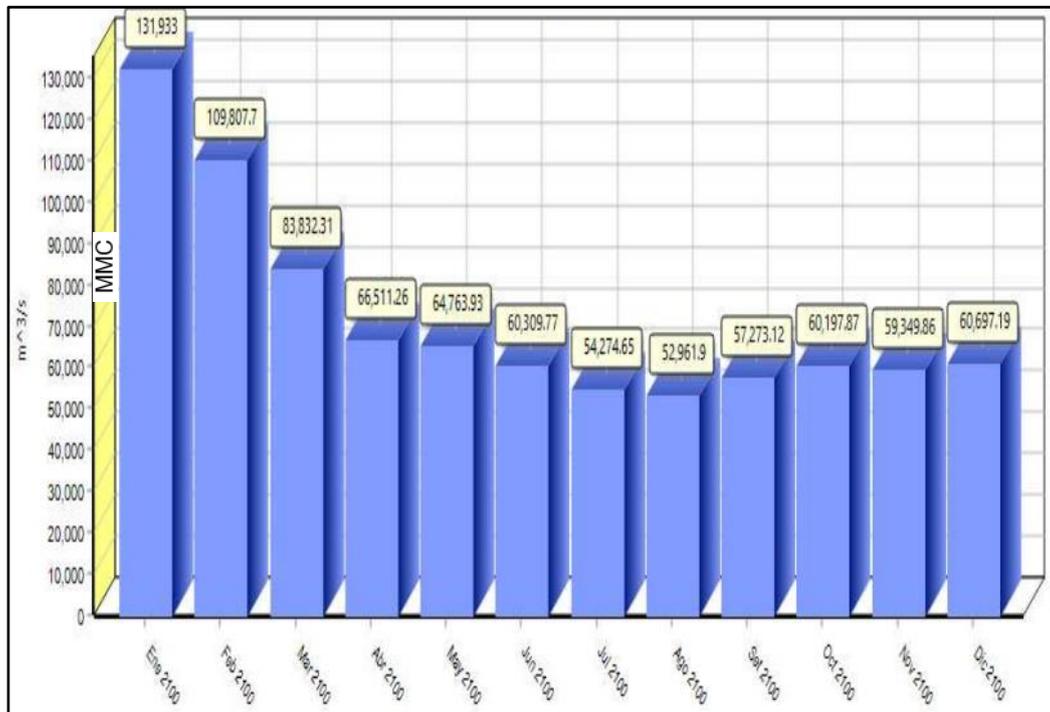
Nota. Elaboración propia basado en el software WEAP

En la figura 22, se aprecia la disponibilidad hídrica de la microcuenca del río Zapatilla al año 2050 con un escenario climático pésimo “RCP 8.5”, indicando que la disponibilidad hídrica por mes será de: Enero con 185027.99MMC; Febrero con 153998.60MMC; Marzo con 117569.71MMC; Abril con 93277.99MMC; Mayo con 90827.46MMC; Junio con 84580.77MMC; Julio con 76116.88MMC; Agosto con 74275.83MMC; Septiembre con 80322.05MMC; Octubre con 84423.84MMC; Noviembre con 83234.55MMC; y diciembre con 85124.10MMC, respectivamente.

4.2.1.2. Disponibilidad hídrica futura al año 2100

Figura 23

Disponibilidad hídrica de la microcuenca del río Zapatilla al año 2100 con un escenario climático estable “RCP 4.5”

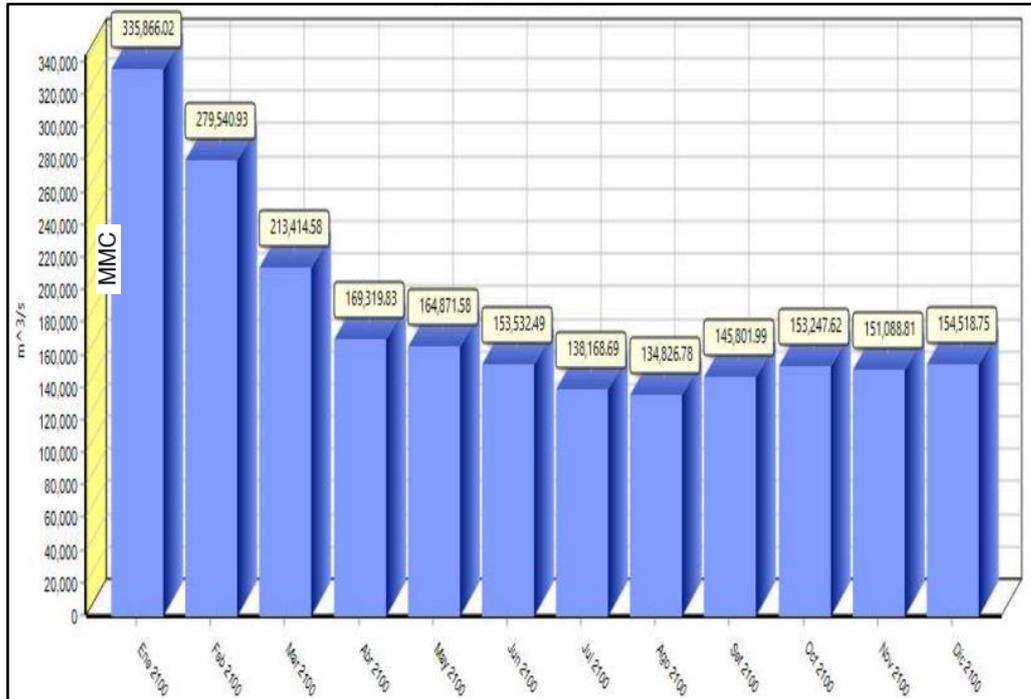


Nota. Elaboración propia basado en el software WEAP

En la figura 23, se aprecia la disponibilidad hídrica de la microcuenca del río Zapatilla al año 2100 con un escenario climático estable “RCP 4.5”, indicando que la disponibilidad hídrica por mes será de: Enero con 131933.00MMC; Febrero con 109807.70MMC; Marzo con 83832.31MMC; Abril con 66511.26MMC; Mayo con 64763.93MMC; Junio con 60309.77MMC; Julio con 54274.65MMC; Agosto con 52961.90MMC; Septiembre con 57273.12MMC; Octubre con 60197.87MMC; Noviembre con 59349.86MMC; y diciembre con 60697.19MMC, respectivamente.

Figura 24

Disponibilidad hídrica de la microcuenca del río Zapatilla al año 2100 con un escenario climático pésimo “RCP 8.5”



Nota. Elaboración propia basado en el software WEAP

En la figura 24, se aprecia la disponibilidad hídrica de la microcuenca del río Zapatilla al año 2100 con un escenario climático pésimo “RCP 8.5”, indicando que la disponibilidad hídrica por mes será de: Enero con 335866.02MMC; Febrero con 279540.93MMC; Marzo con 213414.58MMC; Abril con 169319.83MMC; Mayo con 164871.59MMC; Junio con 153532.49MMC; Julio con 138168.69MMC; Agosto con 134826.78MMC; Septiembre con 145801.99MMC; Octubre con 153247.62MMC; Noviembre con 151088.81MMC; y diciembre con 154518.75MMC, respectivamente.

4.2.2. Comparación de la disponibilidad hídrica frente a los diferentes escenarios climáticos

En la tabla 10, se aprecia la comparación de la disponibilidad hídrica frente a los diferentes escenarios climáticos; indicando que la disponibilidad hídrica al año 2050 frente a un escenario climático estable “RCP 4.5” alcanzara un aproximado de 730523.4294MMC; mientras que a un escenario climático pésimo “RCP 8.5” alcanzara 1208779.775MMC; no obstante al año 2100; existirá una disponibilidad hídrica frente a un escenario climático estable “RCP 4.5” de 861912.5354MMC; mientras que a un escenario climático pésimo “RCP 8.5” alcanzara 2194198.07MMC

Tabla 10

Comparación de la disponibilidad hídrica frente a los diferentes escenarios climáticos

Disponibilidad hídrica (MMC)				
Actual (año 2022)	Futura (año 2050)		Futura (año 2100)	
	RCP 4.5	RCP 8.6	RCP 4.5	RCP 8.6
656945.53	730523.4294	1208779.775	861912.5354	2194198.07

Manifestando que la disponibilidad hídrica siempre será mayor frente a un escenario climático pésimo “RCP 8.5” con respecto a una escenario climático estable “RCP 4.5” tanto para el año 2050 y 2100; porque en este contexto existirá una elevada emisión de gases de efecto invernadero; que agravara las condiciones climáticas; como es el caso de las precipitaciones extremas; el cual se precipitara en la superficie y se desplazara por escorrentía e infiltración hacia las zonas bajas

de la microcuenca; conllevando a generar un incremento en los caudales de los ríos, y por ende provocar inundaciones en zonas de topografía plana.

Los resultados comparados con Olivera (2019), es diferente porque proyecto la cantidad de agua que estará disponible en la cuenca del río Shullcas desde 2019 hasta 2039; encuentro que la disponibilidad oscilará entre 12734,45 MMC en un escenario estable (RCP4.5) y 14915,856 MMC en un escenario terrible (RCP8.5); esta disponibilidad de agua será mayor que su año base de 2019; esto se debe principalmente al cambio climático, que fomenta mayores precipitaciones y provoca la obstrucción de los flujos de agua; Así también los resultados obtenidos con respecto al estudio de Pilares Hualpa, y otros (2018), presentan características distintas el cual proyecto la disponibilidad hídrica bajo condiciones de cambio climático para la cuenca del río Cabanillas del Altiplano Puneño en los años 2018 a 1999, encontrando una disponibilidad hídrica tanto en el escenario climático estable "RCP 4.5" como en el escenario muy malo "RCP 4.5" superior a la disponibilidad hídrica base en 2018, que fue de 643674.000 MMC. Este aumento se debe al cambio climático, que tiende a aumentar la t. Debería prepararse un plan de adaptación al cambio climático, coordinado por los gobiernos regionales y locales, a la luz de los posibles aumentos futuros de la disponibilidad de agua teniendo en cuenta las características geográficas y fisiográficas.

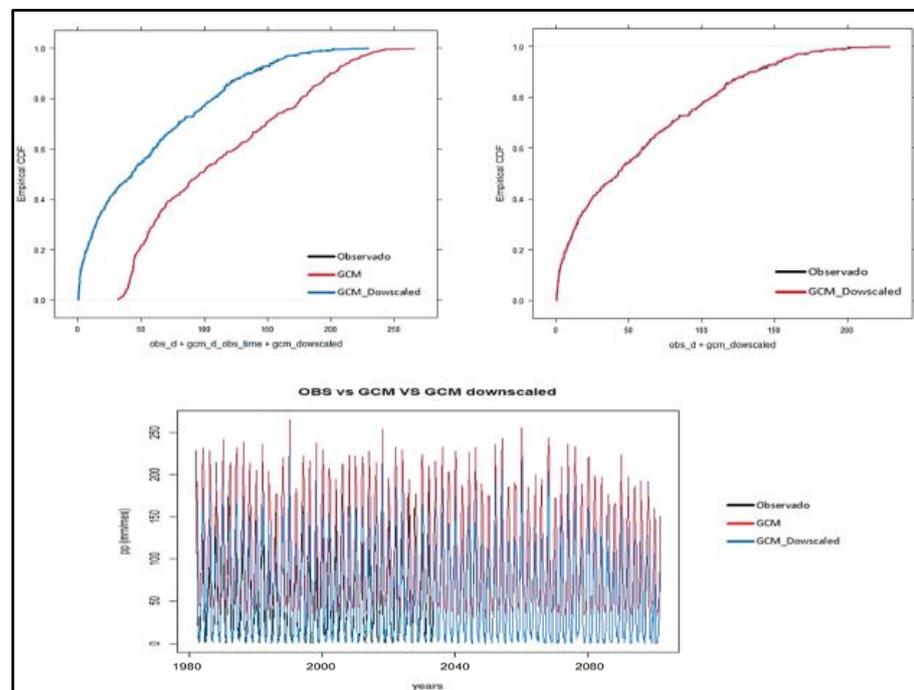
4.2.2.1. Reducción de escala o downscaling

En la figura 25, se muestra el proceso de downscaling realizado a la variable precipitación en el modelo ACCESS-ESM1-5, en la parte superior izquierda se muestra los datos observados, los datos del GCM y el GCM downscaled. En la parte superior derecha de la figura se muestra los

resultados después de la interpolación inversa a la distancia (IDW), se observa que el ajuste de datos se sobrepone a los datos observados teniendo una semejanza entre los valores medios mensuales del conjunto de datos observados y los datos corregidos del GCM. Finalmente, en la parte inferior de la figura se muestra los resultados de la interpolación para el periodo histórico 1984 – 2014 y para el periodo futuro 2050 – 2100, esto después de realizar el ajuste de sesgo en la precipitación es decir se ajustaron las estadísticas de la media de los datos del GCM para que coincidieran con la media de los datos históricos. Por medio de estas correcciones se reducen los riesgos de que los datos sean excesivos en el escenario futuro.

Figura 25

Reducción de escala del modelo ACCESS-ESM1-5



En la tabla 16 se detalla el análisis estadístico para la variable precipitación y temperatura que obtuvieron un buen desempeño para la microcuenca del río Zapatilla, en este caso los valores de R^2 oscilan entre 0.855 para precipitación y 0.790 para temperatura, esto indica que los modelos tienen una capacidad para explicar la variabilidad en las precipitaciones y temperaturas. Además, los valores de RMSE son relativamente bajos lo que sugiere que los ajustes son buenos, de la misma forma los valores del coeficiente de correlación múltiple oscilan entre 0.936 y 0.889 estos valores indican que existe una buena correlación entre las variables.

