



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



**EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA BAJO LAS  
CONDICIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO Y PROPUESTA DE  
MEJORA HÍDRICA EN LA MICROCUENCA  
HUENQUE – ILAVE, 2021**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. FRANKLIN MAMANI SACACHIPANA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRÍCOLA**

**PUNO - PERÚ**

**2023**



NOMBRE DEL TRABAJO

EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA BAJO LAS CONDICIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO Y PROPUESTA DE MEJORA HIDRICA EN LA MICROCUENCA HUEÑQUE - ILAVE, 2021

AUTOR

Franklin Mamani Sacachipana

RECuento DE PALABRAS

22811 Words

RECuento DE CARACTERES

119590 Characters

RECuento DE PÁGINAS

119 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

8.6MB

FECHA DE ENTREGA

Apr 18, 2023 10:11 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Apr 18, 2023 10:13 AM GMT-5

● **8% de similitud general**

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

- 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossr

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)
- Material citado



Mg. Roberto Alvaro Alejo  
INGENIERO AGRICOLA  
Reg. CIP N° 63362



D. Sc. M. Sc. Corguira Edilberto  
UNIDAD DE INVESTIGACION  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA



## DEDICATORIA

### **A Dios:**

*Por su inagotable generosidad y amor, por permitirme llegar hasta aquí y por darme la salud necesaria para cumplir mis ambiciones.*

### **A mis Queridos padres Alfonso y Maria:**

*Gracias a mis padres por su amor, dedicación, sacrificio y apoyo inquebrantable a lo largo de los años. Agradezco cómo me inculcaron los valores del trabajo duro, el coraje y el seguir adelante ante las dificultades.*

### **A mis Queridos Hermanos(as):**

*Cristobal, Ruben, Virginia, Yudi, Soledad, Mary, Ofelia. Por ser el ejemplo y motivo para seguir estudiando y así poder ser una mejor persona.*

### **Para mis Amigos y Amigas:**

*Hoy dedico a ellos esta tesis: A mis amigos(as) de la FIA, mis amigos y amigas que conocí en la Universidad, Trabajo y otros lugares.*

### **A mi amor:**

*Dedico esto a mi querida Milagros S. C., ya que desempeñó un papel importante en ayudarme a alcanzar mis objetivos. Les agradezco que me hayan dado la motivación necesaria para seguir adelante con mis estudios.*

***Franklin Mamani Sacachipana***



## AGRADECIMIENTOS

- Quisiera expresar mi sincero agradecimiento y reconocimiento a todos y cada uno de los ingenieros de la Facultad de Ingeniería Agrícola por haberme ayudado de alguna manera compartiendo su caudal de conocimientos profesionales.
- Mi más sincero agradecimiento a mi director de tesis y a los miembros del jurado por su apoyo y asesoramiento para ayudarme a llevar a cabo mi proyecto de investigación. Su amplia experiencia les permitió ayudarme de la manera más eficaz.
- También quiero expresar mi gratitud a los miembros académicos que me dieron sabias orientaciones mientras desarrollaba mi proyecto de investigación; sólo fue factible con su ayuda.
- Por último, quisiera expresar mi profunda gratitud a todos los que han contribuido, directa o indirectamente, a mi realización personal, ya que me han proporcionado constantemente apoyo moral cuando más lo necesitaba.

*Franklin Mamani Sacachipana*



# ÍNDICE GENERAL

Pág.

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 14**

**ABSTRACT..... 15**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 18**

1.1.1. Problema general ..... 19

1.1.2. Problemas específicos..... 19

**1.2. HIPÓTESIS ..... 20**

1.2.1. Hipótesis general ..... 20

1.2.2. Hipótesis específicas..... 20

**1.3. JUSTIFICACIÓN ..... 20**

**1.4. OBJETIVOS ..... 22**

1.4.1. Objetivo general ..... 22

1.4.2. Objetivos específicos ..... 22

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1. ANTECEDENTE DE LA INVESTIGACION..... 23**



2.1.1. Internacionales.....	23
2.1.2. Nacionales .....	25
2.1.3. Regionales .....	27
<b>2.2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>29</b>
2.2.1. Recurso hídrico.....	29
2.2.2. Disponibilidad hídrica .....	31
2.2.3. Cambio climático y escenarios de cambio climático.....	32
2.2.3.1. Cambio climático .....	32
2.2.3.2. Escenarios de cambio climático .....	33
2.2.4. Modelación hidrológica.....	36
2.2.5. Sistemas de información geográfica (SIG) en recursos hídricos.....	37
2.2.6. Modelo WEAP .....	38
2.2.6.1. Modo de uso del modelo WEAP.....	38
2.2.6.2. Algoritmos de WEAP .....	40
2.2.7. Tecnología de adaptación para la mejora de la disponibilidad hídrica.....	41
2.2.7.1. Zanjas de infiltración.....	43
<b>2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....</b>	<b>46</b>
2.3.1. Disponibilidad hídrica .....	46
2.3.2. Oferta hídrica.....	46
2.3.3. Demanda hídrica.....	46
2.3.4. Microcuenca .....	46
2.3.5. Escenarios de cambio climático .....	47
2.3.6. Zanjas de infiltración .....	47



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1. ZONA DE ESTUDIO .....</b>	<b>48</b>
3.1.1. Límites.....	48
3.1.2. Vías de comunicación y accesibilidad.....	49
<b>3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>49</b>
<b>3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....</b>	<b>50</b>
<b>3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA .....</b>	<b>51</b>
3.3.1. Población .....	51
3.3.2. Muestra .....	51
<b>3.4. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....</b>	<b>51</b>
3.4.1. Situación actual de disponibilidad hídrica en la microcuenca Huenque – Ilave. ....	52
3.4.2. Estimación de la disponibilidad hídrica futura bajo las condiciones de cambio climático en la microcuenca Huenque – Ilave. ....	54
3.4.3. Escoger una tecnología adecuada para el aprovechamiento de las aguas de lluvia y mejorar la disponibilidad hídrica en la microcuenca Huenque-Ilave. .....	56

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1. DETERMINACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN LA MICROCUENCA HUENQUE.....</b>	<b>57</b>
4.1.1. Datos climáticos .....	57
4.1.2. Uso de suelo .....	70
4.1.3. Hidrología.....	74



4.1.4. Disponibilidad hídrica (año 2021).....	74
<b>4.2. ESTIMACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA BAJO LAS CONDICIONES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA MICROCUENCA HUENQUE – ILAVE.....</b>	<b>77</b>
4.2.1. Creación de escenarios .....	77
4.2.2. Disponibilidad hídrica futura (año 2030) .....	81
<b>4.3. TECNOLOGÍA ADECUADA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS DE LLUVIA Y MEJORAR LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN LA MICROCUENCA HUENQUE-ILAVE.....</b>	<b>89</b>
4.3.1. Zanjas de infiltración .....	89
4.3.2. Qochas de infiltración.....	91
4.3.3. Amunas .....	92
4.3.4. Bofedales .....	92
4.3.5. Reforestación .....	93
4.3.6. Diseño de las zanjas de infiltración .....	95
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>101</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>103</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>104</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>110</b>
Anexo 1. Plantilla de cálculo de zanjas de infiltración para la microcuenca Huenque	111
Anexo 2. Plantilla de cálculo de la prueba de infiltración - según lectura de tiempo de infiltración de agua en el área en estudio .....	112
Anexo 3. Mapa de ubicación de las zanjas de infiltración en el área en estudio .....	113
Anexo 4. Ciudad circundante a la microcuenca Huenque .....	114
Anexo 5. Rio Huenque – Vertiente principal de la microcuenca Huenque .....	114



Anexo 6. Medición del Caudal del rio Huenque empleando el correntómetro .....	115
Anexo 7. Lugar propuesto donde estarán presentes las zanjas de infiltración .....	117
Anexo 8. Prueba de infiltración para el cálculo de las zanjas de infiltración .....	117

**ÁREA:** Ingeniería y tecnología

**LÍNEA:** Recursos hídricos

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 20 de abril de 2023



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Escenarios climáticos al año 2100 - vías representativas de concentraciones “Representative Concentration Pathways” RCP .....	35
<b>Tabla 2.</b> Parámetros de uso de suelo .....	39
<b>Tabla 3.</b> Vías de comunicación y accesibilidad al área en estudio .....	49
<b>Tabla 4.</b> Escenarios climáticos (RCP) al año 2100 .....	56
<b>Tabla 6.</b> Datos climáticos de la microcuena Huenque .....	70
<b>Tabla 7.</b> Coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) – microcuena Huenque .....	72
<b>Tabla 8.</b> Capacidad del agua del suelo – microcuena Huenque .....	73
<b>Tabla 9.</b> Se aprecia el factor de resistencia de la escorrentía – microcuena Huenque .....	73
<b>Tabla 10.</b> Datos pluviométricos – microcuena Huenque .....	74
<b>Tabla 11.</b> Escenarios climáticos al año 2100 .....	78
<b>Tabla 12.</b> Series de precipitación interpolada en el área en estudio .....	79
<b>Tabla 13.</b> Series de temperatura interpolada en el área en estudio .....	80
<b>Tabla 14.</b> Escenarios climáticos al año 2030 .....	81
<b>Tabla 15.</b> Porcentaje de variabilidad de la disponibilidad hídrica “RCP 4.5 y 8.5” ....	86



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1:</b> Agua superficial y subterránea .....	30
<b>Figura 2:</b> Cuenca hidrográfica.....	31
<b>Figura 3:</b> Progresión temporal del uso de energía primaria (izquierda), uso de combustibles fósiles (centro) y consumo de energía (derecha) en las RCP. ....	36
<b>Figura 4:</b> Tipos de medidas de adaptación cuantitativas ante el cambio climático ...	41
<b>Figura 5:</b> Lista de medidas de adaptación consideradas en una cuenca, con énfasis en las medidas cuantitativas .....	42
<b>Figura 6:</b> Mapa de ubicación de la microcuenca Huenque .....	48
<b>Figura 7:</b> Ubicación de estaciones meteorológicas del SENAMHI cercanas a la microcuenca Huenque – Ilave. ....	53
<b>Figura 9:</b> Datos climáticos para la microcuenca Huenque – mes de enero.....	58
<b>Figura 10:</b> Datos climáticos para la microcuenca Huenque – mes de febrero.....	59
<b>Figura 11:</b> Datos climáticos para la microcuenca Huenque – mes de marzo .....	60
<b>Figura 12:</b> Datos climáticos para la microcuenca Huenque – mes de abril .....	61
<b>Figura 13:</b> Datos climáticos para la microcuenca Huenque – mes de mayo.....	62
<b>Figura 14:</b> Datos climáticos para la microcuenca Huenque – mes de junio .....	63
<b>Figura 15:</b> Datos climáticos para la microcuenca Huenque – mes de julio .....	64
<b>Figura 16:</b> Datos climáticos para la microcuenca Huenque – mes de agosto .....	65
<b>Figura 17:</b> Datos climáticos para la microcuenca Huenque – mes de septiembre.....	66
<b>Figura 18:</b> Datos climáticos para la microcuenca Huenque – mes de octubre .....	67
<b>Figura 19:</b> Datos climáticos para la microcuenca Huenque – mes de noviembre .....	68
<b>Figura 20:</b> Datos climáticos para la microcuenca Huenque – mes de diciembre .....	69



<b>Figura 21:</b> Mapa de uso de suelo de la microcuenca Huenque .....	71
<b>Figura 22:</b> Esquema conceptual del modelo WEAP para la microcuenca Huenque ...	74
<b>Figura 23:</b> Disponibilidad hídrica en la microcuenca Huenque – año 2021 .....	75
<b>Figura 24:</b> Disponibilidad hídrica en la microcuenca Huenque en series de tiempo mensual – escenario climático estable “RCP 4.5” .....	81
<b>Figura 25:</b> Disponibilidad hídrica en la microcuenca Huenque al año 2030 – escenario climático estable “RCP 4.5” .....	82
<b>Figura 26:</b> Disponibilidad hídrica en la microcuenca Huenque en series de tiempo mensual – escenario climático pésimo “RCP 8.5” .....	83
<b>Figura 27:</b> Disponibilidad hídrica en la microcuenca Huenque al año 2030 – escenario climático pésimo “RCP 8.5” .....	84
<b>Figura 28:</b> Porcentaje de variabilidad de la disponibilidad hídrica “RCP 4.5 y 8.5” ...	87



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>WEAP</b>	: Water Evaluation and Planning (Evaluación y planificación del agua)
<b>RCP</b>	: Representative Concentration Pathways (Vías representativas de concentraciones)
<b>MilMC</b>	: Mil Metros Cúbicos
<b>GEI</b>	: Gases de efecto invernadero
<b>SENAMHI</b>	: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
<b>Kc</b>	: Coeficiente de cultivo
<b>SW</b>	: Soil Water Capacity (Capacidad de agua en la zona de raíz)
<b>DW</b>	: Deep Water Capacity (Capacidad de agua profunda)
<b>RRF</b>	: Runoff Resistance Factor (Factor de Resistencia al Escurrimiento)
<b>PPM</b>	: Partes por millón
<b>CO<sub>2</sub></b>	: Dióxido de carbono
<b>Vai</b>	: Volumen de aportación zona de impluvio
<b>Vcz</b>	: Volumen de captura zona de zanjas
<b>Vin</b>	: Volumen de infiltración de la zanja
<b>P</b>	: Precipitación
<b>S</b>	: Superficie de captación
<b>e</b>	: Coeficiente de escorrentía
<b>b</b>	: Base de la zanja
<b>h</b>	: Altura de la zanja
<b>l</b>	: Largo de la zanja
<b>d</b>	: Distanciamiento de la zanja
<b>v</b>	: Velocidad de infiltración de la zanja



## RESUMEN

El presente estudio se realizó a razón de que en la microcuenca Huenque no se conoce las consecuencias que puede traer el cambio climático en la disponibilidad hídrica futura; en este contexto el objetivo general fue evaluar la disponibilidad hídrica bajo las condiciones de cambio climático para escoger una tecnología de mejora hídrica en la microcuenca Huenque – Ilave, 2021. El método de la humedad de suelo se empleó para estimar la disponibilidad hídrica empleando datos climáticos; y también datos de uso de suelo; para posteriormente aplicar dos escenarios de cambio climático “RCP”, (escenario estable “RCP4.5” y escenario con un nivel creciente de GEI “RCP8.5”) proyectado al año 2030 con el software WEAP; y consecutivamente realizar la tecnología para la adaptación hídrica en la microcuenca Huenque. La disponibilidad hídrica actual al año 2021, es de 420211.66 MilMC, además una disponibilidad hídrica bajo las condiciones del cambio climático “RCP4.5” es de 969379.42 MilMC y “RCP8.5” es de 1285158.73 MilMC; además con respecto a la tecnología para la adaptación hídrica se optó por las zanjas de infiltración; la cual estará a separaciones de 2m, distanciamiento de 13m; con un ancho de 0.5m, con profundidad de 0.40m y un largo de 5m cada zanja; con superficie de captación de  $12.50m^2$ , volumen de aportación a la zona de impluvio de  $1.19m^2$ , además con volumen de captura de agua para cada zanja de  $1.00m^2$ ; infiltrando el agua en un tiempo de  $0.2m^3$ /hora. Concluyendo que la disponibilidad hídrica en el escenario climático RCP4.5 y RCP8.5, será superior a la disponibilidad hídrica actual.

**Palabras clave:** Cambio climático, escenario futuro, disponibilidad hídrica, sistema de modelación WEAP.



## ABSTRACT

This study was conducted because the consequences of climate change on future water availability in the Huenque micro-basin are not known; in this context, the general objective was to evaluate water availability under climate change conditions in order to choose a water improvement technology in the Huenque - Ilave micro-basin, 2021. The soil moisture method was used to estimate water availability using climatic data; and also land use data; to subsequently apply two climate change scenarios "RCP", (stable scenario "RCP4.5" and scenario with an increasing level of GHG "RCP8.5") projected to 2030 with WEAP software; and consequently make the technology for water adaptation in the Huenque micro-watershed. The current water availability to the year 2021 is 420211.66 MilMC, in addition to a water availability under the conditions of climate change "RCP4.5" is 969379.42 MilMC and "RCP8.5" is 1285158.73 MilMC; also with respect to the technology for water adaptation, infiltration ditches were chosen; which will be at 2m separations, spacing of 13m, with a width of 0.5m, with a depth of 0.5m, and a depth of 0.5m. 5m, with a depth of 0.40m and a length of 5m each trench; with a catchment area of  $12.50m^2$ , volume of contribution to the impluvium zone of  $1.19m^2$ , in addition with a volume of water capture for each trench of  $1.00m^2$ ; infiltrating the water in a time of  $0.2m^3$ /hour. Concluding that the water availability in the climate scenario RCP4.5 and RCP8.5, will be higher than the current water availability.

**Keywords:** Climate change, future scenario, water availability, WEAP modeling system.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

Como incidencia del cambio climático, las condiciones hidrológicas están cambiando actualmente, lo que tiene diversos incidentes recursos hídricos del mundo (León & Portuguez, 2019). Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático - IPCC (2013), afirma que los peligros correlacionados 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. Para predecir la disponibilidad futura de agua y desarrollar planes de gestión sostenibles, es crucial disponer de datos de respuesta espaciotemporal sobre la incidencia del cambio climático en los recursos hídricos (Yang & Men, 2011).

Las vías de concentración representativas (RCP) son cuatro nuevos escenarios de emisiones de carbono elaborados por el (IPCC) para el año 2100. Las previsiones climáticas muestran que las temperaturas aumentarán en América Latina; en Sudamérica, el calentamiento oscilaría entre  $+1.7^{\circ}\text{C}$  y  $+6.7^{\circ}\text{C}$  en los escenarios de emisiones medias y altas (RCP 4.5 y 8.5), respectivamente. Además, en el sudeste se prevé un incremento del 25% en la variación de las precipitaciones (IPCC, 2013).

En los últimos diez años se ha apreciado que Perú es susceptible a la variación climática extrema, que se manifiesta primordialmente en pérdidas económicas. En tal sentido, estos impactos pueden agravarse más al envolver otros instrumentos que perjudican el crecimiento socioeconómico, como es la pérdida del recurso hídrico debido al aumento de la temperatura originado por el cambio climático, las variaciones en los periodos vegetativos de los diferentes cultivos, etc.



En la microcuenca Huenque; localizado al oeste de la ciudad de Ilave- Puno; es sin duda vulnerable ante la variabilidad climática drástica; como son las precipitaciones que cada año son más intensas y sequías recurrentes. Dicha microcuenca juega un rol fundamental en el abastecimiento de agua hacia diferentes poblados que cruza en su recorrido hasta desembocar en el lago Titicaca; además, es importante por sus características topográficas únicas y su biodiversidad. La región está sometida a diversos fenómenos graves, como lluvias torrenciales y sequías, por lo que es extremadamente sensible a los efectos del cambio climático.

El programa WEAP (Water Evaluation and Planning) es un instrumento capaz de efectuar escenarios futuros mediante un escenario de disponibilidad actual, con la introducción de parámetros climáticos (precipitaciones, temperatura y velocidad del viento), y datos sobre el uso del suelo. En tal sentido, Los modelos hidrológicos son una herramienta útil para describir escenarios de cambio climático basados en las emisiones de gases de efecto invernadero previstas y evaluar el impacto del cambio climático en la hidrología de las cuencas hidrográficas (León & Portuguez, 2019).

Por ello en el presente estudio se planteó como objetivo principal, el evaluar la disponibilidad hídrica bajo las condiciones de cambio climático para proponer una tecnología de mejora hídrica en la microcuenca Huenque – Ilave, 2021. Para ello, se recopiló información de, artículos, libros, sitios web; descarga de datos climáticos de entidades como el SENAMHI, entre otros para el desarrollo de este estudio. De igual forma el conocimiento de ello permitirá proponer una adecuada gestión de los recursos del agua por parte de las autoridades competentes en dicha microcuenca.

Cuatro capítulos, que se enumeran a continuación, componen el proyecto de investigación: La relevancia de la investigación se expone en el capítulo I, donde también



se considera la introducción, se define el problema de estudio, se formula el problema, las hipótesis, las justificaciones y se detallan los objetivos alcanzados. De forma similar al capítulo II, el capítulo III considera el aspecto metodológico de la investigación, donde se especifican el tipo y el diseño de la investigación, las técnicas e instrumentos, la población y la muestra, los procedimientos y el tratamiento de los datos. En el Capítulo II también se tratan cuestiones relacionadas con el tema del estudio, los antecedentes del mismo, el marco teórico y los términos básicos. Además, en el Capítulo IV se describen las conclusiones de este esfuerzo de estudio y el debate correspondiente. Por último, se presentan las conclusiones y sugerencias más significativas de la investigación.

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

A nivel mundial se ha venido mostrando preocupación por los problemas relacionados con la disponibilidad hídrica y abastecimiento, la cual es clave para mantener el estilo de vida en las áreas rurales-urbanas, equilibrio de ecosistemas y el medioambiente. Durante décadas, la humanidad ha ido consumiendo el agua a un ritmo acelerado, contribuyendo en algunas regiones al hambre, la enfermedad, la migración y hasta los conflictos (WWAP, 2019). La ONU estima que, si no se hace nada, en 2030 la demanda mundial será un 40% superior a la oferta natural, y que más de 800.000 personas perecerán anualmente por tomar agua en condiciones inseguras (FLOWEN, 2020).

En la actualidad, el rápido crecimiento demográfico de Perú contribuye directamente a la contaminación del recurso hídrico, así como a la difusión espacial desigual del agua y a periodos prolongados de estiaje, lo que hace necesarias propuestas creativas como alternativas a las fuentes tradicionales de abastecimiento de agua (Fernandez, 2011).



Actualmente las cuencas del río Ilave y en especial la sub cuenca Huenque que es parte del sistema hídrico del río Ilave, tiene una tendencia de aumento de temperatura (ANA, 2009), cuyas consecuencias alterarían de forma directa la disponibilidad hídrica, repercutiendo esta problemática hacía varias zonas rurales que dependen de este recurso hídrico, y sumado esto la falta de conocimiento que se tiene sobre la relación de oferta-demanda de agua, podría generar una elevada probabilidad de reducción de la fuente hídrica; conllevando a una limitada gestión integral y al aprovechamiento insostenible del agua de la microcuenca. Razón por la cual se realiza la presente investigación, cuyos resultados contribuirán a la adecuada gestión, tomando en trascendencia los factores del cambio climático.

#### **1.1.1. Problema general**

¿Cuál es la disponibilidad hídrica bajo las condiciones de cambio climático y la propuesta de mejora hídrica en la microcuenca Huenque – Ilave, 2021?

#### **1.1.2. Problemas específicos**

- ¿Cuáles son los datos de la que depende la situación actual de disponibilidad Hídrica en la microcuenca Huenque – Ilave?
- ¿Cuánto es la disponibilidad hídrica futura bajo las condiciones de cambio climático en la microcuenca Huenque – Ilave?
- ¿Cuál es la tecnología adecuada para el aprovechamiento de las aguas de lluvia y mejorar la disponibilidad hídrica en la microcuenca Huenque - Ilave?



## 1.2. HIPÓTESIS

### 1.2.1. Hipótesis general

¿La disponibilidad hídrica bajo las condiciones de cambio climático es elevada y permitirá proponer una tecnología de mejora hídrica en la microcuenca Huenque – Ilave, 2021?

### 1.2.2. Hipótesis específicas

- La situación actual de disponibilidad hídrica en la microcuenca Huenque – Ilave, 2021, depende de los datos climáticos y el uso de suelo
- La disponibilidad hídrica futura bajo las condiciones de cambio climático en la microcuenca – Ilave, es superior en cantidad a la disponibilidad hídrica actual.
- La tecnología adecuada para el aprovechamiento de las aguas de lluvia y mejorar la disponibilidad hídrica en la microcuenca Huenque Ilave son las zanjas de infiltración.

## 1.3. JUSTIFICACIÓN

La microcuenca Huenque - Ilave es una fuente de agua de abastecimiento tanto para el área rural como urbana del distrito de Ilave, actualmente viene sufriendo las consecuencias del cambio climático frente al agua, ocasionando la desabastecimiento de agua, siendo cada vez mayor con el pasar de los años, perjudicando a los pobladores que dependen de este líquido elemental para su subsistencia y realización de cualquier actividad como es la agricultura y ganadería así como también siendo perjudicial para el ambiente, Con el propósito de estimar los efectos del cambio climático sobre la disponibilidad de agua en la microcuenca Huenque, esta investigación utiliza la



modelación mediante el software WEAP, cuyo objetivo es establecer una idónea gestión del agua.

La construcción de zanjas de infiltración, que ofrecerán conservación de humedad para las plantas por medio del almacenamiento temporal de la escorrentía superficial, es la explicación de esto con el fin de utilizar la precipitación y mejorar la disponibilidad de agua en la microcuenca Huenque. Además, es necesario reforestar las zonas situadas entre las zanjas, revegetar con gramíneas o utilizar otras técnicas de conservación como el arado y la plantación en contorno.

Cuyos resultados servirán como referente teórico para la toma de acciones en base a la gestión del agua en consecuencia al cambio climático, así también servirá como referente para aquellas investigaciones cuyas características sean similares al presente trabajo de investigación.

Además, la gestión del agua en las cuencas altoandinas del país implica la regulación y recogida del agua de lluvia de escorrentía estacional, que se capta en canales y se traslada por acequias a zonas secas con suelos permeables y rocas necesarias para la infiltración. A pesar de la abundancia de agua en Perú, la deforestación, el despilfarro de agua y el calentamiento global son sólo algunos de los efectos que están haciendo del agua un recurso escaso. Se prevé que Perú empiece a experimentar los impactos del déficit del agua, a medida que las ciudades sigan expandiéndose, la agricultura se apoye en proyectos de agroexportación y el crecimiento industrial, previsto en los acuerdos de libre comercio, provoque un requerimiento de agua mucho mayor (MINAM, 2013).



## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo general**

Evaluar la disponibilidad hídrica bajo las condiciones de cambio climático y propuesta de mejora hídrica en la microcuenca Huenque – Ilave, 2021.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar la situación actual de disponibilidad hídrica en la microcuenca Huenque – Ilave.
- Estimar la disponibilidad hídrica futura bajo las condiciones de cambio climático en la microcuenca Huenque – Ilave.
- Escoger una tecnología adecuada para el aprovechamiento de las aguas de lluvia y mejorar la disponibilidad hídrica en la microcuenca Huenque-Ilave.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTE DE LA INVESTIGACION

##### 2.1.1. Internacionales

Parra (2016), en la investigación que tiene por título "Implementación del sistema de modelización WEAP como instrumento para determinar la incidencia del cambio climático en la disponibilidad hidrica en la cuenca del río Machángara" examinó los posibles escenarios climáticos de cambios en las precipitaciones y la temperatura y sus efectos en la disponibilidad de agua. Empleó el modelo de planificación WEAP como instrumento para evaluar cómo la cuenca del río Machángara se verá perjudicado por el cambio climático en términos de suministro de agua. El proceso de puesta en práctica del modelo implicó la recopilación de datos climatológicos e hidrológicos históricos, así como la cartografía de la región de la investigación de forma que sirviera de apoyo al mismo, con el fin de producir modelos que pudieran compararse con el estado del mundo en la actualidad. Además, el programa permitió aplicar los escenarios climáticos A2 y B2 del ECHAM para obtener datos sobre los cambios provocados por las fluctuaciones climáticas en el suministro de agua, lo que permitió a los gestores del agua elaborar y construir planes de gestión del agua a largo y corto plazo. Concluyendo el análisis futuro de la oferta y la demanda hidrica es que no habrá suficiente agua disponible para satisfacer la demanda de consumo humano durante junio a agosto. Este estudio puede ayudar a los gestores del agua a tomar decisiones basadas en el uso más eficaz del agua presentes y futuros y en la gestión adecuada de esos recursos a largo plazo.



Mellado (2019), en la investigación que tiene por título “Análisis del abastecimiento de agua de la cuenca del Duqueco teniendo en cuenta el cambio climático y el aumento de las plantaciones forestales de aquí a 2030”, utilizando el modelo IDRISI, desarrolló un uso futuro del suelo basado en los cambios en el uso del suelo entre 1994 y 2015. Los resultados demuestran que el bosque nativo y el terreno escarpado y en pendiente actúan como barreras para la extensión forestal, siendo la presencia de antiguas plantaciones y tierras agrícolas las que tienen una mayor influencia espacial. El modelo hidrológico calculó la disminución porcentual medio del caudal mensual en un 3.3% cuando sólo se consideró el escenario de cambio de uso del suelo. Los arroyos Cholguahue y Quillaco experimentaron las mayores reducciones, que se cifraron en un 10%, mientras que los meses de estiaje experimentaron las mayores reducciones (6.2% y 5.6%, respectivamente). El modelo hidrológico predijo que, en el escenario climático más calamitoso, la disminución en el vertimiento del río Duqueco puede llegar al 27%, y al 40%, con las mayores reducciones (30%) ocurriendo en la estación de otoño.

López & Manzano (2017), en estudio de la “Disponibilidad de agua en el Valle de Galeana, Nuevo León, México, bajo varios escenarios de cambio climático” Se utilizó el software WEAP para predecir los efectos de los escenarios RCP 4.5 y 8.5 sobre los recursos hídricos en el Valle de Galeana de 2015 a 2030. Se establecieron 2 escenarios de adaptabilidad: el primero considera una reducción en la cantidad de agua necesaria para empleo agrícola mediante la modificación gradual de los sistemas de riego, y el 2do considera un plan hídrico para aumentar el potencial de infiltración del área de recarga por medio de planes de reforestación y restauración de suelos. Los resultados indican que el acuífero



bajo escenarios climáticos y bajo el uso actual del agua es trascendental, ya que ambos escenarios provocarían un impacto negativo significativo en el acuífero a partir de 2015 y darían lugar a una recarga mínima del acuífero del 0.96 y el 1.5% de su tolerancia total en los meses típicos de lluvia. Se prevé que en 2023 comience una recuperación menor y se alcance una recarga máxima de  $3.11 \text{ Mm}^3$  durante la estación lluviosa si se tiene en cuenta el escenario de adaptabilidad de las modificaciones en los sistemas de riego. Los resultados del plan hidrológico integrado revelan un volumen de restitución de  $27 \text{ Mm}^3$ , aunque no mantengan una recarga constante y positiva sin embargo, dado que esta capacidad disminuye en diciembre, no es viable basar el crecimiento de la agricultura en hábitos de alto consumo de agua. Esta cifra refleja el 18.76% de la capacidad total de almacenamiento.

### **2.1.2. Nacionales**

León (2017), en la investigación que tiene por título “Disponibilidad de agua en el Valle de Galeana, Nuevo León, México, bajo varios escenarios de cambio climático” empleó el modelo hidrológico (SWAT) para estudiar el comportamiento hidrológico de mediados del siglo XX de la cuenca del río Piura. Para un total de 23 años (1986-2008), el modelo SWAT fue calibrado y verificado, y los resultados mostraron que su desempeño fue óptimo, como lo demuestran los rangos de Nash-Sutcliffe (NSE) y los coeficientes de estimación ( $R^2$ ) que fueron elevadas al 75% en ambos casos. Se definieron cuatro escenarios futuros proyectando las variables climáticas primarias utilizando los RCP4.5 y RCP8.5 a partir. Se examinaron tanto el periodo anual como las fases lluviosa (de octubre a abril) y seca (de mayo a septiembre). Los resultados revelan que la tendencia



media de las previsiones globales apunta a un aumento de la escorrentía del +71.8% durante la estación húmeda, es decir, unos  $55.9 \text{ mm}^3/\text{s}$ ; los tres meses con mayores aumentos son octubre, noviembre y diciembre. El periodo seco, por el contrario, minimiza un -66.1%, es decir, una pérdida de unos  $12 \text{ m}^3/\text{s}$ , siendo los meses julio, agosto y septiembre los que registran las peores pérdidas.

Leon & Portuguez (2019), en la investigación que tiene por título “Modelización del abastecimiento de agua del río Piura teniendo en cuenta los efectos del cambio climático”. Se utilizaron los modelos climáticos globales del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados Fase 5 para generar los parametros climáticos utilizados en los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 para las evaluaciones futuras. Los datos climáticos del periodo de referencia se utilizaron para rectificar los datos sesgados (2025-2054), que luego se redimensionaron empleando el generador climático MarkSim. Los escenarios de cambio climático predicen un incremento medio de la temperatura y las precipitaciones de  $+2.9^\circ\text{C}$  y 39.3%, para el periodo apreciado. El futuro patrón de evapotranspiración es generalmente descendente, con una ligera tendencia al alza en el borde noroeste de la cuenca. Por ejemplo, la tasa media de la escorrentía mensual hasta 2050, en los 4 escenarios, muestra un aumento del + 71.8%, o alrededor de  $55.9 \text{ mm}^3/\text{s}$ , para octubre y abril, con el mayor incremento en noviembre. Por otro lado, se observa un descenso del -66.1%, o alrededor de  $12 \text{ m}^3/\text{s}$ , de mayo a septiembre, siendo julio el mes que registra el mayor descenso.

Olivera (2019), en la investigación titulada “Disponibilidad de agua superficial de la subcuenca del río Shullcas de Huancayo para uso agrícola en caso de cambio climático”, con el objetivo de evaluar la cantidad de agua para usos



agrícolas en la subcuenca del río Shullcas ante escenarios climáticos. Para ello se requirieron datos hidrometeorológicos, la cantidad de parcelas agrícolas, los tipos de cultivos, entre otros factores. Sin embargo, la disponibilidad de agua para uso agrícola en los escenarios de cambio climático S1 y S2 previstos para el año 2039 sería de 0.50 MMC en el mes de julio y de un máximo de 27.59 MMC en febrero, respectivamente. En cambio, en el escenario de cambio climático S2, la disponibilidad de agua para uso agrícola sería de -0.30 MMC en el mes de julio y de un máximo de 27.59 MMC en febrero.

### **2.1.3. Regionales**

Pilares, Montalvo et al. (2018), en la investigación que tiene por título “Evaluación de la disponibilidad de agua en los escenarios climáticos regionalizados en la cuenca del río Cabanillas del Altiplano peruano” cuyo objetivo fue crear un modelo para analizar la disponibilidad de agua de la UH del río Cabanillas, de  $2.845 \text{ km}^2$ , que forma parte del lago Titicaca, bajo varios escenarios regionalizados de cambio climático. El modelo WEAP es utilizado en la modelación hidrológica de control de agua de la cuenca del río Cabanillas para evaluar cómo se comporta la citada disponibilidad para el sistema integral de Lagunillas teniendo en cuenta cómo afectará el cambio climático al sistema de almacenamiento y a las necesidades de agua tanto en el presente como en el futuro. Se emplearon 3 modelos climáticos CANESM2, CNRM-CM5 y MPI-ESM-MR- con escenarios climáticos regionalizados. También se utilizaron 2 escenarios de emisiones -un escenario optimista, RCP 8,5, y un escenario intermedio, RCP 4,5-. No obstante, el cambio climático tiene un impacto favorable en los aportes de agua, que se revela en un aumento de 15% a 20% en la disponibilidad para el área



en estudio en todos los escenarios. Los resultados muestran que sólo se cubre el 80% de la demanda.

Lujano & Diaz (2016), en la investigación que tiene por título “Evaluación del abastecimiento de agua actual y previsto de las cuencas hidrográficas del Ilave y del Ramis a la luz del cambio climático” cuyo fin fue evaluar la distribución temporal de las precipitaciones simuladas en el Centro Hadley del Reino Unido utilizando datos climáticos de 1961-1990 y con predicciones al 2071-2100, con el fin de evaluar la disponibilidad actual y también futura de agua en el ámbito del cambio climático. Se utilizó la eficiencia de Nash y Sutcliffe para cuantificar las evaluaciones estadísticas del modelo hidrológico de 2 parámetros, empleado para la modelización de caudales. Con un BIAS=56.7% y 159.6% para las cuencas, respectivamente, los resultados de precipitación modelaron con exactitud los modelos del ciclo estacional, pero fueron sobrestimados comparados con los observados a lo largo del año, lo que manifiesta una reducción de las precipitaciones en la cuenca del Ilave y un aumento en la cuenca del Ramis para finales del siglo XXI. Los resultados de los ríos Ilave y Ramis muestran caudales aceptables y buenos, con una eficacia de Nash de 0,727 y 0,833, respectivamente, y en la etapa de validación, un Nash de 0,78 y 0,91. Las modelaciones de caudales futuros muestran el mismo modelo de cambio que las precipitaciones, con cambios medios anuales de -29,3% y -28,1% en la cuenca del Ilave y aumentos de 18,8% y 6,0% en la cuenca del Ramis. La zona sur de la región hidrográfica sufrirá la mayor pérdida de agua, según las observaciones.



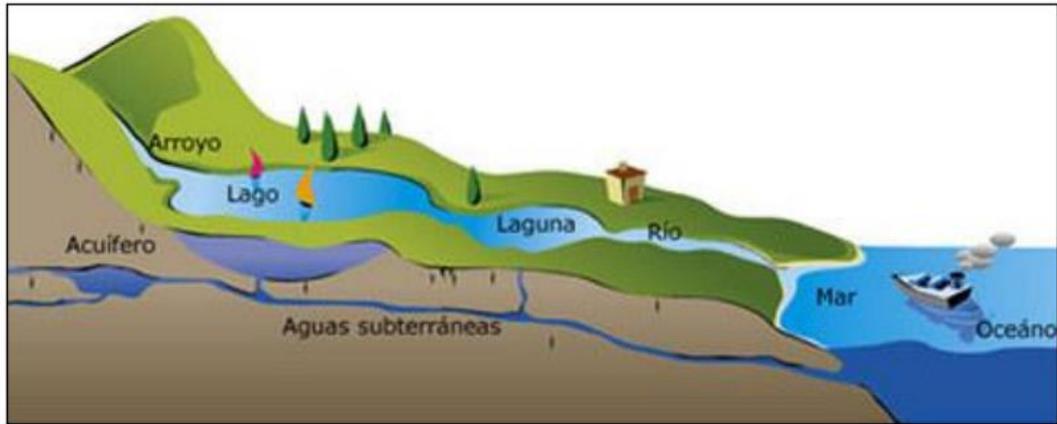
## 2.2. MARCO TEÓRICO

### 2.2.1. Recurso hídrico

Todas las masas de agua del mundo, incluidos mares, ríos, aguas subterráneas, lagos, capas de hielo, manantiales y lagunas, se incluyen en el recurso hídrico. Todos los seres vivos tienen acceso a ella en la naturaleza de forma fácilmente disponible, reponible y finita, ya sea en la atmósfera, en los mares, en la superficie o bajo la superficie (Aguilar, 2016).

El agua es crucial para el crecimiento de la vida y es utilizada por las personas para diversas actividades sociales, económicas y ambientales, según diversos estudios de científicos y organizaciones, el recurso debe estar enfocado a un uso sostenible (Ley N° 29338, 2017). La importancia crítica del agua queda demostrada por el hecho de que toda la vida depende de ella. Históricamente, este recurso ha ayudado al crecimiento de las ciudades fomentando el desarrollo económico y social, pero en el mismo contexto histórico han faltado normas de conservación y uso sostenible (Preteli, 2016).

El recurso se divide en categorías superficiales y subterráneas. Los ríos y arroyos contienen el recurso superficial, que es el agua que procede en su mayor parte de las precipitaciones e impregna el paisaje. El recurso subterráneo, en cambio, se descubre bajo tierra, penetra en el subsuelo y se sitúa entre las partículas del suelo o entre las superficies rocosas (Cabrera, 2008).



**Figura 1:** Agua superficial y subterránea

**Fuente:** (Cabrera, 2008)

Al igual que un colector que acopia el agua de lluvia y la transforma en escorrentía, las cuencas hidrográficas sirven para gestionar el almacenamiento de agua. Debido a las pérdidas de agua resultantes de esta transformación, que dependen de las situaciones climatológicas y de los parámetros físicos de la cuenca, las cuencas adyacentes sometidas a las mismas especificaciones climáticas logran tener regímenes de flujo drásticamente diferentes, lo que se debe principalmente a los parámetros geomorfológicos (Julcamoro, 2017).



**Figura 2:** Cuenca hidrográfica

**Fuente:** (Julcamoro, 2017)

Los recursos hídricos son cruciales para el crecimiento de las sociedades, por lo que la investigación relativa a la disponibilidad de agua resulta crucial. Dada su naturaleza en relación con el agua y el hecho de que están definidas de forma natural, las cuencas hidrográficas son las unidades territoriales más adecuadas para este tipo de estudios (Dourojeanni & Jouravlev, 2002).

Dado que todos los procesos naturales relacionados con el ciclo hidrológico, como la precipitación, la acumulación, la infiltración, la recarga de aguas subterráneas, la captación, la evapotranspiración y la escorrentía de aguas superficiales, se producen de forma conectada, estas unidades territoriales se utilizan para los estudios sobre el agua (Dourojeanni & Jouravlev, 2002).

### 2.2.2. Disponibilidad hídrica

El suministro utilizable, tanto a nivel superficial como subterráneo, en el que parte del agua se utiliza para un fin determinado y que será accesible a largo plazo, puede denominarse disponibilidad de agua. Se considera oferta



aprovechable a la fuente de agua que, tras la precipitación y habiendo satisfecho la demanda (en este ejemplo, la necesidad de las plantas), está disponible para ser utilizada por los seres humanos en sus múltiples quehaceres sociales, económicos y culturales (Aguilar, 2016).

Así también Olivera (2019), alude la disponibilidad de agua como la cantidad de agua que está consistentemente presente en un lugar determinado y permite la preservación de ecosistemas, paisajes u otros tipos de bienes valiosos.

Todo el mundo debería tener acceso al agua, ya que es una bebida necesaria para los seres humanos (Aguilar, 2016).

### **2.2.3. Cambio climático y escenarios de cambio climático**

#### **2.2.3.1. Cambio climático**

Según la definición de cambio climático, es la modificación natural y/o provocada por el hombre del clima tanto a escala mundial como regional en relación con la historia climática. La variabilidad en las concentraciones de GEI, la radiación solar y la cubierta terrestre influyen en factores climáticos como la presión atmosférica, la temperatura, las precipitaciones y la nubosidad, que contribuyen a este cambio (Parra, 2016). La temperatura oceánica incrementa  $0,1^{\circ}\text{C}$  entre 1961 y 2003, lo que indica la presencia de un cambio climático. El periodo comprendido entre 1991 y 2003 mostró los mayores índices de calentamiento, que por término medio aumentan con el tiempo a escalas no lineales. Por otro lado, el impacto climático del agua, la industria agrícola, la biodiversidad y los sucesos graves es lo que verdaderamente importa a la hora de calcular sus efectos (ONU, 2020). Otras previsiones, basadas en la premisa del



predominio mundial de los combustibles fósiles, muestran un incremento de las emisiones de GEI entre 2000 y 2030 que oscila entre el 25% y el 90% (IPCC, 2007).

Según el (IPCC), (2007). los escenarios climáticos son "representaciones opciones de lo que podría ocurrir en el futuro y componen una herramienta adecuada para evaluar cómo inciden las fuerzas motrices en las emisiones futuras y para analizar la incertidumbre de tal análisis". En este enfoque, los escenarios se transforman en un instrumento clave para analizar el cambio climático, en particular para la modelización del clima, lo que a su vez ayuda a evaluar el impacto y los esfuerzos de adaptación y mitigación (Parra, 2016).

### **2.2.3.2. Escenarios de cambio climático**

El IPCC (2007), define como son previsiones sobre cómo serán la sociedad y el medio ambiente en el futuro; estas estimaciones se basan en hipótesis sobre el incremento de las GEI y aerosoles, el crecimiento demográfico, la expansión económica y la legislación medioambiental.

Los escenarios de cambio climático se basan en las emisiones de GEI. Estas emisiones son subproductos de sistemas dispuestos extremadamente intrincados en los que influyen los avances sociales y técnicos, la normativa medioambiental y las tendencias demográficas y socioeconómicas. Para representar con la mayor precisión posible la gama de incertidumbres de las previsiones, se suele elegir un conjunto de escenarios. "Caracterización" es un sinónimo frecuentemente utilizado de "escenario" y se denomina caracterización futura (IPCC, 2013).



Para ayudar a tomar decisiones políticas, los escenarios actuales reflejan las posibles consecuencias (físicas, ecológicas y económicas) y las posibles soluciones. La Integrated Assessment Modelling Community creó estos escenarios, que difieren de los utilizados en el AR4 del IPCC. Panel Científico, que está formado por miembros de las comunidades que construyen estos nuevos escenarios en colaboración con desarrolladores de escenarios modeladores climáticos y expertos en mitigación y adaptación (CIIFEN, 2014).

Los nuevos escenarios climáticos tienen los rasgos que se enumeran a continuación (Parra, 2016).

- a) Para ayudar a las comunidades que trabajan en la adaptabilidad y el desarrollo socioeconómico a crear escenarios en base a las políticas potenciales, ofrecen información en profundidad.
- b) Representan forzamientos radiactivos lo justamente diversos como para que pueda distinguirse su influencia climática a largo plazo.
- c) Trabajan con todo el espectro de escenarios actuales de emisiones, estabilidad y mitigación de la literatura examinada por pares.

Hay 4 escenarios adicionales, cada uno de los cuales recibe un nombre basado en la cantidad de RF que emitirá para el año 2100: RCP 2,6, RCP 4,5, RCP 6,0 y RCP 8,5. Un escenario en el que los esfuerzos de mitigación conducen a un forzamiento extremadamente bajo (RCP2.6), dos escenarios de estabilidad (RCP4.5 y RCP6.0) y un escenario con emisiones muy elevadas (RCP8.5) forman parte de los escenarios de las vías de concentración representativas (RCP). El Cuadro 1 ilustra las principales características de estos escenarios.

**Tabla 1.** Escenarios climáticos al año 2100 - vías representativas de concentraciones “Representative Concentration Pathways” RCP

Nombre	Forzamiento radiactivo (FR)	Concentración de CO <sub>2</sub> (ppm)	Temperatura anómala	Ruta
RCP 8.5	>8.5Wm <sup>2</sup> , en 2100	>1370 CO <sub>2</sub> equivalente en 2100	4.9	Creciente
RCP 6.0	- 6 Wm <sup>2</sup> , en estabilización después del 2100	- 850 CO <sub>2</sub> equivalente (estabilización después del 2100)	3	Estabilización sin excederse
RCP 4.5	- 4.5 Wm <sup>2</sup> , en estabilización después del 2100	- 650 CO <sub>2</sub> equivalente (estabilización después del 2100)	2.4	Estabilización sin excederse
RCP 2.6	- 2.6 Wm <sup>2</sup> , antes del 2100 y luego declinaciones	- 490 CO <sub>2</sub> equivalente a antes del 2100 y luego declinaciones	1.5	Pico y disminución

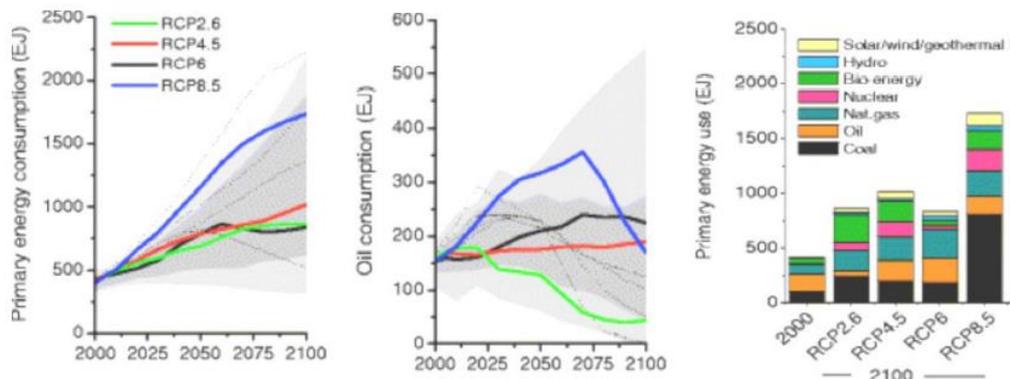
**Fuente:** (Parra, 2016)

El 5to informe del IPCC (AR5) tiene dos escenarios de emisiones, siendo las vías de concentración representativas (RCP) las más cruciales para cualquier simulación (CIIFEN, 2014)

#### a) Vía de concentración representativa - RCP 4.5

Se trata de un escenario estabilizador en el que la fuerza radiactiva alcanza 4,5 W/m<sup>2</sup> en el año 2100 sin superar nunca ese nivel. Las medidas climáticas, que en este contexto implican castigar el consumo de carbono, se consideran necesarias para alcanzar este objetivo. En este escenario, nueve mil millones de personas viven en la Tierra en 2065, y 8,700 millones lo hacen en 2100. La

demanda energética aumenta tres órdenes de magnitud más rápido que el PIB mundial. (IPCC, 2013).



**Figura 3:** Progresión temporal del uso de energía primaria (izquierda), uso de combustibles fósiles (centro) y consumo de energía (derecha) en las RCP.

**Fuente:** (IPCC, 2013)

#### b) Vía de concentración representativa - RCP 8.5

Indica una ruta con emisiones y sacrificios significativos. Sus principales supuestos socioeconómicos son un rápido aumento de la población, un modesto crecimiento del PIB y un lento ritmo de avance técnico y de eficiencia energética. Como resultado, se produce un enorme aumento del consumo de energía y de las emisiones de gases de efecto invernadero. En este escenario no se aplican políticas de cambio climático (Parra, 2016).

#### 2.2.4. Modelación hidrológica

Es un enfoque que simula sistemas físicos utilizando modelos construidos a partir de funciones matemáticas conceptuales y empíricas, permitiendo simular el flujo utilizando información de la cuenca. Las simulaciones de fenómenos correlacionados con el agua pueden agruparse en 3 categorías principales:



hidráulicos, hidrológicos y de planificación; Los modelos hidráulicos simulan cómo se comportan los caudales en los cauces bajo diversos escenarios. Los modelos hidrológicos modelan la relación entre los parámetros meteorológicas y la escorrentía en una cuenca (León, 2017).

#### **2.2.5. Sistemas de información geográfica (SIG) en recursos hídricos**

Según la FAO los sistemas de información geográfica son sistemas informatizados de almacenamiento, procesamiento y recuperación de información con hardware y software especialmente creados para trabajar con datos georreferenciados y sus atributos temáticos asociados (FAO, 2000).

Para la gestión y la toma de decisiones, los sistemas de información geográfica (SIG) y la modelización hidrológica se utilizan para comprender el desarrollo y la gestión de los recursos hídricos (Jayakrishnan, Srinivasan, Santhi y Arnold, 2005). La gestión de los recursos hídricos requiere una serie de datos geográficos, como información sobre el terreno, el clima, los suelos y el uso del suelo.

Debido al desarrollo de la tecnología de la información, que ha transformado el estudio de los sistemas hidrológicos y los recursos hídricos, la evaluación y la gestión de los recursos hídricos necesitan ahora el tratamiento de numerosas formas de datos espaciales (Jayakrishnan, Srinivasan, Santhi, & Arnold, 2005).

Los SIG ofrecen métodos bien desarrollados para manejar información geográfica de gran resolución espacial y cuantía informativo. No obstante, para



utilizar estos datos en la modelización hidrológica distribuida, una parte considerable de ellos debe ser preprocesada y convertida, dependiendo de la cuenca hidrográfica (Parra, 2016).

#### **2.2.6. Modelo WEAP**

Se han creado herramientas acordes con los requisitos modernos para facilitar la toma de decisiones y garantizar el cumplimiento de las numerosas peticiones que surgen. Una de estas herramientas es el programa WEAP (Water Evaluation and Planning), muy apreciado en muchos países, que permite realizar estudios que combinan la demanda, la oferta y la calidad del agua teniendo en cuenta tanto las condiciones hidroclimatológicas de la cuenca como las características del suelo, ya sea en una sola cuenca o en un conjunto de subcuencas (Aguilar, 2016).

