



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



**MODELACIÓN DE LOS PARAMETROS CLIMATICOS BAJO  
ESCENARIOS DEL CAMBIO CLIMATICO EN LA CUENCA DEL  
RIO COATA**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. BLADIMER YONATAN LEON LEON**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**PUNO - PERÚ**

**2024**



NOMBRE DEL TRABAJO

MODELACIÓN DE LOS PARAMETROS CLIMATICOS BAJO ESCENARIOS DEL CAMBIO CLIMATICO EN LA CUENCA DEL RIO COATA

AUTOR

BLADIMER YONATAN LEON LEON

RECuento DE PALABRAS

35244 Words

RECuento DE CARACTERES

166681 Characters

RECuento DE PÁGINAS

178 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

10.7MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 18, 2024 10:56 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 18, 2024 10:58 AM GMT-5

● 10% de similitud general

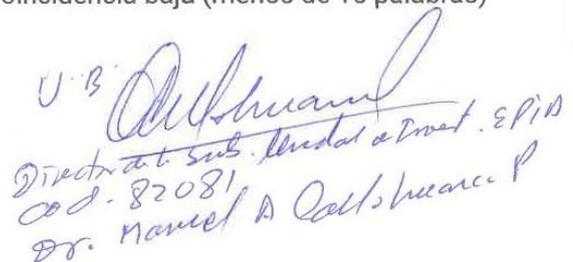
El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

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

  
F. ORTIZ  
DIRECTOR

  
U.B. Collahuara  
Directo. de sub. de Mat. e Inm. E.Pi.D.  
C.D. 82081  
Dr. Naniel A. Collahuara P.

Resumen



## DEDICATORIA

*A Dios por haber permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.*

*Para mis amados Padres Ramires Rodrigo Leon Charca y Evangelina Leon Cahuapaza, gracias por el inmenso sacrificio y apoyo incondicional que me brindaron durante mi formación profesional.*

*A mi hermano Eddy Ramiro Leon Leon por brindarme su apoyo y aliento incondicional durante la ejecución del proyecto de investigación.*

*A mi tío Ing. Eloy P. Leon Charca por brindarme sus conocimientos y apoyo durante la ejecución del proyecto de investigación.*

*A mis abuelos Elias Leon Jacho y Daniela Charca Adco, más que mis abuelos, fueron las personas después de mis padres que más se preocupaban por mí. Sus canas son sinónimos de sabiduría. Me enseñaron muchas cosas vitales para la vida.*

***Bladimer Yonatan Leon Leon***



## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, a la Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, que, gracias a las enseñanzas de sus docentes y su dedicación y apoyo durante mi carrera universitaria, he adquirido no solo conocimientos académicos, sino también habilidades para enfrentar los desafíos de la vida como profesional.

Agradezco a Dios por proporcionarme la fortaleza necesaria y por haber cruzado en mi camino con esa persona especial Deysi que me brindo los más preciado que tengo en la vida mi hijo Harvey Gael que ha sido mi mayor fuente de inspiración para perseguir y alcanzar mis metas y sueños.

Agradezco a mi director y asesor de tesis Dr. Sc. Flavio Ortiz Calcina, por sus valiosos consejos, orientación y asesoramiento en el presente trabajo de investigación.

De igual manea al jurado evaluador, que mediante las observaciones y sugerencias se logró culminar con éxito el presente trabajo de investigación.

***Bladimer Yonatan Leon Leon***



# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>17</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>18</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>21</b>
1.1.1. Problema general .....	22
1.1.2. Problemas específicos .....	22
<b>1.2. HIPÓTESIS .....</b>	<b>23</b>
1.2.1. Hipótesis general.....	23
1.2.2. Hipótesis específicas .....	23
<b>1.3. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>23</b>
<b>1.4. OBJETIVOS .....</b>	<b>24</b>
1.4.1. Objetivo general.....	24



1.4.2. Objetivos específicos .....	24
------------------------------------	----

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

<b>2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>26</b>
2.1.1. Internacionales .....	26
2.1.2. Nacionales .....	27
2.1.3. Regionales .....	29
<b>2.2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>31</b>
2.2.1. Disponibilidad hídrica.....	31
2.2.2. Clima.....	31
2.2.2.1. Cambio climático .....	32
2.2.2.2. Calentamiento global .....	33
2.2.2.3. Proyección de precipitación y temperatura para el Perú.....	34
2.2.2.4. Métodos de interpolación de variables climáticas .....	36
2.2.3. Escenarios de cambio climático.....	37
2.2.3.1. Escenarios de cambio climático en el Perú.....	39
2.2.4. Modelos climáticos .....	40
2.2.4.1. Modelos climáticos globales (GCM) .....	40
2.2.4.2. Modelos climáticos regionales (RCM).....	41
2.2.4.3. Proyecto de Inter comparación de modelos acoplados (CMIP) .....	42
2.2.4.4. Incertidumbre de los modelos climáticos .....	43



2.2.4.5. Técnicas de escalamiento.....	44
2.2.4.6. Proyección climática.....	46
2.2.5. Modelos hidrológicos.....	46
2.2.5.1. Clasificación de los modelos hidrológicos.....	47
2.2.5.2. Sistema de modelación hidrológico WEAP (Water Evaluation and Planning System).....	49
2.2.6. Pruebas de bondad de ajuste.....	52
2.2.7. Medidas de mitigación de los efectos del cambio climático en cuencas hidrográficas.....	54
2.2.7.1. Qochas.....	54
2.2.7.2. Amunas.....	55
2.2.7.3. Zanjas de infiltración.....	56
2.2.7.4. Bofedales.....	57
2.2.7.5. Reforestación.....	58
<b>2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....</b>	<b>60</b>
2.3.1. Clima.....	60
2.3.2. Cambio climático.....	60
2.3.3. Forzante radiativo.....	60
2.3.4. Escenarios de cambio climático.....	60
2.3.5. Gases de efecto invernadero (GEI).....	61
2.3.6. Cuenca.....	61



2.3.7.	Precipitación .....	61
2.3.8.	Temperatura .....	61
2.3.9.	Simulación .....	61

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1. ZONA DE ESTUDIO .....</b>	<b>62</b>
3.1.1. Límites. ....	62
3.1.2. Vías de comunicación y accesibilidad .....	63
<b>3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>63</b>
<b>3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....</b>	<b>63</b>
<b>3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA .....</b>	<b>64</b>
<b>3.5. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....</b>	<b>64</b>
3.5.1. Determinación de la variabilidad climática de la cuenca del río Coata	64
3.5.2. Determinación de la disponibilidad hídrica futura bajo escenarios de cambio climático al año 2050 en la cuenca del río Coata.....	70
3.5.3. Propuesta de medidas para la mitigación de los efectos del cambio climático en la cuenca del río Coata. ....	73

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1. DETERMINAR LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE LA CUENCA DEL RIO COATA .....</b>	<b>80</b>
4.1.1. Variables climáticas de las estaciones meteorológicas más próximas al área en estudio.....	80



4.1.2.	Variables climáticas de la cuenca del rio Coata .....	96
<b>4.2.</b>	<b>DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA FUTURA AL AÑO 2050 BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CUENCA DEL RIO COATA.....</b>	<b>110</b>
4.2.1.	Calibración y validación del modelo .....	110
4.2.2.	Selección de modelos climáticos .....	111
4.2.3.	Escalamiento estadístico .....	111
4.2.4.	Análisis de la incertidumbre .....	113
4.2.5.	Elaboración del catchment.....	113
4.2.6.	Datos de uso de suelo.....	114
4.2.7.	Determinación de la disponibilidad hídrica al año 2023 .....	117
4.2.8.	Determinación de la disponibilidad hídrica al año 2050 .....	118
<b>4.3.</b>	<b>PROPONER MEDIDAS PARA LA MITIGACIÓN DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CUENCA DEL RIO COATA.....</b>	<b>121</b>
4.3.1.	Zanjas de infiltración .....	121
4.3.2.	Qochas .....	125
4.3.3.	Sistemas agroforestales.....	133
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>136</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>137</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>139</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>.....</b>	<b>148</b>



<b>ANEXO 1.</b> Serie histórica de caudales de la estación hidrométrica Lampa (rio Lampa) .....	<b>148</b>
<b>ANEXO 2.</b> Serie histórica de caudales de la estación hidrométrica puente Isla Cabanillas (rio Cabanillas).....	<b>150</b>
<b>ANEXO 3.</b> Serie histórica de caudales de la estación hidrométrica puente Maravillas (rio Coata).....	<b>151</b>
<b>ANEXO 4.</b> Modelamiento de la disponibilidad hídrica en el software WEAP .....	<b>152</b>
<b>ANEXO 5.</b> Valores de T de Student .....	<b>153</b>
<b>ANEXO 6.</b> Prueba de velocidad de infiltración de la zona donde estarán ubicadas las zanjas de infiltración .....	<b>154</b>
<b>ANEXO 7.</b> Plantilla de cálculo del dique de tierra para la qocha (dique) .....	<b>155</b>
<b>ANEXO 8.</b> Plantilla de cálculo del dique de tierra para la qocha (protección de talud) .....	<b>158</b>
<b>ANEXO 9.</b> Plantilla de cálculo del dique de tierra para la qocha (toma descarga) .....	<b>159</b>
<b>ANEXO 10.</b> Plantilla de cálculo del dique de tierra para la qocha (vertedero rectangular) .....	<b>161</b>
<b>ANEXO 11.</b> Plantilla de cálculo del dique de tierra para la qocha (curva de almacenamiento).....	<b>163</b>
<b>ANEXO 12.</b> Vista en planta del dique de tierra propuesto .....	<b>164</b>
<b>ANEXO 13.</b> Vista en perfil del dique de tierra propuesto .....	<b>165</b>
<b>ANEXO 14.</b> Vista en planta y perfil de la descarga del dique de tierra propuesto .....	<b>166</b>
<b>ANEXO 15.</b> Vista en planta y perfil del aliviadero del dique de tierra propuesto .....	<b>167</b>
<b>ANEXO 16.</b> Panel fotográfico .....	<b>168</b>



**Área:** Ciencias Agrícolas.

**Línea:** Cambio Climático y Agricultura.

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 22 de julio del 2024



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Cuatro Caminos de Forzamiento Radiativo seleccionados por el IPCC para evaluar el comportamiento de la concentración de emisiones de gases de efecto invernadero al 2100.....	38
<b>Tabla 2</b> Métodos de corrección de sesgo para precipitación y temperatura .....	45
<b>Tabla 3</b> Escala del coeficiente de determinación $R^2$ .....	53
<b>Tabla 4</b> Niveles de ajuste estadístico (PBIAS) .....	54
<b>Tabla 5</b> Estaciones meteorológicas más próximas a la cuenca del río Coata .....	64
<b>Tabla 6</b> Escenarios climáticos (RCP) al año 2100.....	73
<b>Tabla 7</b> Datos de precipitación (mm) de la estación meteorológica Puno.....	80
<b>Tabla 8</b> Datos de precipitación (mm) de la estación meteorológica Pampahuta .....	81
<b>Tabla 9</b> Datos de precipitación (mm) de la estación meteorológica Cabanillas .....	81
<b>Tabla 10</b> Datos de precipitación (mm) de la estación meteorológica Crucero Alto ...	82
<b>Tabla 11</b> Datos de precipitación (mm) de la estación meteorológica Capachica .....	83
<b>Tabla 12</b> Datos de precipitación (mm) de la estación meteorológica Pucará .....	83
<b>Tabla 13</b> Datos de precipitación (mm) de la estación meteorológica Ayaviri.....	84
<b>Tabla 14</b> Datos de temperatura (°C) de la estación meteorológica Puno.....	85
<b>Tabla 15</b> Datos de temperatura (°C) de la estación meteorológica Pampahuta .....	86
<b>Tabla 16</b> Datos de temperatura (°C) de la estación meteorológica Cabanillas.....	86
<b>Tabla 17</b> Datos de temperatura (°C) de la estación meteorológica Crucero Alto.....	87



<b>Tabla 18</b>	Datos de temperatura (°C) de la estación meteorológica Capachica .....	88
<b>Tabla 19</b>	Datos de temperatura (°C) de la estación meteorológica Pucará.....	88
<b>Tabla 20</b>	Datos de temperatura (°C) de la estación meteorológica Ayaviri.....	89
<b>Tabla 21</b>	Datos de humedad relativa (%) de la estación meteorológica Puno .....	90
<b>Tabla 22</b>	Datos de humedad relativa (%) de la estación meteorológica Pampahuta ..	90
<b>Tabla 23</b>	Datos de humedad relativa (%) de la estación meteorológica Cabanillas ...	91
<b>Tabla 24</b>	Datos de humedad relativa (%) de la estación meteorológica Crucero Alto	92
<b>Tabla 25</b>	Datos de humedad relativa (%) de la estación meteorológica Capachica ...	92
<b>Tabla 26</b>	Datos de humedad relativa (%) de la estación meteorológica Pucará .....	93
<b>Tabla 27</b>	Datos de humedad relativa (%) de la estación meteorológica Ayaviri .....	94
<b>Tabla 28</b>	Análisis de consistencia de las variables climáticas de las estaciones meteorológicas más próximas al área en estudio .....	95
<b>Tabla 29</b>	Variables climáticas de la cuenca del río Coata – periodo 1990 al 2023 ..	104
<b>Tabla 30</b>	Calibración y validación del modelo .....	110
<b>Tabla 31</b>	Escalamiento estadístico .....	112
<b>Tabla 32</b>	Rango de parámetros de cobertura de uso de suelos.....	116
<b>Tabla 33</b>	Dimensiones del dique propuesto .....	126
<b>Tabla 34</b>	Dimensiones de aliviadero del dique propuesto .....	130
<b>Tabla 35</b>	Dimensiones del canal de descarga y poza disipadora .....	132



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Riesgos clave del cambio climático en América Latina., incluyendo el potencial de reducción del riesgo vía adaptación/mitigación y límites de adaptación. ....	33
<b>Figura 2</b> Proyecciones climáticas en el Perú hacia el año 2050. ....	36
<b>Figura 3</b> Modelos climáticos regionales (caso Reino Unido). ....	42
<b>Figura 4</b> Mapa de ubicación de la zona en estudio. ....	62
<b>Figura 5</b> T de Student .....	67
<b>Figura 6</b> Vista de corte del dique de la qocha .....	75
<b>Figura 7</b> Diseño de dique con piedra con núcleo de arcilla. ....	77
<b>Figura 8</b> Variables climáticas de la cuenca del río Coata al año 1990 .....	96
<b>Figura 9</b> Variables climáticas de la cuenca del río Coata al año 1995 .....	97
<b>Figura 10</b> Variables climáticas de la cuenca del río Coata al año 2000 .....	98
<b>Figura 11</b> Variables climáticas de la cuenca del río Coata al año 2005 .....	99
<b>Figura 12</b> Variables climáticas de la cuenca del río Coata al año 2010 .....	100
<b>Figura 13</b> Variables climáticas de la cuenca del río Coata al año 2015 .....	101
<b>Figura 14</b> Variables climáticas de la cuenca del río Coata al año 2020 .....	102
<b>Figura 15</b> Variables climáticas de la cuenca del río Coata al año 2023 .....	103
<b>Figura 16</b> Tendencia de la precipitación de la cuenca del río Coata – periodo 1990 al 2023. ....	105