Tabla 11

Valores estadísticos de la variable precipitación y temperatura

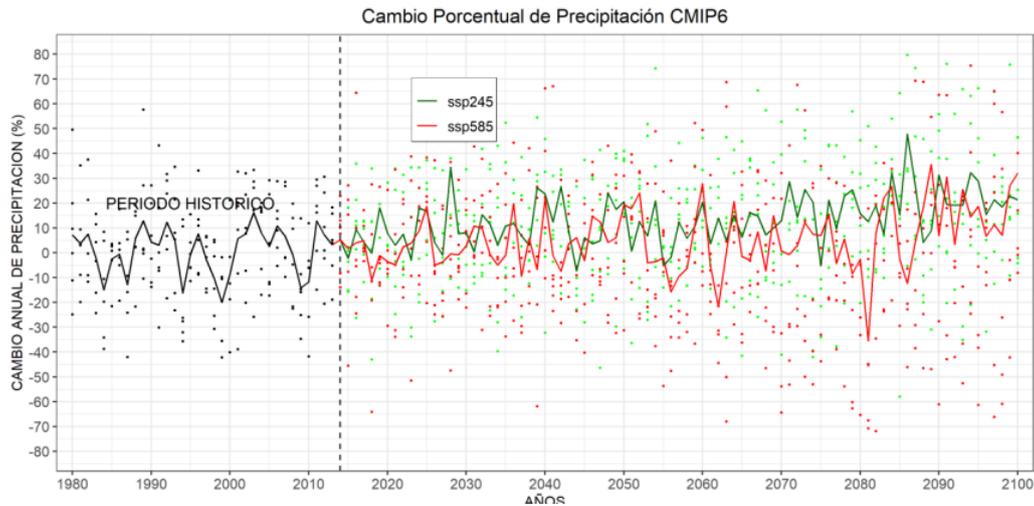
Variable	MODELO	R^2	RMSE	Coef. Correl. Múltiple
Precipitación	ACCESS-ESM1-5	0.855	1.968	0.936
Temperatura		0.790	0.686	0.889

4.2.2.2. Incertidumbre del modelo climático para la precipitación

En esta sección se realizó la cuantificación de la incertidumbre del conjunto de modelos climáticos representativos (Climate ensemble) para la región en estudio; el análisis del cambio porcentual de la precipitación acumulada anual de los modelos representativos del CMIP6, en dos escenarios la línea roja y verde indican en cambio porcentual promedio del conjunto de modelos y los puntos indican los valores en cambio porcentual de un modelo.

Figura 26

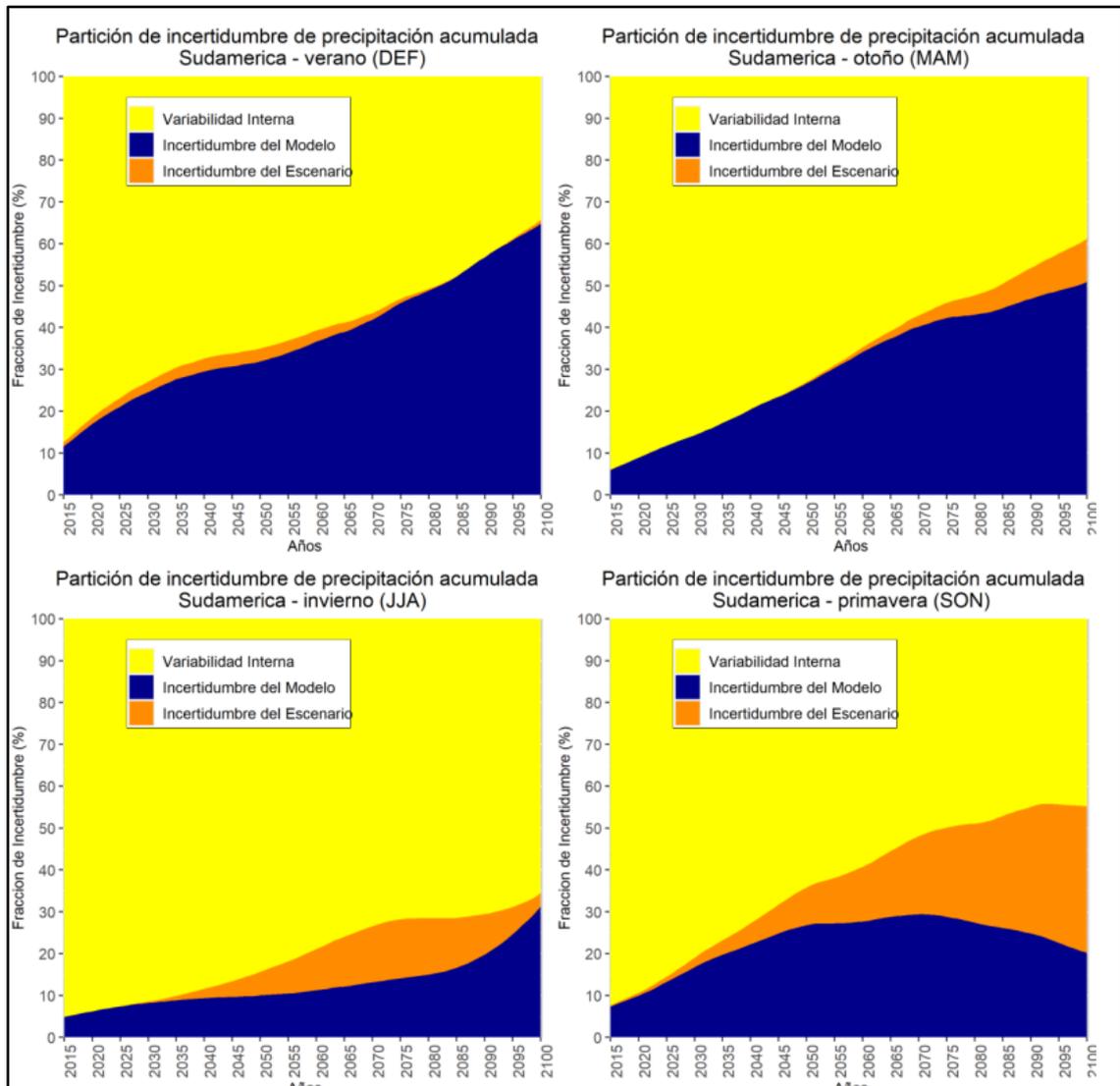
Cambio porcentual de precipitación para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5



En la figura 26, los modelos del CMIP6 en sus escenarios RCP4.5 y RCP8.5 el cambio porcentual promedio de la precipitación diverge en la proyección de horizonte medio centrado al 2050, para el escenario RCP4.5 el cambio porcentual promedio se mantiene entre 0 y +20% hasta el 2080 donde se presenta un cambio de +45% indicando que hay un aumento de la precipitación. El escenario RCP8.5 presenta mayores valores negativos de cambio porcentual de precipitación, indicando que la precipitación disminuya sobre la región de estudio en un 20% y 40 para el año 2060 y 2080 respectivamente.

Figura 27

Fracción de incertidumbre precipitación CMIP6



En la figura 27, la fracción de contribución de las fuentes de incertidumbre de la precipitación acumulada estacional de los modelos CMIP6, la variabilidad interna y la incertidumbre del escenario son los factores dominantes en todas las estaciones, para la estación de verano se observa que la variabilidad interna, la incertidumbre del modelo, la incertidumbre del escenario presenta valores de 60%, 30% y 10% respectivamente, hacia mediados de siglo, luego 35% y 65% hacia finales

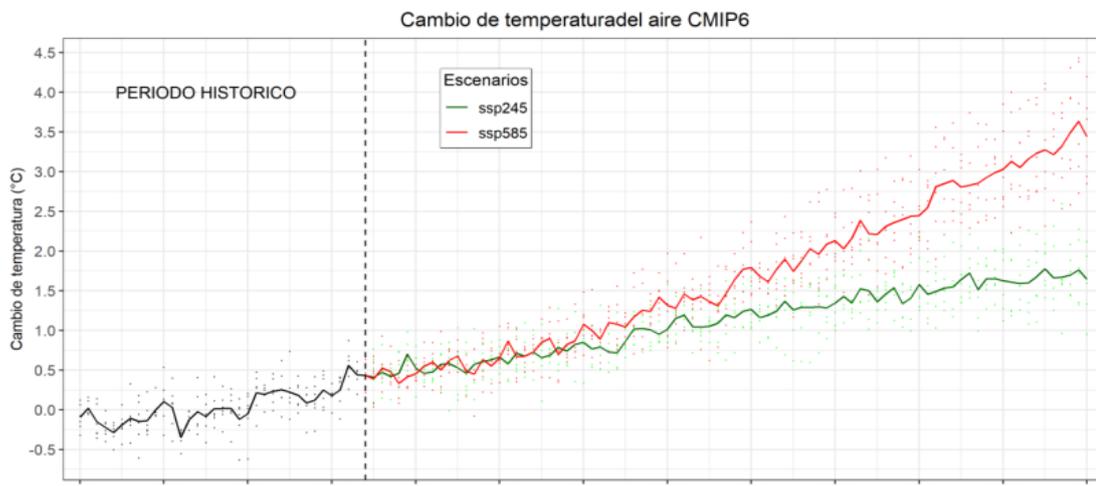
de siglo. En la estación de otoño se observa que la variabilidad interna, la incertidumbre del modelo, presentan valores de 70% y 30% respectivamente hacia mediados de siglo, luego 40% y 50% hacia finales de siglo evidenciando el aumento de incertidumbre del escenario en 10%. En la estación de invierno se observa que la variabilidad interna, la incertidumbre del modelo, la incertidumbre del escenario presenta valores de 85%, 10% y 5% respectivamente, hacia mediados de siglo, luego 70%, 25% y 5% hacia finales de siglo. %. En la estación de primavera se observa que la variabilidad interna, la incertidumbre del modelo, la incertidumbre del escenario presenta valores de 65%, 25% y 10% respectivamente, hacia mediados de siglo, luego 50%, 20% y 30% hacia finales de siglo.

4.2.2.3. Incertidumbre del modelo climático para la temperatura

El análisis del cambio de la temperatura del aire promedio anual de los modelos representativos del CMIP6, en dos escenarios la línea roja y verde indican en cambio de la temperatura del aire promedio,

Figura 28

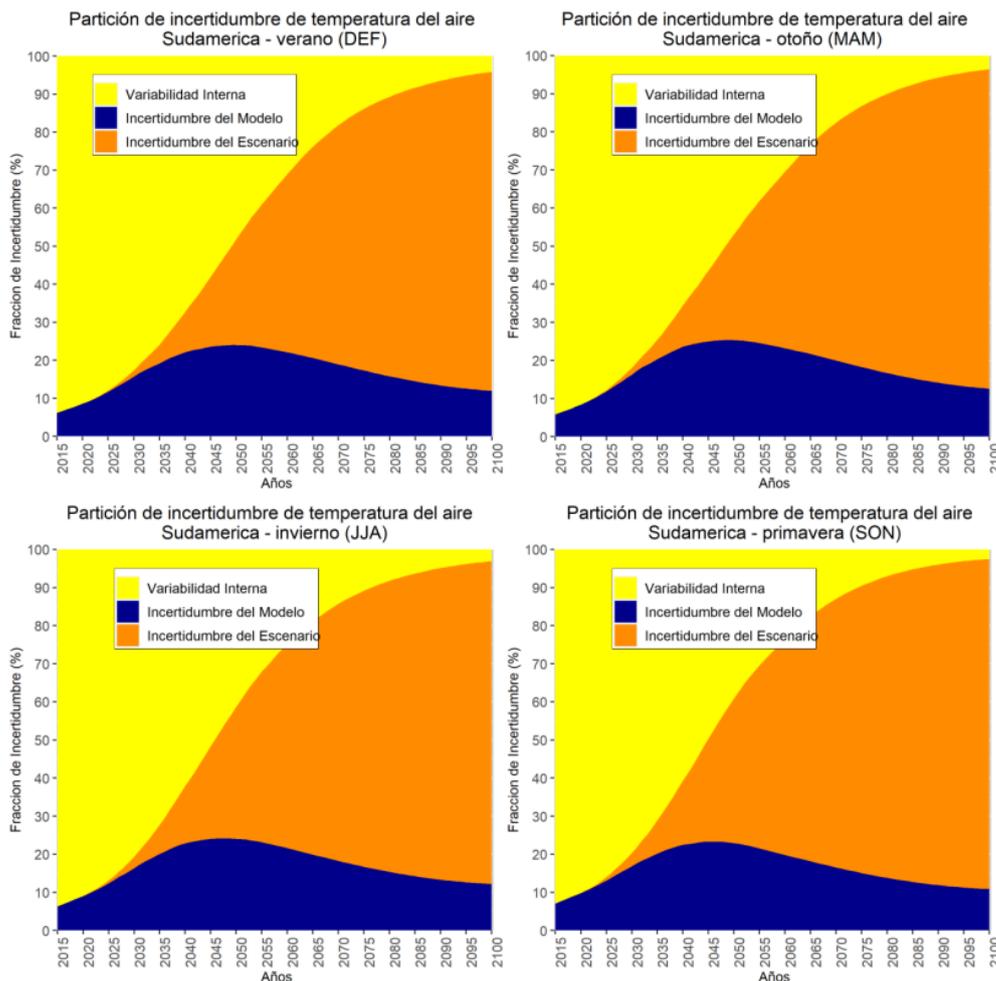
Cambio de temperatura del aire promedio para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5



En la figura 28, en sus escenarios RCP4.5 y RCP8.5 divergen en la proyección en el año 2040, para el escenario RCP4.5 el cambio de temperatura promedio en las proyecciones de horizonte medio centrado al 2050 es $+1^{\circ}\text{C}$ y al horizonte lejano 2085 es $+1.6^{\circ}\text{C}$, además, el escenario RCP8.5 indica el cambio de temperatura promedio en las proyecciones de horizonte medio centrado al 2050 es $+1.3^{\circ}\text{C}$ y al horizonte lejano 2085 es $+2.8^{\circ}\text{C}$, evidenciando que ante estos escenarios el aumento de la temperatura del aire es notable.

Figura 29

Fracción de incertidumbre temperatura CMIP6





En la figura 29, se aprecia la fracción de contribución de las fuentes de incertidumbre de la temperatura del aire promedio estacional de los modelos CMIP6, indican que, de la variabilidad interna, la incertidumbre del modelo y la incertidumbre del escenario predominan hacia mediados de siglo, estos factores cambian hacia finales de siglo siendo la incertidumbre del modelo y la incertidumbre del escenario las predominante. Para la estación de verano y otoño se observa que la variabilidad interna, la incertidumbre del modelo, la incertidumbre del escenario presenta valores de 50%, 25% y 25% respectivamente, hacia mediados de siglo, luego 2%, 13% y 85% hacia finales de siglo. Para la estación de invierno y primavera se observa que la variabilidad interna, la incertidumbre del modelo, la incertidumbre del escenario presenta valores de 45%, 22% y 33% respectivamente, hacia mediados de siglo, luego 2%, 10% y 88% hacia finales de siglo

Las principales diferencias entre las proyecciones de temperatura y de precipitación; son que la variabilidad interna e incertidumbre del modelo son los factores que predominan en las precipitaciones hacia mitad de siglo y la incertidumbre del escenario aumente significativamente hacia finales de siglo solo en la estación primavera, para la temperatura las tres incertidumbres predominan hacia mitad de siglo y hacia finales predominan la incertidumbre del modelo e incertidumbre del escenario.