##### **2.2.6.1. Modo de uso del modelo WEAP**

WEAP simula la evapotranspiración, la infiltración, la escorrentía superficial, la escorrentía subsuperficial y el flujo de base como partes del balance hídrico. Para cada una de las unidades geográficas primarias que componen el mundo, WEAP necesita datos climatológicos y de cobertura vegetal para predecir estos componentes del balance hídrico. 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 subcuencas se relacionan con estas unidades fundamentales de modelación. La caracterización requerida de la cubierta vegetal, incluyendo la extensión estimada y la distribución de la

cubierta vegetal a través de cada zona de captación, se adquiere mediante este procedimiento (WEAP, 2009).

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

**Tabla 2.** Parámetros de uso de suelo

<b>USO DE SUELO</b>	
<b>Área</b>	Superficie de tierra para el tipo de cubierta terrestre dentro de la unidad hidrográfica.
<b>Kc</b>	Coefficiente de cultivo para un tipo de tierra en comparación con el cultivo de referencia.
<b>Capacidad de agua en la zona de raíz (SW)</b>	Agua efectiva que preserva la capacidad de la capa superficial del suelo se muestra en (mm).
<b>Capacidad de agua profunda (DW)</b>	La capa profunda del suelo (fondo de la cubeta) puede mantenerse gracias al agua efectiva. La captación tiene un valor único y no cambia en función del tipo de uso. Si el lugar de demanda tiene un enlace de flujo con un nodo de aguas subterráneas, no se tiene en cuenta.
<b>Factor de Resistencia al Ecurrimiento (RRF)</b>	Utilizado para regular la reacción de la escorrentía superficial. El intervalo de este indicador va de 0,1 a 10, y los valores mayores generalmente darán lugar a una menor escorrentía. Dependiendo de la aplicación, esta opción podría ser diferente.

**Fuente:** (WEAP, 2009)

Los parámetros climáticos necesarios para la modelización encierran las precipitaciones, la temperatura, la humedad y velocidad del viento, los resultados de los modelos y las calibraciones. Por último, en el análisis del suministro de agua se requiere añadir información sobre la infraestructura física existente para la gestión y el uso dentro de la cuenca (WEAP, 2009).



### 2.2.6.2. Algoritmos de WEAP

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

- a) Precipitación/escorrentía.
- b) Demandas
- c) Humedad del suelo

El modelado por WEAP emplea 3 algoritmos o módulos: 1. Humedad del suelo. Es crucial tener en cuenta que la elección de utilizar algunos de estos enfoques depende del nivel deseado de complejidad o detalle, determinado por la cantidad de información disponible (WEAP, 2009).

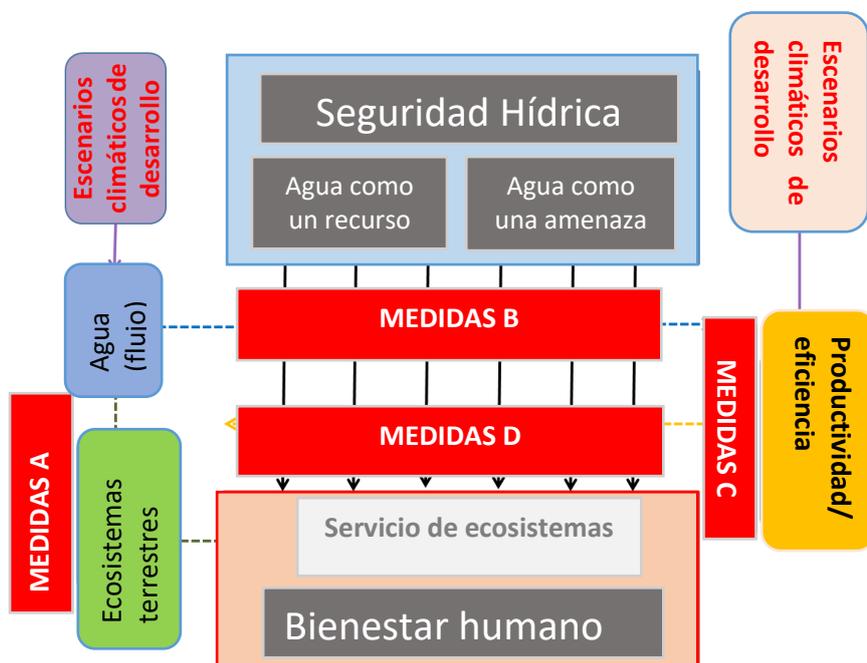
La técnica de necesidades es la más directa de estas tres. Mediante el uso de  $K_c$  para estimar la evapotranspiración en la cuenca, este enfoque puede identificar cualquier demanda de riego que podría hacerse para satisfacer la necesidad de  $E_t$  que la precipitación no puede proporcionar en su totalidad. Sin embargo (WEAP, 2009).

Utilizando su coeficiente de cultivo, la técnica lluvia-escorrentía calcula también la evapotranspiración para el riego de cultivos o vegetación. En función de 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. Tecnología de adaptación para la mejora de la disponibilidad hídrica

En el marco de la adaptabilidad al cambio climático, las medidas de adaptación en el marco de la agricultura y recursos hídricos, (Ocampo-Melgar, Vicuña, Gironás, Varady, & Scott, 2016), ofrecen una estrategia para incluir medidas relativas a la seguridad del agua y el bienestar humano en el ámbito de la adaptabilidad al cambio climático en el marco de los recursos agrícolas e hídricos (Figura 4).

Como forma de adaptación, se propusieron diversas medidas, que luego se ordenaron y agruparon en función del sector pertinente (urbano, agrícola, ecosistema/montaña) y de su relación con los distintos indicadores de rendimiento (figura 4).



**Figura 4:** Tipos de medidas de adaptación cuantitativas ante el cambio climático

**Fuente:** (Ocampo-Melgar, Vicuña, Gironás, Varady, & Scott, 2016)

<b>Medidas Tipo A: Medidas relacionadas con servicio ecosistema de regulación y provisión de agua</b>	<b>Medidas Tipo B: Medidas relacionadas con regulación y distribución de agua desde cauces naturales /acuíferos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>. Introducción de cultivos nativos</li> <li>. Inversión de terrazas</li> <li>. Protección de glaciares y de taludes</li> <li>. Fondos de agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Captación de agua de lluvia</li> <li>. Recarga acuíferos</li> <li>. Cambios en infraestructura de almacenamiento (físicos y operación)</li> <li>. Infraestructura de protección</li> <li>. Mejoras en sistemas de captación y conducción</li> <li>. Transferencia, venta, arrenda de derecho</li> </ul>
<b>Medidas Tipo C: Medidas relacionadas eficiencia /eficacia / productividad dato contexto físico</b>	<b>Medidas tipo D: Medidas relacionadas con beneficio (bienestar humano) final</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>. Nuevas variedades de cultivo y mejoras en prácticas de riego</li> <li>. Plataformas de alerta temprana y planificación territorial en base a escenarios</li> <li>. Nuevas áreas de conservación</li> <li>. Mejoras en pérdidas de distribución</li> <li>. Reducción en consumo residencial, parques, industrial</li> <li>. Reutilización aguas grises/tratadas</li> <li>. Mejoras en tratamiento y reducción de contaminación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Seguro agrícola</li> <li>. Áreas recreacionales (sin vegetación)</li> <li>. Traslado de especies</li> </ul>

**Figura 5:** Lista de medidas de adaptación consideradas en una cuenca, con énfasis en las medidas cuantitativas

**Fuente:** (Ocampo-Melgar, Vicuña, Gironás, Varady, & Scott, 2016)

Del mismo modo, otros factores además del clima tienen una gran influencia en el manejo del agua, según (ASCE, 2015). Por ejemplo, las alteraciones en el uso del suelo que influyen en las tasas de escorrentía e infiltración tanto en zonas urbanas como rurales. Las inundaciones y las sequías tienen un efecto significativo en la civilización. La creación de nuevas infraestructuras de almacenamiento de agua o las estrategias no estructurales de conservación del agua pueden formar parte de la gestión de las sequías. Los diques y embalses pueden utilizarse para desviar las aguas de las inundaciones lejos de las personas y las tierras económicamente valiosas, mientras que las estrategias no estructurales como la compra de viviendas en llanuras aluviales vulnerables y la instalación de sistemas de alerta de inundaciones y evacuación entran en la categoría de gestión del riesgo de inundaciones.



Además, según Mamani (2017), con el fin de seleccionar una tecnología para aumentar la disponibilidad de agua en las cuencas, es crucial comprender los parámetros morfológicas e hidrogeológicas de los materiales que se recargarán. Conociendo sus parámetros hidrogeológicos, podemos crear técnicas de recarga diseñadas adecuadamente.

#### **2.2.7.1. Zanjas de infiltración**

En este informe, la evidencia experimental sugiere que las zanjas de infiltración se trazan en afloramientos rocosos porque (según pruebas de campo) tienen mayor conductividad hidráulica que los suelos y, por lo tanto, mayor capacidad de infiltración. Es necesario que exista una capa superficial de material no consolidado (suelo) que permita la localización y distribución de las zanjas de infiltración para poder ubicarlas (Mamani E. , 2017).

Las zanjas de infiltración se han utilizado en regiones semiáridas para mejorar la calidad del suelo, gestionar la erosión y suministrar humedad local. Las zanjas crean considerables flujos de recarga que se utilizan hoy en día como una de las formas más eficientes de rellenar artificialmente los acuíferos, especialmente en rocas fracturadas de alta montaña, aunque pierden su capacidad de regular la erosión laminar o por surcos cuando se erigen sobre materiales permeables (Flores, 2004).

Las zanjas de infiltración deben reaccionar oportunamente a la diferencia entre la cantidad de precipitación que cae sobre la zona a recargar y la cantidad que es captada y absorbida por la zanja, que debe ser menor o igual. 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% en función de la naturaleza del terreno) y deben discurrir transversalmente a la pendiente máxima del terreno. Dado que el agua de lluvia es la fuente de suministro, 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, la anchura y la profundidad de la zanja, conservando la idea de paralelismo de cantidades de agua y de conectividad entre las 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 la tierra vuelva con las lluvias, 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 el volumen total de agua que converge en la zanja no debe ser mayor que la capacidad de la zanja (Flores, 2004). Como resultado, la cantidad de precipitación que se acumula en la zona del impluvio debe ser menor o igual a la cantidad que la zanja recoge y absorbe (Flores, 2004).

#### **a) Principio para diseñar las zanjas de infiltración**

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

**Donde:**

$V_{ai}$ : Volumen de aportación zona de impluvio m<sup>3</sup>



$V_{cz}$ : Volumen de captura zona de zanjas (m<sup>3</sup>/hr).

$V_{in}$ : Volumen de infiltración de la zanja (m<sup>3</sup>/hr)

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

**Donde:**

$P$ : Precipitación (máxima en una hora)

$S$ : Superficie de captación

$e$ : Coeficiente de escorrentía

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

**Donde:**

$b$ : base de la zanja

$h$ : altura de la zanja

$l$ : largo de la zanja

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

**Donde:**

$b$ : base de la zanja

$v$ : velocidad de infiltración de la zanja

$l$ : largo de la zanja

- **Condición para la verificación del diseño de la zanja**

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

- **Luego**

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



## **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 utilización del nivel hídrico variará en función del desarrollo económico, el nivel de vida y la infraestructura del país (Olivera, 2019).

### **2.3.2. Oferta hídrica**

Cantidad de agua que satisface la demanda por evapotranspiración e infiltración en el suelo cuando precipita en la cuenca. mediante los cauces de los ríos y corrientes superficiales, escurre (CORPONARIÑO, 2009).

### **2.3.3. Demanda hídrica**

Se refiere al cálculo del volumen de agua necesaria para satisfacer las demandas biológicas fundamentales, así como la expansión económica de la sociedad (CORPONARIÑO, 2009).

### **2.3.4. Microcuenca**

Según el Min ambiente," se refiere a las aguas superficiales que entran en una red hidrográfica natural con uno o varios cursos de agua naturales que confluyen en un curso mayor, que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de agua, en un pantano o directamente en el mar; cuya superficie de drenaje es inferior a 500 km<sup>2</sup>" (Minambiente, 2022).



### **2.3.5. Escenarios de cambio climático**

Se trata de una técnica para anticipar con fiabilidad las posibilidades futuras de cambio climático. Se fundamenta en técnicas científicas que arrojan luz sobre cómo reaccionarán los diversos sistemas medioambientales ante el futuro cambio climático (Olivera, 2019).

### **2.3.6. Zanjas de infiltración**

Las zanjas de infiltración son excavaciones construidas en la tierra en forma de canales de sección rectangular o trapezoidal con el fin de captar la escorrentía de las precipitaciones y almacenar agua para los pastos y cultivos situados debajo de las zanjas (MINAGRI, 2014).

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. ZONA DE ESTUDIO

La zona estudiada está localizada en provincia de El Collao-Ilave; Puno, en las Coordenadas Geográficas, Latitud:  $16^{\circ}35'4.37''S$ ; Longitud:  $69^{\circ}53'15.43''O$ , a una altura promedio de 3959.00 a 4921.00 m.s.n.m.



**Figura 6:** Mapa de ubicación de la microcuenca Huenque

**Fuente:** Elaboración propia

##### 3.1.1. Límites.

La microcuenca Huenque viene limitando por el norte con la Cuenca aguas calientes, por el sur con la microcuenca Pusuma, Por el este con la microcuenca Calasaya y por el oeste con la microcuenca Antajarani

### 3.1.2. Vías de comunicación y accesibilidad

La principal vía de accesibilidad y conexión desde la ciudad de Puno, que sirve como principal eje comercial de la zona sur del departamento de Puno, es la terrestre, como se indica en el Tabla 3.

**Tabla 3.** Vías de comunicación y accesibilidad al área en estudio

<b>PARTIDA</b>	<b>FIN</b>	<b>DISTANCIA</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>TIPO DE VIA</b>	<b>MEDIO DE TRANSPORTE</b>
Puno	Chucuito	19.7 km	0.25 h.	Carretera asfaltada	Bus/Automóvil
Chucuito	Platería	9 km	0.08h	Carretera asfaltada	Bus/Automóvil
Platería	Acora	4.8 km	0.06h	Carretera asfaltada	Bus/Automóvil
Acora	Ilave	21.7 km	0.22h	Carretera asfaltada	Bus/Automóvil
Ilave	microcuenca Huenque	59.7 km	1.30 h	Trocha	Automóvil

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Dado que se juzgará en función de su interés de aplicación, el método de investigación utilizado para diseñar este proyecto es aplicado. Los resultados del estudio fundamental se aplicarán para resolver problemas reales.

Una cuestión que debe resolverse es el objetivo de la investigación aplicada, que también puede aportar nueva información (Baena, 2017).

La investigación será de nivel explicativo, ya que tratará de explicar cómo afectarán los fenómenos del cambio climático al suministro de agua.



Los estudios explicativos se concentran en dilucidar las causas de los fenómenos, las circunstancias en las que surgen o las conexiones entre una o más variables (Hernández & Mendoza, 2018).

Debido a que las variables serán alteradas intencionalmente en la investigación a realizar para comprender su impacto en otras variables, el diseño de investigación es experimental (Hernández & Mendoza, 2018).

### **3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS**

#### **a) Técnicas**

El análisis documental es el principal método de recopilación de información: Se denomina así a los métodos que permiten recopilar y recoger datos de documentos relativos a la problemática y objeto de estudio utilizando el método de archivo (Rizo, 2015); Se consideró como muestra para este proyecto de estudio el conjunto de datos climáticos mensuales, incluyendo precipitación mensual, temperatura mensual, humedad mensual, caudales mensuales, provenientes de estaciones meteorológicas e hidrométricas y fotos satelitales. Esta información se recopilará mediante un método de muestreo estratigráfico sistemático basado en los datos ya disponibles (Alfaro & Gonzales, 2008), a lo largo de todo un año en intervalos de tiempo y espacio elegidos en función de la ubicación de las estaciones.

#### **b) Instrumentos**

- Software Microsoft Office
- Software Microsoft Excel
- Software ArcGIS 10.5
- Software Google Earth



- Software WEAP

### **3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.3.1. Población**

La población está representada por la disponibilidad hídrica bajo las condiciones del cambio climático en la microcuenca Huenque.

#### **3.3.2. Muestra**

Dado que el estudio ofreciera datos pertinentes sobre la disponibilidad de agua tanto ahora como en el futuro, sus conclusiones servirán de guía teórica para posteriores investigaciones sobre un tema similar y, en cierto modo, animarán a las instituciones competentes a tomar las medidas requeridas para una gestión idónea del agua; se ha considerado que el tamaño de la muestra sea la misma especificada en la población, siendo esta la disponibilidad hídrica bajo las condiciones climáticas en la microcuenca Huenque. En tal sentido representa los datos mensuales de precipitación y caudales que se emplean para calibrar el modelo y proyectar a diversos escenarios futuros, se trata de un muestreo probabilístico.

### **3.4. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO**

El proceso metodológico para alcanzar los objetivos planteados en este estudio: se recopiló todo el material necesario a través de tesis, libros, publicaciones académicas y sitios web, entre otras fuentes. Otra opción es la obtención de datos de un organismo que ha recopilado datos para lograr sus objetivos, como el SENAMHI.



### 3.4.1. Situación actual de disponibilidad hídrica en la microcuenca Huenque

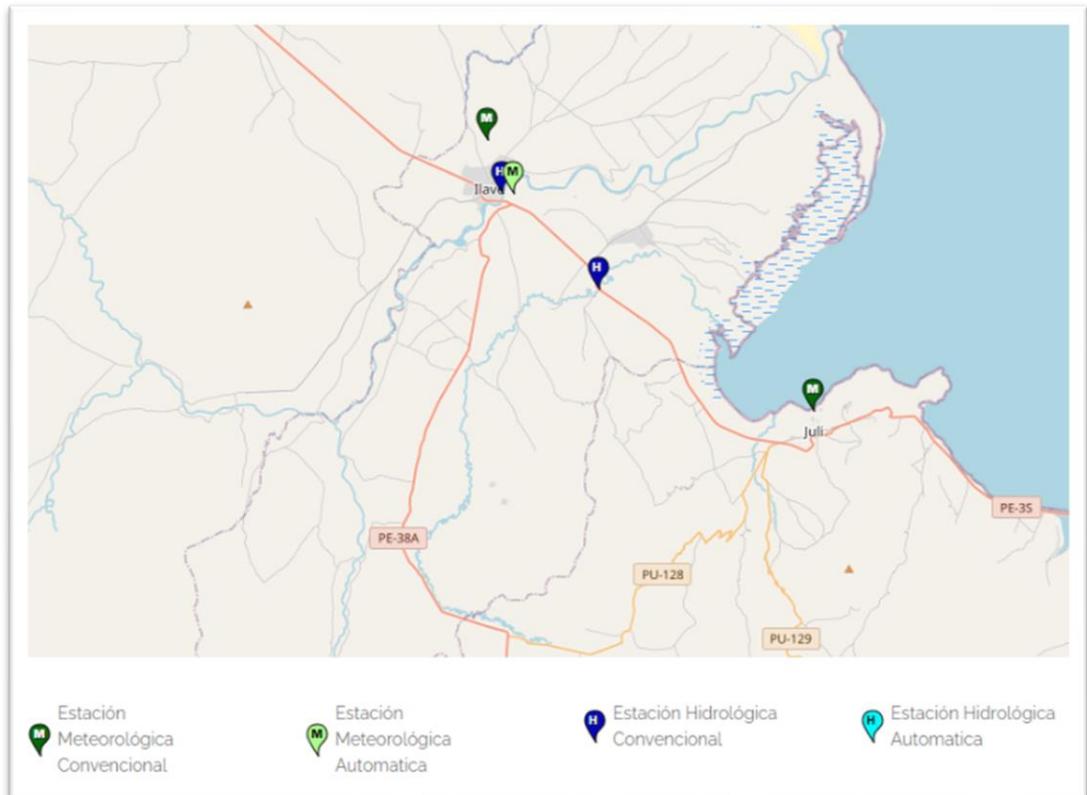
#### – llave.

El programa WEAP es un instrumento de modelación computacional para la planificación y distribución del agua, incluye específicamente un modelo hidrológico y opera en base de un equilibrio entre la oferta y la demanda de agua, y fue utilizado para modelar la disponibilidad actual de agua en el área en estudio.

#### a) Método para determinar la disponibilidad hídrica

Para el presente proyecto de investigación se ha escogido el **método de la humedad del suelo**; el cual es unidimensional; por su complejidad de ajustar 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.

- **Datos climáticos-**. Se recopiló toda la información disponible actual de las estaciones meteorológicas y estaciones hidrológicas del SENAMHI cercanas al área en estudio como es: La precipitación, temperatura, humedad y velocidad del viento.



**Figura 7:** Ubicación de estaciones meteorológicas del SENAMHI cercanas a la microcuenca Huenque – Ilave.

**Fuente:** (SENAMHI, 2022)

La información del SENAMHI, proporciona datos de temperatura, precipitación, humedad y velocidad del Viento, de las estaciones cercanas a la microcuenca Huenque, como se aprecia en la Fig. N°: 7.

Dichos datos fueron modelados en el software ArcGIS, para obtener datos más exactos de las condiciones climatológicas de área en estudio, y finalmente ser exportarlos al Software WEAP.

**- Datos de uso de suelo.-** Para el conocimiento de los datos de uso de suelo se descargó la información de la plataforma digital GEO GPS PERU el cual proporciona un formato shapefile el uso de suelo en la microcuenca Huenque.



Así mismo se realizó la calibración empleando los siguientes parámetros en el área en estudio para los datos de uso de suelo:

- **Coefficiente de Cultivo (Kc):** Evapotranspiración real de un cultivo dividida por la evapotranspiración de referencia calculada en las mismas circunstancias climáticas.
- **Soil Water Capacity (SW):** La capacidad del suelo para almacenar agua en el estanque superior.
- **Deep Water Capacity (DW):** La capacidad del suelo para almacenar agua en el estanque inferior.
- **Runoff Resistance Factor (RRF):** También conocido como RRF (factor de resistencia a la escorrentía)

Dichos datos climáticos y datos de uso de suelo en la microcuenca Huenque fueron interpuestos en el software WEAP; empleando **el método de la humedad del suelo** para su modelación y dar como resultado la disponibilidad hídrica al año actual.

### **3.4.2. Estimación de la disponibilidad hídrica futura bajo las condiciones de cambio climático en la microcuenca Huenque – Ilave.**

- a) Determinar el periodo de tiempo con el que se va a generar el modelo base**

Para el área de estudio, la microcuenca Huenque – Ilave, se tomó como periodo de modelación y comprobación de datos un intervalo de 30 años, siendo el año 2030 el año proyectado para realizar exitosamente el procedimiento. El



inicio y el término de este periodo; pues se quiere realizar la modelación con los escenarios más críticos se optará por incluir los periodos de 1992-2021 como modelo base.

**b) Recopilación y preparación de la información a utilizar en el modelo**

Se efectuó la compilación de los datos disponibles en memorias anteriores de estaciones meteorológicas y estaciones hidrológicas del SENAMHI. Las siguientes variables se consideraron pertinentes a partir de los datos recopilados:

- Precipitación mensual 1992-2021
- temperatura media mensual 1992-2021

**c) Creación de escenarios**

Para realizar la modelación de microcuenca Huenque – Ilave con el software WEAP, Se escogió el periodo de modelación comprendido entre el 2021 al 2030 en una distribución mensual para el ingreso de los datos y los resultados obtenidos.

Aplicando dos escenarios de cambio climático "RCP", uno con emisiones de GEI a nivel de estabilización (RCP4.5), el otro con niveles crecientes o muy elevados (RCP8.5), y sólo hasta el año 2100, como se exhibe en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Escenarios climáticos (RCP) al año 2100

Nombre	Forzamiento radioactivo (FR)	Concentración de CO <sub>2</sub> (ppm)	Temperatura anómala	Ruta
RCP 8.5	>8.5Wm <sup>2</sup> , en 2100	>1370 CO <sub>2</sub> equivalente en 2100	4.9%	Creciente
RCP 4.5	- 4.5 Wm <sup>2</sup> en estabilización después del 2100	- 650 CO <sub>2</sub> (estabilización después del 2100)	2.4%	Estabilización sin excederse

**Fuente:** (Parra, 2016)

Las cuales fueron interpoladas al año 2030; para el área en estudio con datos de series de precipitación y series de temperatura.

Y por medio del empleo del software WEAP; se estimó la disponibilidad hídrica al año 2030 bajo dos escenarios climáticos (RCP 4.5 y RCP 8.5)

### **3.4.3. Escoger una tecnología adecuada para el aprovechamiento de las aguas de lluvia y mejorar la disponibilidad hídrica en la microcuenca Huenque-Ilave.**

Para el desarrollo de este objetivo se escogió entre las tecnologías existentes de mejora hídrica en la microcuenca Huenque, siendo en este caso

- Qochas de infiltración
- Bofedales
- Amunas
- Zanjas de infiltración
- Reforestación



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. DETERMINACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN LA MICROCUENCA HUENQUE.