<b>Figura 17</b>	Tendencia de la temperatura de la cuenca del rio Coata - periodo 1990 al 2023 .....	106
<b>Figura 18</b>	Tendencia de la humedad relativa – periodo 1990 al 2023 .....	106
<b>Figura 19</b>	Tendencia de la velocidad del viento - periodo 1990 al 2023 .....	107
<b>Figura 20</b>	Variables climáticas de la cuenca del rio Coata (mapa general) .....	108
<b>Figura 21</b>	Escalamiento lineal (LS) para la precipitacion del modelo climático global seleccionado .....	112
<b>Figura 22</b>	Escalamiento lineal (LS) para la temperatura del modelo climático global seleccionado .....	113
<b>Figura 23</b>	Modelación WEAP de la cuenca del rio Coata.....	114
<b>Figura 24</b>	Uso de suelos de la cuenca del rio Coata.....	114
<b>Figura 25</b>	Disponibilidad hídrica al año 2023 .....	117
<b>Figura 26</b>	Disponibilidad hídrica al año 2050 bajo un escenario climático RCP 4.5. ....	118
<b>Figura 27</b>	Disponibilidad hídrica al año 2050 bajo un escenario climático RCP 8.5. ....	119
<b>Figura 28</b>	Detalles del dique de tierra para la qocha propuesta.....	126
<b>Figura 29</b>	Detalles de la cimentación del dique de tierra .....	127
<b>Figura 30</b>	Detalles del filtro del dique de tierra.....	128
<b>Figura 31</b>	Detalles de unión de tubería de descarga con la geomembrana.....	129
<b>Figura 32</b>	Detalles de la caja de válvula.....	130
<b>Figura 33</b>	Detalles del aliviadero del dique propuesto .....	131
<b>Figura 34</b>	Detalles de transición del dique propuesto .....	132



## ACRÓNIMOS

<b>SENAMHI:</b>	Servicio nacional de meteorología e hidrología del Perú
<b>MINAM:</b>	Ministerio del ambiente
<b>WEAP:</b>	Water evaluation and planning (evaluación y planificación del agua)
<b>RCP:</b>	Representative concentration pathways (vías representativas de concentraciones)
<b>MCG:</b>	Modelos climáticos globales
<b>SIG:</b>	Sistema de información geográfica.
<b>GEI:</b>	Gases de efecto invernadero
<b>PP:</b>	Precipitación
<b>°C:</b>	Grados centígrados
<b>%:</b>	Porcentaje
<b>m/s:</b>	Metros por segundo
<b>MMC:</b>	Mil metros cúbicos
<b>NASH:</b>	Modelo de Nash
<b>R<sup>2</sup>:</b>	Coefficiente de determinación
<b>BIAS:</b>	Bias normalizado
<b>RRMSE:</b>	Error Cuadrático Medio Normalizado
<b>PEC:</b>	Pseudo escenario de cambio climático



## RESUMEN

Hoy en día el recurso hídrico se torna cada vez más escasa, principalmente debido a las variaciones climáticas, es por ello que surge la urgente necesidad de proporcionar conocimientos que ayuden a planificar, gestionar y utilizar los recursos hídricos de forma sostenible, ante ello se planteó el objetivo general de realizar el modelamiento de los parámetros climáticos bajo escenarios de cambio climático en la cuenca del río Coata, con procedimiento mediante la determinación de la variabilidad climática (precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento); en la cuenca en estudio para los periodos de 1990 – 2023, para seguidamente determinar la disponibilidad hídrica futura bajo escenarios de cambio climático “RCP 4.5, RCP 8.5” en el software WEAP por el método de humedad de suelo, y con ello proponer medidas de mitigación de los efectos del cambio climático en la cuenca del río Coata. Siendo resultante que existe una variabilidad climática de la precipitación entre 47.50 mm a 68.45 mm, además con respecto a la temperatura fluctúa entre 15.62 °C a 15.82 °C, y con respecto a la humedad relativa fluctúa entre 61.89 % a 65.00 % y con una velocidad del viento que fluctúa entre 2.22 m/s a 3.47 m/s, presentando una disponibilidad hídrica superior al año 2050 bajo un escenario climático pésimo “RCP 8.5” de 1658120.81 MMC, con respecto al escenario climático estable “RCP 4.5” de 901109.71 MMC, proponiendo medidas como zanjas de infiltración, qochas y sistemas agroforestales para mantener la disponibilidad hídrica. Concluyendo que existe una tendencia de incremento de los parámetros climáticos (precipitación, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento), bajo efectos del cambio climático, lo que influye en la disponibilidad hídrica de la cuenca.

**Palabras clave:** Parámetros climáticos, cambio climático, disponibilidad hídrica, zanjas de infiltración, qocha.



## ABSTRACT

Nowadays, water resources are becoming increasingly scarce, mainly due to climatic variations, which is why there is an urgent need to provide knowledge to help plan, manage and use water resources in a sustainable manner, thus the general objective of modeling climate parameters under climate change scenarios in the Coata river basin, with a procedure to determine the climatic variability (precipitation, temperature, relative humidity, wind speed) in the basin under study for the periods 1990 - 2023, in order to determine the future water availability under climate change scenarios "RCP 4.5, RCP 8.5" in the WEAP software by the soil moisture method, and thus propose mitigation measures for the effects of climate change in the Coata river basin. As a result, there is a climatic variability of precipitation between 47.50 mm to 68.45 mm, also with respect to temperature fluctuates between 15.62 °C to 15.82 °C, and with respect to relative humidity fluctuates between 61.89 % to 65.00 % and with a wind speed that fluctuates between 2.22 m/s to 3.47 m/s, presenting a higher water availability in the year 2050 under the worst climate scenario "RCP 8.5" of 1658120.81 MMC, with respect to the stable climate scenario "RCP 4.5" of 901109.71 MMC, proposing measures such as infiltration ditches, qochas and agroforestry systems to maintain water availability. The conclusion is that there is a tendency for climatic parameters (precipitation, temperature, relative humidity and wind speed) to increase under the effects of climate change, which influences water availability in the basin.

**Keywords:** Climate parameters, climate change, water availability, infiltration ditches, qocha.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La disponibilidad del recurso hídrico en la actualidad en el Perú y el mundo se torna cada vez más escasa, debido al crecimiento poblacional, el mal aprovechamiento y distribución del recurso agua y al calentamiento global producto de la contaminación de la atmósfera que causa un incremento en la temperatura del ambiente, generando con ello variaciones climáticas que afectan la disponibilidad del recurso hídrico por lo que no cabe duda de que la creciente escasez del agua dulce constituyen una grave amenaza para el desarrollo sostenible (Pilares, 2018), este problema nos pone en cuestión de cómo será la disponibilidad del recurso hídrico en un futuro también la necesidad de establecer mecanismos de regulación de la demanda para reasignar los suministros disponibles, fomentar el aprovechamiento más eficiente y promover el acceso más equitativo (Bacca, 2023).

En consecuencia, es necesario producir rápidamente conocimientos e información para apoyar la planeación, la gestión y el empleo sostenible de los recursos hídricos, esto además es necesario para el análisis de la calidad del agua como también el monitoreo de los recursos hidro ecológicos (González & Hernández, 2020), la dificultad radica en la obtención de datos confiables respaldados por una modelación que permita la predicción de diversos escenarios que involucren los componentes del balance hídrico (Manzano, 2022).

Existen herramientas computacionales para cuantificar los efectos del cambio climático en la dinámica de los recursos hídricos, algunos ejemplos de dichas herramientas son los modelos hidrológicos, que actualmente se emplean ampliamente en todo el planeta debido a su capacidad tanto para la gestión de recursos como para el



desarrollo de políticas (Hoyos *et al.* 2019), sin embargo las investigaciones sobre los impactos del cambio climático en la disponibilidad hídrica son limitados debido a la falta de datos hidro climatológicos para las regiones tropicales (Bacca, 2023).

El modelo hidrológico Water Evaluation and Planning System (WEAP) - "Soil Moisture Method" es uno de los modelos puestos a disposición por la Global Water Partnership (GWP) para alcanzar una gestión integrada de los recursos hídricos, el modelo, permite estimar el desempeño hidrológico y la planificación de los recursos hídricos futuros, o en otras palabras, predecir los cambios en la demanda y oferta de agua, así como el desarrollo de alternativas de empleo del agua para la gestión adecuada de los recursos hídricos, lo que lo convierte en un mecanismo para desarrollar estudios sobre el cambio climático (Huamani, 2022).

Por lo tanto, la presente investigación nombrada como “Modelación de los parámetros climáticos bajo escenarios del cambio climático en la cuenca del rio Coata”, se desarrolla adoptando rutas de concentración representativas RCP4.5 y RCP8.5 (Representative Concentration Pathways), para la predicción de escenarios futuros.

Es importante investigar las posibles modificaciones del ciclo hidrológico tomando en cuenta los contextos de cambio climático, utilizando modelos hidrológicos idóneos, los resultados de la investigación serán muy beneficiosos para ayudar a tomar decisiones que garanticen la sostenibilidad hídrica de la cuenca ante diversos contextos de gestión de sus recursos hidrológicos en el escenario del cambio climático, de tal modo, estarán listas las localidades que se verán impactadas por cualquier alteración climática.



## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente el cambio climático está provocando variaciones en el clima, que a su vez están produciendo periodos de lluvias extremas o sequías, estos eventos podrían ser más frecuentes en el futuro que afectarán directamente a la evapotranspiración, así como a la cantidad y calidad de los recursos hídricos (Valencia & Salazar, 2023), esto alterará los flujos hídricos como a la disponibilidad de agua para las actividades como la industria, la agricultura, y el crecimiento urbano (Mamani, 2023), este problema muestra el requerimiento de plantear sistemas de regulación del recurso hídrico para redistribuir las demandas existentes (población, uso agrícola, entre otros), para generar un uso más eficaz e impulsar un acceso más parejo, también se suscita preocupación por la disponibilidad hídrica futura (Pilares, 2018).

De igual forma se considera que el Perú es un país cuyos ecosistemas y población en general son muy susceptibles a las consecuencias negativas del cambio climático (Huaman, 2022); presentando una variedad de efectos; uno de estos efectos es que se puede alterar el ciclo hidrológico; los cambios en el volumen, magnitud y distribución que podrían provocar menores precipitaciones en las cuencas, lo que significaría menos recursos hídricos disponibles (Galindo, 2021); aunque existen leyes que regulan el uso de los recursos hídricos, éstas no garantizan la seguridad hídrica en contextos en los que el agua escasea debido al cambio climático, por ello, es fundamental comprender el comportamiento del agua superficial en las cuencas bajo condiciones de cambio climático para poder implementar una gestión sostenible (Espinoza, 2023).

En la región de Puno especialmente la cuenca del río Coata, presenta recursos hídricos donde las montañas de los Andes son su principal fuente, generándose mediante la escorrentía en la cabecera de cuenca, sin embargo el calentamiento global es la

principal causa que repercute en la disponibilidad hídrica de esta cuenca, siendo sin duda muy importante debido a que los ecosistemas naturales y la población, dependen de ello, además ahondando todo ello existe escaso conocimiento de la disponibilidad hídrica de la cuenca lo cual puede provocar que las demandas de agua de la población no fueran satisfechas, por ello es necesario conocer la evolución del comportamiento hídrico para desarrollar estrategias que eviten tal escenario, y que proporcionan información esencial para la gestión del agua, en específico para predicciones del suministro y la demanda hídrica.

La modelización hidrológica mediante programas informáticos destinados a la planificación y evaluación de los recursos hídricos es una forma de ilustrar este comportamiento, ante ello se utilizará el modelo WEAP, que puede simular escenarios futuros basados en las condiciones actuales y pasadas, así mismo puede estimar la cantidad de recursos hídricos como su distribución en el tiempo en los lugares de interés utilizando modelos hidrológicos en un sistema (Galindo, 2021).

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

¿Qué indican los parámetros climáticos modelados bajo escenarios de cambio climático en la cuenca del río Coata?

#### **1.1.2. Problemas específicos**

- ¿Cómo será la variabilidad climática de la cuenca del río Coata entre el periodo 1990 al 2023?
- ¿Cuánto será la disponibilidad hídrica futura al año 2050 bajo escenarios de cambio climático en la cuenca del río Coata?



- ¿Cuáles serán las medidas de mitigación de los efectos del cambio climático en la cuenca del río Coata?

## **1.2. HIPÓTESIS**

### **1.2.1. Hipótesis general**

Los parámetros climáticos modelados bajo escenarios de cambio climático en la cuenca del río Coata, indican el comportamiento variable de la precipitación, temperatura, humedad relativa, y velocidad del viento.

### **1.2.2. Hipótesis específicas**

- Existe variabilidad climática en la cuenca del río Coata entre el periodo 1990 al 2023
- La disponibilidad hídrica futura al año 2050 bajo un escenario climático pésimo “RCP 8.5” en la cuenca del río Coata será mayor con respecto a un escenario climático estable RCP 4.5
- Las medidas propuestas para la mitigación de los efectos del cambio climático en la cuenca del río Coata serán de prevención y adaptación.

## **1.3. JUSTIFICACIÓN**

Se justifica debido a que, la cuenca del río Coata, es una fuente esencial de agua de suministro, tanto para la zona rural y urbana de varios distritos de la región de Puno, así mismo viene sufriendo los efectos del cambio climático frente a la escases de la disponibilidad hídrica, lo que se traduce en una creciente escasez de agua, perjudicial para el medio ambiente, para las personas que dependen de este líquido, esencial para la vida,



así como para cualquier actividad como la agricultura y la ganadería, por tal razón la presente investigación busca lograr una apropiada gestión del agua, a través de la modelación con el software WEAP, que servirá para construir medidas de mejora del agua para el aprovechamiento de las precipitaciones y como herramienta para evaluar cómo está afectando el cambio climático a la disponibilidad hídrica en la cuenca en estudio.

También es importante porque permitirá evaluar el impacto del cambio climático en los recursos hídricos de la cuenca investigada, por medio del uso de modelos climáticos, además, el mundo experimenta cambios anuales en el clima, que tienen diversos efectos en el ciclo hidrológico, estos cambios afectan a las precipitaciones y al caudal de los ríos, intensificando las variaciones del recurso hídrico.

Debido al papel primordial de los gases de efecto invernadero en el cambio de las condiciones climáticas y a sus porcentajes variables a lo largo del tiempo, las organizaciones científicas han tomado medidas para conocer las consecuencias del cambio climático aplicando modelos climáticos basados en datos históricos para crear escenarios futuros y comprender mejor los riesgos que podrían tener ese impacto.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo general**

Realizar el modelamiento de los parámetros climáticos bajo escenarios de cambio climático en la cuenca del río Coata

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar la variabilidad climática de la cuenca del río Coata entre el periodo 1990 al 2023.



- Determinar la disponibilidad hídrica futura al año 2050 bajo escenarios de cambio climático en la cuenca del río Coata.
- Proponer medidas para la mitigación de los efectos del cambio climático en la cuenca del río Coata.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

##### 2.1.1. Internacionales

Hormazábal *et al.* (2023), estimó el comportamiento del caudal del estero Huillinco, en la cuenca agroforestal de la comuna de Chonchi-Chile, determinando que, para todas las estaciones del año, el caudal modelado del estero Huillinco muestra una razón negativa de  $\approx -13,4$  L/s por década a lo largo del periodo de investigación para los años 1981-1990 y 1,6 de desviación estándar para los años 2091-2100, se prevé que una nueva calibración con datos de caudal in situ proporcione una previsión más precisa.

Lozano (2022), modeló y proyectó la oferta hídrica bajo escenarios futuros aplicando el modelo WEAP, evaluando el nivel de correlación del modelo con la operación física real utilizando los criterios BIAS y NASH; debidamente calibrado, se pueden crear escenarios alternativos y lograr el objetivo previsto: estudiar los escenarios futuros, tanto en húmedo como en seco, e incorporar los datos proyectados para el periodo 2020-2050; esto permitirá determinar la oferta y la demanda de agua en las proyecciones; es evidente que la oferta de agua prevista disminuye; en una situación húmeda, desciende entre un 1 y un 20%, y en un escenario seco, desciende entre un 18 y un 40%.

Medina (2021), estimó la variación hídrica disponible en el embalse de la microcuenca Milluni-La Paz bajo condiciones de cambio climático 2022-2090, encontrando un aumento general de la temperatura, un aumento de las

precipitaciones durante la estación seca y un decrecimiento de las precipitaciones en la estación húmeda, lo que podría dar lugar a condiciones de sequía; por el contrario, el volumen del embalse tiende a disminuir mientras que su caudal de entrada varía en relación con las precipitaciones; comparativamente, puede haber una cobertura insuficiente de las necesidades de las zonas de demanda, siendo los valores mínimos del sistema de distribución Achachicala del 45 % y del sistema Meseta del 27%, en el escenario pesimo RCP 8.5, se destacan todos los resultados.