El análisis para proyecciones de precipitación acumulada para verano estación lluviosa en la región en estudio acontezcan aumentos o disminución en las próximas décadas, que están asociadas a fluctuaciones



naturales o a la variabilidad caótica del clima a escala global en un 30 60% para mitad de siglo y 35% para finales de siglo y a la dispersión entre las diferentes respuestas climáticas obtenidas de los diferentes modelos para la misma configuración de forzamiento en un 30% hacia mitad de siglo y 65% hacia finales de siglo.

El análisis para proyecciones de temperatura promedio para verano presentan aumentos hasta de $+3.6^{\circ}\text{C}$ en RCP8.5 y $+1.8^{\circ}\text{C}$ en RCP4.5 hacia finales de siglo, que están asociadas a fluctuaciones naturales o a la variabilidad caótica del clima a escala global en un 50% para mitad de siglo y disminuyen hasta 2% para finales de siglo, así mismo, el futuro poco conocido de las emisiones de gases de efecto invernadero va en aumento desde 25% para mitad de siglo y hasta 85% para finales de siglo.

Esto implica que, para las próximas décadas, los tomadores de decisiones deben considerar que la alta variabilidad natural es la principal fuente de incertidumbre hacia mediados de siglo en las proyecciones de precipitación, y que la incertidumbre del escenario debe ser considerada de importancia en las proyecciones de temperatura en la región Puno.

4.2.3. Calidad del agua del rio Zapatilla

En la tabla 12, se aprecia la calidad del agua del rio Zapatilla en sus 3 principales tributarios, indicando que lo únicos parámetros que no cumplen el ECA-Categoría 3-Riego de vegetales y bebida de animales, es el oxígeno disuelto, demanda biológica de oxígeno y demanda química de oxígeno; mientras que la

temperatura, pH, conductividad eléctrica, nitratos y coliformes fecales, si cumplen con el ECA. (Anexo 4)

Tabla 12

Calidad del agua del rio zapatilla

Calidad del agua del rio Zapatilla						
Parámetros	Und	Concentración			ECA Cat3	Cumplimiento de la norma
		Punto 1	Punto 2	Punto 3		
Temperatura	°C	13.44	14.54	13.15	Δ 3	Si cumple
pH	-	6.99	6.50	6.50	6.50 – 8.50	Si cumple
Conductividad eléctrica	μS/cm	544	864	718	5000	Si cumple
Oxígeno disuelto	mg/l	0.01	0.01	0.01	≥ 5	No cumple
DBO5	mg/l	100	140	180	15	No cumple
DQO	mg/l	200	220	242	40	No cumple
Nitratos	mg/l	18.6	24.80	24.80	100	Si cumple
Coliformes fecales	NMP/100 m	200	200	200	1000	Si cumple

4.3. DISEÑAR ZANJAS DE INFILTRACIÓN CON PARÁMETROS ESPECÍFICOS PARA LA MEJORA DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DEL RIO ZAPATILLA

En relación al objetivo específico 3 “Diseñar zanjas de infiltración con parámetros específicos para la mejora de la disponibilidad hídrica en la microcuenca del rio Zapatilla”; ante ello para mejorar la retención de la disponibilidad hídrica en la microcuenca del rio Zapatilla se ha propuesto el diseño de zanjas de infiltración, en las partes altas de la microcuenca (**Anexo 5, 6 y 7**).

4.3.1. Consideraciones para el diseño de zanjas de infiltración

Las zanjas deben ser paralelas y estar separadas por 2 metros. Para evitar que la suciedad vuelva a la zanja con la primera lluvia, el material retirado de la zanja debe colocarse a una distancia aproximada de 20 cm en la parte inferior de la zanja, formando un pequeño montículo.

En el espacio lateral entre cada zanja debe excavar un paso o canalón con una abertura de hasta 10 cm. Esto es crucial porque permitirá que el agua de una zanja llena fluya hacia otra, llenando cada zanja por igual y evitando la erosión y el derrumbe de las paredes de la zanja.

Además, se dejarán tabiques a lo largo de las zanjas muy largas para reducir el riesgo de desbordamiento de la zanja. Como resultado, la zanja se dividirá en numerosas secciones que almacenen la escorrentía y el agua de lluvia, facilitando la infiltración del agua en la mayor medida posible (MINAGRI, 2014); como resultado, se eligió una longitud de zanja de aproximadamente 5 metros.

4.3.2. Pendiente de cada zanja

Las zanjas de infiltración deben tener una pendiente de 1% hasta 2 % adecuándose a la topografía del terreno (Mamani E. , 2017); ante ello para el presente estudio se asume una pendiente de 1.00%.

4.3.3. Distanciamiento entre zanjas

La pendiente del terreno en las partes altas u nacimiento del río principal de la microcuenca del río Zapatilla, está dado a un 5% aproximadamente y según los criterios del MINAGRI (2014); para este tipo de pendiente con cobertura vegetal le corresponde un distanciamiento entre zanjas de 2.00metros.

4.3.4. Ancho de base y profundidad de la zanja de infiltración

Según las recomendaciones de Mamani (2017), para el tipo de suelo del altiplano puneño, establece que el ancho de base será de 0.5 m con una profundidad de 0.40m para la zanja de infiltración; por ello se asume dichos datos para el presente estudio.

4.3.5. Cálculo del distanciamiento entre zanjas

$$d = b + e$$

Donde:

b: base (0.50m)

e: espaciamiento (2.00m; según pendiente de terreno)

Reemplazando:

$$d = 0.50 + 2.00$$

$$d = 2.50m$$

El distanciamiento de cada lateral de las zanjas estará dado por 2.50m para la microcuenca del río Zapatilla



4.3.6. Cálculo de la superficie de captación

$$S = l * d$$

Donde:

l: Largo (5.00m según MINAGRI)

d: Distanciamiento

Reemplazando:

$$S = 5.00 * 2.50$$

$$S = 12.50 \text{ m}^2$$

La superficie de Captación de las aguas de lluvia estará dada en un área aproximada de 12.50m² para cada zanja de infiltración propuesta en la microcuenca del rio Zapatilla.

4.3.7. Coeficiente de escorrentía

Según Tabla de Ven TE Chow, Hidrología Aplicada, en suelos con una pendiente mayor a 7% y precipitaciones de 150mm a 200mm el coeficiente de escorrentía “e” es igual a **0.5**

4.3.8. Determinación del volumen de aportación a la zona de impluvio

$$V_{ai} = P * S * e$$

Donde:

P: Precipitación (184.82mm según la modelación en el área en estudio o 0.184)

S: Superficie de captación

e: Coeficiente de escorrentía

Reemplazando:

$$V_{ai} = 0.184 * 12.50 * 0.5$$



$$V_{ai} = 1.15 \text{ m}^2$$

El volumen de aportación a la zona de impluvio es de 1.15m² para la microcuenca del río Zapatilla

4.3.9. Determinación del volumen de captura – zona de zanjas (m³)

$$V_{cz} = b * h * l$$

Donde:

b: base de la zanja (0.50m)

h: altura de la zanja (0.40m)

l: largo de la zanja (5.00m)

Reemplazando:

$$V_{cz} = 0.50 * 0.40 * 5.00$$

$$V_{cz} = 1 \text{ m}^3$$

El volumen de captura de agua estará dado en un volumen de 1m³ para cada zanja de infiltración.

4.3.10. Determinación de la infiltración de la zanja (m²/hr)

$$V_{in} = b * v * l$$

Donde:

b: base de la zanja (0.50m)

v: velocidad de infiltración de la zanja (0.08m/h)

l: largo de la zanja (5.00m)

Reemplazando:

$$V_{in} = 0.50 * 0.08 * 5.00$$

$$V_{in} = 0.2 \text{ m}^3/\text{hora}$$



La infiltración de la zanja estará dada a un tiempo de 0.2m³/hora para la microcuenca del río zapatilla.

4.3.11. Verificación del diseño de la zanja de infiltración

$$V_{ai} \leq V_{cz} + V_{in}$$

Verificando:

$$1.15 \leq 1.00 + 0.20$$

$$1.15 \leq 1.20$$

Indicando que si cumple la condición para la construcción de la zanja de infiltración con estos datos.

4.3.12. Distanciamiento corregido entre zanjas

$$d = \frac{b * (h + v)}{P * e}$$

Corrección:

$$d = \frac{0.5 * (0.4 + 0.08)}{0.158 * 0.60}$$

$$d = 12.53m = 13m$$

El distanciamiento corregido entre zanjas estará dado a una distancia de 13 metros.

Estos resultados comparados con Mamani (2017), presentan características semejantes al presente estudio, esto debido a que también lo realizó en el altiplano puneño para el incremento de la disponibilidad hídrica en el manantial Collana-Cabanilla de la provincia de Lampa, el cual propuso zanjas de infiltración para una precipitación promedio de 141.36mm/hora; en una intensidad con una duración de 60 minutos para un periodo de retorno de 500 años, El volumen de

aporte a la zona impluvial es de 1,14 m³, que es menor que el volumen de captación en la zanja más el volumen de infiltración de la zanja, que tiene un valor de 1,2 lo que indica que cumple la condición del principio fundamental para su diseño. Además, con respecto al dimensionamiento de la zanja, lo hago de acuerdo con la pendiente de 20 ° a 40 °. De acuerdo con la topografía del terreno, la zanja tiene una pendiente que oscila entre el 1% y el 2%, una sección de ancho de base de 0,5 metros, una altura de 0,4 metros, una longitud de 5 metros y una separación de 13 metros.

4.4. PRUEBA ESTADISTICA

4.4.1. Prueba de normalidad

Se ha establecido la prueba de normalidad Shapiro- Wilk; por tener una cantidad menor a 50 datos, con un nivel de error del 5%

P - Valor (0.05) $\Rightarrow \alpha$, = Los datos proceden de una distribución normal

P - Valor (0.05) $< \alpha$, = Los datos no proceden de una distribución normal

En la tabla 13, Se aprecia el análisis de Shapiro – Wilk para determinar la normalidad de los datos de la disponibilidad hídrica bajo diferentes escenarios climáticos (RCP4.5 y RCP8.5); indicando que se ha obtenido un P- Valor mayor que el valor alfa, para ambos escenarios, lo cual es indicativo que los datos provienen de una distribución normal.

Tabla 13

Prueba de normalidad

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
RCP4.5	,324	4	,522
RCP8.5	,542	4	,786

Nota. Matriz de datos SPSS



4.4.2. Prueba de hipótesis

Se ha establecido la prueba estadística ANOVA; por tener una cantidad menor a 50 datos, con un nivel de error del 5%.

H_a: La disponibilidad hídrica es superior bajo un escenario climático pésimo “RCP8.5”, frente a la disponibilidad hídrica bajo a un escenario climático estable “RCP4.5”.

H₀: La disponibilidad hídrica no es superior bajo un escenario climático pésimo “RCP8.5”, frente a la disponibilidad hídrica bajo a un escenario climático estable “RCP4.5”.

En la tabla 14, se muestra la prueba de hipótesis para la disponibilidad hídrica bajo los escenarios climáticos, indicando que se ha obtenido un P-valor 0.042 y 0.006 para los escenarios climáticos RCP 4.5 al año 2050 y 2100; mientras que para el escenario climático RCP8.5 al año 2050 y 2100 se ha obtenido un P-valor 0.001 y 0.002; indicando que el nivel de significancia para el escenario climático RCP8.5 es inferior al escenario climático RCP4.5; siendo indicativo de que existe mayor variabilidad de datos con respecto a dicho escenario; por ende se acepta la **hipótesis alterna**, en donde se puede decir que la disponibilidad hídrica es superior bajo un escenario climático pésimo “RCP8.5”, frente a la disponibilidad hídrica bajo a un escenario climático estable “RCP4.5”.



Tabla 14

Matriz de datos SPSS

			ANOVA				
			Suma de	gl	Media	F	Sig.
			cuadrado		cuadrática		
			s		a		
<i>Escenario climático al año 2050</i>	RCP4.5	Entre grupos	2299,645	12	57467,411	139,94	,042
		Dentro de grupos	8210,363	1	4105,018		
		Total	23790,00	13			
	RCP8.5	Entre grupos	2289,645	12	574467,41	139,94	,001
		Dentro de grupos	8210,363	1	4105,018		
		Total	23970,00	13			
<i>Escenario climático al año 2100</i>	RCP4.5	Entre grupos	5097,212	12	1274,303	14,847	,006
		Dentro de grupos	1716,628	1	85,831		
		Total	6813,840	13			
	RCP8.5	Entre grupos	5097,212	12	1274,303	14,847	,002
		Dentro de grupos	1716,628	1	85,831		
		Total	6813,840	13			



V. CONCLUSIONES

- El estudio de la disponibilidad hídrica en la microcuenca del río Zapatilla para el año 2022 bajo las condiciones de cambio climático ha arrojado resultados significativos y proporciona información valiosa para la gestión futura de los recursos hídricos en la microcuenca del río Zapatilla. La utilización del método de humedad de suelo en el software WEAP ha permitido una evaluación detallada, respaldada por datos climáticos y de uso de suelos, que sirve como base para comprender la situación actual y proyectar el impacto futuro del cambio climático en la disponibilidad hídrica.
- La evaluación de la disponibilidad hídrica actual (año 2022) en la microcuenca del río Zapatilla; es de 656945.53 MMC, este dato constituye una referencia crucial para comprender la situación inicial y proporciona el punto de partida necesario para las proyecciones futuras, respectivamente; no obstante, se puede decir que esta disponibilidad hídrica no permanece en el área en estudio; debido a que esta se desplaza por la escorrentía e infiltración hacia las partes bajas del efluente de la cuenca, provocando el incremento del caudal en los ríos, y como consecuencia provocar inundaciones donde la topografía sea mínima.
- Las proyecciones de la disponibilidad hídrica futura para el año 2050 frente a un escenario climático estable “RCP 4.5” será de 730523.4294MMC; mientras que a un escenario climático pésimo “RCP 8.5” será de 1208779.775MMC; sin embargo, la disponibilidad hídrica futura al año 2100 frente a un escenario climático estable “RCP 4.5” será de 861912.5354MMC; mientras que a un escenario climático pésimo “RCP 8.5” alcanzará 2194198.07MMC, considerando que los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, sugieren un aumento significativo en la disponibilidad de agua en la microcuenca del



río Zapatilla. Estos resultados resaltan la influencia del cambio climático en el ciclo hidrológico y ofrecen información valiosa para la planificación a largo plazo.