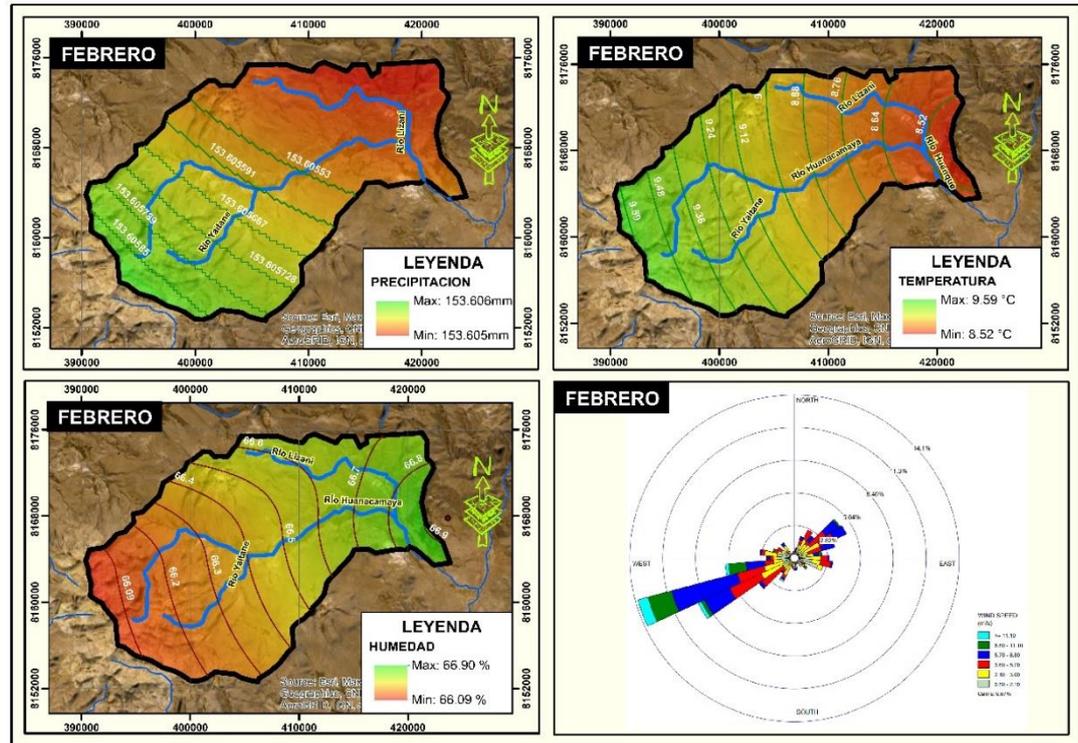
En relación al objetivo específico 1; Determinar la situación actual de disponibilidad hídrica en la microcuenca Huenque; para el cumplimiento de presente objetivo se recabo datos climáticos, datos de uso de suelo, y datos de la hidrología; para su interpolación en el software WEAP, y mediante ello conocer la disponibilidad hídrica; tal cual como se detalla a continuación.

##### 4.1.1. Datos climáticos

El clima de la microcuenca Huenque, se caracteriza por presentar variaciones temporales, siendo estas las temporadas de avenida y estiaje, sucediendo desde los meses de septiembre a marzo, las temporadas de Avenida y los meses restantes siendo la temporada de Estiaje (seco), además la humedad está oscilando entre 55 a 70%, y con respecto a la temperatura se presenta en promedio a 15°C, durante el día; y en temporadas de estiaje llega a decaer por debajo de los 0°C, en horario nocturno (Noa, 2016).

Ante ello se recolectaron los datos climáticos (precipitación, Temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento) para el año 2021, de las estaciones meteorológicas más próximas al área en estudio; y todo ello modelado en el software ArcGIS, tal cual como se aprecian en las siguientes figuras.

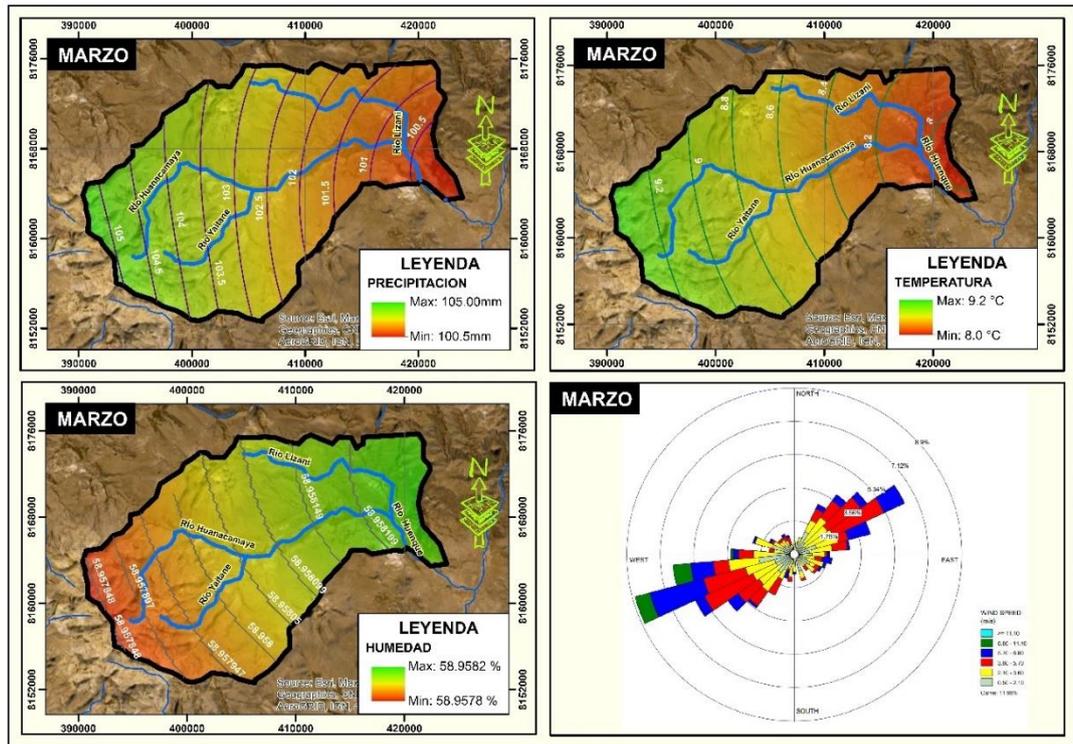




**Figura 9:** Datos climáticos para la microcuenca Huenque – mes de febrero

**Fuente:** Elaboración propia

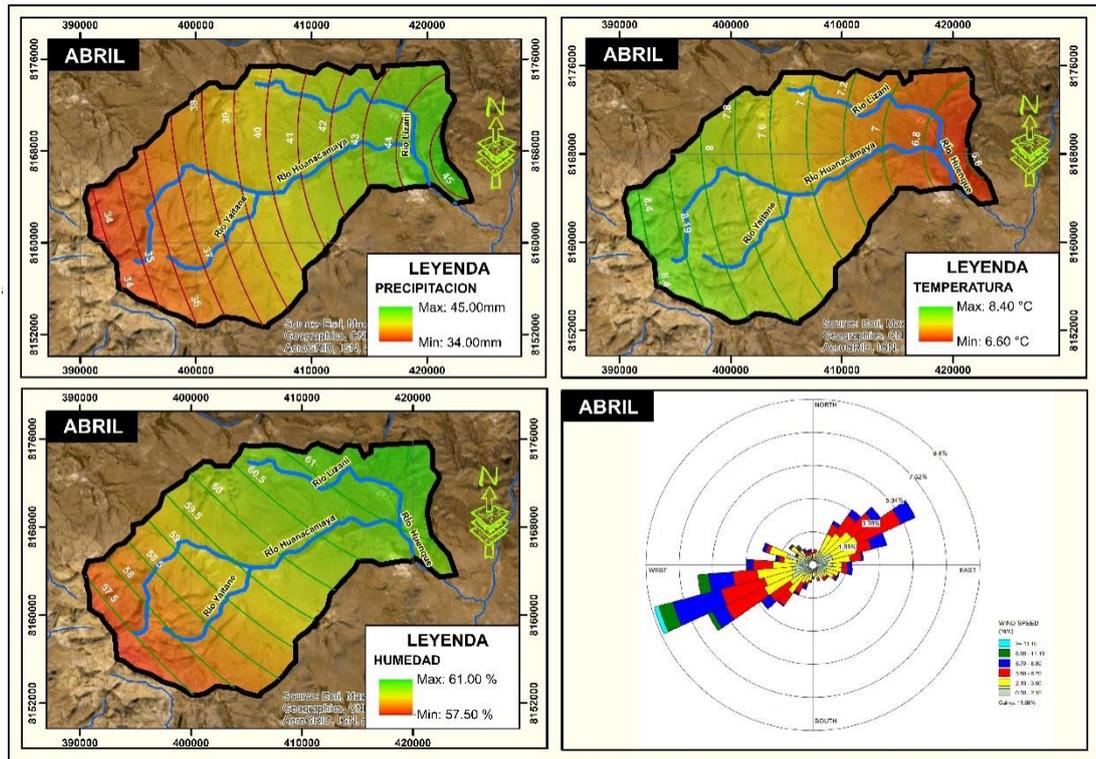
En la figura 10, se aprecia los datos climáticos para la microcuenca Huenque especificado para el mes de febrero; indicando que presenta una precipitación promedio de 153.607mm; además una temperatura promedio de 9.055°C; también una humedad relativa promedio de 66.50%, y con una velocidad del viento promedio de 3.29m/s con dirección predominante desde el Sur Oeste hacia el Nor Oeste.



**Figura 10:** Datos climáticos para la microcuenca Huenque – mes de marzo

**Fuente:** Elaboración propia

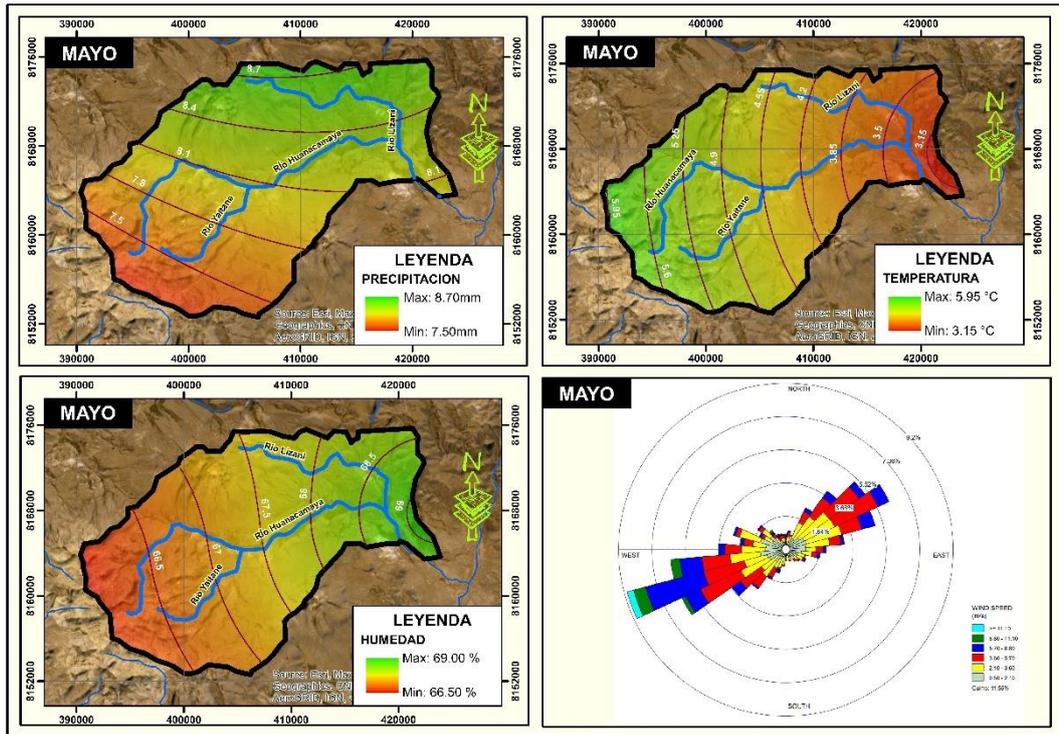
En la figura 11, se aprecia los datos climáticos para la microcuenca Huenque especificado para el mes de marzo; indicando que presenta una precipitación promedio de 102.75mm; además una temperatura promedio de 8.30°C; también una humedad relativa promedio de 58.9580%, y con una velocidad del viento promedio de 3.00m/s con dirección predominante desde el Sur Oeste hacia el Nor Oeste.



**Figura 11:** Datos climáticos para la microcuenca Huenque – mes de abril

**Fuente:** Elaboración propia

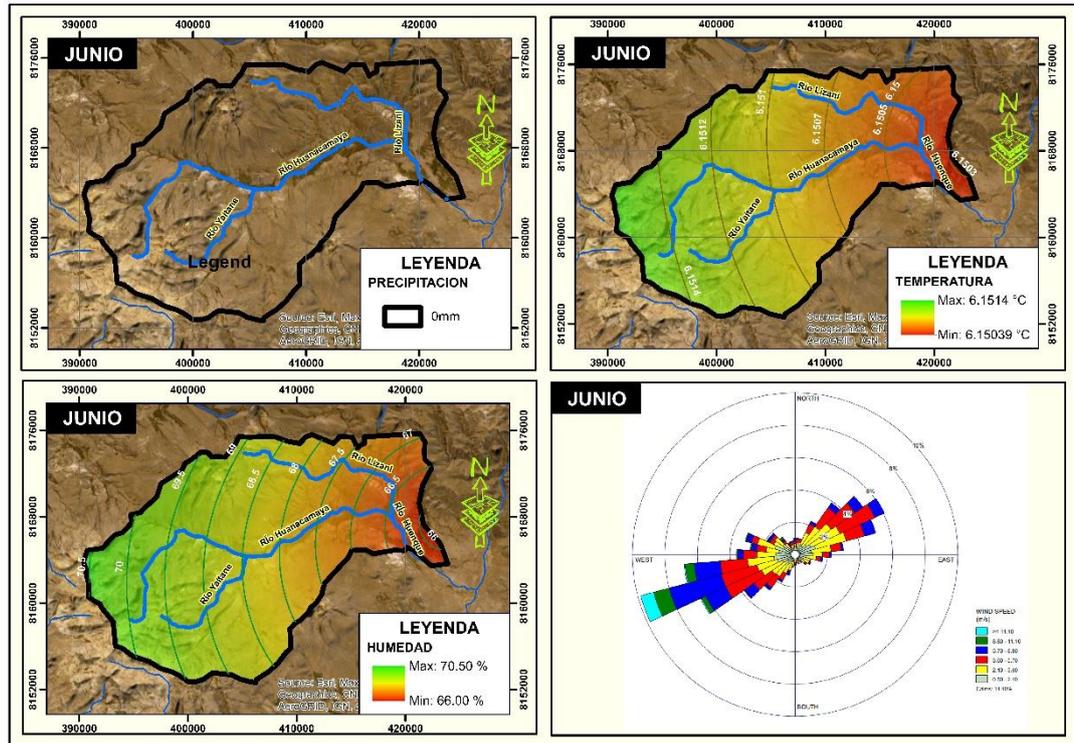
En la figura 12, se aprecia los datos climáticos para la microcuenca Huenque especificado para el mes de abril; indicando que presenta una precipitación promedio de 39.50mm; además una temperatura promedio de 7.50°C; también una humedad relativa promedio de 59.25%, y con una velocidad del viento promedio de 3.11m/s con dirección predominante desde el Sur Oeste hacia el Nor Oeste.



**Figura 12:** Datos climáticos para la microcuenca Huenque – mes de mayo

**Fuente:** Elaboración propia

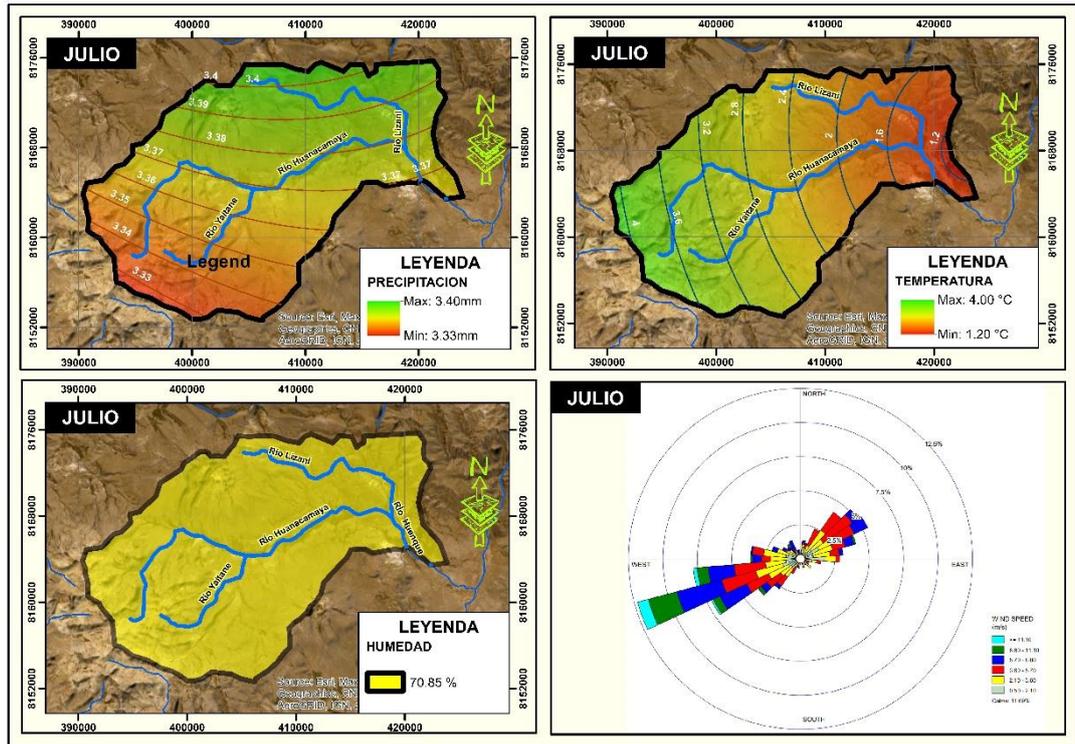
En la figura 13, se aprecia los datos climáticos para la microcuenca Huenque especificado para el mes de mayo; indicando que presenta una precipitación promedio de 8.60mm; además una temperatura promedio de 4.55°C; también una humedad relativa promedio de 67.75%, y con una velocidad del viento promedio de 3.18m/s con dirección predominante desde el Sur Oeste hacia el Nor Oeste.



**Figura 13:** Datos climáticos para la microcuenca Huenque – mes de junio

**Fuente:** Elaboración propia

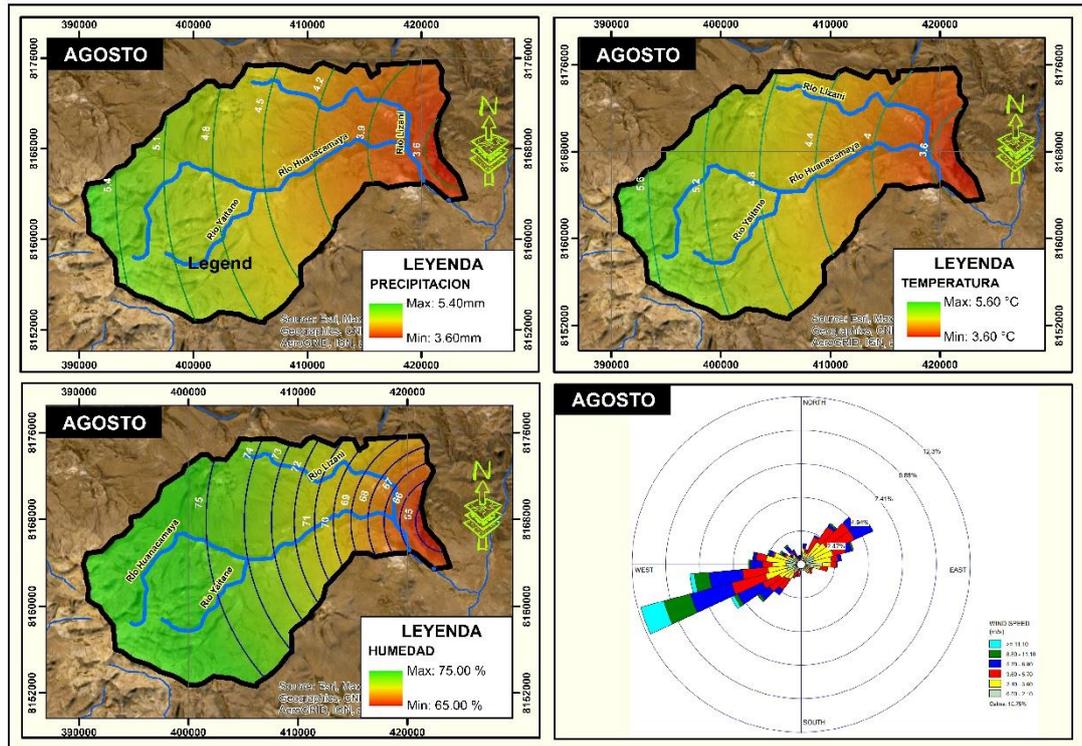
En la figura 14, se aprecia los datos climáticos para la microcuenca Huenque especificado para el mes de junio; indicando que no presenta precipitación; además una temperatura promedio de 6.15°C; también una humedad relativa promedio de 68.25%, y con una velocidad del viento promedio de 3.81m/s con dirección predominante desde el Sur Oeste hacia el Nor Oeste.



**Figura 14:** Datos climáticos para la microcuenca Huenque – mes de julio

**Fuente:** Elaboración propia

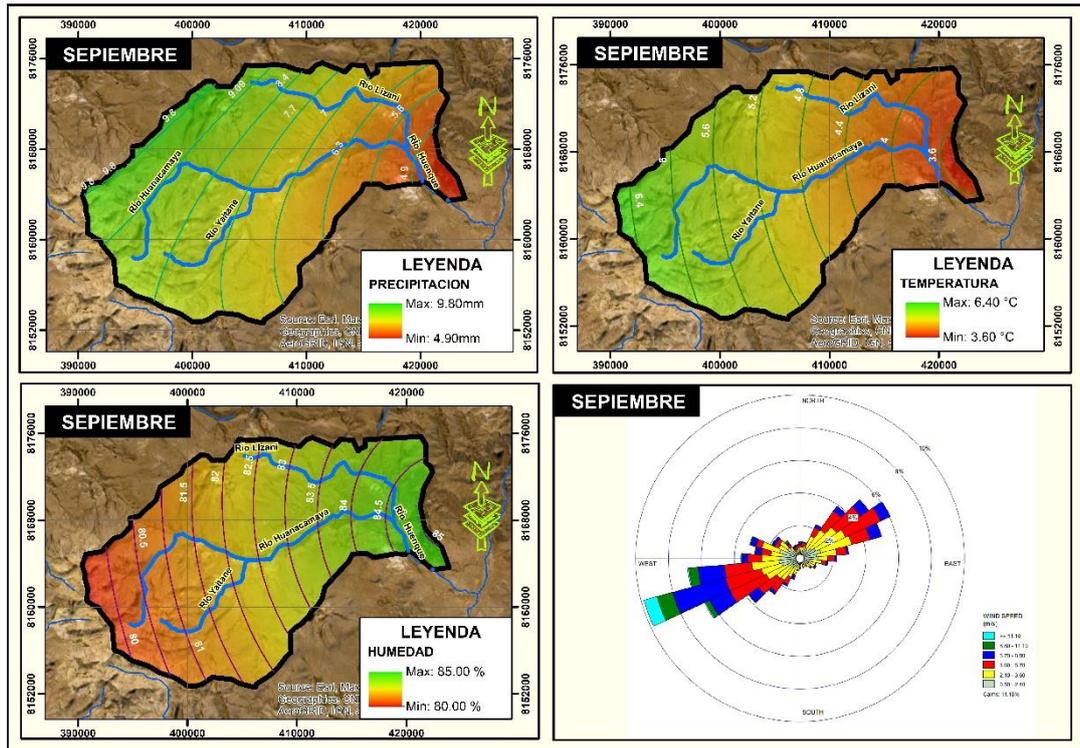
En la figura 15, se aprecia los datos climáticos para la microcuenca Huenque especificado para el mes de julio, indicando que presenta una precipitación promedio de 3.63mm; además una temperatura promedio de 2.60°C; también una humedad relativa de 70.85%, y con una velocidad del viento promedio de 3.55m/s con dirección predominante desde el Sur Oeste hacia el Nor Oeste.



**Figura 15:** Datos climáticos para la microcuenca Huenque – mes de agosto

**Fuente:** Elaboración propia

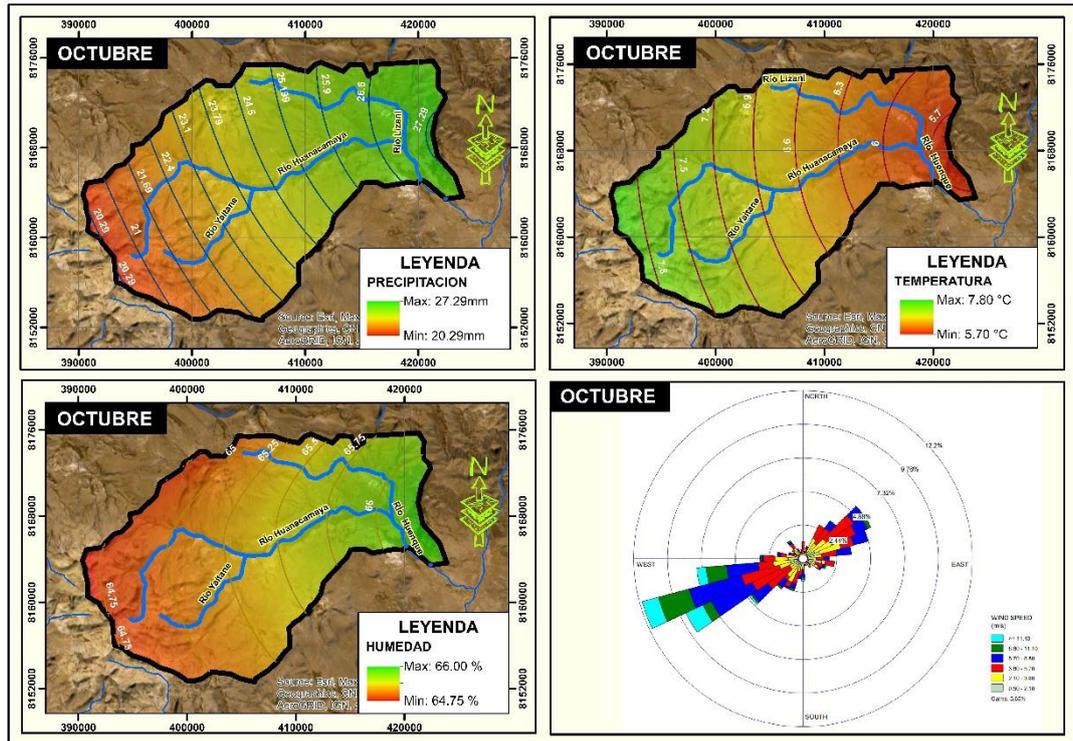
En la figura 16, se aprecia los datos climáticos para la microcuenca Huenque especificado para el mes de agosto; indicando que presenta una precipitación promedio de 4.50mm; además una temperatura promedio de 4.60°C; también una humedad relativa de 70.00%, y con una velocidad del viento promedio de 3.99m/s con dirección predominante desde el Sur Oeste hacia el Nor Oeste.