### **2.1.2. Nacionales**

Espinoza (2023), estimó el impacto del cambio climático en la disponibilidad hídrica de la cuenca del río Llanganuco; se evaluaron las posibles escenarios climáticos sobre la demanda hídrica en la cuenca, examinando las incidencias del cambio climático en tres periodos de tiempo: De enero de 2020 a diciembre de 2050 para el escenario próximo, de enero de 2004 a diciembre de 2019 para el pasado histórico, y de enero de 2051 a diciembre de 2100 para el escenario futuro lejano; sugiriendo que se producirán variaciones perceptibles en la temperatura, las precipitaciones y la disponibilidad hídrica de la cuenca, con un aumento mayor en el escenario RCP 8.5 en el futuro lejano y un aumento leve en el escenario RPC4.5 en el futuro próximo.

Valencia & Salazar (2023), analizaron la incidencia del cambio climático en los caudales de la cuenca del río Magdalena; los posibles impactos climáticos sobre la demanda de agua en la cuenca se evaluaron utilizando dos escenarios de clima (RCP4.5 y 8.5) y el modelo regional RCA4; analizando las incidencias del cambio climático en tres periodos temporales diferentes: el futuro próximo, de enero de 2020 a diciembre de 2050, el pasado histórico, de enero 2004 a diciembre



2019, y el escenario lejano, de enero 2051 a diciembre 2100, indicando que la precipitación, temperatura, y volumen de agua de la subcuenca varían, el escenario RCP 8.5 prevé un incremento mayor en el futuro lejano, mientras que el escenario RCP4.5 prevé un aumento modesto en el futuro próximo.

Rodas (2022), evaluó los impactos del cambio climático en la disponibilidad hídrica de la cuenca Caplina de Tacna; concretamente, hay una disminución de hasta el 38,8 % (RCP4.5) y un aumento de hasta el 41,3 % (RCP8.5) en los meses de febrero a agosto, y un aumento de hasta el 91,6 % (RCP4.5) y el 79,3 % (RCP8.5) en los meses de septiembre a enero, el caudal medio anual, sin embargo, disminuye, en concreto, disminuye un 5,4 % (RCP4,5) y un 3,7 % (RCP8,5) en el futuro próximo (2020-2040), un 6,4 % (RCP4,5) y un 8,8 % (RCP8,5) en el futuro medio (2041-2070), y un 6,7 % (RCP4,5) y un 2,0 % (RCP8,5) en el futuro lejano (2071-2100).

Huaman (2022), estimó el impacto del cambio climático en la disponibilidad hídrica de la cuenca río Ica, se utilizaron datos de modelos CORDEX regionalizados (MPI-ESM-LR – REMO, HadGem2-ES - REMO) y modelos CMIP5 globales (HadGeem2-AO, MPII-ESSM-MR) para evaluar el comportamiento de la precipitación y temperatura futuras, determinando los cambios para los 8 escenarios hidrológicos esperados en la estación La Achirana para las décadas 2021 a 2040 y 2041 a 2060, en base al periodo histórico 1981 a 2000, con el fin de examinar las implicaciones climáticas en la oferta hídrica de la cuenca, demostrando que la disponibilidad hídrica en la cuenca se ve impactada por una disminución de caudales provocada por el cambio climático en todos los contextos y duración de tiempo examinados.



### 2.1.3. Regionales

Lupaca (2024), determino la disponibilidad hídrica en el contexto de cambio climático en la microcuenca del río Zapatilla, resultando una disponibilidad hídrica al año 2022 de 656945.53 MMC, mientras que la disponibilidad hídrica bajo los contextos del cambio climático al año 2050 será de: 730523.4294 MMC para RCP 4.5 y 1208779.775 MMC para RCP 8.5, y para el año 2100 será de: 861912.5354 MMC para RCP 4.5 y 2194198.07 MMC para RCP 8.5, Concluyendo que la disponibilidad hídrica bajo contextos del cambio climático “RCP 4.5 y 8.5” será superior al año actual en la microcuenca del río Zapatilla tanto para el año 2050 y el año 2100.

Mamani (2023), evaluó la disponibilidad hídrica en el contexto del cambio climático para escoger una tecnología para la mejora hídrica en la microcuenca Huenque; encontrando que la disponibilidad hídrica al 2021 es de 420212.66 MilMC, adicionalmente, la disponibilidad de agua bajo condiciones de cambio climático es "RCP4.5" de 969378.42 MilMC y "RCP8.5" de 1285159.73 MilMC, en cuanto a la tecnología de adaptación hídrica, se seleccionaron zanjas de infiltración, concluyendo que habrá más agua disponible que ahora bajo los escenarios climáticos RCP4.5 y 8.5.

Galindo (2021), efectuó la simulación hidrológica en el embalse Morocollo, el cual sirvió como instrumento de análisis para la construcción y operación de la presa Morocollo, el volumen dado para la simulación del potencial de embalse del primer escenario permitía un porcentaje de déficit del 0,28 % y del 0,10 % tanto en tiempo como en volumen, para el segundo escenario, los valores correspondientes eran del 19,17 % y del 6,16 %, al final, se determina que la



construcción de la presa de Morocollo es la mejor opción, ya que los resultados de la modelación hidrológica muestran que no habrá ninguna posibilidad de carencia de agua en el embalse de Morocollo. Lo resultante de los dos escenarios se utilizarán como datos analíticos mientras la presa de Morocollo esté en funcionamiento.

Lujano *et al.* (2018), estimó la disponibilidad hídrica en condiciones del cambio climático, con proyecciones para el horizonte 2071 – 2100; se espera que los futuros patrones de descarga sigan una pauta similar a la de las precipitaciones, con fluctuaciones medias anuales de A2=-28,4 % y B2=-27,2 % de reducción en la cuenca del Ilave y A2=17,9 % y B2=5,0 % de aumento en la cuenca del Ramis, se ha observado que la mayor disminución de la oferta hídrica se produciría en la zona del sur de la cuenca del Titicaca.



## 2.2. MARCO TEÓRICO

### 2.2.1. Disponibilidad hídrica

La disponibilidad hídrica se puede definir como la oferta aprovechable, tanto a nivel superficial como subterráneo, en la que una porción de agua se utiliza para un fin específico y que estará disponible a largo plazo, por oferta aprovechable se entiende el recurso hídrico que después de la precipitación y de haber cumplido con la demanda (en este caso específico lo demandado por las plantas), queda libre para ser aprovechado por las personas para sus diferentes actividades sociales, económicas o culturales) (Mamani, 2023).

Así mismo según menciona Lupaca (2024), la disponibilidad hídrica se trata de la cantidad de agua disponible en una determinada zona en un contexto específico, esta disponible dependiendo de varios factores, como la precipitación, evaporación, capacidad de acumulación del suelo, topografía, y la gestión del agua, entre otros.

Es importante realizar un análisis integral de la disponibilidad hídrica para salvaguardar una gestión sostenible del recurso, especialmente en áreas donde la demanda hídrica es alta y los recursos son limitados, esto implica considerar como conservación del agua, la eficiencia en el uso del recurso, y implementación de políticas y prácticas que aseguren un suministro adecuado para las necesidades presentes y futuras (Carvajal, 2022).

### 2.2.2. Clima

Es una representación estadística del tiempo a lo largo de varias décadas, medida en terminología de los valores promedios y la variación de las cantidades

de interés (normalmente 3 décadas, según lo define la OMM), aunque "clima" se refiere más ampliamente a la condición del sistema climático, tales valores son casi típicamente variables de superficie (por ejm., temperatura, viento, precipitación) (Rivera & América, 2018).

### **2.2.2.1. Cambio climático**

Es la variación del clima durante periodos de tiempo largos y que se atribuye, directa o indirectamente, a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial (Faidah *et al.* 2019), uno de los retos que hace frente la humanidad en el siglo XXI es el incremento constante de la temperatura media global, ocasionado principalmente por el incremento de las emisiones de GEI, según estudios y registros, esta tendencia apunta a la posibilidad de un cambio climático (Rivera & América, 2018).

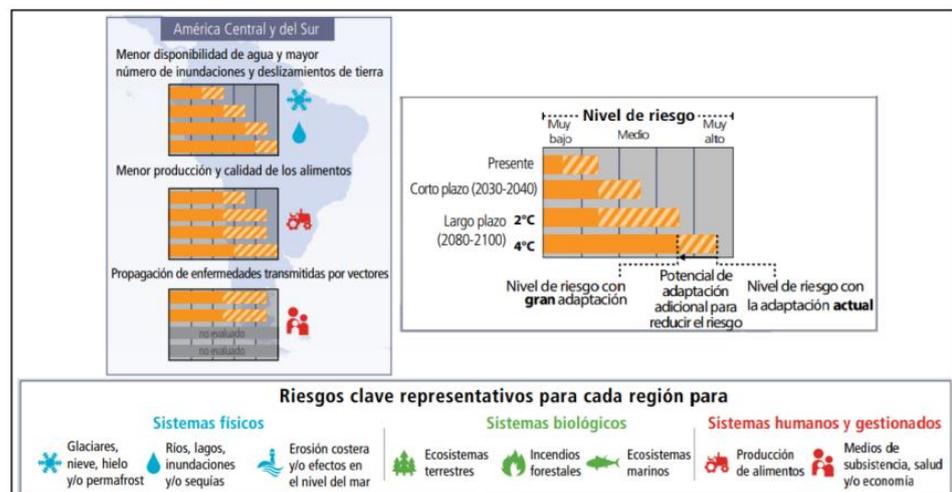
La aceleración del cambio climático se ha atribuido principalmente a las actividades antropogénicas, sobre todo a la liberación excesiva de GEI producto de la quema de combustibles fósiles (Alizadeh *et al.* 2022), El cambio climático ha provocado cambios, como temperaturas más elevadas del aire y los océanos, fenómenos meteorológicos más extremos que los registrados anteriormente, incremento del nivel del mar, mínima disponibilidad de agua, perturbación de los ambientes biológicos que sustentan la biota terrestre y marina y la vida silvestre, y una disminución de su potencial de producir alimentos (Rodas, 2022).

En la figura 1, destaca los peligros que conlleva el cambio climático y las oportunidades de mitigación o adaptación en América

Latina (Maldonado, 2021), los principales peligros asociados con el cambio climático en términos del agua son el decrecimiento del suministro de agua y el incremento de sequías y inundaciones, que están vinculados a los efectos sobre ríos, glaciares, y lagos, no obstante, el IPCC indica que actualmente existe un bajo nivel de adaptación al peligro hídrico, con el tiempo, se prevé que este nivel de adaptación aumente, alcanzando un nivel alto en el caso de que las temperaturas globales aumenten sólo 2 °C para el año 2100, y un nivel superalto en el caso de que las temperaturas globales aumenten 4 °C (Maldonado, 2021).

### Figura 1

*Riesgos clave del cambio climático en América Latina., incluyendo el potencial de reducción del riesgo vía adaptación/mitigación y límites de adaptación.*



Nota. Obtenido de (Maldonado, 2021)

#### 2.2.2.2. Calentamiento global

El calentamiento global pronostica el aumento de la temperatura global en las próximas décadas basándose en el incremento década a



década de la temperatura media registrada en la atmósfera y los océanos de la Tierra (Díaz & Alarcon, 2018).

Desde finales del siglo XIX, la temperatura del aire se mide de forma rutinaria en estaciones meteorológicas, lo que permite hacer un seguimiento de esta variable en distintas partes de la Tierra. Estos datos evidencian de manera contundente que la temperatura media del planeta ha aumentado significativamente -casi  $0,5^{\circ}\text{C}$  si utilizamos como referencia la temperatura media entre 1961 y 1990 y casi  $1^{\circ}\text{C}$  si la comparamos con la segunda mitad del siglo XIX (1850-1900) (IDEAM, 2017).

Aunque se cree que el cambio climático es un proceso natural que ha dado lugar a periodos de calentamiento o enfriamiento a lo largo de la historia del planeta, es evidente que la actividad humana ha alterado estos procesos, sobre todo después de la industrialización. De hecho, el IPCC está seguro en un 95% de que la actividad humana es actualmente la causa principal del calentamiento global. Además, el Informe de Síntesis concluye que cuanto más perturbe el clima la actividad humana, mayores serán los riesgos de impactos graves, generalizados e irreversibles sobre las personas y los ecosistemas, así como los cambios más duraderos en todos los componentes del sistema climático (IPCC, 2014)

### **2.2.2.3. Proyección de precipitación y temperatura para el Perú**

Para obtener proyecciones climáticas de carácter local a nivel nacional para las temperaturas máximas, mínimas y precipitación para el período 2050, el SENAMHI de Perú, en colaboración con el Grupo de



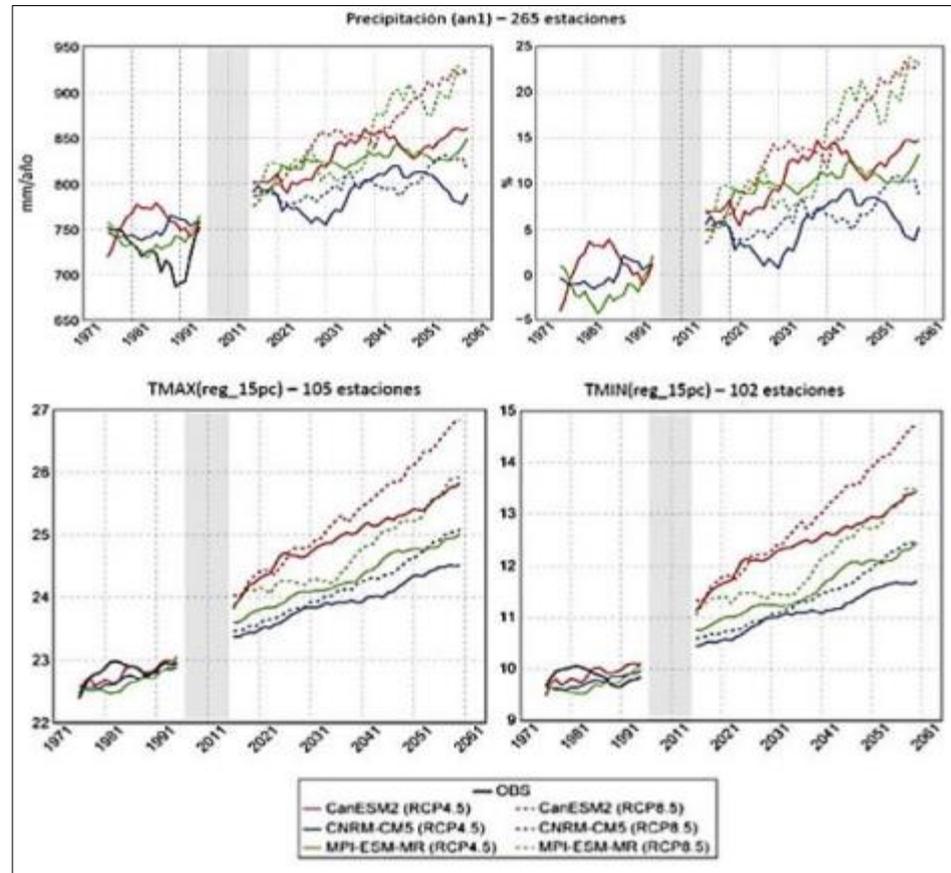
Meteorología de la Universidad de Cantabria, regionalizó estadísticamente los escenarios climáticos (Kim *et al.*, 2013).

SENAMHI utilizó 265 estaciones de precipitación a nivel nacional, 103 estaciones de la temperatura mínima y 104 estaciones de temperatura máxima para llevar a cabo la regionalización estadística, o downscaling, de seis escenarios climáticos CMIP5, los resultados indican que habrá un aumento medio de la temperatura para los años 2036-2065 (en comparación con 1971-2000) de 2 °C - 3 °C para la máxima y de 4 °C – 6 °C para la mínima, las precipitaciones aumentarán por término medio entre un 10 % y un 20 %, a pesar de la variabilidad regional (SENAMHI, 2014).