- El diseño de las zanjas de infiltración estarán ubicadas en las partes altas de la microcuenca del río Zapatilla con parámetros específicos, como separaciones de espacios de 2m entre ellas y con un distanciamiento de 13m entre zanja; además con depósito del material extraído a 20 cm de distancia en la parte inferior de la zanja; presentando un ancho base de 0.5 m, siendo la profundidad de 0.40m con pendiente de 1% y un largo de 5m cada zanja, muestra una prometedora eficacia para mejorar la disponibilidad hídrica; Así mismo la superficie de captación de las aguas de las lluvias estará dada en un área aproximada de 12.50m², con volumen de aportación a la zona de impluvio de 1.15m², además con volumen de captura de agua para cada zanja de 1.00m²; infiltrando el agua en un tiempo de 0.2m³/hora, resalta su capacidad para captar y retener el agua de manera efectiva; dichas zanjas beneficiaran principalmente al centro poblado Ancoamay – Ilave, 2022; ya que presentaran mayor disponibilidad hídrica para el desarrollo de sus actividades; y por ende mermar los efectos del cambio climático en la microcuenca en estudio



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar un enfoque integral de gestión del agua que integre medidas de adaptación basadas en los resultados específicos obtenidos. Además, se sugiere una colaboración continua entre entidades gubernamentales, comunidades locales y expertos en cambio climático para asegurar una implementación efectiva y sostenible de estas recomendaciones.
- Dada la cifra revelada de 656945.53 MMC como la disponibilidad hídrica actual en la cuenca del río Zapatilla para el año 2022, se recomienda establecer un sistema de monitoreo continuo para evaluar posibles cambios y variabilidades en la disponibilidad de agua. Esto permitirá ajustes y respuestas oportunas a las condiciones cambiantes.
- Con base en las proyecciones de aumento significativo en la disponibilidad hídrica futura para los años 2050 y 2100, especialmente bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, se recomienda desarrollar planes de gestión adaptativos. Estos planes deben ser flexibles y capaces de ajustarse a diferentes escenarios climáticos, permitiendo una respuesta efectiva a futuros cambios.
- La eficacia demostrada por el diseño de zanjas de infiltración sugiere la implementación de estas medidas como parte integral de la gestión del agua en la microcuenca del río Zapatilla. Se recomienda la expansión de estas prácticas de conservación del agua en áreas críticas, especialmente en la microcuenca del río Zapatilla, para mejorar la retención y disponibilidad del recurso hídrico.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, M. (2016). *Análisis de la disponibilidad hídrica en relación con los problemas de acceso al agua para consumo humano en las comunidades de la cuenca alta del río Turrubares, Puriscal, Costa Rica*. 2016: Universidad Nacional de Heredia.
- ANA. (2019). *Evaluación de los recursos hídricos*. Puno: Autoridad Nacional del Agua.
- Castillo, E. (2022). Evaluación de una modelación hidrológica implementada en WEAP como herramienta para el desarrollo de un futuro modelo operacional de la cuenca del río Itata. *Universidad de Concepción*.
- CIIFEN. (2014). *Metodología para la Estimación de Vulnerabilidad en Ecuador, Perú y Bolivia*. región de los Andes Tropicales: Proyecto Información de cambio climático y biodiversidad para el fomento de políticas públicas de conservación y adaptación en la región de los Andes Tropicales.
- FAO. (2000). *Cooperazione italiana/UNEP) 2000. Land cover classification and user manual*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Flores, J. (2004). *diseño de zanjias de infiltracion bajo criterios de ingenieria hidrológica*. Talca.
- Galindo, B. (2021). *Simulación hidrológica del embalse Morocollo de la subcuenca Viluyo - Laraqueri - Puno - Perú*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Galindo, B. (2021). *Simulación hidrológica del embalse Morocollo de la subcuenca Viluyo - Laraqueri - Puno – Perú*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodologia de la investigacion Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mexico: Mc Graw Hill Education.
- IPCC. (2013). *Resumen para responsables de políticas en: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de*



Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático". Cambridge: Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático.

IPCC. (2013). *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: The Physical Science Basis.

León, R. (2017). *Modelacion de la disponibilidad hidrica del rio Piura, considerando la incidencia del Cambio Climatico*. Lima - Perú: Universidad Nacional Agraria la Molina.

León, R., Portuguez, D., & Chávarri, E. (2019). Modelación de la disponibilidad hídrica del rio Piura - Perú, considerando la incidencia del cambio climático. *Revista de investigaciones Altoandinas*, 1 - 10.

Ley N° 29338. (2017). *Ley de Recursos Hídricos*. Lima: Congreso de la republica.

López, T., & Manzano, M. (2017). Disponibilidad hidrica bajo escenarios de cambio climatico en el valle de Galaena, Nuevo León, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*.

Mamani, E. (2017). *Recarga artificial de acuíferos en funcion de las características Geohidraulicas para el incremento de la disponibilidad hidrica en el manantial Collana-Cabanilla*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano .

Mamani, M. (2020). *Modelación hidrológica de escenarios futuros, con la aplicación del modelo hidrológico WEAP en la cuenca del Rio Suches- Bolivia*. La Paz: Universidad Mayor de San Andrés.

Medina, C. (2021). Modelación hidrológica bajo escenarios de cambio climático para un embalse de abastecimiento de agua en la Paz, Bolivia. *Investigacion & Desarrollo*, 1 - 16.



- Mellado, M. (2019). *Analisis de la disponibilidad hidrica para la cuenca del rio Duqueco considerando escenarios de cambio climatico y una expansion de las plantaciones forestales hacia el año 2030*. Concepcion - Chile.
- MINAGRI. (2014). *Cartillas para la conservacion de suelo "Zanjas de Infiltracion"*. Lima: Ministerio de agricultura y riego. Obtenido de <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/ais-2015/zanjas-infiltracion.pdf>
- MINAM. (2021). *Escenarios climáticos al 2050 en el Perú: Cambios en el clima promedio*. Lima: Ministerio del Ambiente .
- Olivera, W. (2019). *Disponibilidad hidrica superficial de la subcuenca del Rio Shullcas con fines agricolas frente al escenario de cambio climatico - Huancayo*. Huancayo - Perú.
- ONU. (2020). *El calentamiento del sistema climático es inequívoco”: Aspectos más destacados del Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra: Organizacion de las Naciones Unidas.
- Osorio, K. (2021). *Efecto del cambio climático en la oferta hídrica del río Lurín*. La Molina: Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Parra, M. (2016). *Implementar el sistema de modelacion weap como herramienta que determine el impacto del cambio Climatico sobre la disponibilidad del agua en la Cuenca del Rio Machangara*. Machangara - Ecuador .
- Pilares Hualpa, I. A., Montalvo, N., Mejia, M., Guevara-Perez, E., Fano, M., & Alfaro, A. (2018). Evaluation of water availability in the Cabanillas river basin of the Peruvian Altiplano under regionalized climatic scenarios. *Revista Ingenieria UC*, 25(2), 307-319.



- Pilares, I. (2018). Disponibilidades hídricas reguladas del reservorio lagunillas y río verde para usos múltiples en la cuenca del río Cabanillas. *Universidad Nacional Agraria la Molina*, 1 - 10.
- Pilares, I., & Alfaro, R. (2018). Determinación de la disponibilidad hídrica para usos múltiples del sistema integral Lagunillas en el altiplano peruano, bajo las condiciones de cambio climático. 1-3.
- Quispe, K., & Huanca, C. (2021). *Evaluación de la disponibilidad hídrica en la cuenca Ilave bajo escenarios del cambio climático*. Juliaca: Universidad Peruana Union.
- Rosario, E. (2020). *Estimación de la disponibilidad hídrica superficial de la cuenca alto Marañón*. Mayolo: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- WEAP. (2009). *Guía de Modelación WEAP*,.
- Yang, N., & Men, B. (2011). *Impact Analysis of Climate Change on Water Resources*. Suiza: Procedia Engineering.



ANEXOS

Anexo 2. Series de precipitación (mm) de la estación Ilave

Mes	AÑOS																														
	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Enero	0	14	85	0.5	15	51	50.9	36.8	8.9	15.1	44.1	58.8	40.7	16.7	16.3	58.5	31.6	20.9	42.1	27.3	6.5	36.9	81.6	65.6	51.2	117.8	3.6	70.2	73.1	45.4	0
Febrero	0	21.7	20	61.4	67.7	46.5	58.8	28.1	45.8	80.1	66.2	21.6	31.4	134.2	103	134.5	40	51.3	53.4	27.6	20.8	73.9	57.8	8.4	98.8	54.6	69	0	102.5	60.6	68
Marzo	0	40.2	90.4	54.1	36.8	76.1	108.7	33.1	78.3	189	74.2	26.2	63.9	38.4	130.2	83	130.1	47.6	49.8	104.3	42.6	129.4	125.2	48	84.2	63.6	30	101.9	56.1	56.3	125.4
Abril	0	22.2	0	102.2	46.8	22.7	55.7	70.2	73.4	100.9	85.1	14.7	45.7	93.5	155.3	58.8	115.8	59.8	99	23.9	94.5	101.4	10.7	124	37.1	110.3	45.7	46.5	90.7	18.6	75.9
Mayo	0	33.3	14.8	18	41.2	33.7	106	18.3	68.4	29.6	86.3	46.9	85	77.3	74.9	108.6	79.2	52.1	58.4	87.7	245.5	61.1	53.9	83.9	72.1	71	73.8	72.1	29.4	123.4	123.8
Junio	0	20.2	37.3	18.1	8.5	44.5	57.7	16.3	38.6	57.2	27.7	24.4	40.91	28	26.5	66.1	69.3	1.6	12	64.2	40.4	73.4	71.7	67.5	46.2	46.1	24.3	54.3	24.2	18.8	37
Julio	0	15.2	2	40.2	38.6	23.4	49.1	35.3	11.9	35.5	41.6	19	13.9	12.3	6	34.6	41.4	11.7	111.1	19.7	39.9	19	10.4	72.8	30.6	32.9	54.1	24.2	35.7	15.9	44.7
Agosto	0	21.7	5	4.1	7.4	23.3	11.9	18.3	20.4	18.5	10.6	17.3	17	27.7	16.8	41.1	35.5	5.8	1.4	8	21.5	22	22.5	24.2	33.9	37.1	28.2	6.3	5.9	80.3	
Setiembre	0	16	0	25.5	39.9	61.6	13.3	34.7	41.6	14.8	35.7	19.7	22.8	9.9	20.4	78	44.3	70.8	25.8	81	9.5	5.6	55.9	33.3	30.6	43	20.9	27.9	5.3	30.5	
Octubre	17.6	96	0	16.3	78.4	132.6	64.8	120.3	59.3	124.1	23.9	31.7	77.6	17.2	122.6	28.9	26.9	44.2	95	72.7	123.5	66.2	57.9	96.5	87.4	50.4	61.8	34.2	129.8	163.1	
Noviembre	15.6	47.6	0	30.2	93.2	28.2	97.7	45.7	77.9	32.3	89.8	68.3	8.3	104.4	20.5	32.8	29.4	32.3	107.6	38.3	55.7	92.8	47.6	143	86.7	87.2	84.5	88.5	46.4	22.5	
Diciembre	43.1	45.8	0	53.1	53.7	7.6	74.7	33.7	32.1	39.6	80.5	26.2	59.5	17.5	35.7	86.4	62.9	156.9	25.9	56.6	53.3	128.4	34.3	50.4	27.5	10.9	76.6	159.5	74.7	13.3	
Suma de PP	76.3	393.9	254.5	423.7	527.2	551.2	749.3	490.8	556.6	736.7	665.7	374.8	506.71	577.1	728.2	811.3	706.4	555	681.5	613.3	753.7	810.1	629.5	817.6	686.3	724.9	572.5	685.6	673.8	648.7	474.8

Nota. obtenido de SENAMHI (2023)

Anexo 3. Series de temperatura (°C) de la estación Ilave

Mes	AÑOS																														
	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Enero	0	0	16	0	20.5	19.5	20	18.4	15.8	13.8	0	0	20	20	20.6	16.5	15.7	15.7	16.8	18.7	15	17.2	18	19	17.3	17.4	19.4	20	21.2	21	0
Febrero	0	18.4	20	16.1	20.8	18.2	19.9	20	15.7	16.6	0	0	20.5	19.8	21	19.2	17	14.2	17.6	20	19	20.8	18.5	14.6	14	17.5	20.5	18.5	18.2	20.6	21.2
Marzo	0	0	0	19	17.9	18.5	19.6	20	15.7	17.4	13.1	0	21.2	17.5	21.5	18.5	17	14.5	16	20.2	21.7	20.2	19.8	18	17.4	15.8	21.5	18	20.5	21.5	20.5
Abril	0	0	0	20.5	20.1	20.5	20	19.3	16	18.5	0	0	21.2	20	21.2	18.3	15.6	14.4	20.6	19	19.8	20.5	17.5	19.6	17.8	16.5	20.5	20.8	20.5	20.6	20.2
Mayo	0	0	20.2	18.2	19.5	18.9	18.5	19.1	15.3	18	0	0	20.8	19.4	19.6	18	17.4	14.2	18.8	19.2	21.5	16.5	17.7	17.2	17	15.7	21.5	18.7	19.8	21.5	21.2
Junio	0	17	19	14	17.5	17.5	19.2	16.6	11.9	0	0	0	20.2	17.5	0	17.6	17	12.6	17.7	18.6	17.7	17	15.3	18.6	16.8	16.7	20.4	19.6	19.5	19.3	18.5
Julio	0	16	20	12.5	18.3	16	12.9	14.4	11.2	0	0	0	17.4	18.4	17.5	15.2	13	14.3	18	14.5	18	16.8	15.5	16.4	14	18.5	17.7	18.6	17	19	
Agosto	0	19	18	0	18.6	17	16.5	15	12.3	0	0	0	16.6	16.8	17.7	14.5	14	13	17.8	16.8	16.4	17.4	17	15.8	16	14.4	19.5	18.4	19.2	19.2	0
Setiembre	0	19.4	0	13.5	19	18	18.4	14.6	14.1	0	0	0	18.6	19	17	17.2	16.2	13.5	16.8	16.5	17.5	17.5	18.2	16	14.2	15.2	17.7	18.2	18.8	19	0
Octubre	0	11.2	0	0	20.3	18.8	20.2	16.3	12.5	0	0	0	20	20.2	17.5	16.2	15	15	19.2	20.2	20.5	20	12.2	16.4	17	16.2	17.5	15	20	21	0
Noviembre	0	12.8	0	17.5	18.5	13.1	18.5	14.5	13.6	0	0	19	11.7	20.3	15	15.2	8.5	11.7	20	20.2	20.5	10.8	18.5	18.2	17.3	19.5	19.5	20.5	21.2	19.5	0
Diciembre	19.6	0	0	21	18.5	14.5	13.5	15.5	13.3	0	0	19	19.7	21	14.4	16.5	12.8	17.5	20.5	19.8	17	18	19.4	10.7	16.2	20.7	18.8	19.8	21	20	0
Promedio	0	0	0	0	17.5	13.1	12.9	14.4	11.2	0	0	0	11.7	16.8	0	14.5	8.5	11.7	16	14.5	15	10.8	12.2	10.7	14	14	17.5	15	18.2	17	0