**Figura 16:** Datos climáticos para la microcuenca Huenque – mes de septiembre

**Fuente:** Elaboración propia

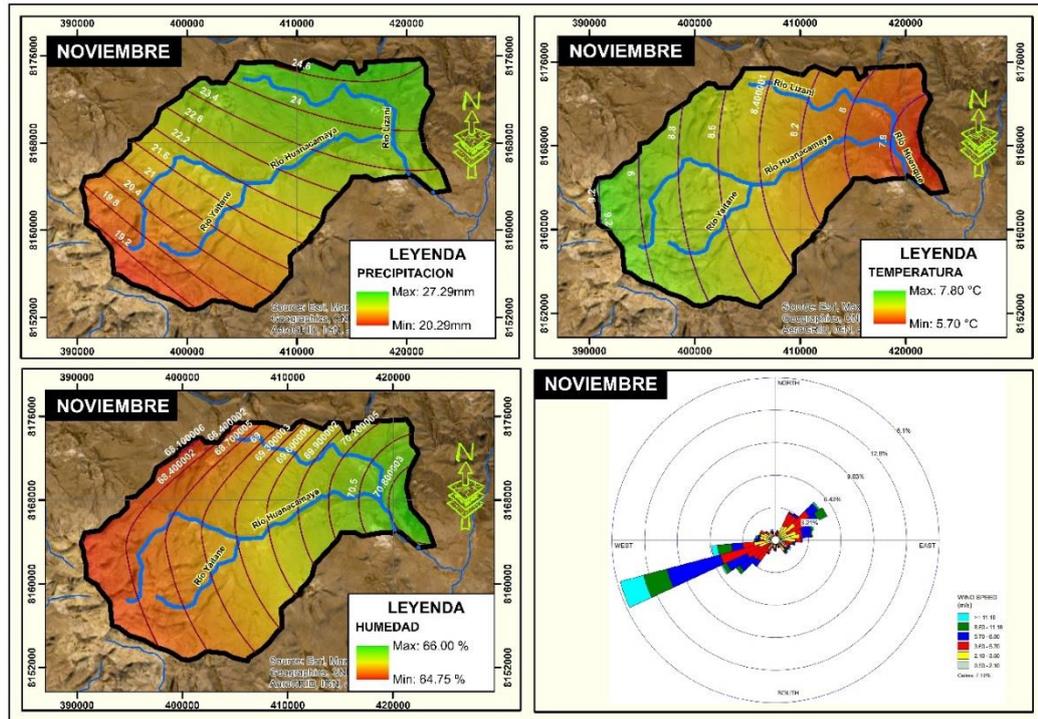
En la figura 17, se aprecia los datos climáticos para la microcuenca Huenque especificado para el mes de septiembre; indicando que presenta una precipitación promedio de 7.35mm; además una temperatura promedio de 5.00°C; también una humedad relativa de 82.50%, y con una velocidad del viento promedio de 4.00m/s con dirección predominante desde el Sur Oeste hacia el Nor Oeste.



**Figura 17:** Datos climáticos para la microcuenca Huenque – mes de octubre

**Fuente:** Elaboración propia

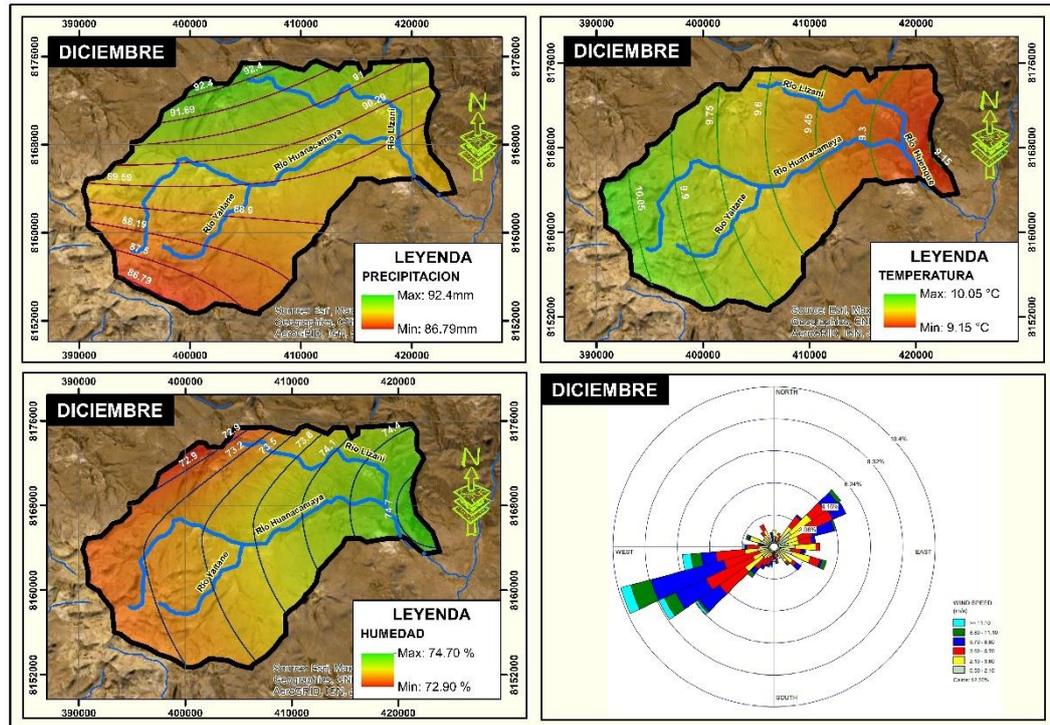
En la figura 18, se aprecia los datos climáticos para la microcuenca Huenque especificado para el mes de octubre; indicando que presenta una precipitación promedio de 23.79mm; además una temperatura promedio de 6.75°C; también una humedad relativa de 65.38%, y con una velocidad del viento promedio de 4.35m/s con dirección predominante desde el Sur Oeste hacia el Nor Oeste.



**Figura 18:** Datos climáticos para la microcuenca Huenque – mes de noviembre

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 19, se aprecia los datos climáticos para la microcuenca Huenque especificado para el mes de noviembre; indicando que presenta una precipitación promedio de 23.79mm; además una temperatura promedio de 6.75°C; también una humedad relativa de 65.38%, y con una velocidad del viento promedio de 4.41m/s con dirección predominante desde el Sur Oeste hacia el Nor Oeste.



**Tabla 5.** Datos climáticos de la microcuenca Huenque

Datos climáticos	Datos climáticos de la microcuenca Huenque											
	Meses del año - 2021											
	Ene.	Febr.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
<b>Precipitación (mm)</b>	159.1	153.61	102.75	39.50	8.60	0.00	3.63	4.50	7.35	23.79	23.79	89.60
<b>Temperatura (°C)</b>	10.5	9.06	8.30	7.50	7.50	6.15	2.60	4.60	5.00	6.75	6.75	9.60
<b>Humedad (%)</b>	67.25	66.50	58.96	59.25	59.25	68.25	70.85	70.00	82.50	65.38	65.38	73.80
<b>Velocidad del viento (m/s)</b>	3.69	3.29	3.00	3.11	3.11	3.81	3.55	3.99	4.00	4.35	4.41	3.76
<b>Dirección del Viento</b>	<b>SO – NO</b>											

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.1.2. Uso de suelo

- a) **Área-** La microcuenca Huenque abarca una extensión territorial de 470km<sup>2</sup>, todo ello está conformado principalmente por zonas denominadas: Área de Pajonal Andino, Área de Bofedal, Área Altoandina con escasa y sin vegetación.

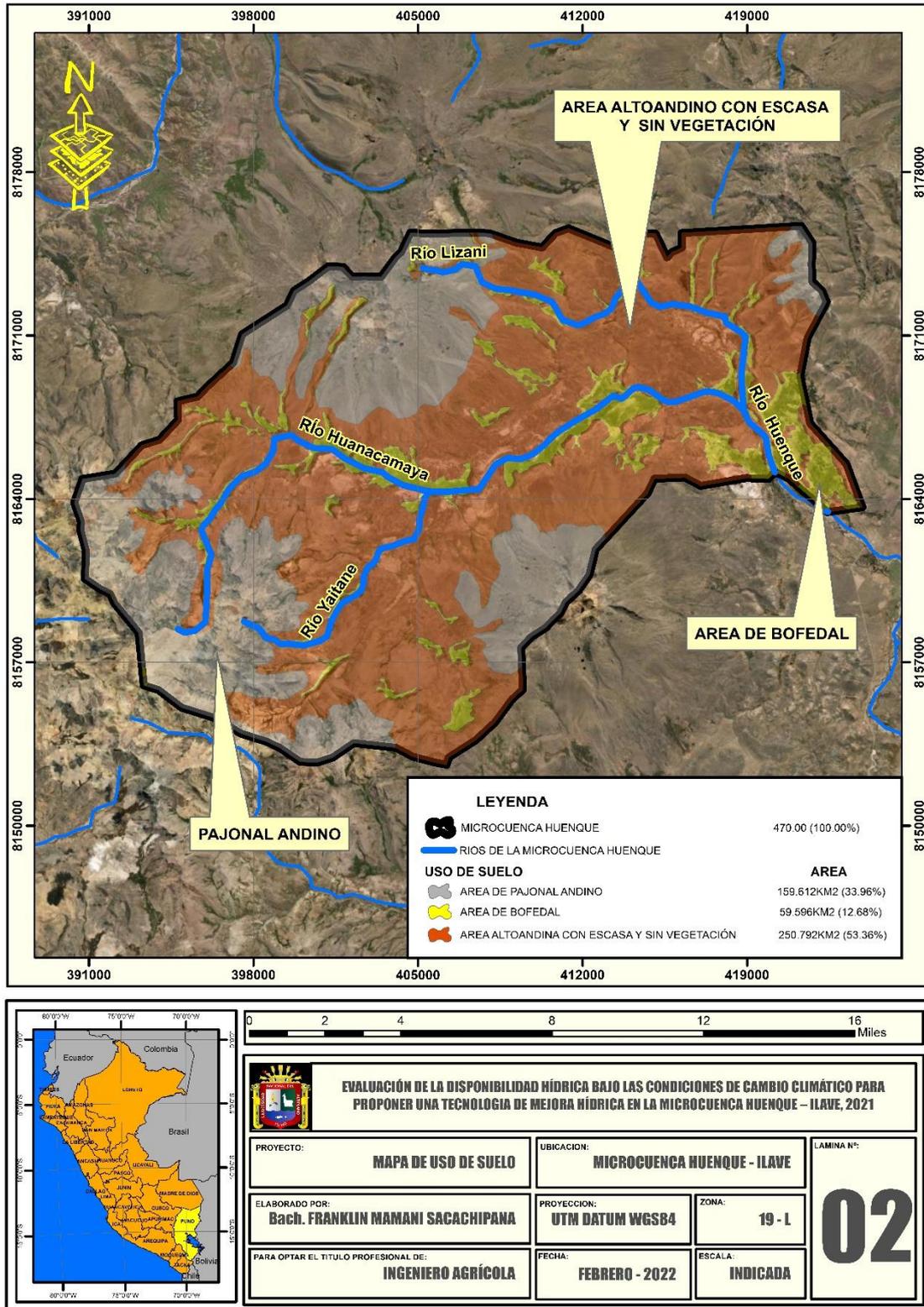


Figura 20: Mapa de uso de suelo de la microcuenca Huenque

Fuente: Elaboración propia

En la figura 21, se aprecia el uso de suelo de la microcuenca Huenque; indicando que el área de Pajonal Andino presenta una extensión territorial de  $159.612\text{km}^2$ , equivalente al 33.96% del área, además el área de bofedal presenta una extensión territorial de  $59.596\text{km}^2$ , equivalente al 12.68% del área, y el área Altoandina con escasa y sin vegetación abarca  $250.792\text{km}^2$  equivalente al 53.36% del área.

#### b) Coeficiente de cultivo (Kc)

En la tabla 7, se aprecia el coeficiente de cultivo (Kc), de la microcuenca Huenque, especificando que el área de Pajonal andino presenta un Kc de 1.00; el área de bofedal un Kc de 3.00 y el área altoandina con escasa y sin vegetación presenta un Kc de 2.00.

**Tabla 6.** Coeficiente de cultivo (Kc) – microcuenca Huenque

<b>Coeficiente de Cultivo (Kc)</b>	
<b>Uso de Suelo</b>	<b>Kc</b>
Pajonal Andino	1.00
Bofedal	3.00
Altoandina con escasa y sin vegetación	2.00

**Fuente:** (ANA, 2019)

#### c) Capacidad de agua del suelo (SW)

En la tabla 8, se aprecia la capacidad de agua del suelo (SW), de la microcuenca Huenque, especificando que el área de Pajonal andino presenta una SW de 240; el área de bofedal una SW de 1000 y el área altoandina con escasa y sin vegetación presenta una SW de 620.

**Tabla 7.** Capacidad del agua del suelo – microcuenca Huenque

<b>Capacidad de agua del suelo</b>	
<b>Uso de Suelo</b>	<b>SW</b>
Pajonal Andino	240
Bofedal	1000
Altoandina con escasa y sin vegetación	620

**Fuente:** (ANA, 2019)**d) Capacidad de agua profunda (DW)**

En este apartado se especifica que la microcuenca Huenque, presenta una capacidad de agua profunda (DW); en toda su extensión territorial de 3600; todo ello según la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2019).

**e) Factor de resistencia de la escorrentía (RRF)**

En la tabla 9, se aprecia el factor de resistencia de la escorrentía (RRF), de la microcuenca Huenque, especificando que el área de Pajonal andino presenta un RRF de 1.70; el área de bofedal un RRF de 8.20 y el área altoandina con escasa y sin vegetación presenta una RRF de 3.30.

**Tabla 8.** Se aprecia el factor de resistencia de la escorrentía – microcuenca Huenque

<b>Capacidad de agua del suelo</b>	
<b>Uso de Suelo</b>	<b>RRF</b>
Pajonal Andino	1.70
Bofedal	8.20
Altoandina con escasa y sin vegetación	3.30

**Fuente:** (ANA, 2019)

### 4.1.3. Hidrología

En la zona en estudio se encuentra la estación pluviométrica denominado mazo cruz, ubicada aguas debajo de la microcuenca Huenque (efluente), tomando dichos datos de manera mensual tal cual como se especifica en la tabla 10.

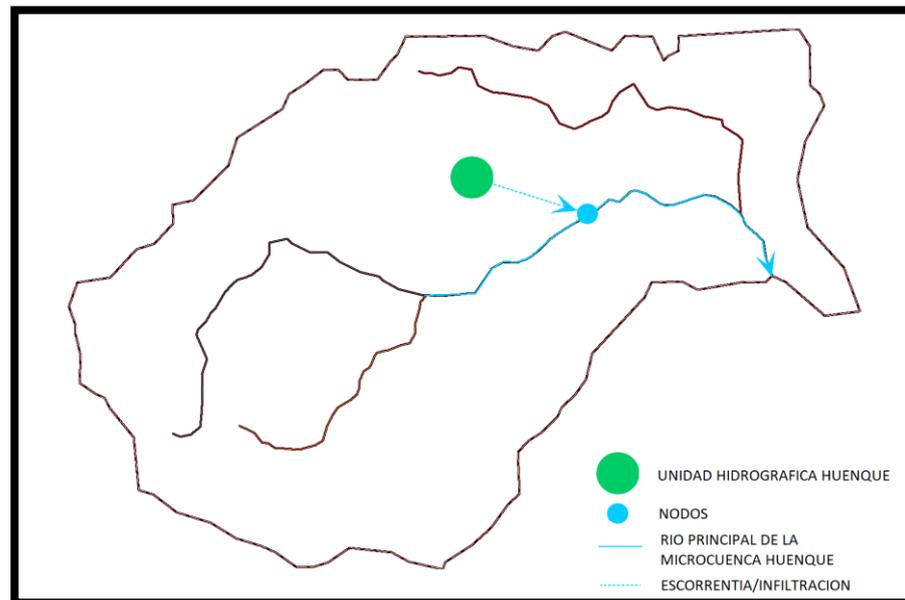
**Tabla 9.** Datos pluviométricos – microcuenca Huenque

Datos pluviométricos - 2021												
Mes	Ene.	Febr.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	1.79	20.91	5.28	5.36	0.52	0.16	0.07	0.1311	0.05	0.01	0.05	0.11

**Fuente:** (SENAMHI, 2022)

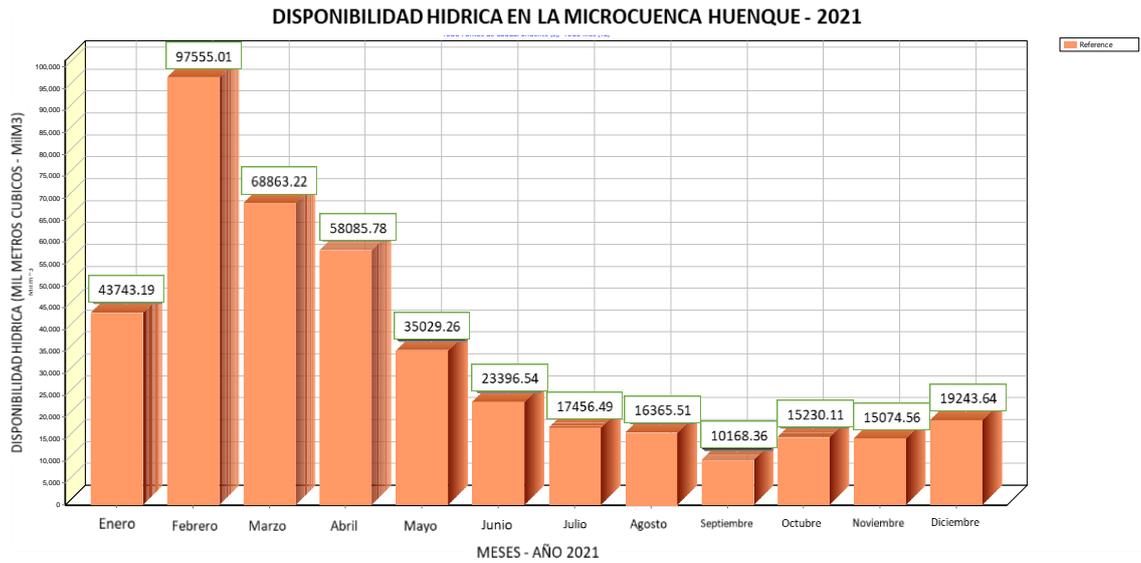
### 4.1.4. Disponibilidad hídrica (año 2021)

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 WEAP, especificadas para la microcuenca Huenque apreciada en la figura 20.



**Figura 21:** Esquema conceptual del modelo WEAP para la microcuenca Huenque

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 22:** Disponibilidad hídrica en la microcuenca Huenque – año 2021

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 23, se aprecia la disponibilidad hídrica en la microcuenca Huenque, para el año 2021, manifestando que la disponibilidad hídrica por mes es de: Enero con 43743.19 mil metros cúbicos (MilMC); ; Febrero con 97555.01 MilMC; Marzo con 68863.22 MilMC; Abril con 58085.78 MilMC; Mayo con 35029.26 MilMC; Junio con 23396.54 MilMC; Julio con 17456.49 MilMC; Agosto con 16365.51 MilMC; Septiembre con 10168.36 MilMC; Octubre con 15230.11 MilMC; Noviembre con 15074.56 MilMC; y diciembre con 19243.64 MilMC; dando un estimado de 420211.66 MilMC de disponibilidad hídrica para el año 2021.

En relación con el planteamiento de la hipótesis: “La situación actual de disponibilidad Hídrica en la microcuenca Huenque – Ilave, 2021, depende de los datos climáticos y el uso de suelo” se acepta la hipótesis, puesto que en el resultado para determinar la disponibilidad hídrica se empleó datos climáticos como son (precipitación, temperatura, humedad y velocidad del viento); de igual forma se empleó el uso del suelo abarcando el área en estudio, obteniendo el coeficiente de



cultivo (Kc), capacidad de agua del suelo (SW), capacidad de agua profunda (DW), y el factor de resistencia de la escorrentía (RRF).

Los resultados obtenidos en la presente investigación con respecto al estudio realizado por López & Manzano (2017), no se asemejan; esto debido a que, en el Valle de Galeana de la ciudad de México, se encontró una disponibilidad hídrica de 1440000.000 MilMC para el año 2015; todo ello diferente debido a que en el Valle de Galeana solo presenta una extensión aproximada de  $3000\text{km}^2$  con climas diferentes. También este trabajo de investigación con respecto al estudio de Olivera (2019), es diferente debido a que en sus resultados encontró una disponibilidad hídrica de 11219.780 MilMC en la subcuenca del río Shullcas para el año 2019; todo ello distinto porque en su modelación en el Software WEAP; empleo además de los datos usuales las variables de radiación solar extraterrestre y la evapotranspiración de los cultivos, todo ello para un área aproximada de  $223.11\text{km}^2$ ; Así también con respecto al estudio de Pilares Hualpa, y otros (2018), presentan características distintas encontrando una disponibilidad hídrica para el año 2018 de 643674.000 MilMC; para la cuenca del río Cabanillas del altiplano Puneño; lo cual abarca una extensión de  $2845\text{km}^2$ ; todo ello distinto debido a que en su estudio abordó el consumo de agua por parte de zonas agrícolas y zonas para uso poblacional; todo ello modelado en el Software WEAP; y finalmente con respecto al estudio de Leon (2017), de igual forma presenta características que no se asemejan al presente estudio; el cual encontró una disponibilidad hídrica de la cuenca del río Piura para el año 2016 de 250100.00 MilMC; todo ello debido a que en su estudio la cuenca abarca una extensión aproximada de  $323\text{km}^2$  menor al del presente estudio.



## 4.2. ESTIMACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA BAJO LAS CONDICIONES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA MICROCUENCA HUENQUE – ILAVE.

En relación al objetivo específico 2; Estimar la disponibilidad hídrica futura bajo las condiciones de cambio climático en la microcuenca Huenque – Ilave; para el cumplimiento de presente objetivo se proyectó como escenario futuro el año 2030; contemplándose los siguientes resultados.

### 4.2.1. Creación de escenarios

Para efectuar la evaluación de la incidencia del cambio climático para el período futuro (2030) se manejaron una serie de datos climáticos como son la precipitación y temperatura obtenidos todo ello de la base de datos del SENAMHI.

Así mismo las variables que se utilizó en el presente estudio corresponden a las precipitaciones y temperaturas mensuales 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 optimo con respecto a los gases de efecto invernadero - GEI, y un escenario pésimo con un muy alto nivel de emisiones de GEI (RCP8.5).

**Tabla 10.** Escenarios climáticos al año 2100

RCP	FR	Tendencia	CO <sub>2</sub> al año 2100	Aumento de precipitación	Aumento de temperatura
RCP4.5	2.6 W/m <sup>2</sup>	Estable	650ppm	0.2 – 0.5%	2.4 °C
RCP8.5	8.5 W/m <sup>2</sup>	Creciente	1370 ppm	2 – 3 %	4.9 °C

**Fuente:** (MINAM, 2013)

Por ello, conociéndolos datos de escenarios climáticos (RCP4.5 y RCP8.5); hacia el año 2100 según los reportes del MINAM (2013), se realiza una proyección de los datos empleando la base de datos del SENAMHI para el área en estudio.

#### a) Series de precipitación

En la tabla 12, se aprecia la serie de precipitación para el área en estudio, comprendido desde el mes de enero hasta el mes de diciembre; con data histórica desde el año de 1992 hasta el año 2021; todo ello con una tendencia de precipitación estable de 0.48% anual y con una precipitación con elevados niveles de Gases de Efecto Invernadero – GEI de 4.8% anual.