En la figura 2, se distingue los modelos de MCG (CanESM2, CNRM-CM5, MPI-ESM-MR), con el escenario RCP4.5 representado por la línea continua y el escenario RCP8.5 por la línea discontinua, el intervalo de tiempo entre la conclusión de la modelación histórica y el comienzo de las previsiones se muestra mediante el sombreado gris (SENAMHI, 2014).

**Figura 2**

*Proyecciones climáticas en el Perú hacia el año 2050.*



*Nota.* Obtenido de (SENAMHI, 2014)

#### 2.2.2.4. Métodos de interpolación de variables climáticas

La interpolación es el proceso de obtención de los valores de una variable dentro de una región en lugares donde no se registran los valores reales. Generalmente, los métodos de interpolación se basan en los valores de las variables buscadas, que son más similares a los valores medidos en los puntos de muestreo que los valores de muestras más alejadas. Existen muchas técnicas de interpolación, pero IDW, Kriging y Natural Neighbor son las más utilizadas en hidrología (Rodas, 2022).



### 2.2.3. Escenarios de cambio climático

Para facilitar el estudio de los impactos del cambio climático, los contaminantes atmosféricos, los aerosoles y el futuro uso del suelo, así como las posibles respuestas políticas, estos escenarios ofrecen una colección de trayectorias de concentración y emisión de GEI (Pedersen *et al.* 2022), los escenarios creados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) permiten estimar los futuros escenarios del cambio climático para el desarrollo de planes de adaptación y mitigación (Risal *et al.* 2020), también se ha investigado mucho con estos datos, por ejemplo sobre las reacciones hidrológicas al cambio climático (Kim *et al.* 2013), estas vías, denominadas RCP (vías de concentración representativas) porque se incluyeron en el informe AR5 del IPCC, se dividen en cuatro escenarios: RCP6.5, que es un escenario de altas emisiones, RCP6, que es un caso de referencia medio o de alta mitigación, RCP4.5, que es un escenario de mitigación medio, y RCP2.6, que es el escenario de menor mitigación que se ha publicado hasta la fecha (Vuuren *et al.* 2021).

Una nueva generación de trayectorias implantadas en el último informe AR6, las trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP) (Risal *et al.* 2020), son el resultado de los Informes de Evaluación (IE) del IPCC a las trayectorias a lo largo del tiempo, creando nuevos escenarios, su objetivo es cuantificar la evolución energética, el uso del suelo y las incertidumbres asociadas a las emisiones de GEI y contaminantes atmosféricos (Ortega *et al.* 2021).

Los cinco nuevos escenarios son los siguientes: Estos escenarios difieren de los anteriores en que consideran tendencias socioeconómicas alternativas, como la desigualdad, el desarrollo sostenible, la competencia regional y el

desarrollo en base a los combustibles fósiles, la sostenibilidad SSP2 se denomina "intermedia" y comprende retos medios para la mitigación y la adaptación, la sostenibilidad SSP1 se caracteriza por seguir la ruta verde, es decir, retos mínimos, El PEC4 sobre desigualdad presenta un camino fraccionado con retos bajos para la mitigación y retos elevados para la adaptación, el PEC5 sobre rivalidad regional esta basada en el desarrollo inducido por los combustibles fósiles, y el PEC5 toma el camino alto, es decir, presenta retos bajos para la adaptación y retos altos para la mitigación (Arias *et al.* 2021).

Así, la selección de cuatro RCP (2,6, 4,5, 6,0 y 8,5), cada uno de los cuales se correlaciona con una ruta de Forzamiento Radiativo distinta, marca el inicio del nuevo proceso paralelo, es crucial recordar que cada RCP simplemente representa uno de los varios resultados posibles que podrían dar lugar a las propiedades de un concluyente forzamiento radiativo (Rivera & América, 2018).

### Tabla 1

*Cuatro Caminos de forzamiento radiativo seleccionados por el IPCC para evaluar el comportamiento de la concentración de emisiones de gases de efecto invernadero al 2100.*

Escenario	Forzamiento radioactivo (W/m <sup>2</sup> )	CO <sub>2</sub> atmosférico (ppm)	Anomalía de temperatura	Trayectoria (2100)	Equivalentes para escenarios SRES (AR4)
RCP8.5	8.5	>1370	4.9	En aumento	SRES A1F1
RCP6.0	6.0	850	3	Estabilización	SRES B2
RCP4.5	4.5	650	2.4	Estabilización	SRES B1
RCP2.6	2.6	490	1.5	Declinación	Ninguno

*Nota.* Obtenido de (Rivera & América, 2018)

Un cambio en la cantidad de CO<sub>2</sub> en la atmósfera o en la energía que emite el Sol provoca un proceso conocido como "forzamiento radiativo", o FR, que



modifica el balance energético del sistema Tierra-atmósfera, más energía perdida que ganada en un FR negativo tiende a enfriar el sistema, mientras que más energía percibida en un FR positivo tiende a calentarlo, vatios por metro cuadrado ( $W/m^2$ ) es la medida utilizada para representar la FR, por lo tanto, la cantidad de energía retenida por el globo se indica mediante los escenarios RCP 2,6, 4,5, 6,0 u 8,5, que son el producto de la FR: 2,6, 4,5, 6,0 u 8,5  $W/m^2$  (Rivera & América, 2018).

### **2.2.3.1. Escenarios de cambio climático en el Perú**

La evaluación de escenarios climáticos en el Perú, según el estudio "Perú y el cambio climático" del año 2010 formulado por el MINAM, tuvo como objetivo estimar escenarios futuros para el año 2030 (promedio para el periodo 2025 a 2035), presentando como base los MCG utilizando técnicas dinámicas y estadísticas de downscaling o regionalización, al mismo tiempo, se pretendía estimar las tasas y los índices de los límites climáticos actuales a escala del país a partir de los datos apreciados, debido a su capacidad superior para simular las precipitaciones relacionadas a la fase de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), se utilizó el modelo regional RAMS (Regional Atmospheric Modelling System) para el proceso de regionalización, utilizando el modelo global CCSM (Climatic Community System Model) del National Center for Atmospheric Research (NCAR), el SENAMHI de Perú suministró mediciones diarias de temperaturas y precipitación mínimas y máximas desde 1965 a 2006, que sirvieron como datos históricos (Pilares, 2018).

Según las conclusiones de los contextos climáticos para Perú, en la mayor parte de los 30 años previstos para el país se observará



probablemente una disminución de las precipitaciones excesivas, se observarían aumentos y descensos significativos de las precipitaciones a nivel local en todo el país, las precipitaciones aumentarían hasta un 20 % a lo largo de la costa, en la sierra norte, en una parte de la sierra del centro y en la selva sur, disminuirían hasta un 20 % en la selva del norte y en partes de la sierra del centro y sur, en la mayor parte del país se registraría un mayor aumento de las temperaturas mínimas y máximas en respuesta a las temperaturas severas, en promedio, las temperaturas máximas aumentarían hasta 1,6 °C (0,53 °C/década), mientras que las temperaturas mínimas aumentarían 1,4 °C (0,47 °C/década), los aumentos de temperatura serían mayores en la costa, en la sierra del norte, en la selva del norte, en la sierra del centro y en el sur del Perú para 2030, la costa centro-sur y la selva del sur no verían variaciones significativas en la temperatura para esa fecha (Pilares, 2018).

#### **2.2.4. Modelos climáticos**

Para simular el movimiento de materiales y energía a través del sistema climático, los modelos climáticos se basan en procesos físicos, se utilizan expresiones matemáticas para caracterizar las interrelaciones entre la materia y la energía en diversas regiones de la atmósfera, océano, y la tierra (IPCC, 2014).

##### **2.2.4.1. Modelos climáticos globales (GCM)**

Como estos modelos son probabilísticos y manejan muchos datos, también tienen unos costes computacionales elevados. Los parámetros se emiten mensualmente, y un modelo puede tener hasta un millón de puntos repartidos en 20 niveles verticales. Las ecuaciones se resuelven cada 10

minutos, para periodos de tiempo que varían en función de la simulación, y que oscilan aproximadamente entre 10 y 1000 años (Rodas, 2022).

El siguiente enlace proporciona acceso gratuito a la descarga de datos: <https://esgfnod.llnl.gov/search/cmip5/>, Los MCG atmosféricos y oceánicos se enumeran en la Tabla 1, junto con la resolución de cuadrícula de cada modelo. La resolución de la rejilla atmosférica es válida para la resolución ecuatorial; pueden producirse desviaciones para latitudes altas; los modelos oceánicos tienen una rejilla propia más fina y la resolución varía (ENES, 2019).

Tres procesos principales determinan los elementos de los modelos climáticos (IPCC, 2014):

- **Radiactivo:** controla tanto la captación como la absorción de energía solar, además de la emisión de radiación infrarroja.
- **Dinámico:** El movimiento mundial de energía (desde latitudes bajas y altas)
- **Procesos de superficie:** Cambios en la emisividad, el albedo y los intercambios atmósfera-superficie que siguen a la inclusión tierra-océano-hielo.

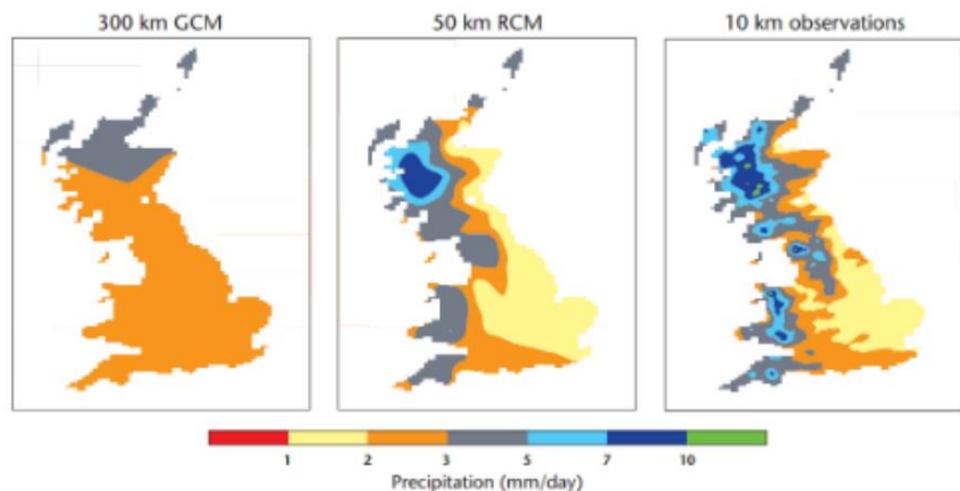
#### 2.2.4.2. Modelos climáticos regionales (RCM)

La resolución más bien gruesa de los MCG es una de sus limitaciones, lo que provoca una gran incertidumbre en la proyección de las variables meteorológicas. Para resolver este problema, se desarrollaron modelos climáticos regionalizados; estos modelos tienen una resolución

bastante fina y mejoran la precisión de predicción de las variables climáticas. Las resoluciones de cuadrícula, que oscilan entre 50 y 25 km, se ajustan más a los datos observados (Climateprediction.net., 2019), como se ilustra a continuación.

### Figura 3

#### *Modelos climáticos regionales (caso Reino Unido)*



*Nota.* Obtenido de (Climateprediction.net., 2019)

#### **2.2.4.3. Proyecto de Inter comparación de modelos acoplados (CMIP)**

Una iniciativa de estudio de producción de modelos climáticos denominada Iniciativa de Inter comparación de Modelos Acoplados (CMIP) ofrece una infraestructura para el acceso a los datos, el diagnóstico, la validación y la Inter comparación de modelos climáticos (Fanta *et al.* 2022).

Basados en las tres fases más recientes-CMIP2 (2000), CMIP3 (2005) y CMIP5 (la generación actual de modelos)-estos modelos climáticos globales pueden simular la temperatura media anual en superficie y las precipitaciones observadas. Los modelos actuales se



evalúan en el Quinto Informe del IPCC (AR5); la resolución horizontal más fina es la atmósfera a unos 70 km, pero la media es de unos 200 km (Held *et al.* 2019).

En el proyecto CMIP5 se han realizado simulaciones a corto plazo (10-30 años) y a largo plazo (siglo y más). También se han realizado para cada modelo un experimento de control y otro con un aumento anual del CO<sub>2</sub> del 1%. Los modelos son capaces de producir variabilidad en los parámetros climáticos simulados, razón por la cual en los experimentos del CMIP5 se utilizaron diversos estados iniciales, técnicas de inicialización y detalles de física. Por ello, los miembros del conjunto se nombran utilizando la nomenclatura rip, con r para la realización, i para la inicialización y p para la física, seguida de un número entero, por ejemplo, r1i1p1 (Hinne *et al.* 2020).

#### **2.2.4.4. Incertidumbre de los modelos climáticos**

En cuanto a la variable precipitación, la fiabilidad es bastante relativa; algunos modelos podrían simular muy bien el comportamiento, mientras que otros modelos climáticos podrían estar bastante distorsionados. La fiabilidad de los MCG varía mucho según las zonas del mundo y depende de la variable estudiada. Por ejemplo, la temperatura simulada por los MCG tiene un alto nivel de confianza, pero en los resultados teóricos se observa un calentamiento global, a diferencia del calentamiento regional que se observa actualmente (Rau *et al.* 2018).



Los enfoques de escalado se refieren al proceso de mejora de la calidad de la información mediante la realización de ajustes de sesgo en los MCG antes de su aplicación en la investigación de los recursos hídricos, lo que mejora la predicción de los modelos (Fang *et al.* 2015).

#### **2.2.4.5. Técnicas de escalamiento**

El proceso de obtener datos a gran escala a un nivel de escala local se conoce como escalado, también conocido como reducción de escala. Normalmente, la resolución de los MCG se sitúa entre 0,2° y 4°, lo que hace inadecuado utilizar los datos a ese nivel de escala, ya que introduce un sesgo significativo en los datos observados. En su lugar, las técnicas de escalado derivadas de los MCG y los datos observados producen nuevos datos que pueden representar fielmente la realidad; existen dos tipos de escalado: estadístico y dinámico (Rodas, 2022).

##### **a) Escalamiento estadístico**

Indagar una asociación estadística entre la variable climática apreciada y la simulada por el MCG -obsérvese que esta relación debe realizarse dentro del mismo periodo de tiempo- es el primer paso del proceso, el segundo consiste en aplicar la incidencia a los valores simulados (Da Silva *et al.* 2019), para estudios sobre recursos hídricos, las variables de interés establecidas por los GCM son la temperatura y precipitación, y los métodos más habituales de escalamiento estadístico son las que se exhiben a continuación:

**Tabla 2**

*Métodos de corrección de sesgo para precipitación y temperatura*

<b>Corrección de sesgo para precipitación</b>	<b>Corrección de sesgo para temperatura</b>
Escalamiento Lineal (LS)	Escalamiento Lineal (LS)
Escalamiento de intensidad local (LOCI)	Escalamiento de la varianza (VARI)
Trasformación de potencia (PT)	Mapeo de distribución para temperatura usando la función de distribución gaussiana (DM)
Mapeo de distribución para precipitación usando la función de distribución gamma (DM)	
Mapeo de cuantiles (QM)	

*Nota.* Obtenido de (Fang *et al.* 2015)

Fang *et al.* (2015), realizaron un estudio en el que se llevó a cabo un análisis de sensibilidad del modelo hidrológico WEAP basado en diversos métodos de corrección del sesgo de las variables meteorológicas (temperatura y precipitación). El estudio concluyó que el mapeo cuantílico (QM) y el escalamiento lineal (LS) son los métodos más estables para el escalamiento estadístico de la precipitación y la temperatura, respectivamente.

#### **b) Escalamiento dinámico**

El escalado dinámico se utiliza para elaborar modelos climáticos regionales o locales. Requiere la ejecución de modelos climáticos de alta resolución en un subdominio regional, que se apoya en datos observados. Estos modelos utilizan principios físicos para reproducir los climas

locales; sin embargo, su desventaja es que son costosos e intensivos desde el punto de vista computacional (Rodas, 2022).