Nota: SENAMHI (2023)

Anexo 4. Series de precipitación (mm) de la estación Juli

Mes	AÑOS																													
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Enero	19.6	22.6	30.9	53.6	23.9	32.4	25	35.2	34.1	44.6	20.3	21.8	32.3	15.2	20.6	23	22.9	19.4	25.3	37.5	21.5	37.1	14	49.2	22.2	24.5	43.5	28.7	16.5	37.2
Febrero	34.7	43.7	17	14.3	26	14.2	23.6	24.9	22.7	21.7	16.2	16.4	30.3	13.2	29.5	30.6	38.4	23.6	31.4	27.7	22.5	100.8	28.4	15.6	37.5	28.3	26	43.2	30.5	34.8
Marzo	29.8	27	15.2	21.9	29.5	20.8	37.2	13.9	28.3	23.2	25.4	42	32.1	30.1	45.6	22.8	35.6	29.6	32.7	15.7	17.3	29.4	35.9	16.7	32.6	33.6	25.2	50.6	22.5	21.7
Abril	34.2	17.6	17	20.6	36.4	6.3	18.5	26.6	9.3	9.3	13.6	6.2	21.5	26.5	18	6	12.2	67.4	25.3	16.9	14.3	11.4	41.5	29.7	23.1	21.4	14.4	13.8	6.8	16.6
Mayo	15.4	2.7	3.6	6.7	16.4	10.5	8.1	0	4.3	11.7	5.7	14.2	6.3	0	26.3	7	3.3	3.8	7.8	8	1.5	34	2	0.5	0	14.9	4.4	0	14.7	3.7
Junio	12.5	0	5.2	0.2	3	14.9	18.5	0.4	2.4	0.01	0	0	0	4	2.2	4.3	1.4	7.4	0	1.6	0	3.1	1.2	1.9	0	0	0	0.6	19.9	0
Julio	0	3	6.7	0.8	5.1	0	3	3.4	0	1.6	0.6	6.4	0	0	1.4	0.6	9.5	14.5	5.9	10.9	0	0	7.3	1.2	4.6	0.01	6.4	1	3.2	
Agosto	11.8	34	0.9	0	13	7.6	0.6	25.5	23.3	0.8	7.2	16.5	42.5	0.01	1.9	6	12.6	3.2	6.5	24.4	1	1.1	5.1	0.5	0	9.1	3.4	1.1	3.9	
Septiembre	25.2	8.6	12.3	10.4	10.1	10.8	6	0	9.6	3	7.1	2.7	34.4	8.9	29.9	1	4.4	2	11.6	17.3	9.1	5.3	9.7	0.7	22.1	4.2	18.5	2.8	1.9	
Octubre	4.3	15.3	22.9	27.2	2	24.4	23.8	10.9	12.7	5.4	14.1	16.2	8.3	19.5	38.1	16	23.1	10.1	9.8	6.5	22.3	12.1	14.1	23.2	14.1	17.6	9.4	7.7	21.6	
Noviembre	17.4	7.5	47.3	10	0	14.8	16.6	14.6	25.8	19.4	15.2	14	35.3	18.6	9.2	1.3	4.6	11	11.3	6.9	20.6	18.9	11.6	7.8	19.1	12.1	21.5	13.1	19	
Diciembre	19.6	17.2	11.4	16.4	13.3	20.2	26.8	14.7	9.8	32.2	24.9	21.3	26.3	21	23.6	24.8	36.8	30	23.6	35.5	33.4	14.1	34.5	25.6	27.5	22.9	40.6	28.2	23.3	
Suma de PP	224.5	199.2	190.4	182.1	178.7	176.9	207.7	170.1	182.3	172.91	150.3	177.7	269.3	157.01	246.3	143.4	204.8	222	191.2	208.9	163.5	267.3	205.3	172.6	202.8	188.61	213.3	190.8	183.8	114

Nota. obtenido de SENAMHI (2023)

Anexo 5. Series de temperatura (°C) de la estación Ilave

Mes	AÑOS																														
	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Enero	12.25	11.1	10.75	11.75	11.1	11.2	10.4	9.9	10	11.1	11.75	11.2	11.6	12	11.4	10.2	10	11.5	11.5	11.9	12	10.3	12.3	11.1	11.1	11.2	12	10.8	11	11	12.25
Febrero	10.6	10.55	10.55	11.9	10.8	10.65	11	10.2	10.8	10.8	12.25	10.3	10.9	13.35	10.4	9.9	10.6	11	11.3	10.7	10.7	11.2	12.1	10.6	11.5	12.1	10.3	11.2	11.5	10.6	
Marzo	11.2	10.5	11	11.5	10.65	10.3	11.3	10.1	10.2	10.2	11.3	10.7	10.9	13.4	9.8	9.6	10	11.5	12.2	11.4	11	12	10.8	11.1	11	12.2	11	11.4	11.5	11.2	
Abril	10.65	10	10.9	11.05	9.75	10.3	10.5	10.5	10.6	11.3	11.2	10.6	10.05	12.6	9.3	9.5	9.7	10.5	10.8	11.2	11.6	10.9	10.6	10.3	9.8	11.5	10.3	10.6	11	11.4	
Mayo	10	9	9.9	10	9.65	10.2	9.8	9.1	9.35	9	10.05	9.95	8.8	11.4	8.2	8.8	9.2	9.3	9.2	9	10.3	8.9	9.4	8.3	8.9	10.1	9.8	9.3	9.9	10	
Junio	9.4	9.55	8.25	8.15	8.65	8.55	7.4	9.4	7.45	7	7.45	10.1	7.7	8.7	7.8	8.3	8.1	8.1	7.5	7	7.3	8.2	9	8.5	7.1	10.9	9.5	8.4	9	9.4	
Julio	7.5	7.8	10.25	8.25	7.6	6.55	7.9	7.7	7.8	8.45	8.4	7.3	8.1	8.3	7	7.3	7.7	7.6	9.2	8.1	7.9	8.1	8.1	8.5	10	8.1	8.1	9.7	8.3	7.5	
Agosto	9.45	8.8	9.65	10.25	9.25	9.55	8.5	7.3	8.45	8.2	9.6	9.2	8.45	11.1	7.9	9.1	8.2	8.2	8.7	8.7	8.4	10	12	9	8.7	9.5	10	10.3	9.4	9.45	
Septiembre	9.65	9	11	10.55	10	9.3	10.2	9.3	10.1	9.4	11.15	9.6	11.6	10.45	10.4	9.1	10.4	9.8	8.8	9.1	9.9	9.5	10.4	11.9	11.3	10.7	9.5	10.7	10.5	9.65	
Octubre	10.3	10.2	11.25	11.65	11.1	12.1	10.95	10.6	10.15	10.5	11.8	11.7	11.5	10.9	10	11.6	12.1	10.6	10.9	11.7	10.8	10.9	12.2	12.3	11.9	11.7	10.9	12	12.2	10.3	
Noviembre	11	11.25	12.15	11.65	11.1	12	11.9	10.2	11.55	11.2	11.5	11.2	11.9	11.4	10.2	12	12	11.3	12.2	11.7	11.9	11.8	11.5	12.2	13.1	11.8	12.4	12.6	12	11	
Diciembre	10.3	11.75	13.3	12.65	12.6	11.2	12.2	12.1	11.7	11.2	10.8	11.2	12.6	11.8	11.5	11.3	10.7	11.9	12	12.9	11.7	12.7	11.5	11.5	12.4	12	11.5	11	11.4	10.3	
Promedio	10.19	9.96	10.75	10.78	10.19	10.16	10.17	9.70	9.85	9.86	10.60	10.25	10.34	11.28	9.49	9.73	9.89	10.11	10.36	10.28	10.29	10.38	10.83	10.44	10.58	11.05	10.44	10.67	10.64	10.80	10.19

FUENTE: SENAMHI (2023)

Anexo 6. Series de precipitación (mm) de la estación Masacruz

Mes	AÑOS																														
	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Enero	0	14	85	0.5	15	51	50.9	36.8	8.9	15.1	44.1	58.8	40.7	16.7	16.3	58.5	31.6	20.9	42.1	27.3	6.5	36.9	81.6	65.6	51.2	117.8	3.6	70.2	73.1	45.4	0
Febrero	0	21.7	20	61.4	67.7	46.5	58.8	28.1	45.8	80.1	66.2	21.6	31.4	134.2	103	134.5	40	51.3	53.4	27.6	20.8	73.9	57.8	8.4	98.8	54.6	69	0	102.5	60.6	68
Marzo	0	40.2	90.4	54.1	36.8	76.1	108.7	33.1	78.3	189	74.2	26.2	63.9	38.4	130.2	83	130.1	47.6	49.8	104.3	42.6	129.4	125.2	48	84.2	63.6	30	101.9	56.1	56.3	125.4
Abril	0	22.2	0	102.2	46.8	22.7	55.7	70.2	73.4	100.9	85.1	14.7	45.7	93.5	155.3	58.8	115.8	59.8	99	25.9	94.5	101.4	10.7	124	37.1	110.3	45.7	46.5	90.7	18.6	75.9
Mayo	0	33.3	14.8	18	41.2	33.7	106	18.3	68.4	29.6	86.3	46.9	85	77.3	74.9	108.6	79.2	52.1	58.4	87.7	245.5	61.1	53.9	83.9	72.1	71	73.8	72.1	29.4	123.4	123.8
Junio	0	20.2	37.3	18.1	8.5	44.5	57.7	16.3	38.6	57.2	27.7	24.4	40.91	28	26.5	66.1	69.3	1.6	12	64.2	40.4	73.4	71.7	67.5	46.2	46.1	24.3	54.3	24.2	18.8	37
Julio	0	15.2	2	40.2	38.6	23.4	49.1	35.3	11.9	35.5	41.6	19	13.9	12.3	6	34.6	41.4	11.7	111.1	19.7	39.9	19	10.4	72.8	30.6	32.9	54.1	24.2	35.7	15.9	44.7
Agosto	0	21.7	5	4.1	7.4	23.3	11.9	18.3	20.4	18.5	10.6	17.3	17	27.7	16.8	41.1	35.5	5.8	1.4	8	21.5	22	22.5	24.2	33.9	37.1	28.2	6.3	5.9	80.3	
Setiembre	0	16	0	25.5	39.9	61.6	13.3	34.7	41.6	14.8	35.7	19.7	22.8	9.9	20.4	78	44.3	70.8	25.8	81	9.5	5.6	55.9	33.3	30.6	43	20.9	27.9	5.3	30.5	
Octubre	17.6	96	0	16.3	78.4	132.6	64.8	120.3	59.3	124.1	23.9	31.7	77.6	17.2	122.6	28.9	26.9	44.2	95	72.7	123.5	66.2	57.9	96.5	87.4	50.4	61.8	34.2	129.8	163.1	
Noviembre	15.6	47.6	0	30.2	93.2	28.2	97.7	45.7	77.9	32.3	89.8	68.3	8.3	104.4	20.5	32.8	29.4	32.3	107.6	38.3	55.7	92.8	47.6	143	86.7	87.2	84.5	88.5	46.4	22.5	
Diciembre	43.1	45.8	0	53.1	53.7	7.6	74.7	33.7	32.1	39.6	80.5	26.2	59.5	17.5	35.7	86.4	62.9	156.9	25.9	56.6	128.4	34.3	50.4	27.5	10.9	76.6	159.5	74.7	13.3		
Suma de PP	76.3	393.9	254.5	423.7	527.2	551.2	749.3	490.8	556.6	736.7	665.7	374.8	506.71	577.1	728.2	811.3	706.4	555	681.5	613.3	753.7	810.1	629.5	817.6	686.3	724.9	572.5	685.6	673.8	648.7	474.8

Nota. obtenido de SENAMHI (2023)

Anexo 7. Series de temperatura (°C) de la estación Masocruz

Mes	AÑOS																														
	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Enero	8.65	10.9	9.9	12	10.2	8.85	10	9.2	8.5	7.5	10	10	8.3	10	11.5	9.7	11.3	11	10.6	12.8	10.9	10.8	10.4	11.9	11.4	11.5	12.3	11.3	10.9	10.5	11.4
Febrero	10.35	9.8	10.8	8.1	8.6	8.1	10.15	7.3	8.2	7	8	8.75	8.2	8.4	10.4	10	11.6	11.9	10.2	11.1	10.9	9.9	10	11.7	10.7	11.3	12.2	11.2	10.7	11	11.5
Marzo	9.95	11	10.1	10.5	10.3	8.4	9.3	0	8.25	6.5	7.5	8.75	8	8.5	9.9	11	10.6	11.1	8.9	11	11.5	12.3	9.9	11.3	10.8	10.7	12.8	10.2	10.5	11.4	11.5
Abril	9.1	9.5	9.4	10.9	11.2	8.3	8.2	0	8.25	6	8	8.6	6	5.4	10	9.7	9	11.2	8	12.8	8.9	10.5	9.3	9.7	9.4	10.2	11.3	10.4	10.4	12.1	9.9
Mayo	5.4	8.4	6.9	8.4	7.85	5.7	6.35	0	4.9	5	6.25	4.5	6	4.1	8.4	8	9	9	6.5	7.6	5.7	4.5	8.1	8.3	5.6	6.2	8.4	8.6	6.7	9.3	5.8
Junio	5.95	6.5	8.7	5.8	3.5	7	7.1	0	5.5	3	2.5	3	4.5	3.5	4	6.5	5.5	4.8	3.9	4.2	3.5	0.3	4.8	6.5	5.9	7.6	6.2	6	4.1	8.9	5
Julio	4	4.8	3.7	7.3	5	8.25	5.6	0	5	3.5	3	4.1	1.9	3.4	2.7	6	4.9	3.8	4.2	4.9	5.5	2.4	5.3	5.2	4.9	6.9	5.7	7.4	7.7	6.4	3.5
Agosto	5.3	6.6	7.6	5.1	4.2	7.75	4.8	2	3.5	5.5	5.9	6.5	5.5	6.8	7.3	5.5	6.9	4.5	5.7	6.1	7.4	2.6	8.4	7.6	5.5	6.5	5.5	7.2	7.5	6.2	8.2
Setiembre	5.8	7.2	7.8	6.5	14	6.8	4.5	6.8	4	7	4	9	7.1	10.6	6.4	7	8	7.9	8.3	8.9	6.9	6.8	10.1	10	10.3	9.2	9.3	7.9	8.1	7.7	9.3
Octubre	10.5	6.6	8.9	9.8	14.9	5.5	9.9	0	8	7	7.35	6.6	8.5	8.8	9.5	9	8.9	7.8	10.7	8.5	10	8.5	13.2	10.6	10.2	10	10.3	10.2	11.2	10.7	9.3
Noviembre	11.1	0	9.4	10.2	7	8.9	10.3	8.8	10	8.5	9.5	9.3	7.5	8.6	8.4	9	11.2	10	10.7	10.5	10	9	12.1	10.8	10.9	12.5	9.4	11.6	12.3	11.3	11.8
Diciembre	10.65	10	9.9	8.9	11	8.85	9.4	8.1	7.5	9.5	8.5	9.7	8.8	10	10.1	11.2	12	10.5	10.9	11.9	10.5	10.8	12.6	10.4	11.3	11.9	11.2	10.5	11.1	11	12.4
Promedio	8.06	7.61	8.59	8.63	8.98	7.70	7.97	3.52	6.80	6.33	6.71	7.40	6.69	7.34	8.22	8.55	9.08	8.63	8.22	9.19	8.48	7.37	9.52	9.50	8.91	9.54	9.55	9.38	9.27	9.71	9.13

Nota: SENAMHI (2023)

Anexo 8. Identificación de puntos de muestreo y calidad del agua


Autoridad Nacional del Agua

FICHA DE IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO

Nombre del cuerpo de agua: Cuerpo Rio Zapotilla

Clasificación del cuerpo de agua:
Categoría de uso: Categoría 3 "Riesgo de vegetación y pérdida de animales"

Código y nombre de la cuenca o del cuerpo monito-costero:
P-1

IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO

Código del punto de monitoreo: PA

Descripción:
Rio Zapotilla, Puente Similaca (que está)

Accesibilidad:
Referencia: A un kilómetro del campamento Choca, Comandancia a la altura de la zona alta.