**Tabla 11.** Series de precipitación interpolada en el área en estudio

Año	Mes											
	Ene.	Febr.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
1992	53.90	45.60	1.60	4.20	0.00	0.00	0.00	8.20	0.60	32.30	23.80	35.50
1993	147.30	15.60	97.20	19.40	2.10	0.00	0.00	44.60	13.00	50.70	46.10	94.20
1994	105.00	123.30	63.10	28.10	1.80	0.20	0.30	1.70	4.10	3.40	19.00	84.40
1995	73.60	49.90	90.50	11.40	0.30	0.00	0.00	0.00	3.60	2.50	21.60	53.40
1996	177.00	88.20	29.00	19.50	13.60	0.00	0.00	14.20	0.00	1.00	34.10	102.30
1997	241.70	183.50	60.90	13.30	5.00	0.00	0.00	32.20	41.80	8.00	63.10	81.50
1998	126.80	44.22	77.02	14.20	0.00	18.61	0.00	0.60	0.40	11.60	38.10	20.81
1999	139.60	177.50	212.60	64.20	1.60	0.00	0.00	0.00	8.40	35.20	0.00	45.80
2000	179.50	135.81	64.10	22.90	6.40	1.20	0.00	1.20	0.60	28.30	7.90	82.20
2001	267.50	184.10	116.30	33.61	4.80	0.60	0.00	6.40	0.20	13.80	14.40	27.00
2002	70.40	175.40	120.30	75.60	17.00	9.20	10.00	2.20	2.00	51.10	36.30	81.10
2003	103.30	103.70	92.80	5.80	8.01	0.00	2.20	7.50	7.00	11.80	10.61	75.92
2004	142.80	118.80	82.41	16.20	0.00	0.80	26.20	59.62	12.11	0.00	0.01	41.90
2005	109.20	187.50	40.00	42.81	0.00	0.00	0.00	0.00	18.20	6.60	18.00	158.30
2006	271.50	118.10	109.50	26.90	11.40	0.20	0.00	0.40	5.01	37.70	57.20	94.21
2007	87.40	113.40	107.00	29.40	0.00	0.40	0.00	0.20	10.81	3.10	49.20	87.80
2008	194.40	52.72	57.90	1.41	0.00	0.00	0.00	6.40	0.00	6.31	3.01	132.20
2009	71.00	130.00	61.81	33.40	0.70	0.00	6.40	0.00	6.40	4.60	72.70	65.40
2010	103.52	61.41	40.61	44.21	20.50	0.00	0.00	0.00	0.80	9.40	6.30	82.40
2011	121.61	153.61	46.61	47.70	5.80	0.00	3.20	0.00	12.40	0.40	37.60	171.60
2012	183.00	174.40	87.10	73.80	0.20	0.00	0.40	3.40	0.90	7.60	72.70	42.70
2013	152.40	166.00	49.40	17.10	22.40	8.20	4.00	8.00	2.60	65.80	18.00	140.80
2014	160.50	28.20	37.00	25.50	0.00	0.00	0.00	15.40	6.40	33.00	48.80	94.21
2015	142.40	101.60	103.00	61.50	1.20	0.00	2.00	14.40	9.00	51.10	18.00	87.80
2016	74.40	177.50	212.60	64.20	1.60	0.00	0.00	0.00	8.40	35.20	45.00	45.80
2017	149.80	135.81	64.10	22.90	6.40	1.20	0.00	1.20	0.60	28.30	57.20	82.20
2018	204.41	184.10	116.30	33.61	4.80	0.60	0.00	6.40	0.20	13.80	14.40	27.00
2019	124.61	175.40	120.30	75.60	17.00	9.20	10.00	2.20	2.00	51.10	36.30	81.10
2020	202.61	103.70	92.80	5.80	8.01	0.00	2.20	7.50	7.00	11.80	10.61	75.92
<b>2021</b>	<b>159.10</b>	<b>153.61</b>	<b>102.75</b>	<b>39.50</b>	<b>8.60</b>	<b>0.00</b>	<b>3.63</b>	<b>4.50</b>	<b>7.35</b>	<b>23.79</b>	<b>23.79</b>	<b>89.60</b>
<b>Tendencia de precipitación estable (0.48% anual)</b>												
<b>Tendencia de precipitación con elevados niveles de GEI (0.48°C) =&gt; 0.48*10=4.8%</b>												

Fuente: (SENAMHI, 2022)

### b) Series de Temperatura

En la tabla 13, se aprecia la serie de temperatura para el área en estudio, comprendido desde el mes de enero hasta el mes de diciembre; con data histórica desde el año de 1992 hasta el año 2021; todo ello con una tendencia de temperatura

estable de 0.039% anual y con una temperatura con elevados niveles de Gases de Efecto Invernadero – GEI de 0.09% anual.

**Tabla 12.** Series de temperatura interpolada en el área en estudio

Año	Mes											
	Ene.	Febr.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
1992	5.52	5.62	5.53	4.31	1.91	0.63	-0.69	-3.65	0.15	3.92	5.04	5.65
1993	5.59	4.91	4.92	4.03	1.68	-1.15	-0.61	1.42	2.52	4.65	5.50	6.94
1994	6.95	5.69	5.07	4.76	0.76	-1.79	-1.42	0.90	2.29	3.04	5.64	5.88
1995	6.85	6.48	7.08	4.19	0.89	0.16	0.43	2.17	3.53	0.51	4.11	6.20
1996	6.53	6.62	5.57	4.34	1.77	-0.70	-0.69	1.97	1.91	3.55	4.92	6.65
1997	6.69	6.22	5.49	2.94	1.47	-0.36	0.40	1.96	5.22	4.26	6.27	7.50
1998	8.84	8.23	8.01	5.53	2.08	1.34	0.95	2.00	1.89	5.26	5.53	7.55
1999	7.82	8.29	8.85	7.62	4.21	1.68	2.38	3.05	4.01	6.93	5.78	8.95
2000	9.21	9.47	8.66	6.90	4.30	1.40	0.16	2.69	4.17	6.42	6.60	9.22
2001	9.18	9.45	9.46	8.51	5.05	1.80	-0.30	1.74	4.02	5.28	7.08	6.91
2002	7.62	7.94	7.04	5.87	4.60	1.60	0.63	2.19	4.62	7.24	7.47	8.52
2003	9.57	9.15	8.85	6.84	4.05	0.65	1.45	1.56	2.50	5.30	6.62	8.29
2004	9.36	8.51	8.45	6.43	1.07	0.08	1.69	3.37	4.18	5.31	5.98	8.23
2005	8.71	8.29	8.26	6.11	1.18	-1.91	-0.14	-0.87	2.25	4.38	5.96	7.94
2006	8.18	7.66	8.14	5.96	2.08	0.34	0.61	2.97	4.50	9.00	9.83	9.08
2007	8.84	9.29	9.15	7.44	4.29	3.21	1.75	3.31	5.62	6.57	6.72	8.79
2008	9.31	9.03	8.25	4.88	1.31	1.06	0.65	1.75	3.00	6.59	7.58	8.76
2009	9.11	9.77	8.44	6.28	2.81	-0.03	1.84	0.68	4.51	5.87	9.34	9.88
2010	9.91	10.46	8.87	7.09	4.48	3.36	0.68	2.75	4.54	5.57	5.40	8.66
2011	9.03	9.01	8.18	6.86	4.33	2.67	2.18	3.70	4.84	5.71	8.22	8.58
2012	8.99	8.64	8.60	7.74	3.79	1.72	1.66	2.34	4.30	6.69	8.12	9.44
2013	8.85	9.36	8.45	10.43	4.88	2.84	3.38	2.72	3.85	7.04	8.20	9.43
2014	9.71	9.21	8.27	6.87	3.42	2.05	1.32	4.05	1.21	7.37	7.64	7.83
2015	10.13	10.28	9.46	8.17	4.18	2.44	2.23	3.34	4.37	7.51	8.48	9.64
2016	8.40	5.62	5.53	4.31	1.91	0.63	-0.69	-3.65	0.15	3.92	5.04	5.65
2017	8.25	4.91	4.92	4.03	1.68	-1.15	-0.61	1.42	2.52	4.65	5.50	6.94
2018	7.14	5.69	5.07	4.76	0.76	-1.79	-1.42	0.90	2.29	3.04	5.64	5.88
2019	9.45	6.48	7.08	4.19	0.89	0.16	0.43	2.17	3.53	0.51	4.11	6.20
2020	7.97	6.62	5.57	4.34	1.77	-0.70	-0.69	1.97	1.91	3.55	4.92	6.65
<b>2021</b>	<b>10.5</b>	<b>9.06</b>	<b>8.30</b>	<b>7.50</b>	<b>7.50</b>	<b>6.15</b>	<b>2.60</b>	<b>4.60</b>	<b>5.00</b>	<b>6.75</b>	<b>6.75</b>	<b>9.60</b>
<b>Tendencia de temperatura estable (0.039% anual)</b>												
<b>Tendencia de temperatura con elevados niveles de GEI (0.039*C) =&gt; 0.039*2.23=0.09%</b>												

**Fuente:** (SENAMHI, 2022)

Recalcando que dichos datos fueron aplicados para determinar las trayectorias para un escenario estable (RCP4.5), y un escenario con un muy alto

nivel de emisiones de GEI (RCP8.5) para el año 2030, tal cual como se aprecia en la tabla 14.

**Tabla 13.** Escenarios climáticos al año 2030

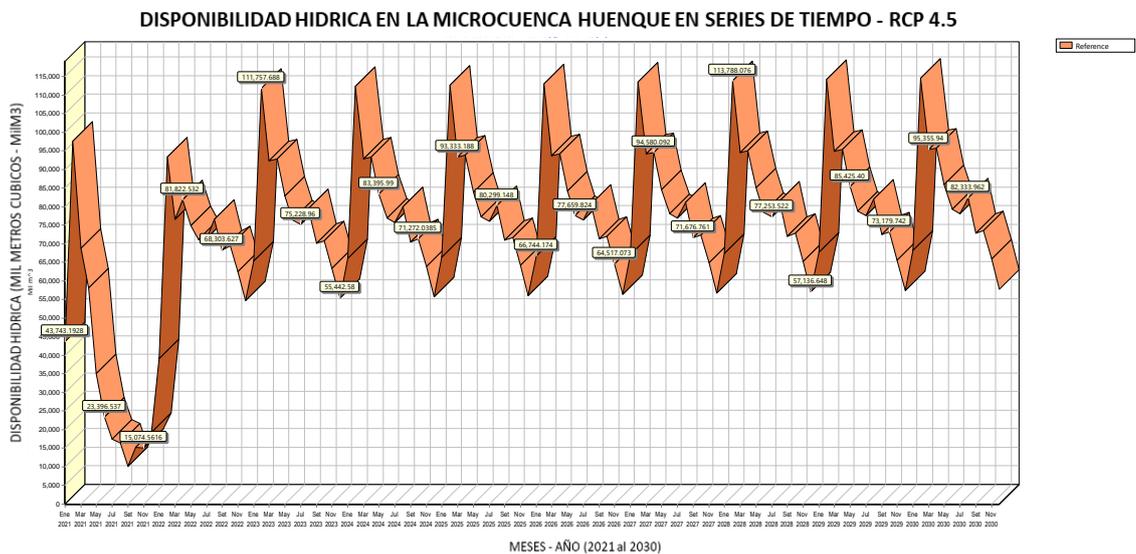
RCP	Tendencia	CO <sub>2</sub> al año 2030	Aumento de precipitación por año	Aumento de temperatura por año
RCP4.5	Estable	520 ppm	0.48%	0.039%
RCP8.5	Creciente	905 ppm	4.80 %	0.090%

**Fuente:** Elaboración propia

Los datos de escenarios climáticos “RCP4.5” y “RCP8.5”; fueron interpuestos al software WEAP para la estimación de la disponibilidad hídrica al año 2030.

#### 4.2.2. Disponibilidad hídrica futura (año 2030)

##### a) Disponibilidad hídrica con un escenario climático estable “RCP4.5”

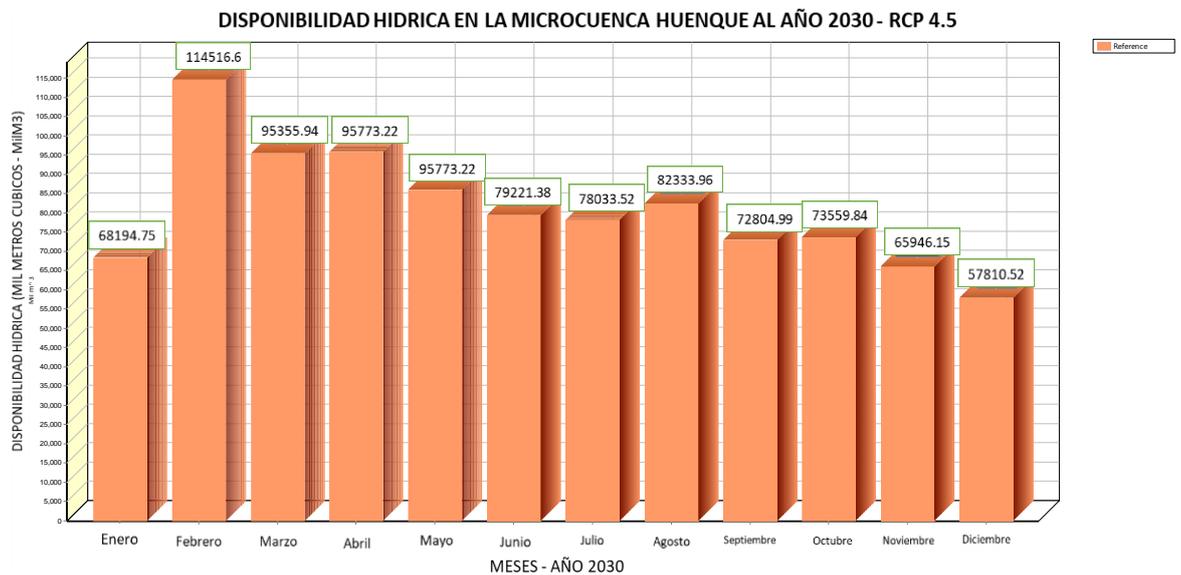


**Figura 23:** Disponibilidad hídrica en la microcuenca Huenque en series de tiempo mensual – escenario climático estable “RCP 4.5”

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 24, se aprecia la disponibilidad hídrica en la microcuenca Huenque, en series de tiempo mensual en un escenario climático estable “RCP

4.5”, indicado que existe una tendencia de crecimiento leve en la disponibilidad hídrica con respecto al año 2021.



**Figura 24:** Disponibilidad hídrica en la microcuenca Huenque al año 2030 – escenario climático estable “RCP 4.5”

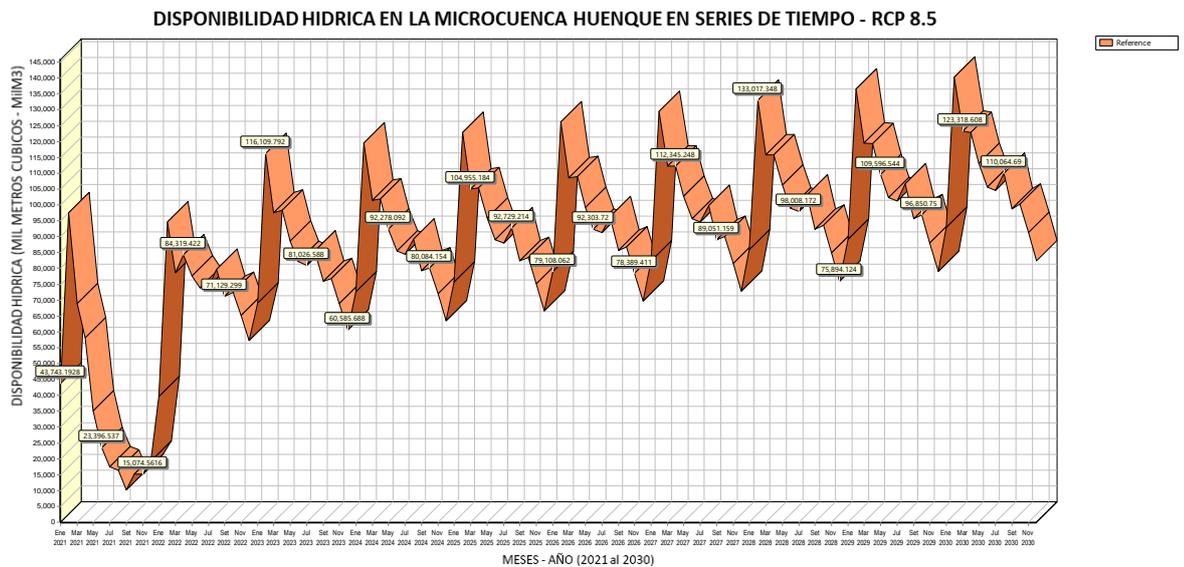
**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 25, se aprecia la disponibilidad hídrica en la microcuenca Huenque, para el año 2030 en un escenario climático estable “RCP 4.5”, indicado que la disponibilidad hídrica por mes será de: Enero con 68194.75 mil metros cúbicos (MilMC); Febrero con 114516.62 MilMC; Marzo con 95355.94 MilMC; Abril con 95773.22 MilMC; Mayo con 85828.51 MilMC; Junio con 79221.38 MilMC; Julio con 78033.52 MilMC; Agosto con 8333.96 MilMC; Septiembre con 72804.99 MilMC; Octubre con 73559.84 MilMC; Noviembre con 65946.15 MilMC; y diciembre con 57810.52 MilMC; dando un estimado total de 969379.42 MilMC de disponibilidad hídrica.

Recalcando que dicha disponibilidad hídrica no siempre permanece en la microcuenca Huenque; debido a que esta se desplazara por la escorrentía e

infiltración hacia las partes bajas del efluente de la microcuenca, provocando el incremento del caudal en los ríos, y como consecuencia provoque inundaciones en ciertos puntos de su trayectoria donde la topografía sea mínima.

### b) Disponibilidad hídrica con un escenario climático pésimo “RCP8.5”



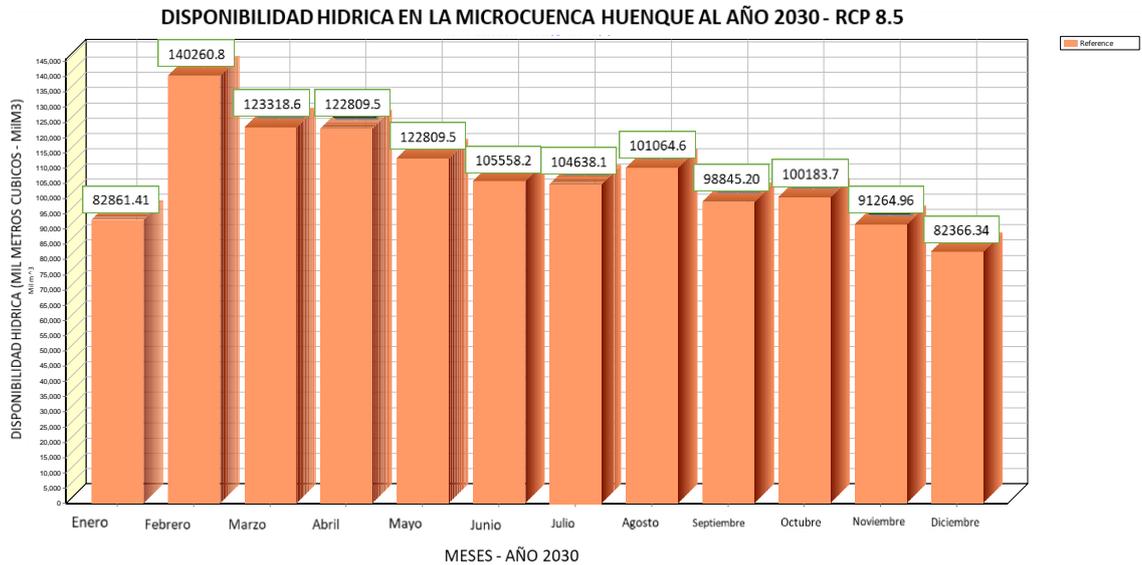
**Figura 25:** Disponibilidad hídrica en la microcuenca Huenque en series de tiempo mensual – escenario climático pésimo “RCP 8.5”

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 26, se aprecia la disponibilidad hídrica en la microcuenca Huenque, en series de tiempo mensual en un escenario climático pésimo con un muy alto nivel de emisiones de Gases de Efecto Invernadero - GEI “RCP 8.5”, indicado que existe una tendencia de crecimiento muy alto en la disponibilidad hídrica con respecto al año 2021.

En la tabla 13, se aprecia la serie de temperatura para el área en estudio, comprendido desde el mes de enero hasta el mes de diciembre; con data histórica desde el año de 1992 hasta el año 2021; todo ello con una tendencia de temperatura

estable de 0.039% anual y con una temperatura con elevados niveles de Gases de Efecto Invernadero – GEI de 0.09% anual.



**Figura 26:** Disponibilidad hídrica en la microcuenca Huenque al año 2030 – escenario climático pésimo “RCP 8.5”

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 27, se aprecia la disponibilidad hídrica en la microcuenca Huenque, para el año 2030 en un escenario climático pésimo con un muy alto nivel de emisiones de Gases de Efecto Invernadero – GEI “RCP 8.5”, indicado que la disponibilidad hídrica por mes será de: Enero con 82861.41 mil metros cúbicos (MilMC); Febrero con 140260.84 MilMC; Marzo con 123318.61 MilMC; Abril con 122809.52 MilMC; Mayo con 112987.04 MilMC; Junio con 105558.22 MilMC; Julio con 104638.13 MilMC; Agosto con 101064.69 MilMC; Septiembre con 98845.20 MilMC; Octubre con 100183.78 MilMC; Noviembre con 91264.96 MilMC; y diciembre con 82366.34 MilMC; dando un estimado total de 1285158.73 MilMC de disponibilidad hídrica.

Además de ello resaltando nuevamente que la disponibilidad hídrica futura en un escenario climático pésimo “RCP 8.5”, será superior con respecto a un



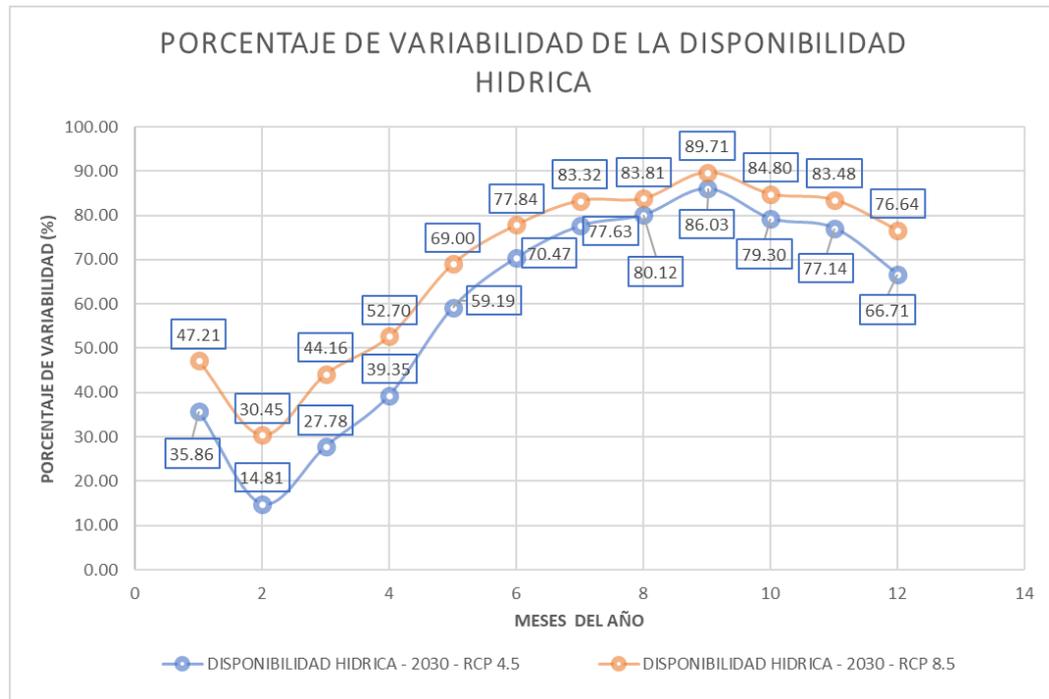
escenario estable “RCP4.5”; sin embargo esta situación se puede tornar real si no se toman las respectivas previsiones el caso para evitar que la disponibilidad hídrica en este escenario cause perjuicios en su desplazamiento (inundación, erosión), es por ello que se propone una tecnología adecuada para el aprovechamiento de las aguas de lluvia para mejorar la permanencia de la disponibilidad hídrica en la microcuenca, todo ello como una acción de prevención para evitar las inundaciones en el trayecto del flujo del recurso hídrico.

En la tabla 15, se aprecia el porcentaje de variabilidad de la disponibilidad hídrica “RCP 4.5 y 8.5”; indicando que ante un escenario climático estable “RCP 4.5” al año 2030 presenta un porcentaje de aumento del 59.53% de disponibilidad hídrica; y ante un escenario climático pésimo “RCP 8.5” al año 2030; presenta un porcentaje de aumento del 59.53% de disponibilidad hídrica; todo ello referido con respecto al año 2021.

**Tabla 14.** Porcentaje de variabilidad de la disponibilidad hídrica “RCP 4.5 y 8.5”

MES	Disponibilidad hídrica (MILMC) - 2021	Disponibilidad hídrica (MILMC) - 2030 - RCP 4.5	Disponibilidad hídrica (MILMC) - 2030 - RCP 8.5	Porcentaje de variabilidad (%)	
				Disponibilidad hídrica - 2030 - RCP 4.5	Disponibilidad hídrica - 2030 - RCP 8.5
Enero	43743.19	68194.75	82861.41	35.86	47.21
Febrero	97555.01	114516.62	140260.84	14.81	30.45
Marzo	68863.22	95355.94	123318.61	27.78	44.16
Abril	58085.78	95773.22	122809.52	39.35	52.70
Mayo	35029.26	85828.51	112987.04	59.19	69.00
Junio	23396.54	79221.38	105558.22	70.47	77.84
Julio	17456.49	78033.52	104638.13	77.63	83.32
Agosto	16365.51	82333.96	101064.69	80.12	83.81
Setiembre	10168.36	72804.99	98845.2	86.03	89.71
Octubre	15230.11	73559.84	100183.78	79.30	84.80
Noviembre	15074.56	65946.15	91264.96	77.14	83.48
Diciembre	19243.64	57810.52	82366.34	66.71	76.64
<b>TOTAL</b>	<b>420211.67</b>	<b>969379.40</b>	<b>1266158.74</b>	<b>714.39</b>	<b>823.10</b>
<b>PROM.</b>	<b>35017.64</b>	<b>80781.62</b>	<b>105513.23</b>	<b>59.53</b>	<b>68.59</b>

Fuente: Elaboración propia



**Figura 27:** Porcentaje de variabilidad de la disponibilidad hídrica “RCP 4.5 y 8.5”  
**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 28 que sale de la tabla 15, se aprecia el porcentaje de variabilidad de la disponibilidad hídrica “RCP 4.5 y 8.5” de manera grafica; indicando que existe un porcentaje superior de disponibilidad hídrica referido al escenario climático pésimo “RCP 8.5” con respecto al escenario climático estable “RCP 4.5”

En relación con el planteamiento de la hipótesis: “La disponibilidad hídrica futura bajo las condiciones de cambio climático en la microcuenca Huenque – Ilave, es superior a la disponibilidad hídrica actual” se acepta la hipótesis, puesto que el cambio climático se debe principalmente a la emisión de gases de efecto invernadero – GEI; el cual tiende a aumentar la temperatura de superficie terrestre, y por ello se genera una mayor evaporación de los recursos líquidos y en base a ello esta se acumula en forma de nubes lo cual posteriormente tiende a precipitar en mayores proporciones hacia la microcuenca Huenque,



generando mayor disponibilidad hídrica; sin embargo toda esta cantidad no permanece en el área en estudio; si no esta es desplazada por acción de la gravedad hacia terrenos más planos conllevando a generarse inundaciones.