#### **2.2.4.6. Proyección climática**

Cuando se utilizan modelos climáticos para realizar simulaciones, las proyecciones climáticas representan la respuesta prevista del sistema climático (interacción entre la atmósfera, la criosfera, la hidrosfera, la biosfera y la litosfera) en función de diversos escenarios de emisiones o concentraciones futuras de GEI (IPCC, 2014).

#### **2.2.5. Modelos hidrológicos**

De acuerdo con Pilares (2018), afirma que los modelos hidrológicos consienten modelar el funcionamiento de un sistema hidrológico auténtico y alcanzar las reacciones o salidas a determinados impulsos o entradas al sistema mediante el funcionamiento del mismo. Según Chow (1994), tiene variables hidrológicas cuantificables como entradas y salidas, y un sistema de ecuaciones conecta estas entradas y salidas para formar su estructura, la finalidad del análisis del sistema hidrológico es examinar cómo funciona el sistema y prever sus salidas o descargas, para ello, el sistema comprendido en dicho mecanismo cuenta con la característica central del modelo, que se basa en la idea de conversión del sistema, mediante un gestor que trabaja en función de la variable temporal.

Sin embargo, como los sistemas hidrológicos pueden incorporar varios medios de trabajo, son más grandes y complicados que otros campos, lo que hace que el error de proximidad al emplear las reglas físicas sea mayor, además, el análisis estadístico es crucial para el estudio hidrológico, ya que la mayoría de los sistemas hidrológicos son naturalmente al azar e imprevisibles, el propósito

principal de la ejecución de la estadística a la hidrología es analizar datos hidrológicos de periodos de tiempo específicos para predecir las características del fenómeno estudiado que se producirán en el futuro, el resultado de este proceso es una solución estadística precisa conocida como solución determinista a un problema hidrológico (Akhtar *et al.* 2017).

### **2.2.5.1. Clasificación de los modelos hidrológicos**

Según Mejia (2017), es una aproximación al sistema real, con variables hidrológicas cuantificables que sirven como sus entradas y salidas, y una serie de expresiones o funciones de transmisión que sirven como su estructura para convertir las variables de ingreso de datos de salida, los modelos hidrológicos se dividen en dos clases en una de las primeras clasificaciones: modelos matemáticos y modelos físicos, los primeros utilizan representaciones del sistema a menor escala, como los modelos hidráulicos, mientras que los segundos utilizan representaciones matemáticas del sistema, como una serie de funciones que conectan las variables de ingreso y de salida, la mayor parte de los procesos hidrológicos son de naturaleza estocástica y su amplitud fluctúa en el espacio y el tiempo, por ello, crear un modelo con estas peculiaridades es una empresa difícil que precisa simplificación, excluyendo ciertas fuentes de variación.

Pilares (2018), explica la distinción entre modelos hidrológicos prácticos y abstractos, los modelos físicos, como el modelo hidráulico del aliviadero de una presa, son construcciones a menor escala del sistema, en una expresión matemática, los modelos abstractos equivalen el sistema



como una serie de expresiones que asocian variables de ingreso y de salida en base del espacio y del tiempo, estas variables son probabilísticas o al azar, lo que significa que no están fijas en un punto concreto del espacio y el tiempo, sino que se describen por medio de distribuciones de probabilidad.

También, Manzano (2022), explica que los modelos abstractos pueden dividirse en dos condiciones: deterministas y probabilistas (estocásticos), según el grado de certeza de que se produzcan, nos referimos a un proceso como determinista si la incidencia de las variables es verdadera (es decir, cuando logran seguir una ley específica), por el contrario, si el proceso considera tanto la posibilidad de ocurrencia como la falta de certeza actual, nos referimos a él como probabilístico (Bacca, 2023).

Huamani (2022), define los modelos deterministas como aquellos en los que las funciones que conectan los ingresos con las salidas aluden el desempeño del sistema sin tener en presente ninguna distribución de posibilidad, en otras palabras, dada una expresión de ingreso, sus variables y parámetros producen una expresión de salida concreta con precisión.

Los modelos escolásticos son aquellos en los que las leyes de probabilidad controlan las interacciones entre variables con respecto a su magnitud (correlaciones) y secuencia temporal (modelo de elaboración de series temporales), por este motivo, los modelos deterministas ignoran la imprevisibilidad y siempre ofrecen el mismo resultado para una entrada dada, además, los modelos escolásticos crean salidas que son,

principalmente, algo imprevisibles, se puede argumentar que los modelos escolásticos producen pronosticos generales, pero los modelos deterministas producen escenarios precisas, la mayoría de los procesos dignos de mención en hidrología entran en la categoría de fenómenos probabilísticos (Osorio, 2021).

#### **2.2.5.2. Sistema de modelación hidrológico WEAP (Water Evaluation and Planning System)**

El modelo WEAP esta basada en la idea fundamental del balance hídrico de una cuenca, que establece que la cantidad de agua que ingresa en una cuenca debe ser igual a la cantidad que sale de ella, así como el cambio en el almacenamiento posible (acuíferos, embalses, o suelo) (Huamani, 2022).

González & Hernández (2020), afirman que los nodos de oferta y demanda de WEAP, así como las conexiones entre ellos, proporcionan una representación única de los recursos hídricos en la interfaz gráfica, permitiendo una representación tanto numérica como gráfica de la dinámica hidrológica de la cuenca (Laura, 2019).

Numerosos profesionales utilizan WEAP, incluyendo hidrólogos, agrónomos, economistas, autoridades gubernamentales que supervisan los recursos hídricos y miembros de las comunidades locales, también es utilizado por personas encargadas de la planificación hidrológica, las comunidades locales y las entidades públicas de planificación hidrológica pueden colaborar para describir los límites físicos de la zona de interés utilizando el esquema WEAP, una vez construido el sistema, será posible



supervisar el equilibrio de recursos de la región e implementar las necesidades y el suministro de agua (Ibrahim *et al.* 2022).

Para apoyar a la toma de acciones en la gestión de los recursos hídricos, WEAP también se combina, con el fin de determinar las respuestas hidrológicas a diversos escenarios que implican cambios en el clima, la población o las políticas de uso, primero caracteriza una línea de base basada en los abastecimientos, las demandas y el nivel de contaminación que actualmente se reconocen como los estados de la cuenca (INFOR, 2021).

Según Ibrahim, Dan'azumi, Bdliya, Bunu, & Chiroma (2022), afirman que la siguiente lista, tomada del sitio web oficial del programa ([www.weap21.org](http://www.weap21.org)), resume las características clave de WEAP:

- Crea un marco de planificación coordinada de los recursos hídricos.
- Incluye modelos de necesidades y rendimientos de los cultivos, precipitaciones, escorrentía e infiltración, evapotranspiración, interacción entre aguas de acuífero y superficiales y calidad del agua en los cursos fluviales.
- Una interfaz gráfica de usuario de transferir y soltar en base al SIG.
- Potencial para construir modelos con varias características preestablecidas.
- Ecuaciones y variables que define el usuario.
- Conexiones dinámicas con otros modelos y hojas de cálculo.



- Las ecuaciones de asignación se resuelven mediante un programa lineal integrado.
- Modelos de datos adaptables y escalables.
- Sólido sistema de informes con mapas, tablas y gráficos.
- Guía del usuario y ayuda contextualizada.
- Especificaciones mínimas para un ordenador: Uso con 256 MB de RAM en Windows XP, Vista, 7, 8 o 10.

#### a) **Proceso de aplicación del modelo WEAP**

En base la Guía Metodológica GCC - SEI, 2009 para el manejo del modelo WEAP, los siguientes pasos se incluyen típicamente en la construcción del modelo WEAP:

1. **Definición del estudio:** El rango de tiempo, los límites geográficos, los elementos del sistema, y la conformación del problema se determinan en este paso.
2. **Búsqueda de información:** La compilación de datos se lleva a cabo de acuerdo con el tipo de investigación especificado, esta fase, que puede ser iterativa, se divide a menudo en dos fases: una fase general para la recopilación de datos y una fase específica para la recopilación de información una vez que se ha elaborado el modelo y se han determinado otros requerimientos de datos.
3. **Desarrollo del modelo:** Esta fase consiste en construir el esquema, introducir los datos y ejecutar el modelo por primera vez para ver cómo se comporta inicialmente y descartar cualquier problema o incoherencia.

4. **Calibración:** Aquí se caracterizan los recursos del sistema, las fuentes, las cargas de contaminación y el abastecimiento y la demanda reales de agua.
5. **Uso del modelo, generación de escenarios:** después de calibrado el modelo, logran investigarse los efectos de muchos supuestos alternos sobre las políticas, los costes y el clima futuros, como los relacionados con el abastecimiento de agua, la demanda, la hidrología y la contaminación.

#### 2.2.6. Pruebas de bondad de ajuste

Se emplean varias técnicas, como el coeficiente de estimación ( $R^2$ ), el error cuadrático medio (RMSE), el índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) y el sesgo estadístico relativo (PBIAS) en pruebas estadísticas para estimar la eficiencia y el grado de error en este estudio (Alanoca, 2024), A continuación se describen con más detalle.

##### a) Coeficiente de determinación ( $R^2$ )

Según Porto (2021), el coeficiente de determinación es una técnica no paramétrica que nos permite estimar el nivel de relación lineal entre dos grupos de información, vale precisar que el valor atípico no tiene mucha incidencia en el cálculo, esta se estima por la siguiente expresión:

$$R^2 = 1 - \frac{6 \sum D^2}{N(N^2 - 1)}$$

Donde D es la variación entre los rangos de 2 muestras y N es el número de rangos, se exhibe la tabla 3, ahí se muestra el rango referencial, nivel de ajuste para el factor de determinación.

**Tabla 3***Escala del coeficiente de determinación  $R^2$* 

Nivel de ajuste	$R^2$
Excelente	$> 0.81$
Bueno	$0.64 - 0.81$
Regular	$0.36 - 0.64$
Mínimo	$0.09 - 0.36$
No hay correlación	$< 0.09$

*Nota.* Obtenido de (Alanoca, 2024)**b) Raíz del error cuadrático medio “RMSE”**

Para Cabrera (2012), Nos consiente determinar la envergadura el error de los datos modelados en relación con los datos apreciados, y puede tomar datos de 0 a infinito (positivo), donde 0 simboliza un ajuste optimo y los datos de mayor tamaño muestran un menor ajuste, para realizar la operación se utiliza la siguiente expresión:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (D_{sim} - D_{obs})^2}$$

Dónde: ( $D_{sim}$ ,  $D_{obs}$ ) es la información simulada y apreciados correspondientemente y  $n$  es el número total de pasos del tiempo.

**c) Sesgo estadístico relativo (PBIAS)**

Según Guachamín *et al.*, (2019), la prueba se lleva a cabo para evaluar la cantidad de sobreestimación o subestimación de una serie de datos modelados, para los datos apreciados, con respecto al sesgo relativo puede ser positivo u negativo, donde lo negativo muestra la subestimación y lo positivo indica sobreestimación, el valor perfecto es 0, la prueba descrita se determina con la siguiente ecuación:

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (D_{sim} - D_{obs})^2}{\sum_{i=1}^n D_{obs}}$$

Dónde: Dobs, Dsim son datos apreciados y modelados correlativamente, en paso de tiempo (i).

**Tabla 4**

*Niveles de ajuste estadístico (PBIAS)*

<b>Nivel de ajuste</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
Muy bueno	< ± 10
Bueno	± 10 - ± 15
Satisfactorio	± 15 - ± 25
Insatisfactorio	> ± 25

*Nota.* Obtenido de (Alanoca, 2024)

## **2.2.7. Medidas de mitigación de los efectos del cambio climático en cuencas hidrográficas**

Según Mamani (2023), describe algunas medidas para prevenir los impactos del cambio climático en cuencas hidrográficas que a continuación se menciona:

### **2.2.7.1. Qochas**

Las qochas "siembra de agua " se utilizan para reabastecer los acuíferos que proporcionan los bofedales, ojos de agua, pantanos y, así se mantienen los pastos en buen estado durante toda la estación seca, la carencia de estas qochas permitiría que el agua fluyera libremente sobre la superficie del terreno que no ha sido utilizada, lo que a menudo podría provocar erosión y a la par inundaciones en la parte plana de la cuenca.

La cuenca suele estar seca durante un largo tiempo al año, el agua se almacena más lentamente durante las estaciones lluviosas que durante las qochas de captación, sin embargo, cuando cesan las precipitaciones, la infiltración reduce considerablemente el agua almacenada, por tanto, el espejo de agua se oscurece cada vez más, cuando vuelven las lluvias, se llena poco a poco porque parte del agua se infiltra en el suelo.

- **Condiciones de adaptación**

Las características de construcción de este tipo de qochas de infiltración son los mismos que los de las qochas para almacenamiento, con la salvedad de que el suelo en el que se construyen debe ser poroso para concentrar el ingreso del agua y la reposición de los acuíferos.

#### **2.2.7.2. Amunas**

Son una antigua técnica de recarga de acuíferos en zonas rocosas altoandinas, fueron erigidas en el siglo XIV por la cultura inca, se trata de estructuras rudimentarias utilizadas para captar la escorrentía de las precipitaciones en altitudes superiores a los 4400 m.s.n.m., del mismo modo, el agua pasa por las zanjas curvas del terreno y se filtra por encima de los suelos duros y las rocas desintegradas, por las laderas y por encima de sus manantiales más prominentes, sus beneficios son bien conocidos ya que, en ausencia de ellas, la agricultura de regadío en estas zonas sería inviable, lo que obligaría a la población local a colaborar para llevar a cabo su mantenimiento anual, dicho sistema para recarga de alta montaña ha revelado tener bastante éxito y se adecua bien a zonas con terrenos similares y problemas de deficiencia de agua.

- **Condiciones de adaptación**

Para acomodar esta clase de medida, la parte superior de la cuenca necesita montañas pedregosas en clase de crestas, que sirven de filtro de las precipitaciones y rellenan los manantiales de la parte inferior.

### **2.2.7.3. Zanjas de infiltración**

Las estructuras artificiales llamadas zanjas de infiltración se utilizan para recoger la escorrentía superficial en las zonas cercanas a las colinas durante los periodos de precipitaciones intensas, como las zanjas tienen una pendiente al 0%, el agua que queda atrapada se filtra en el suelo y reabastece los acuíferos, deteniendo así los procesos de erosión que de otro modo tendrían lugar en el manto.

- **Condiciones de adaptación**

A la hora de diseñar, construir y mantener zanjas, hay que tener en cuenta los siguientes elementos:

Se aconseja que tengan una separación de 1 metro, una longitud de 5 mts., una anchura de 0,30 metros y una profundidad, para formar el lecho, se deposita tierra excavada en el fondo de la zanja, sólo debe compactarse ligeramente, para dar solidez al lecho, es importante cultivar árboles y hierbas autóctonos de la zona.

Las medidas sugeridas son: 5 m de longitud, 0,30 m de anchura, 0,30 m de profundidad y 1 m de distancia a la carretera, la zona debe compactarse suavemente para formar un caballón con la tierra excavada en el fondo de la zanja.



Para dar solidez al lecho, es importante cultivar árboles y hierbas autóctonos de la zona, las precipitaciones en el área de la captación deben ser equivalentes o inferiores a las que recoge y absorbe la zanja.

La pendiente de la zona de construcción de la zanja de infiltración establecerá la separación entre las zanjas, un terreno más escarpado requerirá una mayor separación entre ellas.

En las áreas de pastoreo deben estar separadores lo suficientemente anchos para que pasen los animales, a fin de reducir la erosión de la zanja.

Realice el mantenimiento de la zanja extraendo los restos que hayan atraído los sedimentos o el agua, esto aumentará su vida útil.

La forestación de especies forestales nativas como qolle, queñua y chachacomo a lo largo de la zanja mejorará la penetración del agua y nivelará las pendientes.