Representatividad:
El punto se encuentra en la zona alta.

Finalidad del monitoreo:
Evaluación de la calidad físico-química y microbiológica del agua.

Reconocimiento del Entorno:
A la altura del campamento.

UBICACIÓN

Distrito: Ilave Provingo: El Collao Departamento: Puno

Localidad: Sección Similaca

Coordenadas (WGS84):
Sistema de coordenadas: Proyección UTM Geográficas

Norte: 921128 Zona: 18N (El Norte para el hemisferio N)

Este: 04331072 Altitud: 3846 (en metros sobre el nivel del mar)

Croquis de ubicación del punto de monitoreo:


Fotografía:




FICHA DE IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO

Nombre del cuerpo de agua: Cuenca Rio Zapatilla

Clasificación del cuerpo de agua: Categoría 3 "Riesgo de vertientes a deriva de montes"

Código y nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero: P-2

IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO

Código del punto de monitoreo: P2

Descripción: Rio Zapatilla a 2000 metros del puente Similaca.

Accesibilidad: A 2 kilómetros del puente Similaca, caminando 30 minutos hacia marges izquierdo.

Representatividad: El punto se encuentra en la zona alta.

Finalidad del monitoreo: Evaluación de la calidad físico-química y microbiológica del agua.

Reconocimiento del sitio: A la altura del cruce checa.

UBICACIÓN

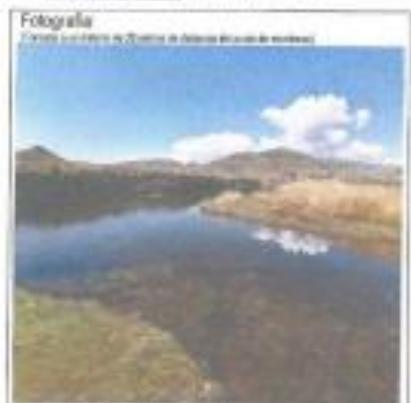
Distrito: Tiagu Provincia: El Collao Departamento: Puno

Localidad: Cerro Similaca

Coordenadas (WGS84): Sistema de coordenadas: Proyección UTM Geográficas

Norte/Latitud: 82°13'44" Zona: 18

Este/Longitud: 04°17'62" Altitud: 3850



FICHA DE IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO

Nombre del cuerpo de agua: Cuerpo Río Zapotilla
Clasificación del cuerpo de agua: Cuencas de aguas superficiales y subterráneas
Código y nombre de la cuenca o del cuerpo matino costero: P-3

IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO

Código del punto de monitoreo: P3
Descripción: Río Zapotilla a 950 m del puente Similaca (zona alta)
Accesibilidad: A 1.5 kilómetros del puente de Similaca
Representatividad: Continúa 20 metros hacia mangen derecho
Finalidad del monitoreo: Evaluación de la calidad físico-química y microbiológica del agua
Reconocimiento del Estero: A la altura de la carretera adentro

UBICACIÓN

Distrito: ALBA Provincia: EL COLLAO Departamento: PUÑO
Localidad: SECTOR Similaca
Coordenadas (WGS84): Sistema de coordenadas: Proyección UTM Geográficas
Norte/Latitud: 5211945 Zona: 18N
Este/Longitud: 0732099 Altitud: 3845





PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria

CERTIFICADO DE ANALISIS DE AGUA

SOLICITANTE : Wilber Calizaya Jilaja.
INTERESADO : Wilber Calizaya Jilaja.
DIRECCION :
PROCEDENCIA : Ilave
LUGAR : Rio Zapatilla.
MUESTRA : Agua.
N° MUESTRAS : 03.
TIPO DE ANALISIS : Varios.
FECHA DE RECEPCIÓN : 26 de Abril del 2021.
ECHA DE CERTIFICACIÓN : 03 de Mayo el 2021.
MUESTREO : Interesado.

Clave Laboratorio	I	II	III
Clave Usuario	P3 Rio Zapatilla 4500 m Puente Simillaca Agua Abajo	P2 Rio Zapatilla 2000 m Puente Simillaca Agua Abajo	P1 Rio Zapatilla Puente Simillaca Agua Arriba
DBO ₅ mg/L	180.00	140.0	100.0
DQO mg/L	242.00	220.	200.00
Nitratos mg/L	24.80	24.80	18.60
Nitritos mg/L	0.063	0.060	0.033

Métodos utilizados en el Laboratorio:

- 1.- Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, Division of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimprisa, Octubre 1968. 195p.
 - 2.- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 1996. Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Investigations Report N° 42. version 3.0 Washington DC, USA, 693p.
 - 3.-Manual de Técnicas Analíticas para la Determinación Físico Químicas y Contaminantes Marinos (Aguas, Sedimentos y Organismos), 2003 148 pág. Programa Calidad Ambiental Marina-CAM.
- Determinación de pH Potenciómetro Calomelano (electrodos de vidrio).
Determinación de Conductividad Eléctrica Conductímetro de tres ánodos.
Determinación de SDT Electrométrico.
Determinación de DBO₅ Oxitop.
Determinación de DQO método de reflujos con Dicromato

Conclusiones:

La muestra analizada de Agua CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales.

Nota:

Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento. (El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo).



INIA
ESTACIÓN EXPERIMENTAL ELPA - PUNO
Ing° JORGE CASHUA ROJAS
Jefe Laboratorio Análisis
S. A. C. E. D. O.





Anexo 9. Plantilla de diseño de zanjas de infiltración

DISEÑO DE MEJORA DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA					
ZANJAS DE INFILTRACIÓN					
PROYECTO : EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA BAJO LAS CONDICIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA MICROCUECNA DEL RIO ZAPATILLA – CENTRO POBLADO DE ANCOAMAY – ILAVE, 2022					
PROPIETARIO : Bach. PAÚL MILKERSON LUPACA CALLIRE					
UBICACIÓN : MICROCUECNA DEL RIO ZAPATILLA					
FECHA : MARZO DEL 2023					
Referencia: Guía manual de conservación del suelo mediante zanjas de infiltración (MINAGRI, 2014)					
I. INFORMACIÓN BASE Y PARÁMETROS DE DISEÑO					
Información base	Datos			Fuente	
Ubicación de zanjas de infiltración	Ubicación del material extraído			MINAGRI (2014)	
Ubicación del material extraído	parte inferior de la zanja			MINAGRI (2014)	
Parámetros básicos de diseño	Código	Datos	Unidad	Fuente	
Separación de espacios (Paralelas)	Se	12.00	m	MINAGRI (2014)	
Distancia del material extraído	Dme	20.00	cm	MINAGRI (2014)	
Apertura de canaleta	Ac	10.00	cm	MINAGRI (2014)	
Pendiente de la zanja	S	1.00	%	MINAGRI (2014)	
II. DIMENSIONAMIENTO DE LA ZANJA DE INFILTRACIÓN					
Parámetros básicos de diseño	Código	Datos	Unidad	Fuente	
Longitud de la zanja	L	5.00	m	MINAGRI (2014)	
Pendiente del terreno	St	5.00	%	Insi tu	
Distanciamiento entre zanjas	Dz	2.00	m	Sgn pend. del terre	
Ancho de base de la zanja de infiltración	b	0.50	m	Mamani (2017)	
Profundidad de la zanja de infiltración	h	0.40	m	Mamani (2017)	
III. DISEÑO DE LA ZANJA DE INFILTRACIÓN					
Parámetros básicos de diseño	Código	Formula	Resultado	Unidad	Fuente
Precipitación	PP		158.97	mm	SENAVMI (2022)
Precipitación	P		0.184	m	Se asume
Largo	L		5.00	m	MINAGRI (2014)
Espaciamento	e		2.00	m	Sgn pend. del terre
Base	b		0.50	m	Mamani (2017)
Distanciamiento	d	$b + e$	2.50	m	
Superficie de Captación	S	$L * d$	12.50	m²	
Coefficiente de escorrentía	e		0.50	c	Según Tabl. Ven TE Chw
Volumen de aportación a la zona de impluvio	Vai	$P * S * e$	1.15	m³	
Volumen de Captura zona de zanjas	Vcz	$b * h * L$	1.00	m³	
Velocidad de Infiltración de la zanja	v		0.08	m/hora	Sgn. prueba d infiltración
Infiltración de la zanja	Vin	$b * v * l$	0.20	m ³ /hora	
Verificación del diseño de la zanja		$Vai \leq Vcz + Vin$	1.15 ≤ 1.20		Si cumple condic.
Distanciamiento corregido de zanjas	d	$(b * (h + v)) / P * e$	12.61	m	
Distanciamiento corregido de zanjas	d		13.00	m	Se asume



PARÁMETROS DE DISEÑO PRUEBA DE INFILTRACIÓN

PROYECTO : EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA BAJO LAS CONDICIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA MICROCUENCA DEL RIO ZAPATILLA – CENTRO POBLADO DE ANCOAMAY – ILAVE, 2022

PROPIETARIO : Bach. PAÚL MILKERSON LUPACA CALLIRE

UBICACIÓN : MICROCUENCA DEL RIO ZAPATILLA

FECHA : MARZO DEL 2023

I. INFORMACIÓN BASE

Lectura	Hora	Minutos	Profundidad total (cm)	Profundidad c/5min	Velocidad de infiltracion (cm/min)
1	11.38	0.00	0.00	0.00	0.00
2	11.43	5.00	5.50	5.50	0.15
3	11.48	5.00	6.50	1.00	0.20
4	11.53	5.00	7.30	0.80	0.16
5	11.58	5.00	8.30	1.00	0.20
6	12.03	5.00	9.30	1.00	0.20
7	12.08	5.00	10.00	0.70	0.14
8	12.12	5.00	10.05	0.05	0.01
9	12.18	5.00	11.30	1.25	0.25
10	12.22	5.00	12.00	0.70	0.14
11	12.28	5.00	12.40	0.40	0.08
12	12.32	5.00	12.60	0.20	0.04
13	12.38	5.00	13.20	0.60	0.12
14	12.42	5.00	13.80	0.60	0.12
15	12.48	5.00	14.04	0.24	0.05
16	12.52	5.00	14.80	0.76	0.15

II. CALCULO DE PRUEBA DE INFILTRACION

Conceptos Basicos	Datos (cm/min)	Datos (cm/hora)	Datos (m/hora)
Prueba de infiltracion	0.13	7.54	0.08
Fuente	Sgn. Informacion Base		

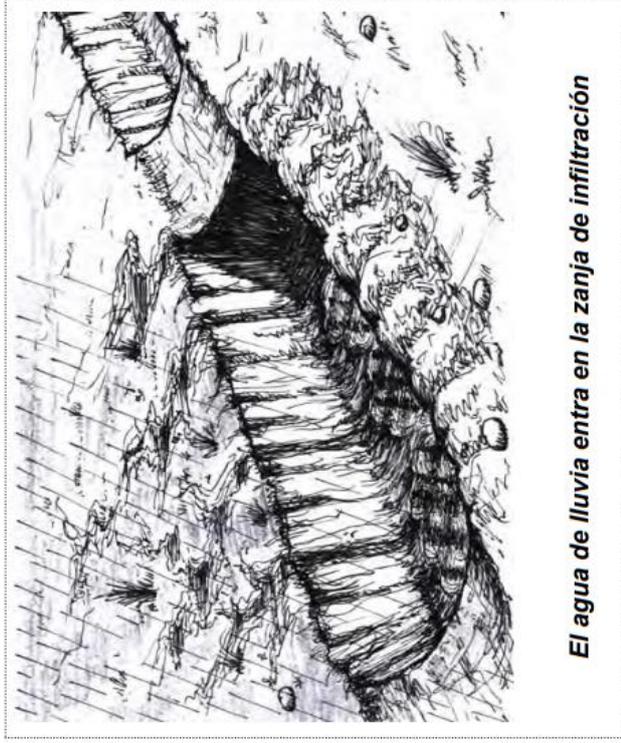
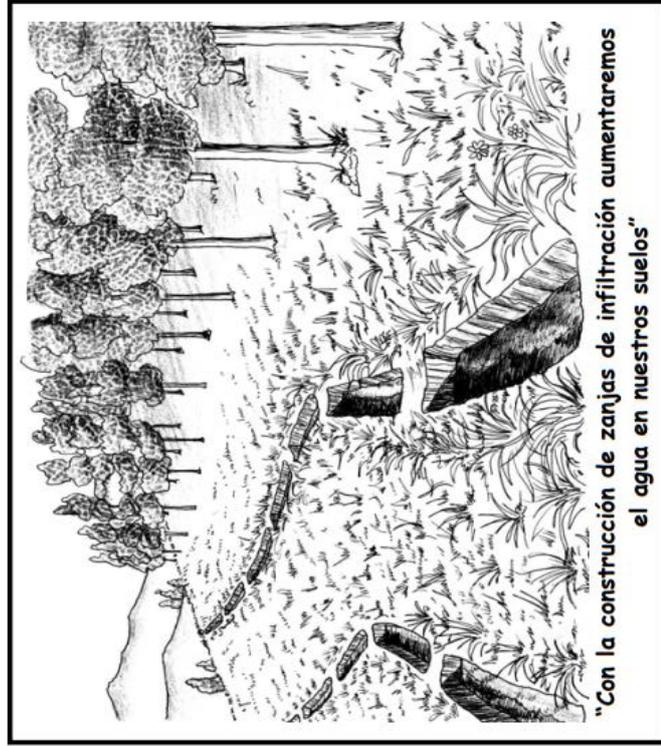
Anexo 10. Proceso de construcción de zanjias de infiltración

¿QUÉ SON LAS ZANJAS DE INFILTRACIÓN?