Los resultados comparados con López & Manzano (2017), presentan características diferentes; según a su estudio en el Valle de Galeana de la ciudad de México, se encontró una disponibilidad hídrica futura en el periodo de 2015-2030 en un escenario estable “RCP4.5”; de 1647360 MilMC, y en un escenario pésimo “RCP8.5” de 1764000 MilMC; todo ello resultando así debido a que el valle de Galeana sufre pequeños incrementos de la temperatura producto del cambio climático en dos escenarios climáticos siendo este de 0.96% para el RCP4.5 y 1.5% para el RCP8.5; de igual manera con respecto al estudio de Olivera (2019), es diferente debido a que proyecta la disponibilidad hídrica entre los periodos de tiempo de 2019 al 2039 en la subcuenca del río Shullcas; encontrando una disponibilidad en un escenario estable “RCP4.5” de 12734.45 MilMC y en un escenario pésimo “RCP8.5” de 14915.856 MilMC; siendo esta disponibilidad hídrica superior a su año base – 2019; todo ello debido principalmente al cambio climático, el cual incita a que ocurra mayores precipitaciones y por ende la colmatación de los flujos de agua y como consecuencia de ello cause las inundaciones; Así también los resultados obtenidos con respecto al estudio de Pilares Hualpa, y otros (2018), presentan características distintas el cual proyecta la disponibilidad hídrica bajo condiciones del cambio climático en el periodo del 2018-2099 para la cuenca del río Cabanillas del altiplano Puneño, encontrando una disponibilidad hídrica en un escenario climático estable “RCP 4.5” de 740225.10 MilMC y en un escenario pésimo “RCP 4.5” de 12873.80 MilMC; todo ello superior a la disponibilidad hídrica base – 2018 de 643674.000 MilMC;



siendo superior debido al cambio climático el cual tiende a incrementar la temperatura de la tierra y en base a ello tiende a generar mayores precipitaciones pluviales. Respecto a los posibles incrementos de oferta hídrica que se podrían dar en un futuro considerando las características geográficas y fisiográficas se deberá plantear una estrategia de adaptación al cambio climático coordinado entre los gobiernos regionales y locales Pilares (2018).

#### **4.3. TECNOLOGÍA ADECUADA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS DE LLUVIA Y MEJORAR LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN LA MICROCUENCA HUENQUE-ILAVE.**

En relación al objetivo específico 3 “Escoger una tecnología adecuada para el aprovechamiento de las aguas de lluvia y mejorar la disponibilidad hídrica en la microcuenca Huenque - Ilave; para el cumplimiento de ello se ha detallado algunas características de las tecnologías de mejora hídrica; siendo en este caso:

##### **4.3.1. Zanjas de infiltración**

Las zanjas de infiltración son construcciones artificiales utilizadas para captar la escorrentía superficial en lugares cercanos a colinas en épocas de grandes precipitaciones. Con una pendiente del 0%, el agua captada se infiltra en el suelo de las zanjas, aumentando la humedad del suelo y recargando las aguas subterráneas, evitando los procesos erosivos que de otro modo se producirían en el manto.



## A) Condiciones de adaptación.

En el diseño, construcción y mantenimiento de las cunetas se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- Se recomienda disponer una calzada de 1m de separación, 5m de longitud y 0,30m de anchura y profundidad. La tierra excavada se coloca en la parte inferior de la zanja para crear un lecho, que sólo debe compactarse suavemente. Se aconseja plantar el lecho con hierbas y árboles locales para darle solidez.
- Las dimensiones recomendadas son 5m de largo, 0,30m de ancho, 0,30m de profundidad y 1m entre ellas y la carretera. Para crear un caballón en la parte inferior de la zanja a partir de la tierra removida, la zona debe compactarse suavemente.
- Se aconseja plantar el lecho con hierbas y árboles locales para darle solidez. Las precipitaciones en la zona de captación deben ser inferiores o iguales a la cantidad recogida y absorbida por la zanja.
- La distancia entre zanjas dependerá de la pendiente del terreno en la región donde se vaya a construir la zanja de infiltración; en terrenos más escarpados, deberán construirse más separadas.
- En las zonas de pastoreo, deben dejarse separadores de anchura suficiente para permitir el acceso de los animales y evitar la erosión de la zanja.
- Mantenga la zanja retirando los restos que haya arrastrado el agua o los sedimentos. Así se prolongará su vida útil.



- En el borde de la acequia, la plantación de especies arbóreas autóctonas como Qolle, Queua y Chachacomo ayudará a la infiltración del agua y estabilizará los taludes.

#### **4.3.2. Qochas de infiltración**

Para rellenar los acuíferos que abastecen los manantiales, pantanos y humedales aguas abajo, se utilizan qochas de "siembra de agua de lluvia". Durante la estación seca, los pastos se mantienen así. Sin estas qochas, el agua fluiría naturalmente sobre la superficie del suelo sin ser utilizada, lo que podría causar ocasionalmente problemas de erosión e inundaciones en la parte inferior de la cuenca.

A lo largo del año, la cuenca receptora suele permanecer seca durante más tiempo. Cuando empiezan las lluvias, el agua se almacena más lentamente que en las qochas de recogida, pero una vez que cesan las lluvias, la infiltración provoca una disminución significativa de la cantidad de agua que se ha almacenado. Como consecuencia, el espejo de agua se va oscureciendo progresivamente. Se vuelve a llenar lentamente cuando vuelven las lluvias porque parte del agua se filtra en el suelo.

#### **B) Condiciones de adaptación**

A excepción del requisito de que el suelo donde se crean sea poroso para permitir la penetración del agua y la recarga de los acuíferos subterráneos, los principios de construcción de esta forma de qocha de infiltración son idénticos a los de las qochas de almacenamiento.



### **4.3.3. Amunas**

Las amunas son un antiguo método de recarga artificial de acuíferos en macizos rocosos de alta montaña. La civilización inca las construyó en el siglo XIV. Son toscas creaciones que se utilizan para recoger la escorrentía del agua de lluvia en elevaciones superiores a 4400 metros sobre el nivel del mar. De este modo, el agua se dirigirá a través de zanjas curvas en el terreno antes de infiltrarse por encima de sus manantiales más significativos en las laderas de las colinas, sobre los suelos pedregosos y las rocas desmenuzadas. Sus ventajas son ampliamente reconocidas ya que, sin ellas, la agricultura de regadío en estas regiones no sería viable, obligando a los habitantes a realizar un mantenimiento anual mediante esfuerzos cooperativos. Esta tecnología de recarga artificial en alta montaña ha demostrado ser bastante eficaz y se adapta perfectamente a regiones con topografía comparable y problemas de escasez de agua.

### **C) Condiciones de adaptación**

Para adaptarse a este tipo de tecnología es importante disponer de montañas rocosas en la parte alta de la cuenca en forma de crestas que se utilicen como filtros de las precipitaciones y para reponer los manantiales en la parte baja.

### **4.3.4. Bofedales**

Un bofedal es un pequeño pastizal natural situado a gran altitud y húmedo durante todo el año. Las "plantas hidrófitas" son las especies que viven en los humedales. En regiones como el macizo andino, a más de 3.800 metros sobre el nivel del mar, donde las llanuras recogen el agua de las lluvias, del deshielo de los glaciares y, sobre todo, de la escorrentía superficial, se desarrollan los humedales.



## D) Condiciones de adaptación

Para la construcción de bofedales se debe tener las siguientes condiciones:

- Aguas arriba del bofedal no se permite la extracción de aguas superficiales; del mismo modo, no se permite la extracción de aguas subterráneas en su superficie ni a menos de 200 metros de sus límites.
- Cuando se construyan terraplenes, se implantarán pedraplenes en la parte inferior para garantizar el libre flujo de las aguas subsuperficiales.
- No se permiten zonas de vertido ni préstamos laterales en las zonas de humedales.
- Los desechos vegetales y el material sobrante no pueden verterse en humedales; pueden verterse en regiones vecinas alteradas, pero no en este tipo de hábitat.
- El vertido de basura de asfalto en humedales está prohibido, ni siquiera momentáneamente. Toda la basura de la construcción debe recogerse de inmediato y verterse temporalmente en lugares vecinos antes de ser transportada a los lugares de eliminación definitiva.

### 4.3.5. Reforestación

La reforestación es un método para reducir los efectos de la lluvia en el suelo y potenciar la penetración del agua. Como retenedores, el tronco y las raíces de los árboles ralentizan el flujo del agua, provocando el deterioro de la estructura del suelo y aberturas para la infiltración del agua que potencian la recarga de las aguas subterráneas.



Se ha demostrado que las plantaciones forestales con especies autóctonas y un espaciado reducido entre plantas en regiones protegidas disminuyen la posibilidad de erosión hídrica.

También ayudan a restaurar los suelos dañados, potencian la infiltración del suelo y reducen drásticamente la escorrentía superficial, además de proporcionar beneficios medioambientales.

### **E) Condiciones de adaptación**

En este sentido, se aconseja reforestar con especies naturales "amantes del agua" (como queua, aliso, chachacomo, sauco y arrayán, entre otras) para la siembra de agua. Debido a sus altos requerimientos de agua y efectos alelopáticos sobre el crecimiento de otras especies cercanas, no se sugiere emplear pinos o eucaliptos.<sup>8</sup> Se dice que se necesitan de 250 a 717 metros cúbicos de agua anualmente para producir el crecimiento de un metro cúbico de madera de pino radiata.

Se deben plantar especies forestales autóctonas en las zonas más degradadas del área tributaria si el clima es propicio para el desarrollo de árboles y arbustos. Al permitir la recuperación del suelo y reducir la velocidad de escorrentía, este método mejorará la infiltración de agua y la recarga de qochas.

Debido a que las zanjas de infiltración van de la mano con la reforestación con plantaciones forestales de especies nativas (qolle, queua, chachacomo, entre otras) en el brocal de la zanja, ayudarán a infiltrar el agua y estabilizar las laderas.

En este sentido, conociendo todas las características de las tecnologías de mejoramiento hídrico, se ha optado por el diseño de zanjas de infiltración.

En el diseño de las zanjas de infiltración se tienen en cuenta los siguientes factores:

#### 4.3.6. Diseño de las zanjas de infiltración

Según Mamani (2017), El principio fundamental a la hora de diseñar las zanjas de infiltración corresponde a que la cantidad de agua de lluvia que cae en la zona en estudio; por ello se obtuvo datos de precipitación futura en el área en estudio, tomando como referencia el módulo para la estimación de curvas de intensidades-Duración-Frecuencia IDF del SENAMHI (2022); el cual indica que a un periodo de retorno de (PR – 50 años); estima una precipitación promedio de 158.97mm en una hora para el área en estudio.

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

$$V_{ai} = P * S * e \quad \text{Ec. 1}$$

**Donde:**

***P***: Precipitación (158.97mm durante una hora, para un PR de 50 años = 0.158m)

***S***: Superficie de captación

***e***: Coeficiente de escorrentía

**superficie de Captación:**

$$S = l * d \quad \text{Ec. 2}$$

***l***: Largo (5.00m)

***d***: Distanciamiento

**Cálculo del distanciamiento**



$$d = b + e \quad \text{Ec. 3}$$

***b***: base (0.50m según Mamani (2017))

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

$$d = 0.50 + 2.00$$

$$d = 2.50\text{m}$$

El distanciamiento de cada lateral de las zanjas estará dado por 2.50m para la microcuenca Huenque.

**Reemplazando valores en la Ec. 2:**

$$S = 5.00 * 2.50$$

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

La superficie de Captación de las aguas de las lluvias estará dada en un área aproximada de  $12.50\text{m}^2$  para cada zanja de infiltración en la microcuenca Huenque.

❖ **Coefficiente de escorrentía**

***e*: 0.6** (Según Tabla de Ven Te Chow, Hidrología Aplicada, en suelos con una pendiente mayor a 7% y periodo de retorno con 50 años)

**Reemplazando valores en la Ec. 1**

$$V_{ai} = 0.158 * 12.50 * 0.6$$

$$V_{ai} = 1.19 \text{ m}^2$$

**El volumen de aportación a la zona de impluvio será de  $1.19\text{m}^2$  para la microcuenca Huenque.**

**b) Determinación del volumen de captura – zona de zanjas (m3)**

$$V_{cz} = b * h * l \quad \text{Ec. 4}$$



**Donde:**

***b***: base de la zanja (0.50m)

***h***: altura de la zanja (0.40m)

***l***: largo de la zanja (5.00m)

**Reemplazando:**

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

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

El volumen de captura de agua estará dado en un volumen de 1m<sup>3</sup> para cada zanja de infiltración.

**c) Determinación de la infiltración de la zanja (m<sup>2</sup>/hr)**

$$V_{in} = b * v * l \quad \text{Ec. 5}$$

**Donde:**

***b***: base de la zanja (0.50m)

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

***l***: largo de la zanja (5.00m)

**Reemplazando:**

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

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

La infiltración de la zanja estará dada a un tiempo de 0.2m<sup>3</sup>/hora para la microcuenca Huenque.

**d) Verificación del diseño de la zanja de infiltración**

$$V_{ai} \leq V_{cz} + V_{in} \quad \text{Ec. 6}$$



**Verificando:**

$$1.19 \leq 1.00 + 0.20$$

$$1.19 \leq 1.20$$

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

**e) 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.

En relación con el planteamiento de la hipótesis: “La propuesta de una tecnología adecuada para el aprovechamiento de las aguas de lluvia mejorara la disponibilidad hídrica en la microcuenca Huenque - Ilave”, se acepta la hipótesis, puesto que las tecnologías de aprovechamiento de las aguas de lluvia como es el caso de las zanjas de infiltración, retienen las aguas de lluvia generando poca escorrentía superficial conllevándose a almacenarse e incrementarse el agua en el subsuelo la cual se hará disponible en los afloramientos naturales en las partes bajas de la microcuenca; Así también lo cual generara mínima colmatación de los ríos; y en paralelo a ello prevendrá las inundaciones. **(Ver Anexo 03 para la ubicación de las zonas de infiltración planteadas a nivel de la microcuenca**



## **Huenque, principalmente ubicados en zona altas a medias en suelos con capacidad de infiltración)**

Estos resultados comparados con Mamani (2017), presentan características semejantes. Esto debido a que se eligieron zanjas de infiltración para una precipitación promedio de 141.36 milímetros por hora; en intensidad con una duración de 60 minutos para un periodo de retorno de 500 años; y con un coeficiente de escorrentía de 0.60, para su estudio interpretando y reemplazando los valores obtenidos que es el volumen de aporte a la zona imbruvial. Esto se realizó en el altiplano puneño para el incremento de la disponibilidad de agua en el manantial Collana - Cabanilla en la provincia de Lampa, que tiene un valor de 1,2 e indica que satisface el requisito del principio fundamental para su diseño; además, con respecto al dimensionamiento de la zanja, se realiza de acuerdo con la pendiente de 20° a 40°, que es menor que el volumen de captación en la zanja más el volumen de infiltración de la zanja. De acuerdo con la topografía del terreno, la zanja tiene una pendiente que oscila entre el 1% y el 2%, una sección de anchura de base de 0,5 metros, una altura de 0,4 metros, una longitud de 5 metros y una separación de 13 metros.

Las zanjas de infiltración suelen minimizar en gran medida la escorrentía y las pérdidas de suelo por procesos erosivos, incluyendo la erosión y el deterioro (Locatelli, y otros, 2020); además de ello según Somers, y otros (2018), mencionan que la infraestructura de zanjas de infiltración natural se utiliza como estrategia de adaptación al cambio climático en términos de gestión de recursos hídricos; como mecanismos de retención y/o control (Albarracín, y otros, 2021).



También es probable que las zanjas de infiltración beneficien a la vegetación cercana (como el crecimiento del césped), pero esto aún no se sabe con certeza

Los enfoques de adaptación planteados por (Ocampo-Melgar, Vicuña, Gironás, Varady, & Scott, 2016), quien plantea medidas de tipo A que actúan mediante la mejora o conservación de los servicios ecosistémicos asociados a la provisión y regulación de flujos de aguas superficiales y subterráneas (ej. protección de erosión de laderas, protección de glaciares, recarga de acuíferos); las medidas tipo B consideran algún tipo de regulación o control de estos flujos una vez disponibles (ej. embalses, transferencia de derechos, obras de contención de inundaciones; las medidas tipo C ayudan a generar un producto deseado o evitar uno indeseado dado el contexto físico en el que deben operar (ej. eficiencia en riego, planificación urbana, reducción de carga de contaminantes); y finalmente las medidas tipo C son medidas que afectan directamente el nivel de bienestar humano (ej. seguro agrícola, relocalización de especies), serán importantes bajo un enfoque promisorio.)



## V. CONCLUSIONES

- Según los resultados se concluye que la disponibilidad hídrica actual en la microcuenca Huenque, para el mes de enero es de 43743.19 mil metros cúbicos (MilMC), para el mes de febrero es de 97555.01 MilMC, para el mes de marzo es de 68863.22 MilMC, para el mes de abril es de 58085.78 MilMC, para el mes de mayo es de 35029.26 MilMC, para el mes de junio es de 23396.54 MilMC; para el mes de julio es de 17456.49 MilMC; para el mes de agosto es de 16365.51 MilMC; para el mes de septiembre es de 10168.36 MilMC; para el mes de octubre es de 15230.11 MilMC; para el mes de noviembre es de 15074.56 MilMC; y para el mes de diciembre de 19243.64 MilMC; dando un estimado de 420211.66 MilMC de disponibilidad hídrica para el año 2021 en la microcuenca Huenque.
- Según los resultados se concluye que la disponibilidad hídrica futura al año 2030 en la microcuenca Huenque, bajo las condiciones del cambio climático para un escenario climático estable “RCP 4.5”; para el mes de enero es de 68194.75 mil metros cúbicos (MilMC), para el mes de febrero es de 114516.62 MilMC, para el mes de marzo es de 95355.94 MilMC, para el mes de abril es de 95773.22 MilMC, para el mes de mayo es de 85828.51 MilMC, para el mes de junio es de 79221.38 MilMC, para el mes de julio es de 78033.52 MilMC, para el mes de agosto es de 8333.96 MilMC, para el mes de septiembre es de 72804.99 MilMC, para el mes de octubre es de 73559.84 MilMC, para el mes de noviembre es de 65946.15 MilMC, y para el mes de diciembre es de 57810.52 MilMC, dando un total de 969379.42 MilMC de disponibilidad hídrica para este escenario climático; No obstante en un escenario climático pésimo con un muy alto nivel de emisiones de Gases de Efecto Invernadero – GEI “RCP 8.5”, la disponibilidad hídrica para el mes de enero es de 82861.41 mil metros cúbicos (MilMC); para el mes de Febrero es de 140260.84



MilMC; para el mes de Marzo es de 123318.61 MilMC; para el mes de Abril es de 122809.52 MilMC; para el mes de Mayo es de 112987.04 MilMC; para el mes de Junio es de 105558.22 MilMC; para el mes de Julio es de 104638.13 MilMC; para el mes de Agosto es de 101064.69 MilMC; para el mes de Septiembre es de 98845.20 MilMC; para el mes de Octubre es de 100183.78 MilMC; para el mes de Noviembre es de 91264.96 MilMC; y para el mes de diciembre es de 82366.34 MilMC; dando un estimado total de 1285158.73 MilMC de disponibilidad hídrica; resaltando además que la disponibilidad hídrica bajo un escenario climático pésimo “RCP 8.5” es superior frente al escenario climático estable “RCP 4.5”

- Según los resultados con respecto a escoger una tecnología adecuada para el aprovechamiento de las aguas de lluvia y mejora de la disponibilidad hídrica en la microcuenca Huenque - Ilave, se tomó como tecnología a las zanjas de infiltración tomando como referencia el manual de conservación del suelo mediante zanjas de infiltración del MINAGRI (2014); en conclusión, las zanjas de infiltración estarán ubicadas en las partes altas de la microcuenca Huenque con una separación de espacios de 2m entre ellas y con un distanciamiento de 13m entre zanja; además con deposito del material extraído a 20 cm de distancia en la parte inferior de la zanja; presentando un ancho base de 0.5m, siendo la profundidad de 0.40m con pendiente de 1% y un largo de 5m cada zanja; Así mismo la superficie de captación de las aguas de las lluvias estará dada en un área aproximada de  $12.50m^2$ , con volumen de aportación a la zona de impluvio de  $1.19m^2$ , además con volumen de captura de agua para cada zanja de  $1.00m^2$ ; infiltrando el agua en un tiempo de  $0.2m^3$ /hora.



## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda para futuros trabajos de investigación monitorear las variables de interés (in situ) para la modelación de escenarios climáticos futuros de tal forma que los resultados obtenidos sean de mayor precisión.
- Con el fin de que las autoridades tomen las medidas adecuadas para preservar la disponibilidad de agua en el futuro para el regadío, el agua potable y otros usos sostenibles, se aconseja realizar más estudios de escenarios de cambio climático en la zona y en todo el país. Estos estudios definirán una línea de base sobre los cambios climáticos y su impacto en la disponibilidad de agua en diferentes cuencas.
- Se debe proponer un plan de adaptación al cambio climático, coordinado entre los gobiernos regionales y locales, tomando en cuenta los posibles incrementos futuros en la disponibilidad de agua, así como las características geográficas y fisiográficas de la microcuenca del Huenque. Este plan debe incluir tecnologías para la captación de agua de lluvia y mejorar la retención de la disponibilidad de agua en el futuro.
- Se aconseja que las autoridades municipales utilicen esta tecnología de zanjas de infiltración para la retención de agua en la microcuenca Huenque tomando en cuenta las dimensiones de acuerdo a la topografía; además de tomar en cuenta que la obra debe realizarse antes de la temporada de lluvias; y también llevar a cabo la reforestación de la zona con árboles nativos en respuesta al cambio climático.
- Se aconseja cumplir con la regla fundamental de que la cantidad de precipitación que cae en el área a recargar debe ser menor o igual a la cantidad que es captada y absorbida por la zanja en un tiempo determinado.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdulla, F., Abdulla, C., & Eslamian, S. (2021). Concept and technology of rainwater harvesting. En *Handbook of water harvesting and conservation: basic concepts and fundamentals* (págs. 1-16).
- 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.
- Albarracin, M., Ramon, G., Gonzales, J., Iñiguez, C., Zakaluk, T., & Rosillo, S. (2021). The Ecohydrological Approach in Water Sowing and Harvesting Systems: The Case of the Paltas Catacocha Ecohydrology Demonstration Site, Ecuador. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 1-13.
- Alfaro, R., & Gonzales, V. (2008). *Estadística y probabilidades para ingenieros*. UNA, Puno.
- ANA. (2009). *Evaluación de los Recursos Hidricos en la Cuenca del Río Ilave*. Puno.
- ANA. (2019). *Evaluacion de los recursos hidricos de la microcuenca Huenque*. Puno: Autoridad Nacional del Agua.
- Baena, G. (2017). *Metodología de la investigacion*. Mexico: Grupo Editorial Patria. Obtenido de [http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales\\_de\\_consulta/Drogas\\_de\\_Abuso/Articulos/metodologia%20de%20la%20investigacion.pdf](http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/metodologia%20de%20la%20investigacion.pdf)
- Bresci, E., & Castelli, G. (2021). Water Harvesting in Farmlands. En *Handbook of Water Harvesting and Conservation: Basic Concepts and Fundamentals* (págs. 87-100).



- Cabrera, J. (2008). *Calibración de Modelos Hidrológicos* (Vol. 1). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. Obtenido de [http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas\\_interes/modhidro\\_2.pdf](http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/modhidro_2.pdf)
- 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.
- CORPONARIÑO. (2009). *Oferta y demanda hídrica*. Bogotá, D.C.: CORPONARIÑO.
- Dourojeanni, A., & Jouravlev, A. (2002). *recursos naturales e infraestructura*. Santiago de Chile: estion del agua a nivel de cuencas: teoria y practica .
- FAO. (2000). *Cooperazione italiana/UNEP) 2000. Land cover classification and user manual*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fernandez, A. (2011). *Aguas Residuales en el Peru, Problematica y uso en la Agricultura*. Lima - Perú.
- Flores, J. (2004). *diseño de zanjias de infiltracion bajo criterios de ingenieria hidrológica*. Talca.
- FLOWEN. (23 de Diciembre de 2020). Agua y Saneamiento en tiempos de COVID-19. *Flowen*.
- Gonzales, V., & Alejo, R. (2008). *Desarrollo de cuencas de alta montaña*. UNA Puno.
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodologia de la investigacion Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mexico: Mc Graw Hill Education.
- IPCC. (2001). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo*



- Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra: Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático.
- IPCC. (2007). *Escenarios de emisiones*. Ginebra: Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático.
- 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.
- Jayakrishnan, R., Srinivasan, R., Santhi, C., & Arnold, J. (2005). *Advances in the application of the SWAT model for water resources management*. . Paris: Hydrological Processes. .
- Julcamoro, J. (2017). *Evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico en la microcuenca del río el Tuyo en el distrito de Catilluc, provincia de San Miguel – Cajamarca* . Cajamarca : Universidad Nacional de Cajamarca .
- Kniffen, B. (2021). Rainwater Harvesting for Livestock. En *Handbook of Water Harvesting and Conservation: Basic Concepts and Fundamentals* (págs. 101-108).
- 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. (2019). Modelacion de la disponibilidad hidrica del rio Piura - Perú, considerando la incidencia del cambio climatico. *Revista de Investigaciones Altoandinas*.
- Ley N° 29338. (2017). *Ley de Recursos Hídricos*. Lima: Congreso de la republica.
- Locatelli, B., Homberger, J., Tocachi, B., Bonnesoeur, R., Drenkhan, F., & Buytaert, W. (2020). Impactos de las zanjas de infiltración en el agua y los suelos: ¿Qué sabemos? *Hal open science*, 1-17.
- López, T., & Manzano, M. (2017). Disponibilidad hidrica bajo escenarios de cambio climatico en el valle de Galaena, Nuevo León, México. *Tecnologia y Ciencias del Agua*.
- Lujano, E., & Diaz, R. (2016). Evaluacion de la disponibilidad hidrica actual y futura en el contexto del cambio climatico en las cuencas Ilave y Ramis. *Congreso Lanitoamericano de Hidraulica*.
- 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, J., Alfaro, R., & Gonzales, S. (2016). Manejo y protección de zonas de recarga hídrica y fuentes de agua para consumo humano en la microcuenca del río Huayllani, Lampa. *XLV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola-CONBEA 2016 (31-41)*.
- 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. (2013). *Escenarios climaticos* . Lima: Ministerio del ambiente .