#### **2.2.7.4. Bofedales**

Es un pequeño pastizal natural que se extiende durante todo el año y está situado a gran altitud, las plantas que habitan en los pantanos se conocen como plantas hidrófitas, los bofedales surgen en lugares como el macizo andino, situado a más de 3.800 m.s.n.m., donde las llanuras acumulan el agua de la escorrentía superficial, las precipitaciones y el deshielo de los glaciares.

- **Condiciones de adaptación**



Para construir humedales, deben cumplirse los siguientes requisitos previos:

Está prohibido extraer aguas superficiales aguas arriba del humedal y extraer aguas subterráneas en su superficie o a menos de 200 mts. de sus límites.

Para garantizar el flujo sin obstáculos de las aguas subterráneas, los terraplenes deben construirse con la parte inferior hacia arriba.

En las zonas húmedas no se permiten zonas de préstamo lateral ni zonas de vertido.

No está permitido verter residuos vegetales o material sobrante en los humedales, en su lugar, deben eliminarse en zonas alteradas cercanas.

Está prohibido verter basura asfáltica en los humedales, ni siquiera brevemente, antes de entregarla a los lugares designados para su eliminación, toda los residuos de la construcción debe recolectarse inmediatamente y depositarse en contenedores temporales en las regiones cercanas.

#### **2.2.7.5. Reforestación**

La reforestación es una técnica para mejorar la penetración del agua y disminuir el impacto de las precipitaciones en el suelo, los troncos y las raíces de los árboles operan como retenedores al ralentizar el flujo del agua, lo que deteriora la estructura del suelo y crea huecos para la penetración hidrica que mejoran la recarga de los acuíferos.



Se ha confirmado que, en zonas protegidas, las plantaciones arbóreas con especies endémicas y menor espaciado entre árboles minimiza la probabilidad de erosión hídrica.

Además de sus ventajas medioambientales, también ayudan a la restauración de suelos dañados, mejoran la infiltración del suelo y disminuyen significativamente la escorrentía.

- **Condiciones de adaptación**

Para la siembra de agua se aconseja la reforestación con especies autóctonas "amantes del agua", como la queñua, el aliso, el chachacomo, el saúco y el mirto, se desaconseja emplear pinos o eucaliptos debido a sus elevadas necesidades hídricas e impactos alelopáticos sobre el crecimiento de ciertas especies circundantes, se cree que un m<sup>3</sup> de madera de pino radiata necesita entre 250 y 717 m<sup>3</sup> de agua al año para crecer.

Si el entorno es adecuado para el crecimiento de especies, deberían plantarse especies forestales endémicas en las áreas más degradadas de la zona tributaria, la filtración de agua y la recarga de qochas se verán favorecidas por esta estrategia, que permite la restauración del suelo y reduce las tasas de escorrentía.

Las zanjas de infiltración ayudarán a la infiltración del agua y a la estabilización de los taludes, ya que se utilizan mejor junto con la replantación de especies nativas (como chachacomo, queñua y qolle) a lo largo de la zanja, en este sentido, hemos optado por desarrollar zanjas de infiltración ya que conocemos todas las peculiaridades asociadas a las medidas de mejora hídrica.



## **2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS**

### **2.3.1. Clima**

La OMM establece que debe utilizarse un periodo de 30 años para definir el clima. Tradicionalmente, el clima se define en procesos de media y variabilidad de patrones atmosféricos como la precipitación, la temperatura y el viento; el clima refleja las mismas condiciones atmosféricas en meses, años y décadas (Rodas, 2022).

### **2.3.2. Cambio climático**

Además de la fluctuación climática natural observada a lo largo del tiempo, la actividad humana es responsable de un cambio en el clima que altera la conformación de la atmósfera global (Lacho, 2018).

### **2.3.3. Forzante radiativo**

Es la variación en el flujo radiativo neto de la atmósfera superior como resultado de un cambio en el impulsor externo del cambio climático, dicho de otra manera, es la variación entre la energía que la Tierra absorbe de la luz solar y la energía que se irradia de vuelta al espacio (Espinoza, 2023).

### **2.3.4. Escenarios de cambio climático**

Se trata de un método para proyectar con precisión la probabilidad de un futuro cambio climático, se fundamenta en metodologías científicas que iluminan las formas en que diversos sistemas ambientales responderán a los próximos cambios climáticos (Mamani, 2023).



### **2.3.5. Gases de efecto invernadero (GEI)**

Se trata de un gas atmosférico que incorpora la energía infrarroja de la superficie terrestre, el vapor de agua (H<sub>2</sub>O), el metano (CH<sub>4</sub>), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), y el ozono (O<sub>3</sub>) son los principales gases de efecto invernadero. (Espinoza, 2023).

### **2.3.6. Cuenca**

Unidad territorial de drenaje en la cual el agua discurre hacia un mismo cauce (Chavez, 2015).

### **2.3.7. Precipitación**

Los estudios sobre el uso y el control del agua pueden realizarse a partir de la precipitación, ya que es un componente del ciclo hidrológico y, desde una perspectiva hidrológica, la principal fuente de agua en la superficie del planeta (Rodas, 2022).

### **2.3.8. Temperatura**

La temperatura es una magnitud física, a menudo expresada en grados centígrados, que personifica la energía interna de un objeto, un cuerpo o el entorno (Rosario, 2020).

### **2.3.9. Simulación**

Recreación de ambientes y situaciones (Fingidas y controladas), imposibles de analizar sin ayuda de un ordenador (Rosario, 2020).

## CAPÍTULO III

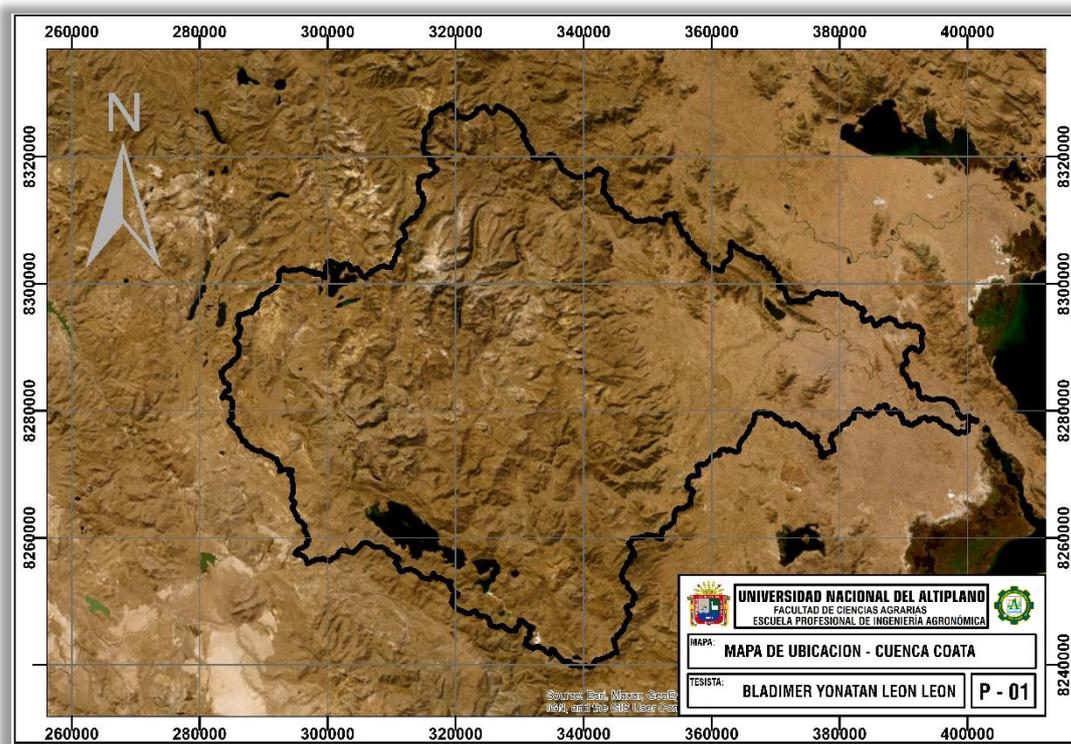
### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. ZONA DE ESTUDIO

La zona en estudio está localizada en la cuenca del río Coata, del departamento de Puno, ubicada en las Coordenadas Geográficas, Latitud:  $16^{\circ}28'51.19''S$  Longitud:  $70^{\circ}11'37.35''O$ , a una altitud de 3837 m.s.n.m.

#### Figura 4

*Mapa de ubicación de la zona en estudio*



##### 3.1.1. Límites.

La cuenca del río Coata viene limitando por el norte con la cuenca del río Pucara, por el sur con la cuenca del río Illpa y Tambo, por el este con la Inter



cuenca del río Ramis y con el Lago Titicaca, y por el oeste con la cuenca del río Camaná.

### 3.1.2. Vías de comunicación y accesibilidad

La principal vía de comunicación y acceso desde la ciudad de Puno, hacia el área en estudio es la terrestre, ubicada a una distancia aproximada de Puno de 40.5km

## 3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es **DESCRIPTIVO-EXPLICATIVO**, cuya finalidad es describir los atributos y rasgos de ideas, sucesos, variables o hechos en un entorno específico y además es explicativo por que el objetivo principal de ello está enfocado a explicar la ocurrencia de un fenómeno, sus circunstancias de manifestación o la relación entre dos o más variables (Hernández & Mendoza, 2018).

El diseño es **NO EXPERIMENTAL** porque las variables no se modificarán a propósito en el estudio para determinar cómo afectan a otras variables (Hernández & Mendoza, 2018).

Así mismo es **PREDICTIVA** porque su objetivo principal es predecir el comportamiento o los resultados futuros en función de ciertas condiciones o variables (Hernández & Mendoza, 2018).

## 3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

### a) Técnicas

La técnica principal de compilación de datos para este estudio es la observación, además el análisis y revisión documental de tesis, libros, revistas, sitios web y otras fuentes.

#### **b) Instrumentos**

- Software Microsoft Office
- Software ArcGIS 10.5
- Software WEAP
- Software Microsoft Excel

### **3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA**

La población y muestra está conformada por toda la extensión de la cuenca del río Coata (4908.43km<sup>2</sup>).

### **3.5. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO**

#### **3.5.1. Determinación de la variabilidad climática de la cuenca del río Coata**

Para cumplir con presente objetivo se efectuó la determinación de la variabilidad climática siendo en este caso la precipitación, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento, tomando en consideración datos históricos de las estaciones meteorológicas del SENAMHI más próximas a la región en estudio, en un periodo de 30 años aproximadamente como referencia:

**Tabla 5**

*Estaciones meteorológicas más próximas a la cuenca del río Coata*

<b>Estación meteorológica</b>	<b>Coordenadas</b>		<b>Altitud</b>
	<b>Este (m)</b>	<b>Sur (m)</b>	
Puno	391588.60	8250065.93	3849.00
Pampahuta	328490.56	8290818.68	4370.00
Cabanillas	355503.92	8270618.30	3891.00



<b>Estación meteorológica</b>	<b>Este (m)</b>	<b>Sur (m)</b>	<b>Altitud</b>
Crucero Alto	328257.36	8264233.51	4048.00
Capachica	410926.35	8270638.96	3873.00
Pucará	353187.53	8336633.31	3888.00
Ayaviri	329249.87	8354021.00	3915.00

*Nota.* Obtenido del SENAMHI (2024)

Todos los datos climáticos obtenidos se realizaron con la prueba de consistencia para el conocimiento de la confiabilidad:

#### **a) Análisis de la consistencia de las variables meteorológicas**

El análisis de consistencia de las variables meteorológicas se efectuó en base a las consideraciones descritas por Villon (2005), lo que demuestra que el análisis de coherencia se elabora mediante la información que se dispone actualmente, utilizando técnicas estadísticas y criterios físicos que permiten detectar, evaluar y eliminar cualquier posible error sistemático que pueda haber surgido de fuentes naturales o artificiales.

En consecuencia, el análisis de doble masa debidamente dicho era el que debía utilizarse, se trata de determinar las fuentes de las ocurrencias naturales o si han sido generadas por errores sistemáticos observando las "rupturas" que aparecen en los diagramas, en tal caso, consiente determinar el rango de tiempos dudosos y fiables de cada estación investigada, que debe ajustarse en base de determinadas normas estadísticas, en tal caso, se observan los protocolos subsiguientes:

#### **Consistencia de la media**

- **Cálculo de la media y de la desviación estándar para las submuestras, según:**

Se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$\bar{X}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_i \quad , \quad S_1(x) = \left[ \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\bar{X}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} x_j \quad , \quad S_2(x) = \left[ \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

**Donde:**

$x_i$ : Valores de la secuencia del período 1 (datos posibles dudosos)

$x_j$ : Valores de la secuencia del período 1 (datos confiables)

$\bar{X}_1$  ,  $\bar{X}_2$  : Media de los períodos 1 y 2

$S_1(x)$  ,  $S_2(x)$  : desviación estándar de los períodos 1 y 2

$n$  : muestra

$n_1$  ,  $n_2$  : submuestras

$n = n_1 + n_2$

- **Cálculo del “t” calculado (tc) según:**

Se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$S_{\bar{d}} = S_p \left[ \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

**Además:**

$$S_p = \left[ \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

**Donde:**

$S_{\bar{d}}$ : Desviación de las diferencias de los promedios

$S_p$ : Desviación estándar ponderada

**Cálculo de la “t” calculada:**

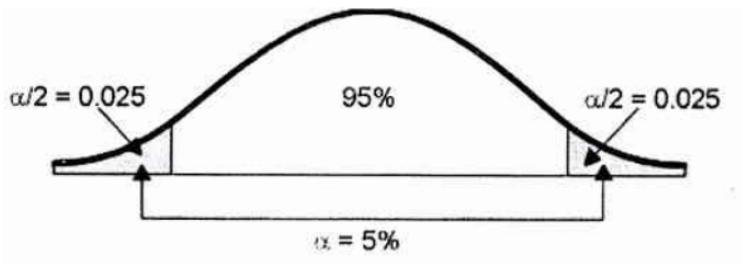
$$t_c = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_{\bar{d}}}$$

- **Cálculo del “t” tabulada ( $t_t$ ):**

A partir de la tabla t de Student (**Anexo 5**), el valor t crítico se alcanza con grados de libertad y una probabilidad del 95%, o a un nivel de significación del 5%, es decir, con  $\alpha/2 = 0,025$   $\nu = n_1 + n_2 + 2$

**Figura 5**

*T de Student*



*Nota.* Obtenido de Villon (2005)

- **Comparación del  $t_c$  con el  $t_t$ :**

- Si  $t_c \leq t_t$  (95%)  $\rightarrow \bar{X}_1 = \bar{X}_2$  (Estadísticamente)

En tal caso, siendo las medias  $\bar{X}_1 = \bar{X}_2$ , estadísticamente, no se debe efectuar proceso de corrección, por ende, los datos son estadísticamente consistentes u confiables

- Si  $t_c > t_t$  (95%)  $\rightarrow \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$  (Estadísticamente)

En tal caso, siendo las medias  $\overline{X}_1 \neq \overline{X}_2$ , estadísticamente, se deberá corregir los datos, por ende, los datos no son estadísticamente consistentes u confiables

### Consistencia de la Desviación Estándar

- **Cálculo del  $F$  calculado ( $F_c$ ), según:**

$$F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)} , \text{ Si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$F_c = \frac{S_2^2(x)}{S_1^2(x)} , \text{ Si } S_2^2(x) > S_1^2(x)$$

- **Cálculo del  $F$  tabulada ( $F_t$ ), según:**

Se obtiene utilizando grados de libertad y una probabilidad del 95 % a partir de las tablas F con un nivel de significación del 5%, o  $\alpha/2 = 0,025$ :

$$G. L. N. = n_1 - 1] , \quad \text{Si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$G. L. D. = n_1 - 1] , \quad \text{Si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$G. L. N. = n_2 - 1] , \quad \text{Si } S_2^2(x) > S_1^2(x)$$

$$G. L. D. = n_1 - 1] , \quad \text{Si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

**Donde:**

**G. L. N.:** Grados de libertad del denominador

**G. L. N.:** Grados de libertad del numerador

- **Comparación del  $F_c$  con el  $F_t$ :**

- Si  $F_c \leq F_t$  (95%)  $\rightarrow S_1(x) = S_2(x)$

Estadísticamente, no se debe realizar proceso de corrección, por ende, los datos son estadísticamente consistentes u confiables

- Si  $F_c > F_t$  (95%)  $\rightarrow S_1(x) \neq S_2(x)$
- Estadísticamente, se debe efectuar proceso de corrección, por ende, los datos no son estadísticamente consistentes u confiables

### Corrección de los datos

Se dejan los datos originales cuando los parámetros de la media y la desviación de las submuestras de series temporales arrojan resultados estadísticamente equivalentes, ya que, incluso en presencia de interrupciones mínimas en la masa doble, los datos siguen siendo coherentes con una probabilidad del 95%, en caso contrario, se utilizan las fórmulas siguientes para ajustar los valores de las submuestras:

$$X'_t = \frac{x_t - \bar{x}_1}{S_1(x)} \cdot S_2(x) + \bar{x}_2$$

$$X'_t = \frac{x_t - \bar{x}_2}{S_2(x)} \cdot S_1(x) + \bar{x}_1$$

**Donde:**

$X'_t$ : Valor corregido de saltos

$x_t$ : Valor a ser corregido

La primera expresión se emplea cuando se deben corregir los valores de la submuestra de tamaño  $n_1$  la segunda expresión, se utiliza si se deben corregir la submuestra de tamaño  $n_2$ .