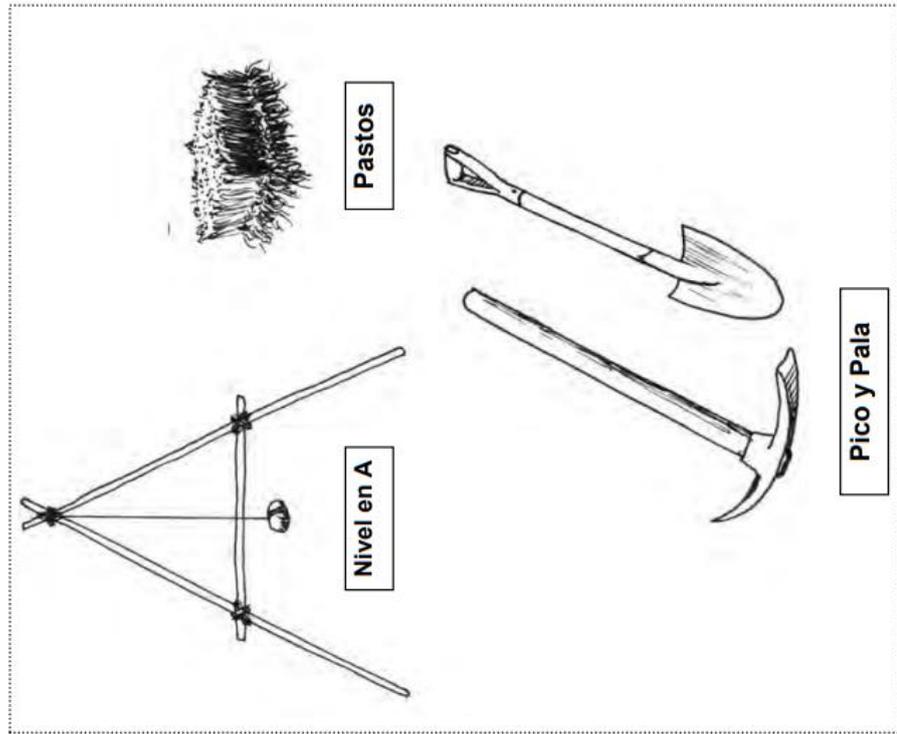
En los terrenos con pendiente (q'atas), cuando llueve, infiltra poca agua en el suelo, la mayor parte corre por la superficie, y se pierde para siempre.

La zanja de infiltración, es como un hoyo en el terreno, donde se acumula el agua de lluvia, para que infiltre más agua en el suelo.

ZANJAS DE INFILTRACIÓN



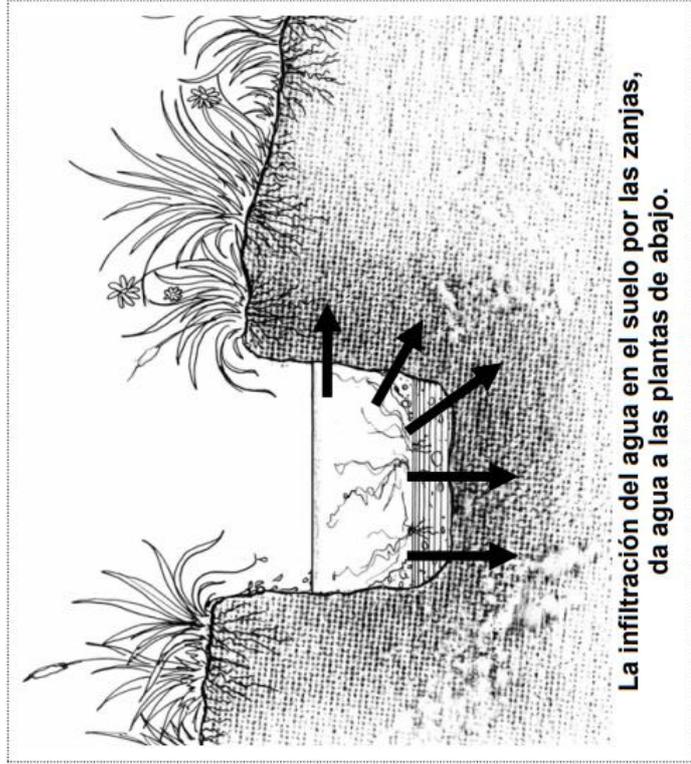
**¿QUE MATERIALES Y HERRAMIENTAS
SE NECESITAN PARA CONSTRUIR
LAS ZANJAS DE INFILTRACIÓN?**



**¿COMO FUNCIONA
LA ZANJA DE INFILTRACIÓN?**

El agua que se acumula en la zanja se infiltra al suelo, y da humedad a las plantas situadas en la parte baja de la zanja.

La zanja de infiltración ayuda a las plantitas a tener más agua en los periodos con poca lluvia, dando agua y vida.



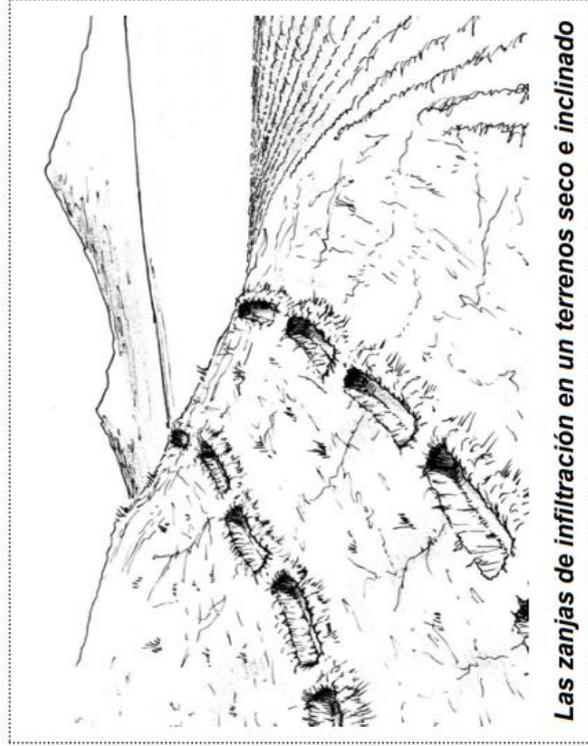
¿DÓNDE CONSTRUIR LAS ZANJAS DE INFILTRACIÓN?

Es lo más recomendable construir las zanjás de infiltración en:

"TERRENOS DE PASTIZALES, SOBRE TODO EN LA PARTE SUPERIOR DE TERRENOS SECOS"

Además, las zanjás de infiltración funcionan mejor cuando se construyen en

"LAS PARTES MÁS INCLINADAS DEL TERRENO"

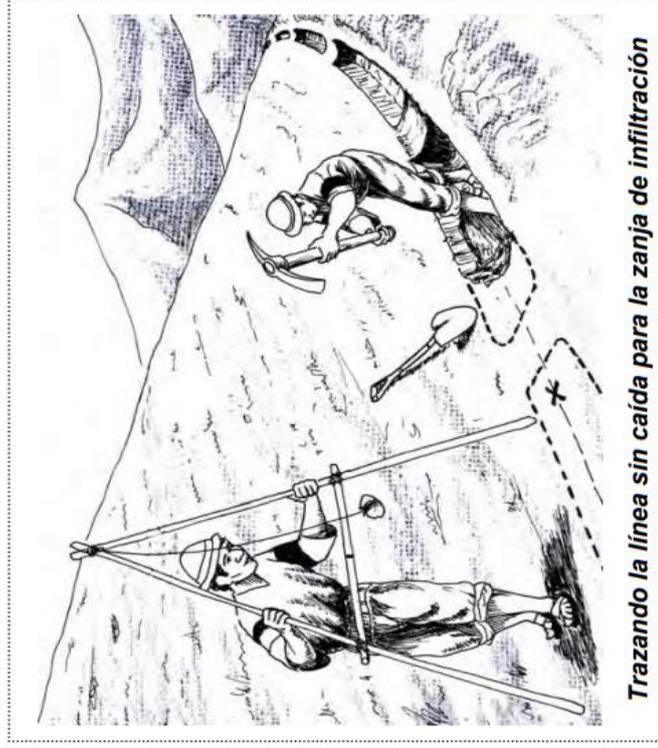


LA CONSTRUCCIÓN DE LAS ZANJAS DE INFILTRACIÓN

Para construir las zanjás de infiltración seguimos 6 pasos:

PASO 1

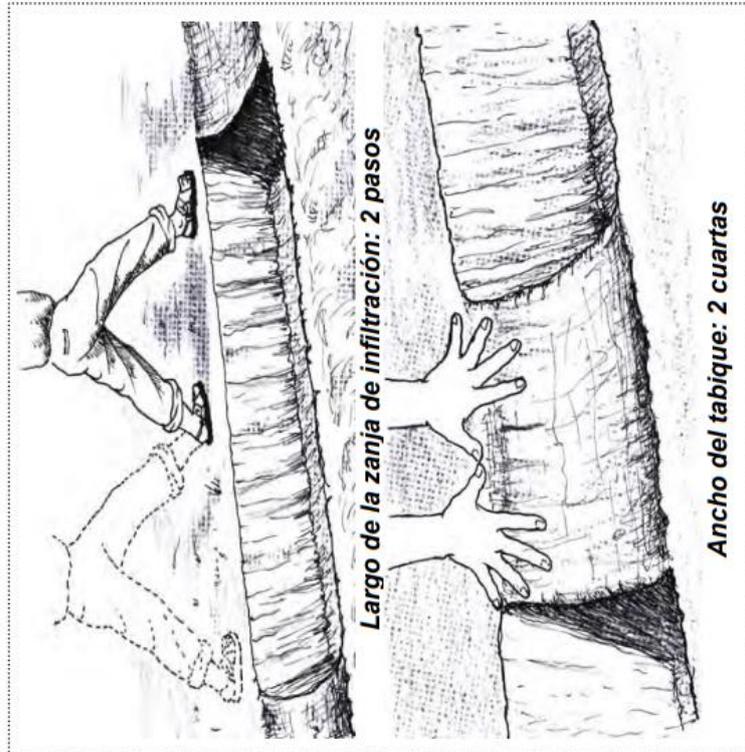
Con el nivel en "A" marcamos las líneas sin caída donde queremos construir las zanjás de infiltración.



PASO 2

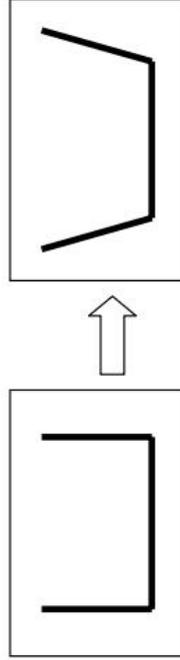
Sobre la línea sin caída se marcan las zanjas de infiltración, tomando en cuenta el largo y ancho de la zanja, así como la distancia entre zanjas:

- Largo de la zanja: 2 metros (2 pasos)**
- Ancho de la zanja: 40 centímetros (2 cuartas)**
- Ancho del tabique: 40 centímetros (2 cuartas)**

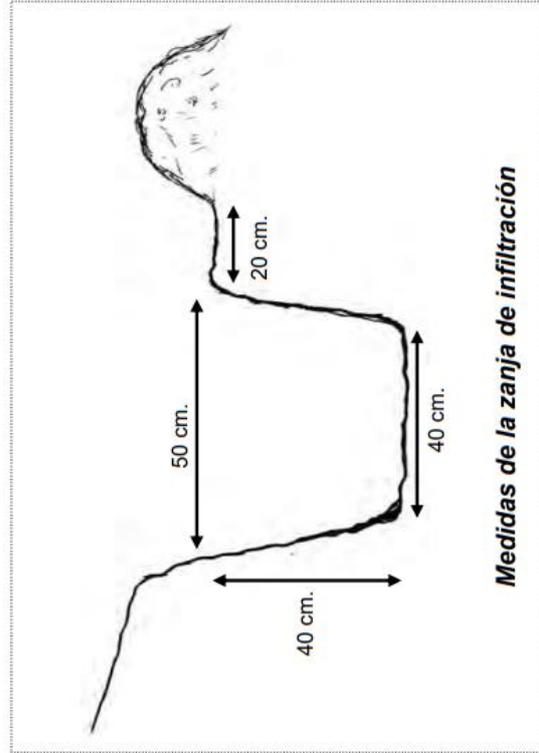


PASO 3

Se excava la zanja hasta una profundidad de 40 cm. Luego, se ensancha la parte superior para evitar que caigan las paredes (o taludes) de la zanja.



La zanja de infiltración terminada debe tener las siguientes medidas:

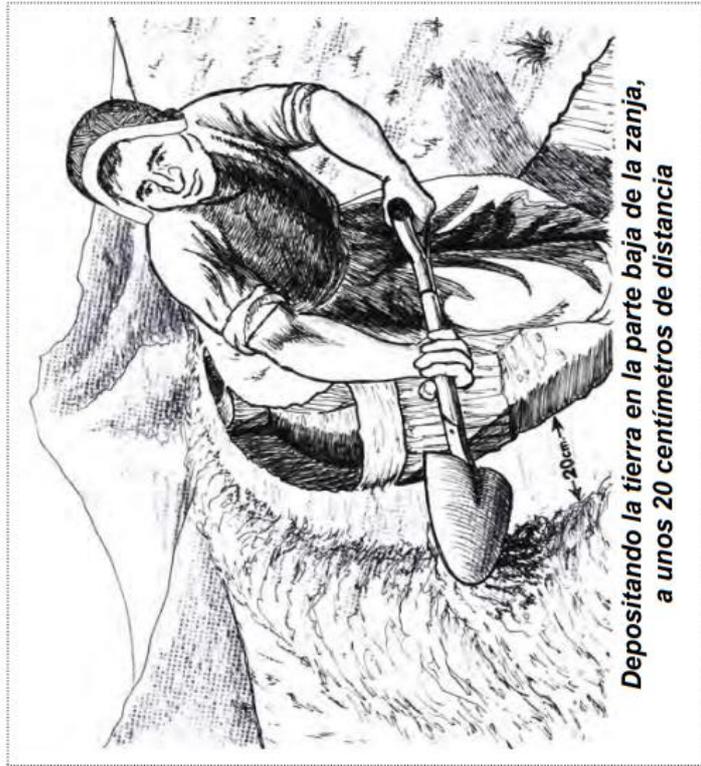


PASO 4

La tierra que se saca de la zanja de infiltración debe depositarse en la parte baja de la zanja, formando un pequeño camellón.