Minambiente. (2022). *Microcuencas*. Minambiente.

Noa, R. (2016). *Efectos del cambio climático sobre elementos termo pluviométricos en la cuenca hidrográfica Ilave – Puno*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.

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.

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.

Preteli, P. (2016). *El acceso al agua y los derechos fundamentales de los pueblos amazónicos de Loreto*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Rizo, J. (2015). *Tecnicas de Investigacion Documental*. Matagalpa-Nicaragua. Obtenido de <https://repositorio.unan.edu.ni/12168/1/100795.pdf>



- Sadeghi, N., & Eslamian, S. (2021). Road Water Harvesting. En *Handbook of Water Harvesting and Conservation: Basic Concepts and Fundamentals* (págs. 109-126).
- SENAMHI. (28 de Febrero de 2022). *Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional*.  
Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>
- SENAMHI. (10 de Mayo de 2022). *Modulo para la estimación de curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)*. Obtenido de Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología : <https://idsep.senamhi.gob.pe/dhi-idf/>
- SERFOR. (2018). *Guías metodológica para la construcción de reservorios artesanales, zanjás y abrevaderos*. Lima: Ministerio de Agricultura. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-metodologica-construccion-reservorios-artesanales-zanjás>
- Somers, L., Mckenzie, J., Zipper, S., Mark, B., Lagos, P., & Baraer, M. (2018). Does hillslope trenching enhance groundwater recharge and baseflow in the Peruvian Andes? *Special Issue Canadian Geophysical Union 2018*, 1-14.
- WEAP. (2009). *Guía de Modelación WEAP*,.
- WWAP. (2019). *Informe Mundial de la Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos*. No Dejar a Nadie atrás.
- Yang, N., & Men, B. (2011). *Impact Analysis of Climate Change on Water Resources*. Suiza: Procedia Engineering.



## ANEXOS

## ANEXO 1. Plantilla de cálculo de zanjas de infiltración para la microcuenca Huenque

### 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	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	SENAMHI (2022)
Precipitación	P		<b>0.158</b>	<b>m</b>	<b>Se asume</b>
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	$b+e$	<b>2.50</b>	<b>m</b>	
Superficie de Captación	S	$L*d$	<b>12.50</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	
Coefficiente de escorrentía	e		0.60	c	egún Tabl. Ven TE Chw
Volumen de aportación a la zona de im	Vai	$P*S*e$	<b>1.19</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	
Volumen de Captura zona de zanjas	Vcz	$b*h*L$	<b>1.00</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	
Velocidad de Infiltración de la zanja	v		0.08	m/hora	gn. prueba d infiltracion
Infiltración de la zanja	Vin	$b*v*l$	0.20	m <sup>3</sup> /hora	
Verificación del diseño de la zanja		$Vai \leq Vcz + Vin$	<b>1.19 ≤ 1.20</b>		<b>Si cumple (Condición)</b>
Distanciamiento corregido de zanjas	d	$(b*(h+v))/P*e$	12.53	m	
<b>Distanciamiento corregido de zanjas</b>	<b>d</b>		<b>13.00</b>	<b>m</b>	<b>Se asume</b>



ANEXO 2. Plantilla de cálculo de la prueba de infiltración - según lectura de tiempo de infiltración de agua en el área en estudio

**I. INFORMACIÓN BASE**

Lectura	Hora	Minutos	Profundidad total (cm)	Profundidad c/5min	Velocidad de infiltración (cm/min)
1	11.4	0.00	0.00	0.00	0.00
2	11.4	5.00	5.50	5.50	0.15
3	11.5	5.00	6.50	1.00	0.20
4	11.5	5.00	7.30	0.80	0.16
5	11.6	5.00	8.30	1.00	0.20
6	12	5.00	9.30	1.00	0.20
7	12.1	5.00	10.00	0.70	0.14
8	12.1	5.00	10.05	0.05	0.01
9	12.2	5.00	11.30	1.25	0.25
10	12.2	5.00	12.00	0.70	0.14
11	12.3	5.00	12.40	0.40	0.08
12	12.3	5.00	12.60	0.20	0.04
13	12.4	5.00	13.20	0.60	0.12
14	12.4	5.00	13.80	0.60	0.12
15	12.5	5.00	14.04	0.24	0.05
16	12.5	5.00	14.80	0.76	0.15

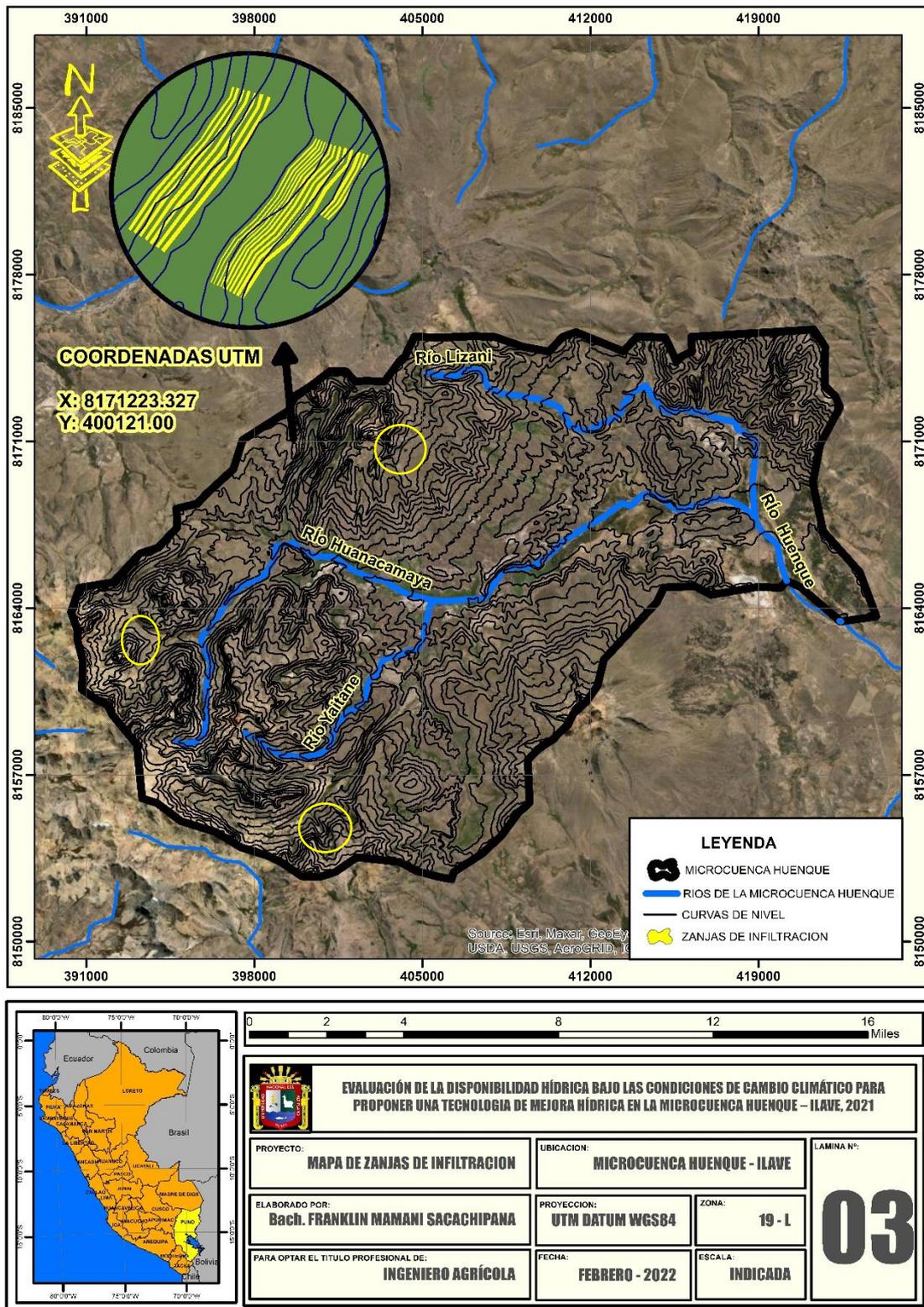
**II. CALCULO DE PRUEBA DE INFILTRACION**

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

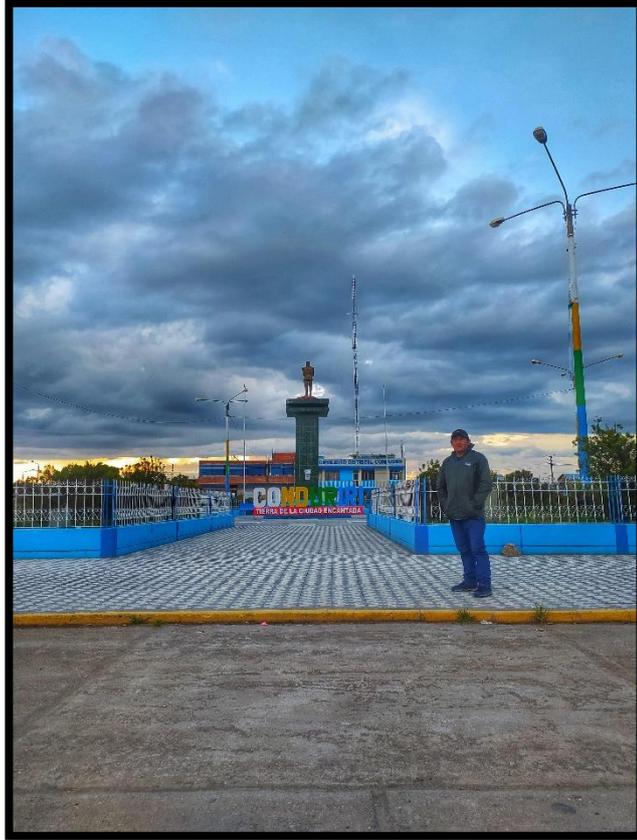
**CUADRO DE LECTURA**

Lectura N°	Tiempo parcial		Tiempo acumulado	Lectura	Enrase		Laminas parciales	Laminas acumulada	Lamina acumulada	Velocidad de infiltracion	Capacidad de absorcion del suelo Est/m²
	Hora	Minutos			Cm	Cm					
1	11:43	0		0							
2	11:48	5		5.5							
3	11:53	5		6.5							
4	11:58	5		7.3							
5	12:03	5		8.3							
6	12:08	5		9.3							
7	12:13	5		10.0							
8	12:18	5		10.5							
9	12:23	5		11.3							
10	12:28	5		12.0							
11	12:33	5		12.4							
12	12:38	5		12.6							
13	12:43	5		13.2							
14	12:48	5		13.8							
15	12:53	5		14.04							
16	12:58	5		14.8							
	3hr.										

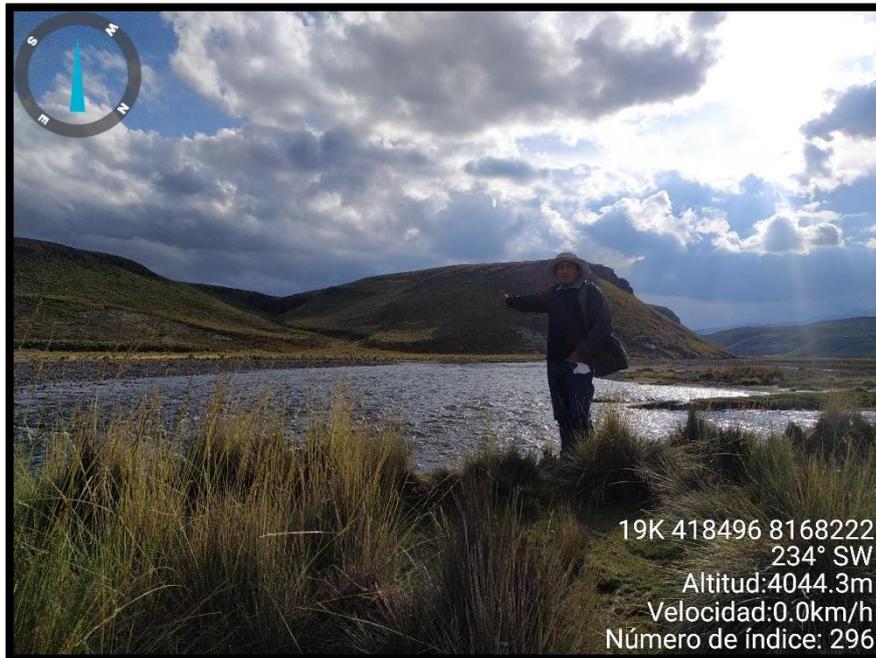
### ANEXO 3. Mapa de ubicación de las zanjas de infiltración en el área en estudio



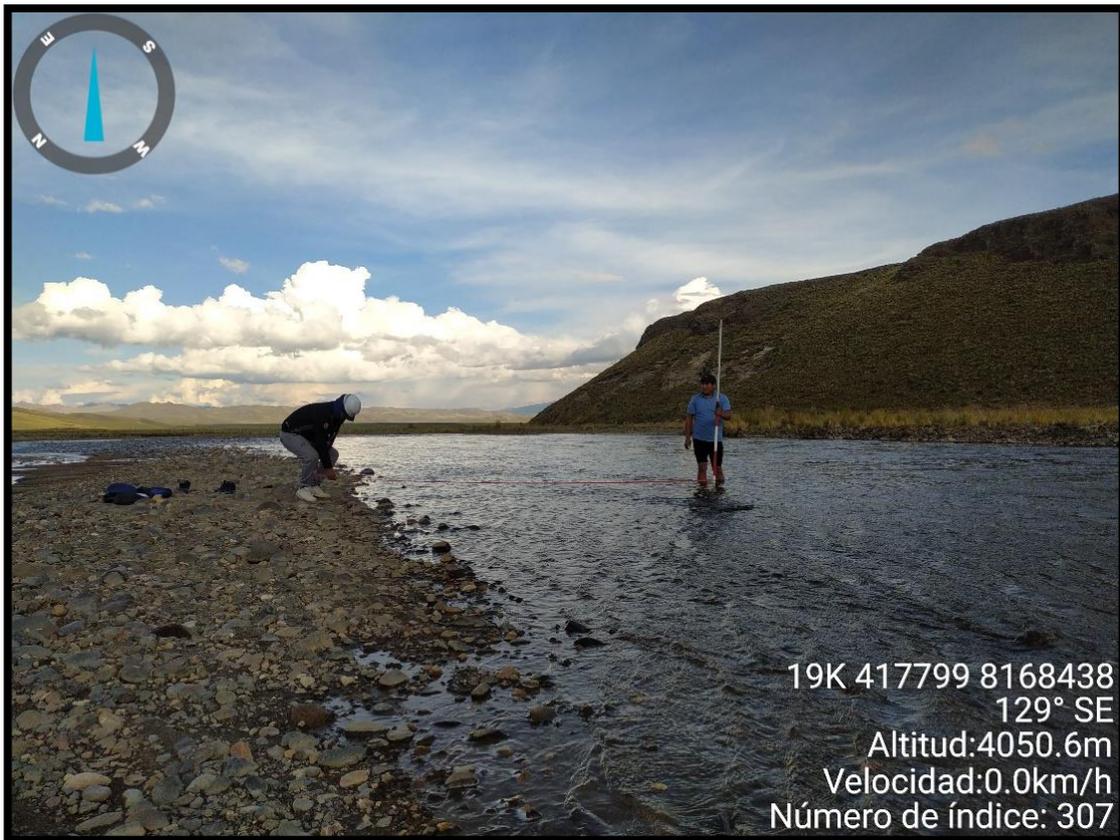
#### ANEXO 4. Ciudad circundante a la microcuenca Huenque

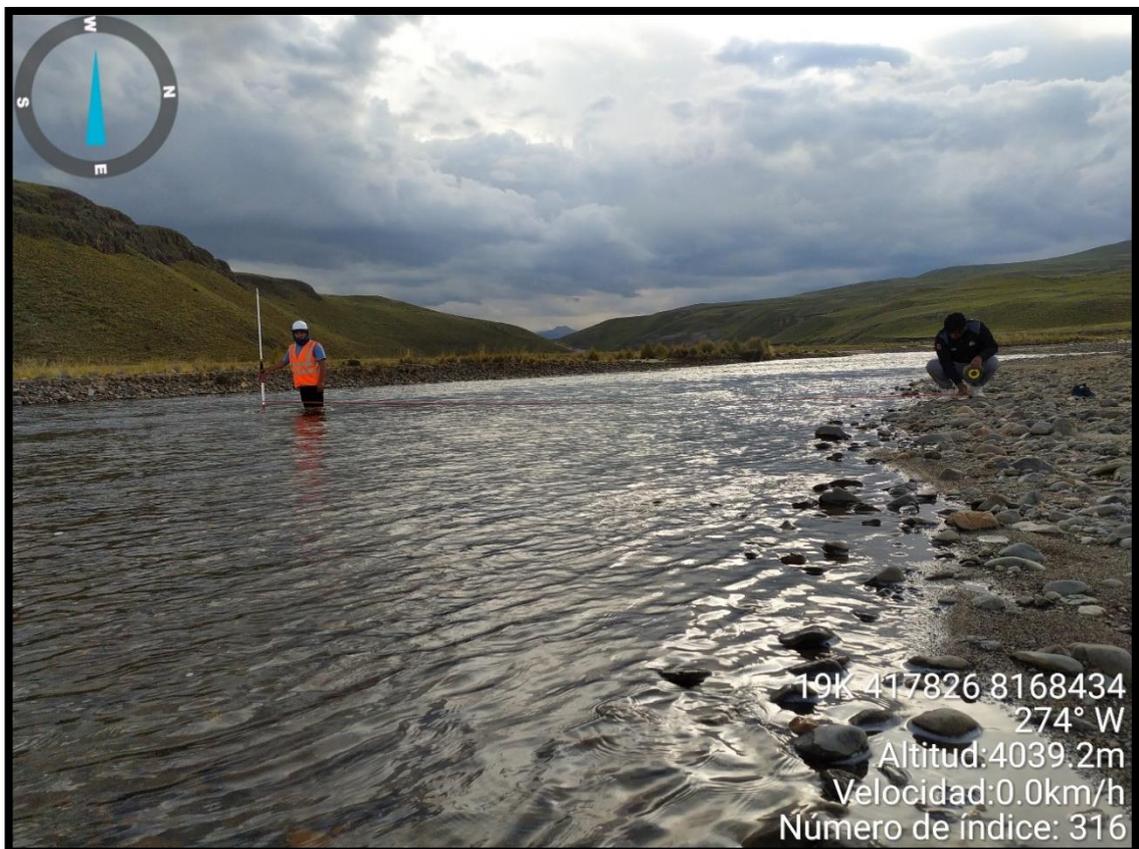
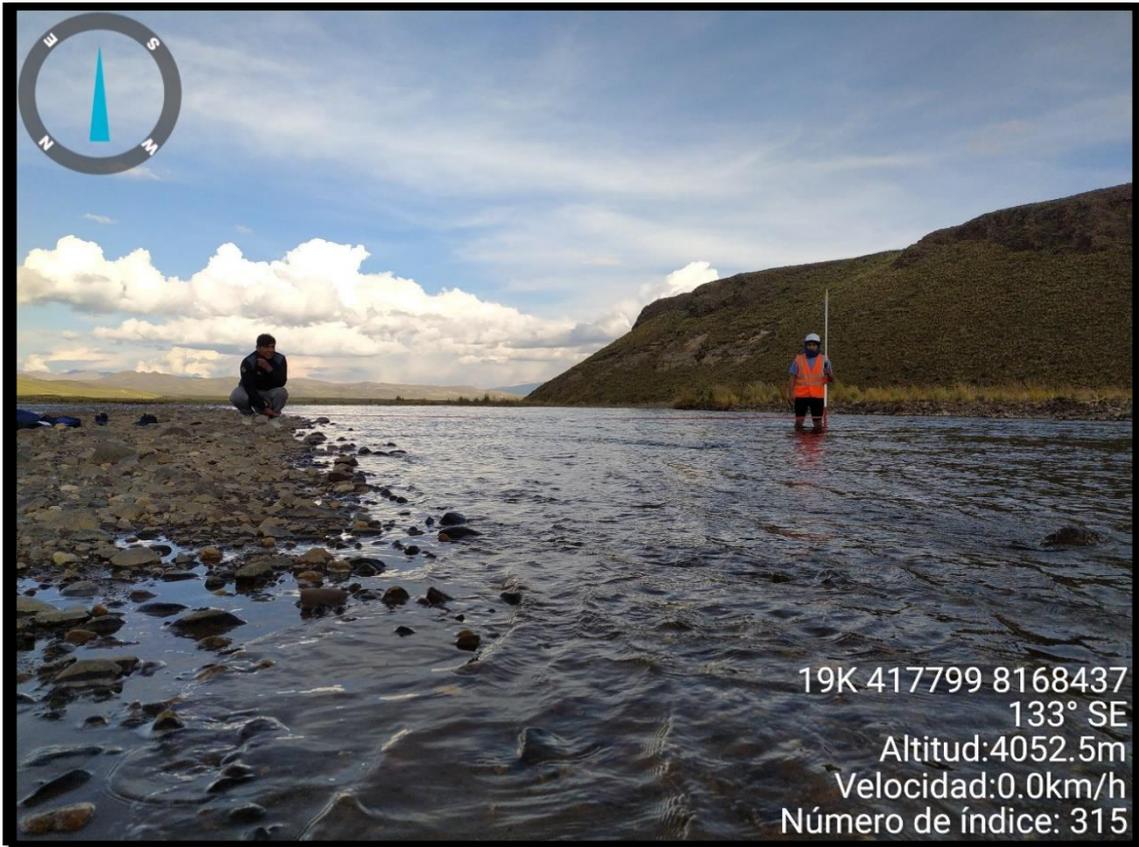


#### ANEXO 5. Rio Huenque – Vertiente principal de la microcuenca Huenque

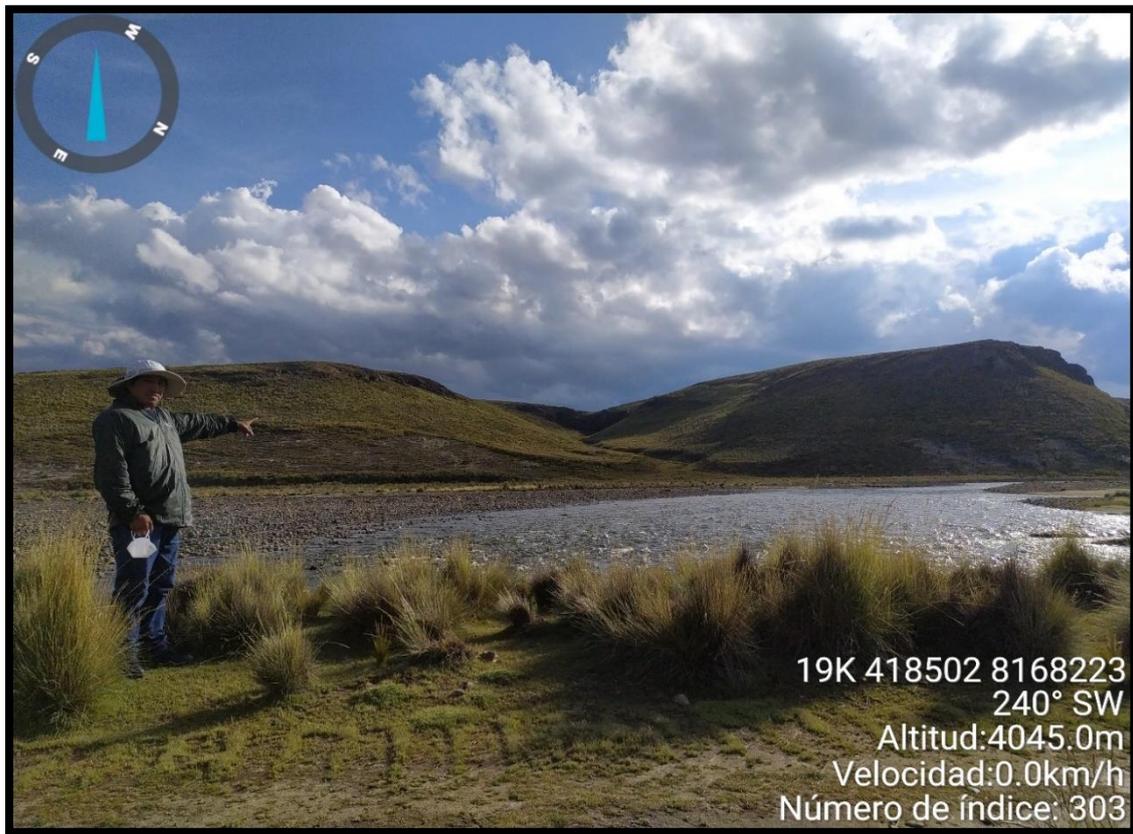


## ANEXO 6. Medición del Caudal del río Huenque empleando el correntómetro





### ANEXO 7. Lugar propuesto donde estarán presentes las zanjas de infiltración



### ANEXO 8. Prueba de infiltración para el cálculo de las zanjas de infiltración









## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Franklin Yamani Sacadipana  
identificado con DNI 46873441 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 de cambio  
climático y propuesta de mejora hídrica en la microcuenca  
Huanque - Ilave 2021"

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 17 de Abril del 2023

  
FIRMA (obligatoria)



Huella



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

Por el presente documento, Yo Franklin Yamari Sacadipara identificado con DNI 46873441 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 y propuesta de mejora hídrica en la microcuenca Huengue - Ilave 2021"

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 17 de Abril del 20 23

  
FIRMA (obligatoria)



Huella