Finalmente, las variables climáticas al ser estadísticamente consistentes, se interpolaron al Software ArcGIS empelando la metodología Kriging para interpolar las variables de precipitación y humedad relativa mediante la herramienta ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > interpolate> Kriging; así

mismo se empleó la metodología Spline para para interpolar la variable temperatura, y mediante todo ello generando la simulación de las variables climáticas en el área en estudio.

La metodología Kriging es una técnica de interpolación espacial para estimar valores desconocidos en ubicaciones no muestreadas a partir de datos recopilados en puntos de muestreo conocidos, esta técnica está basada en el análisis estadístico de la distribución espacial de los datos para generar una superficie continua que representa la variable de interés.

Así mismo la metodología spline en ArcGIS se utiliza para la interpolación espacial de datos. La interpolación spline es una técnica que genera una superficie continua que pasa por todos los puntos de datos conocidos (puntos de control). Se utiliza comúnmente en SIG (Sistemas de Información Geográfica) para crear mapas de superficie de variables como la elevación, la temperatura, etc.

### **3.5.2. Determinación de la disponibilidad hídrica futura bajo escenarios de cambio climático al año 2050 en la cuenca del río Coata**

Ante ello, se utilizó el programa WEAP, siendo una herramienta de modelización computacional para el manejo y distribución del agua, que incluye concretamente un modelo hidrológico y funciona sobre la base de un balance de oferta y demanda de agua, para la estimación de la disponibilidad hídrica mensual de agua de la cuenca del río Coata (Medina, 2021).

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

Dado que es sencillo modificar los resultados de manera más beneficiosa, se escogió la técnica unidimensional de la **humedad del suelo** para el presente



proyecto, el plan se basa en la definición de la región de estudio y sus principales afluentes utilizando dos conjuntos de datos primarios para la modelización - climatología y uso del suelo- con el fin de determinar la disponibilidad de agua (Lupaca, 2024).

- **Datos climáticos-**. Se recopilaron los datos más recientes de las estaciones meteorológicas del SENAMHI cercanas a la región de investigación como es: **La precipitación, Humedad, Temperatura, y velocidad del viento**, Dichos datos ya están especificados en el anterior objetivo, todo ello fue exportada al Software WEAP
- **Datos de uso de suelo-**. Se recopiló información de la plataforma digital GEO GPS PERÚ para datos de uso del suelo el cual brindo un formato shapefile de los datos de uso de suelo en la cuenca del rio Coata.

Para calibrar los datos de uso del suelo en la región de investigación, se utilizaron los siguientes parámetros:

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

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

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

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



**a) Determinación del periodo de tiempo con el que se va a generar el modelo base**

Se eligió un periodo de modelización y verificación de datos de 34 años para la región de investigación (la cuenca del río Coata), con los años 1990-2023 como modelo base, se eligió el año 2050 como el año previsto en que la operación se completaría con éxito.

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

Los datos de las estaciones hidrológicas y meteorológicas del SENAMHI fueron recopilados de su memoria anterior considerando para el estudio las siguientes variables:

- ✓ Datos mensuales de caudal de 1990 a 2023
- ✓ Datos mensuales de temperatura media de 1990 a 2023
- ✓ Datos mensuales de precipitaciones de 1990 a 2023.

**c) Determinación de la disponibilidad hídrica al año (2023)**

Se realizó primeramente la determinación de la disponibilidad hídrica al año actual en el software WEAP, y mediante ello se realizó la comparación con los caudales determinados en campo (in situ), para conocer la veracidad del estudio.

**d) Creación de escenarios de cambio climático**

Para simular la cuenca del río Coata utilizando el programa WEAP, se utilizó una distribución mensual del periodo de modelización de 2023 a 2050.

Aplicando dos escenarios de cambio climático “RCP” que dan lugar a un escenario en el que los esfuerzos en mitigación den un cierto grado de estabilidad u escenario climático estable (RCP4.5), y un escenario con un nivel creciente o muy elevada emisión de GEI (RCP8.5) (Parra, 2016), siendo existente solo al año 2100 en acuerdo a la tabla 6, de las cuales se realizaron la interpolación al año 2050 para el desarrollo del presente estudio.

**Tabla 6**

*Escenarios climáticos (RCP) al año 2100*

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

*Nota.* Obtenido de (Parra, 2016)

Recalcando que los datos fueron interpolados al año 2050, para la zona en estudio con la información de series de temperatura y precipitación.

Y mediante la utilización del software WEAP, se determinó la disponibilidad hídrica al año 2050 bajo dos escenarios de cambio climático (RCP 4.5 y RCP 8.5)

### **3.5.3. Propuesta de medidas para la mitigación de los efectos del cambio climático en la cuenca del río Coata.**

Se escogió como medida de mitigación de los efectos del cambio climático mediante **zanjas de infiltración, Qochas y sistemas agroforestales** tomando los siguientes criterios de diseño.



a) **Zanjas de infiltración-**. La única fuente de recarga para las zanjas de infiltración será un régimen pluvial estacional, que se situará en las partes superiores de la cuenca, las zanjas serán paralelas, con una distancia de 10 a 13 metros entre ellas, y el material retirado de la zanja deberá depositarse en la porción inferior de la zanja para formar un pequeño montículo, se recomienda colocar el material reubicado a unos 20 centímetros de la zanja para evitar la erosión del suelo durante el primer aguacero, es necesario cavar una canaleta o paso de hasta 10 cm de abertura en la zona lateral entre dos zanjas, esto es crucial porque permitirá que el agua de una zanja que esté completamente llena pase a otra, garantizando que todas las zanjas se llenen uniformemente y evitando la erosión y el derrumbamiento de las paredes de la zanja (Gonzales & Alejo, 2008).

b) **Qochas-**. Para el diseño de qochas se tomó en cuenta las consideraciones descritas por FONCODES (2015), el cual establece los siguientes pasos para el diseño:

- Ubicación de la zona para la construcción del dique de qocha.
- Construcción del dique de la qocha.

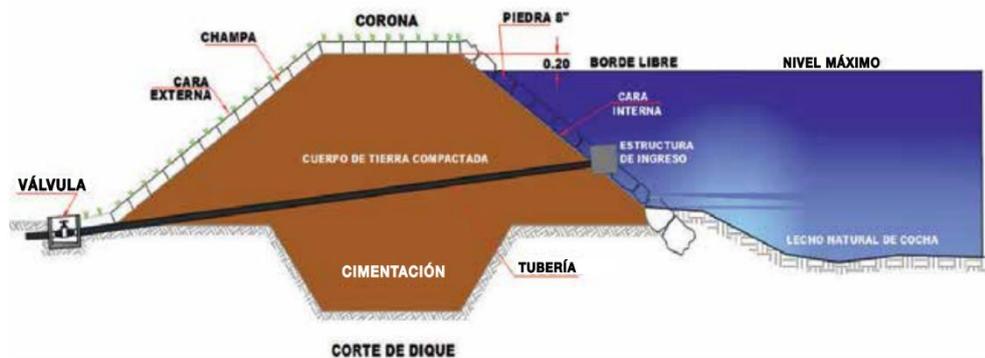
**Ubicación del dique de la qocha-**. El punto más estrecho de la salida natural del agua será donde esté situada el dique, en un terreno llano y sin colinas. Esto reducirá los gastos de construcción y disminuirá las posibilidades de desbordamiento.

**Diseño de un dique-**. El dique, que es un muro con una base ancha y una parte superior más pequeña, tiene cuatro componentes clave que deben tenerse en cuenta al diseñar un dique.

- **Cimiento.** Será la base del dique, que se entierra en una zanja, la a base está hecha de grandes piedras, soporta todo el peso del dique.
- **Cara interna.** Es la que entrará directamente en contacto con el agua, se diseñara con piedras más grandes en la zona inferior y piedras diminutas en la mitad superior, las piedras planas la cubrirán para evitar que se produzcan daños por el agua.
- **Cara externa.** Esta sección se diseñará con champas vivas, o bloques de tierra cubiertos de hierba viva, para resguardarse del viento y la lluvia.
- **Corona.** Es la parte superior del dique, y la protegerá la hierba viva, debe tener la misma anchura que los cimientos.

### Figura 6

*Vista de corte del dique de la qocha*



*Nota.* Obtenido de (PaccPerú, 2014)

**Dimensionamiento de un dique-** Se refiere a los elementos que se detallaron previamente y otros elementos complementarios:

- **Corona.** Para permitir el paso de personas a través de la corona durante el mantenimiento y la inspección del dique, se tendrá en cuenta una anchura



mínima de 1,20 metros, no obstante, para el presente estudio se empleó la siguiente expresión:

$$e = H - 0.50$$

**Donde:**

**H:** Altura de agua de almacenamiento (m)

**e:** Ancho de la corona (m)

- **Taludes (cara interna y externa)-**. tanto en el interior como en el exterior, los taludes (caras) serán de razón de 1:1 de la estructura del dique aguas abajo y arriba. En otras palabras, la anchura de la base sería cuatro veces la anchura de la corona.
- **Dentellón-**. la anchura del dentellón y la de la corona son idénticas, si mismo la profundidad del dentellón, en los casos en que el suelo no sea permeable en la zona que se asienta, requiera la eliminación de elementos no deseables, como material orgánico, se tiene en cuenta una profundidad mínima de 0,50 metros, la profundidad del dentellón puede aumentarse hasta conseguir una capa impermeable cuando la cimentación es porosa.
- **Núcleo de arcilla.** La finalidad del núcleo de arcilla es mantener la estanqueidad del dique, a menudo se coloca en el centro del dique, extendiéndose desde la corona hasta la cimentación de la zanja de amarre. Cuando se construye de manera manual, la anchura debe ser de 0,80 metros para facilitar su compactación.

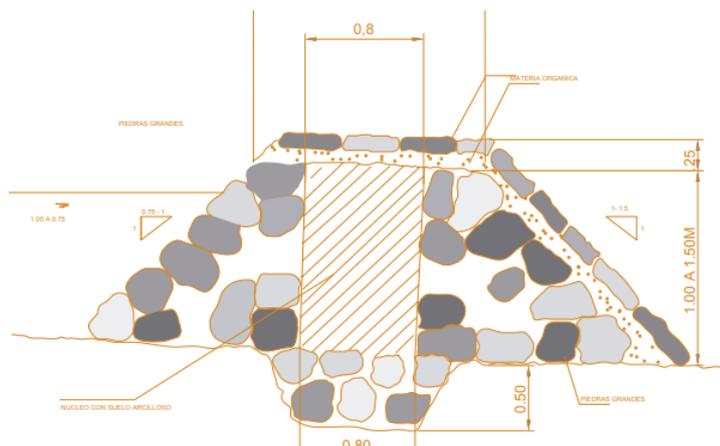
- **Protección con champa.** La protección con champa es necesaria en la corona y en el talud aguas abajo, por ello debe utilizarse tierra negra semicompactada de al menos 20 cm de espesor.

los cespellones (champas) tendrán un tamaño de entre 25 y 60 centímetros, y la pendiente sobre la que se asientan no debe ser inferior a 1:1,5.

### Figura 7

#### Diseño de dique con piedra con núcleo de arcilla

Fig. Detalle de la *Distichia muscoides* (kunkuna)



Nota. Obtenido de (ProyectoGlaciares, 2017)

- a) **Cálculo del volumen de escurrimiento-**. El volumen de escurrimiento se calculó de la siguiente forma:

$$V = C * I * A$$

**Donde:**

**V:** Volumen anual ( $m^3/año$ )

**C:** Coeficiente de escurrimiento (Para el altiplano, 0.30 a 0.50)

**I:** Precipitación total anual ( $m/año$ )

**A:** Área de cuenca ( $m^2$ )



- b) Cálculo del volumen de almacenamiento -.** Al igual que en el escenario de diseño, la topografía de la región de investigación es crucial para determinar la ubicación del dique en Qochas, la superficie de la región inundada se determinará identificando cuidadosamente el vaso con el ojo, recorriendo la zona y "trazando" después la superficie del área de almacenamiento mediante GPS.
- c) Cálculo de la altura máxima de almacenamiento -.** Dividiendo el volumen de esorrentía de la cuenca por la superficie de almacenamiento, podemos aproximarnos razonablemente a la altura del posible volumen de almacenamiento, lo que nos da:

$$H = \frac{V}{Sa}$$

**Donde:**

**H:** Altura máxima de almacenamiento

**V:** Volumen de escurrimiento anual (m<sup>3</sup>/año)

**Sa:** Superficie de almacenamiento de la Qocha

Suponiendo que 1,20 metros es la altura máxima que se puede almacenar por razones económicas o sociales debidas al terreno del emplazamiento del dique, el volumen de almacenamiento será:

$$Va = \text{Superficie de la laguna} * 1.20$$

- d) Cálculo de la altura del dique -.** se define teniendo presente los siguientes aspectos:

$$H = Hd + He + Hf + Hv + Hb$$

**Donde:**



**$H_d$** : Altura de agua de almacenamiento

**$H$** : Altura del dique

**$H_f$** : Altura de agua por filtración

**$H_e$** : Altura de agua por evaporación

**$H_b$** : Altura de borde libre

**$H_v$** : Altura de agua por carga de agua en el vertedero

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. DETERMINAR LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE LA CUENCA DEL RIO COATA

##### 4.1.1. Variables climáticas de las estaciones meteorológicas más próximas al área en estudio

###### a) Precipitación

En la tabla 7, se aprecia los datos de precipitación (mm) de la estación meteorológica Puno, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la precipitación, presentando una media entre 43.96 mm a 73.28 mm respectivamente.