OJO:

Se debe depositar la tierra no muy cerca de la zanja, sino a unos 20 centímetros (1 cuarta) de distancia, para que la tierra no caiga otra vez en la zanja.



Depositando la tierra en la parte baja de la zanja, a unos 20 centímetros de distancia

PASO 5

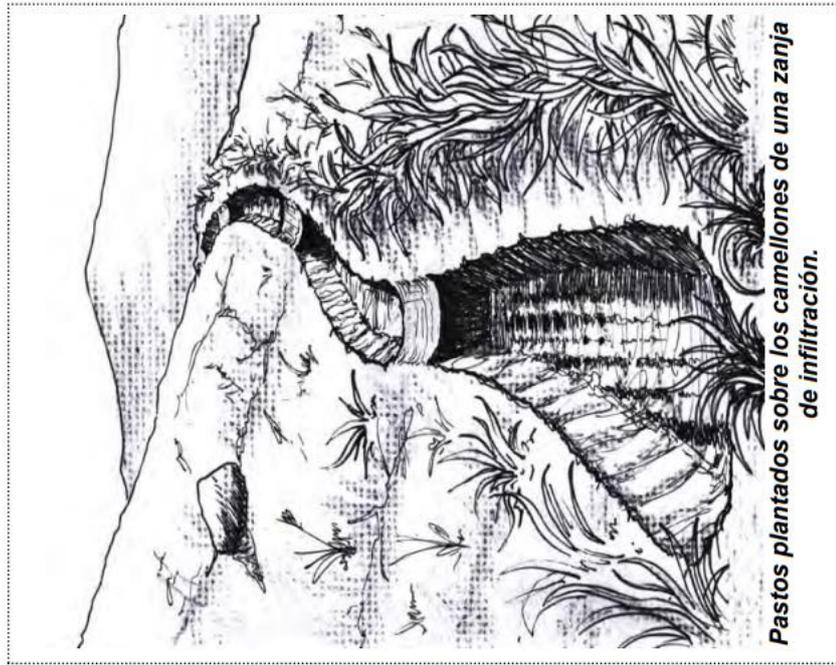
El espacio que hay entre una y otra zanja de infiltración, también debe excavarse, hasta una profundidad de 10 centímetros (una t'ajilla).

Esto es importante porque permitirá que el agua de una zanja llena, pueda pasar a otra zanja, llenando así todas las zanjas por igual.



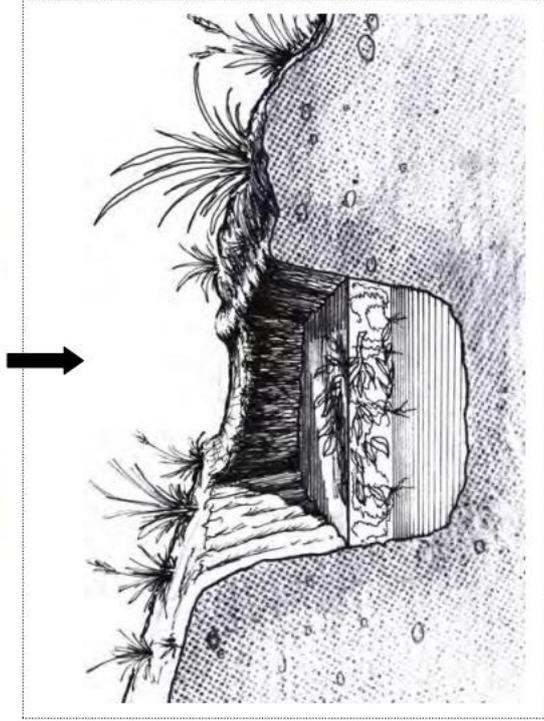
PASO 6

Es bueno plantar pastos sobre los camellones, para que estos sean más fuertes y puedan aguantar mucho tiempo.



EL MANTENIMIENTO DE LAS ZANJAS DE INFILTRACIÓN

Con cada tormenta de lluvia las zanjias de infiltración se llenan con tierra y restos de plantas.



OJO:

¡Cuando está llena la zanja de infiltración, ya no puede acumular agua!

El material acumulado (*lama*) en la zanja contiene el suelo más fértil de tus terrenos.

Debemos realizar el mantenimiento de la zanja de infiltración para asegurar su buen funcionamiento.

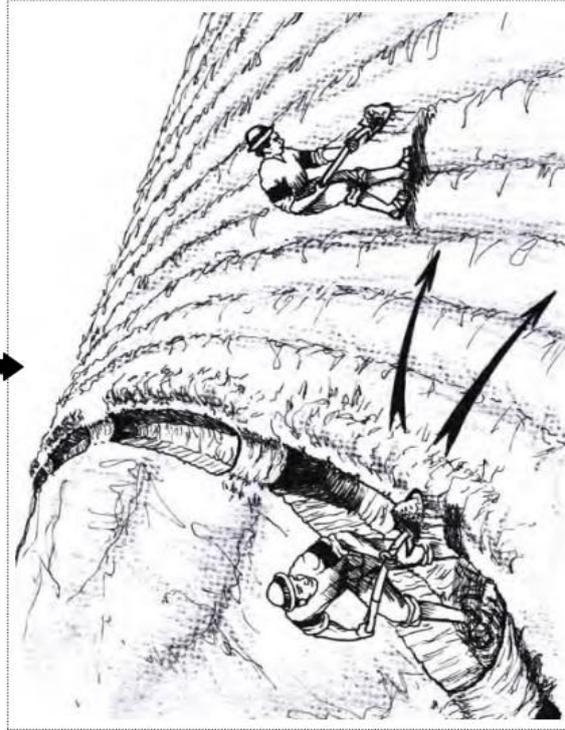
La zanja se limpia sacando la lama acumulada. Esta se lleva nuevamente a los terrenos.

¡De esta manera se aprovecha la lama!

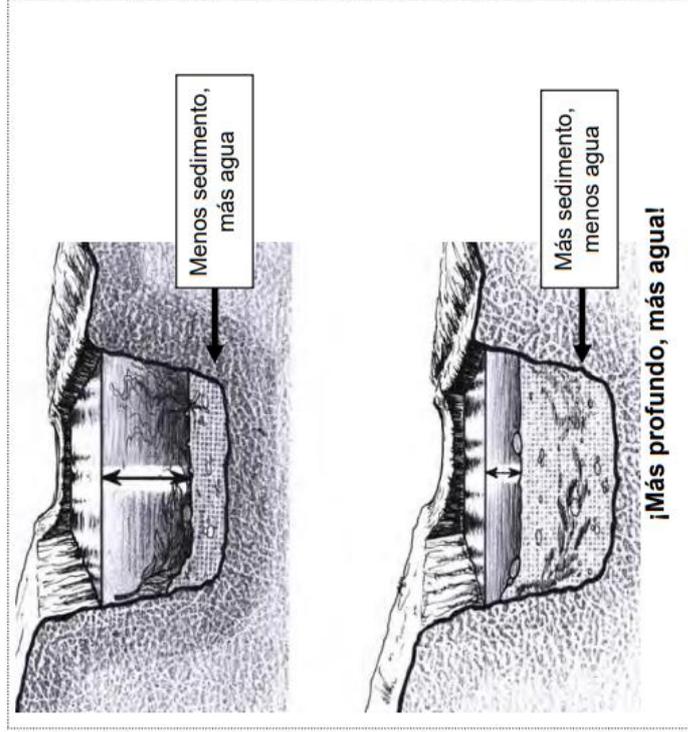
¡Recuerda!
¡Si sacas el sedimento o lama ,
la zanja acumula más agua!

Entonces:
¡El mantenimiento debe realizarse permanentemente,
y sobre todo cuando la zanja se haya llenado!

¡El mantenimiento es muy importante!



Realizando el mantenimiento de la zanja de infiltración



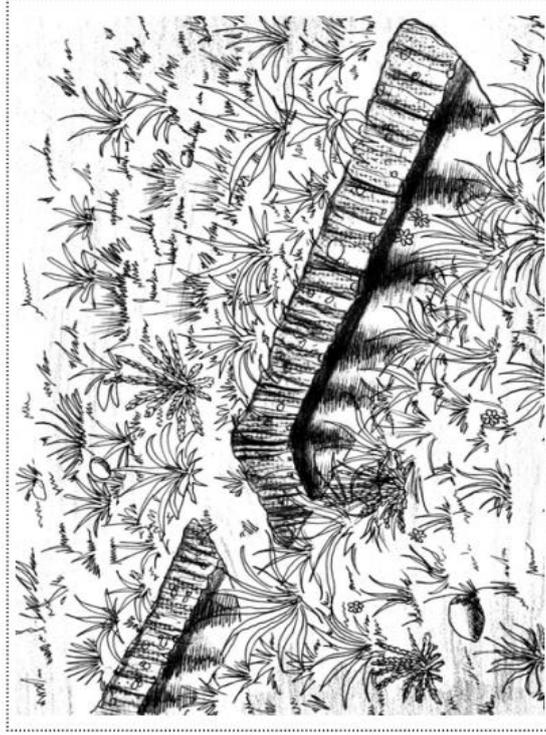
¡CUIDADO!

Amigo agricultor:
En lo posible tienes que evitar que los animales entren en las zanjas de infiltración, porque pueden derrumbar los costados de las zanjas, y comer los pastos que protegen los camellones.

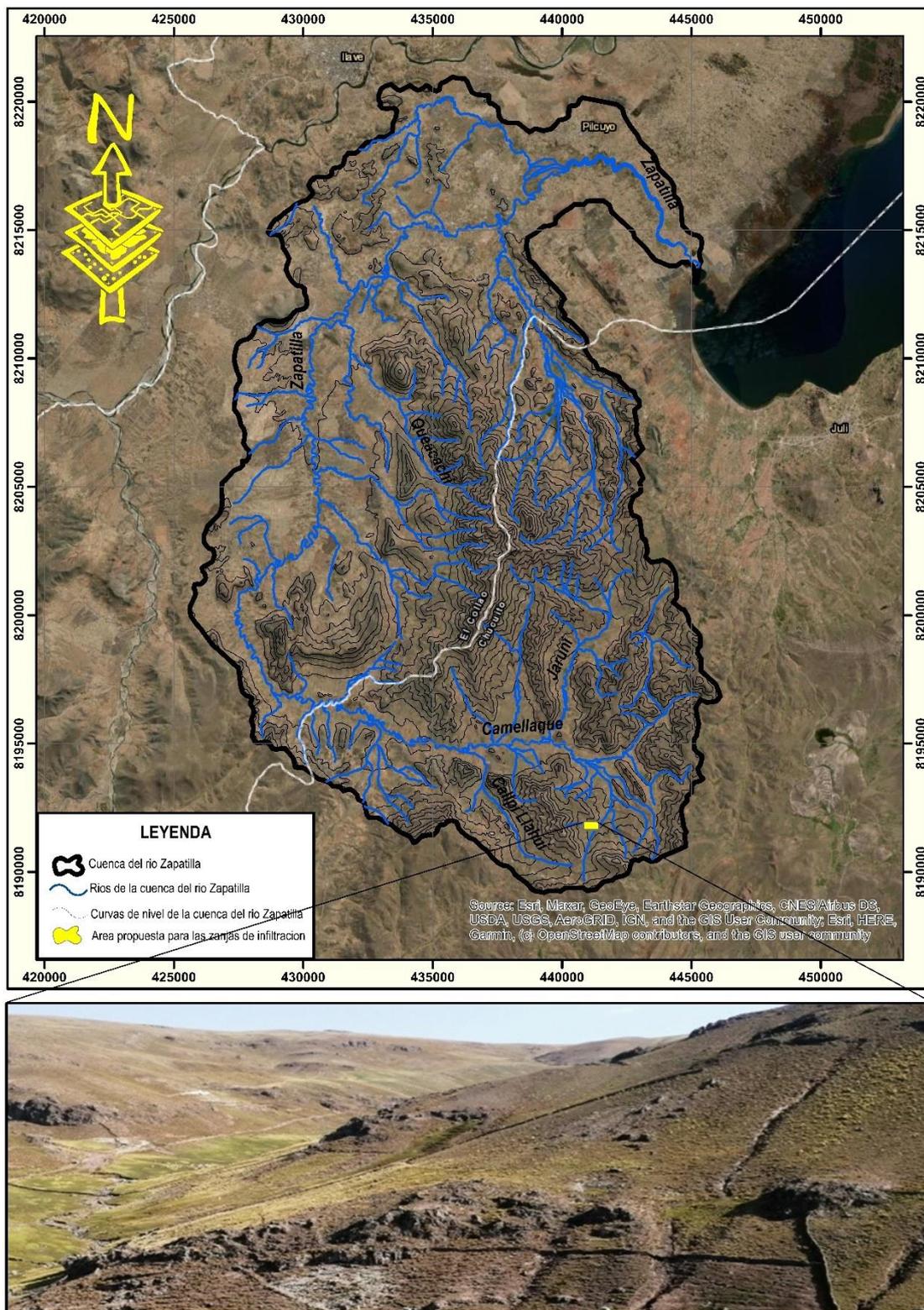
Tu has invertido tiempo y trabajo en la construcción de las zanjas de infiltración, entonces....
¡no permitas que tu trabajo sea destruido!



**¡Las zanjas de infiltración dan
AGUA Y VIDA
al suelo y a las plantas!**



Anexo 11. Mapa de ubicación de las zanjas de infiltración





DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Paul Mircerson Supaca Callise,
identificado con DNI 76253556 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Agrícola

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"Evaluación de la disponibilidad hídrica bajo las
condiciones del cambio climático en la microcuenca
del río Zapatilla, Ilave - 2022"

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 25 de Enero del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Paul MURKESON LUPACA CALLIC,
identificado con DNI 76253556 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Agrícola

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

" Evaluación de la disponibilidad hídrica bajo las condiciones del cambio climático en la Altiplanicie del río Zapatlilla, Ilaque 2022 "

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 25 de ENERO del 20 24


FIRMA (obligatoria)



Huella