**Tabla 7**

*Datos de precipitación (mm) de la estación meteorológica Puno*

Año	Estación Puno								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
<b>Ene.</b>	167.20	122.70	167.10	103.30	99.30	135.40	133.70	130.30	<b>132.38</b>
<b>Febr.</b>	22.40	102.80	210.00	157.90	192.80	294.80	158.70	142.60	<b>160.25</b>
<b>Mar.</b>	59.90	124.00	105.10	134.60	56.30	209.90	90.70	136.90	<b>114.68</b>
<b>Abri.</b>	43.00	2.10	40.30	45.70	12.30	60.10	55.30	9.40	<b>33.53</b>
<b>May.</b>	12.10	4.10	0.40	0.40	16.10	0.00	29.20	24.00	<b>10.79</b>
<b>Jun.</b>	54.70	0.00	2.30	0.00	0.00	0.20	0.10	0.00	<b>7.16</b>
<b>Jul.</b>	0.00	0.00	4.20	0.00	0.00	0.00	0.00	6.50	<b>1.34</b>
<b>Agos.</b>	11.80	3.00	17.90	0.00	7.10	5.60	0.00	2.60	<b>6.00</b>
<b>Sept.</b>	10.10	21.90	14.60	11.80	2.90	9.80	26.90	0.60	<b>12.33</b>
<b>Octu.</b>	107.90	15.30	95.80	39.50	33.40	7.60	72.00	33.30	<b>50.60</b>
<b>Nov.</b>	94.50	51.40	13.90	80.50	15.00	0.00	0.90	71.00	<b>40.90</b>
<b>Dic.</b>	63.20	80.20	69.00	99.40	146.70	155.90	177.20	60.00	<b>106.45</b>
<b>Media</b>	<b>53.90</b>	<b>43.96</b>	<b>61.72</b>	<b>56.09</b>	<b>48.49</b>	<b>73.28</b>	<b>62.06</b>	<b>51.43</b>	<b>-</b>

*Nota.* Obtenido del SENAMHI (2024)

En la tabla 8, se aprecia los datos de precipitación (mm) de la estación meteorológica Pampahuta, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la precipitación, presentando una media entre 55.77 mm a 86.40 mm respectivamente.

**Tabla 8**

*Datos de precipitación (mm) de la estación meteorológica Pampahuta*

<b>Estación Pampahuta</b>									
<b>Año</b>	<b>Año</b>								<b>Media</b>
	<b>1990</b>	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2023</b>	
<b>Ene.</b>	160.50	115.40	202.10	111.50	223.10	261.50	248.10	65.70	<b>173.49</b>
<b>Febr.</b>	67.10	151.50	258.80	267.50	231.00	230.70	187.60	133.60	<b>190.98</b>
<b>Mar.</b>	59.90	120.90	181.60	97.70	113.90	142.80	75.90	220.70	<b>126.68</b>
<b>Abri.</b>	36.80	40.80	23.30	60.20	57.30	94.50	71.00	35.50	<b>52.43</b>
<b>May.</b>	7.10	1.10	9.40	0.00	7.80	1.50	24.70	11.40	<b>7.88</b>
<b>Jun.</b>	31.50	0.00	3.90	0.00	0.00	0.70	1.40	0.00	<b>4.69</b>
<b>Jul.</b>	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	3.40	17.90	<b>2.71</b>
<b>Agos.</b>	7.50	2.60	7.70	0.60	0.00	3.20	0.00	0.20	<b>2.73</b>
<b>Sept.</b>	4.10	14.80	5.10	21.40	0.00	4.90	23.90	52.25	<b>15.81</b>
<b>Octu.</b>	93.50	15.10	89.70	17.70	23.20	55.70	64.53	76.10	<b>54.44</b>
<b>Nov.</b>	116.70	64.20	9.90	101.30	49.20	61.60	15.60	57.00	<b>59.44</b>
<b>Dic.</b>	91.40	142.80	136.10	136.10	151.90	179.70	194.30	155.70	<b>148.50</b>
<b>Media</b>	<b>56.34</b>	<b>55.77</b>	<b>77.33</b>	<b>67.83</b>	<b>71.45</b>	<b>86.40</b>	<b>75.87</b>	<b>68.84</b>	-

*Nota.* Obtenido del SENAMHI (2024)

En la tabla 9, se aprecia los datos de precipitación (mm) de la estación meteorológica Cabanillas, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la precipitación, presentando una media entre 40.23 mm a 72.60 mm respectivamente.

**Tabla 9**

*Datos de precipitación (mm) de la estación meteorológica Cabanillas*

<b>Estación Cabanillas</b>									
<b>Año</b>	<b>Año</b>								<b>Media</b>
	<b>1990</b>	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2023</b>	
<b>Ene.</b>	89.70	107.80	173.70	100.60	118.90	134.00	114.10	45.20	<b>110.50</b>

<b>Febr.</b>	63.70	94.90	116.50	278.30	144.20	238.10	172.40	88.20	<b>149.54</b>
<b>Mar.</b>	31.30	94.20	130.30	116.50	71.60	97.60	30.60	122.20	<b>86.79</b>
<b>Abri.</b>	18.90	23.70	52.70	49.60	26.80	80.40	0.30	24.00	<b>34.55</b>
<b>May.</b>	13.90	0.80	7.10	0.02	12.40	0.00	12.40	24.80	<b>8.93</b>
<b>Jun.</b>	43.10	0.00	6.20	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00	<b>7.16</b>
<b>Jul.</b>	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	1.70	0.00	6.10	<b>0.98</b>
<b>Agos.</b>	9.00	5.80	7.40	0.01	0.00	8.30	0.00	0.00	<b>3.81</b>
<b>Sept.</b>	2.90	19.70	14.50	22.40	0.00	2.90	30.60	0.20	<b>11.65</b>
<b>Octu.</b>	92.70	18.70	57.10	74.94	28.40	23.40	68.70	26.60	<b>48.82</b>
<b>Nov.</b>	96.70	55.30	9.90	54.31	14.00	61.50	6.20	98.90	<b>49.60</b>
<b>Dic.</b>	91.80	61.80	114.20	174.50	136.30	212.20	203.30	115.50	<b>138.70</b>
<b>Media</b>	<b>46.14</b>	<b>40.23</b>	<b>57.47</b>	<b>72.60</b>	<b>46.05</b>	<b>71.68</b>	<b>53.22</b>	<b>46.64</b>	<b>-</b>

*Nota.* Obtenido del SENAMHI (2024)

En la tabla 10, se aprecia los datos de precipitación (mm) de la estación meteorológica Crucero Alto, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la precipitación, presentando una media entre 46.87 mm a 56.98 mm respectivamente.

**Tabla 10**

*Datos de precipitación (mm) de la estación meteorológica Crucero Alto*

<b>Estación Crucero Alto</b>									
<b>Año</b>	<b>Año</b>								<b>Media</b>
	<b>1990</b>	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2023</b>	
<b>Ene.</b>	179.10	86.10	173.30	51.62	189.23	158.50	115.50	60.00	<b>126.67</b>
<b>Febr.</b>	30.21	135.10	129.00	121.72	192.64	123.30	233.20	121.90	<b>135.88</b>
<b>Mar.</b>	85.70	216.20	59.60	57.68	64.45	78.70	35.70	176.90	<b>96.87</b>
<b>Abri.</b>	41.70	31.53	10.21	53.73	45.95	4.40	31.60	27.10	<b>30.78</b>
<b>May.</b>	15.90	0.11	12.53	0.01	4.84	11.80	7.40	14.90	<b>8.44</b>
<b>Jun.</b>	45.60	0.00	4.32	0.00	1.30	11.50	0.40	0.00	<b>7.89</b>
<b>Jul.</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	6.80	0.00	8.90	<b>1.98</b>
<b>Agos.</b>	12.50	0.50	1.69	0.01	0.31	8.40	0.00	0.00	<b>2.93</b>
<b>Sept.</b>	0.00	8.71	0.23	10.46	3.40	0.00	11.90	2.50	<b>4.65</b>
<b>Octu.</b>	0.00	16.70	41.33	2.94	8.60	35.90	39.40	59.50	<b>25.55</b>
<b>Nov.</b>	91.80	49.10	10.03	19.73	6.32	17.90	1.50	133.90	<b>41.29</b>
<b>Dic.</b>	82.61	67.80	97.22	96.72	125.05	105.20	137.70	78.20	<b>98.81</b>
<b>Media</b>	<b>48.76</b>	<b>50.99</b>	<b>44.96</b>	<b>34.55</b>	<b>53.52</b>	<b>46.87</b>	<b>51.19</b>	<b>56.98</b>	<b>-</b>

*Nota.* Obtenido del SENAMHI (2024)

En la tabla 11, se aprecia los datos de precipitación (mm) de la estación meteorológica Capachica, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la precipitación, presentando una media entre 52.89 mm a 71.52 mm respectivamente.

**Tabla 11**

*Datos de precipitación (mm) de la estación meteorológica Capachica*

<b>Estación Capachica</b>									
<b>Año</b>	<b>Año</b>								<b>Media</b>
	<b>1990</b>	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2023</b>	
<b>Ene.</b>	215.70	140.20	157.00	113.80	178.60	157.10	105.70	83.00	<b>143.89</b>
<b>Febr.</b>	87.00	141.70	145.00	216.41	181.80	235.70	270.90	124.00	<b>175.31</b>
<b>Mar.</b>	47.90	150.30	169.10	101.12	38.90	158.40	60.90	76.25	<b>100.36</b>
<b>Abri.</b>	94.60	1.80	9.51	21.10	41.80	12.90	42.80	64.31	<b>36.10</b>
<b>May.</b>	11.20	8.40	20.00	0.00	8.10	7.70	44.70	23.50	<b>15.45</b>
<b>Jun.</b>	40.80	0.00	0.00	0.00	0.00	5.10	3.80	0.00	<b>6.21</b>
<b>Jul.</b>	0.00	0.50	1.00	0.00	0.00	9.20	0.00	2.30	<b>1.63</b>
<b>Agos.</b>	31.50	4.50	35.20	2.60	4.60	11.60	10.00	0.00	<b>12.50</b>
<b>Sept.</b>	12.30	18.20	10.70	34.60	3.20	12.20	40.40	7.40	<b>17.38</b>
<b>Octu.</b>	74.50	15.90	84.10	74.90	30.50	49.70	43.90	33.50	<b>50.88</b>
<b>Nov.</b>	54.70	40.70	0.00	67.70	0.00	33.30	81.90	97.60	<b>46.99</b>
<b>Dic.</b>	159.90	133.00	68.80	108.70	185.40	165.30	131.80	122.80	<b>134.46</b>
<b>Media</b>	<b>69.18</b>	<b>54.60</b>	<b>58.37</b>	<b>61.74</b>	<b>56.08</b>	<b>71.52</b>	<b>69.73</b>	<b>52.89</b>	-

*Nota.* Obtenido del SENAMHI (2024)

En la tabla 12, se aprecia los datos de precipitación (mm) de la estación meteorológica Pucará, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la precipitación, presentando una media entre 41.03 mm a 69.38 mm respectivamente.

**Tabla 12**

*Datos de precipitación (mm) de la estación meteorológica Pucará*

<b>Estación Pucará</b>									
<b>Año</b>	<b>Año</b>								<b>Media</b>
	<b>1990</b>	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2023</b>	
<b>Ene.</b>	147.11	98.20	126.90	63.00	198.10	122.80	125.20	52.40	<b>116.71</b>

<b>Febr.</b>	129.24	76.90	143.30	164.80	138.70	139.20	236.80	85.60	<b>139.32</b>
<b>Mar.</b>	85.55	78.90	107.90	123.30	66.40	171.10	22.40	97.10	<b>94.08</b>
<b>Abri.</b>	46.55	9.30	11.70	37.70	38.20	20.40	47.50	15.80	<b>28.39</b>
<b>May.</b>	17.56	2.60	4.20	0.00	6.00	27.70	17.80	32.00	<b>13.48</b>
<b>Jun.</b>	45.49	0.00	4.10	0.00	0.00	7.70	3.60	0.00	<b>7.61</b>
<b>Jul.</b>	0.01	0.30	0.10	0.00	0.00	0.40	0.00	5.20	<b>0.75</b>
<b>Agos.</b>	5.79	0.50	29.00	14.70	0.20	15.60	0.20	0.00	<b>8.25</b>
<b>Sept.</b>	22.16	7.70	0.30	6.20	1.20	7.80	24.40	13.80	<b>10.45</b>
<b>Octu.</b>	99.94	17.80	106.60	103.20	36.90	58.30	40.80	31.20	<b>61.84</b>
<b>Nov.</b>	93.71	94.30	35.60	73.40	27.90	29.90	71.00	63.60	<b>61.18</b>
<b>Dic.</b>	85.54	106.00	105.70	112.00	121.30	231.60	145.20	95.60	<b>125.37</b>
<b>Media</b>	<b>64.89</b>	<b>41.04</b>	<b>56.28</b>	<b>58.19</b>	<b>52.91</b>	<b>69.38</b>	<b>61.24</b>	<b>41.03</b>	<b>-</b>

*Nota.* Obtenido del SENAMHI (2024)

En la tabla 13, se aprecia los datos de precipitación (mm) de la estación meteorológica Ayaviri, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la precipitación, presentando una media entre 44.80 mm a 67.83 mm respectivamente.

**Tabla 13**

*Datos de precipitación (mm) de la estación meteorológica Ayaviri*

<b>Estación Ayaviri</b>									
<b>Año</b>	<b>Año</b>								<b>Media</b>
	<b>1990</b>	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2023</b>	
<b>Ene.</b>	190.20	96.30	136.80	70.60	192.30	142.60	188.90	65.50	<b>135.40</b>
<b>Febr.</b>	111.10	98.40	224.60	224.90	125.20	159.50	178.10	102.70	<b>153.06</b>
<b>Mar.</b>	38.60	132.50	108.60	130.20	87.90	169.40	57.30	108.00	<b>104.06</b>
<b>Abri.</b>	32.40	44.90	5.90	26.30	67.20	73.90	60.80	7.60	<b>39.88</b>
<b>May.</b>	3.80	0.50	6.20	0.30	15.20	7.60	3.30	43.50	<b>10.05</b>
<b>Jun.</b>	33.50	0.00	1.60	0.00	0.00	0.00	1.70	0.00	<b>4.60</b>
<b>Jul.</b>	0.00	0.00	4.10	0.00	0.00	0.50	0.00	6.00	<b>1.33</b>
<b>Agos.</b>	3.50	0.00	7.10	4.50	0.80	0.00	0.00	1.40	<b>2.16</b>
<b>Sept.</b>	15.00	5.10	2.50	4.80	0.40	2.80	14.70	11.00	<b>7.04</b>
<b>Octu.</b>	87.10	15.10	119.80	94.80	26.10	20.70	38.60	24.10	<b>53.29</b>
<b>Nov.</b>	71.70	70.50	8.60	83.00	30.30	50.70	56.10	72.00	<b>55.36</b>
<b>Dic.</b>	81.90	104.10	76.90	67.00	69.80	186.30	90.60	95.80	<b>96.55</b>
<b>Media</b>	<b>55.73</b>	<b>47.28</b>	<b>58.56</b>	<b>58.87</b>	<b>51.27</b>	<b>67.83</b>	<b>57.51</b>	<b>44.80</b>	<b>-</b>

*Nota.* Obtenido del SENAMHI (2024)

## b) Temperatura

En la tabla 14, se aprecia los datos de temperatura (°C) de la estación meteorológica Puno, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la temperatura (°C), presentando una media entre 14.14 °C a 17.47 °C respectivamente.

**Tabla 14**

*Datos de temperatura (°C) de la estación meteorológica Puno*

Año	Estación Puno								Media
	Año								
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
<b>Ene.</b>	14.71	16.66	15.51	16.38	16.93	15.77	16.73	16.61	<b>16.16</b>
<b>Febr.</b>	15.32	16.51	15.25	15.50	17.13	14.61	16.07	16.08	<b>15.81</b>
<b>Mar.</b>	15.17	14.92	15.48	16.42	17.15	15.03	16.19	15.94	<b>15.79</b>
<b>Abri.</b>	14.96	16.66	16.01	16.43	17.40	15.09	15.67	16.30	<b>16.07</b>
<b>May.</b>	14.81	15.85	16.37	15.94	16.19	15.14	15.45	15.40	<b>15.64</b>
<b>Jun.</b>	11.92	14.68	15.39	14.78	16.27	14.90	15.37	15.88	<b>14.90</b>
<b>Jul.</b>	13.09	15.43	14.80	15.63	16.95	15.22	15.81	16.72	<b>15.46</b>
<b>Agos.</b>	13.46	17.03	16.04	15.90	17.39	15.80	17.29	16.60	<b>16.19</b>
<b>Sept.</b>	14.82	16.79	18.09	16.81	18.60	15.76	16.08	17.99	<b>16.87</b>
<b>Octu.</b>	15.25	18.48	16.01	16.99	18.63	17.49	16.32	19.06	<b>17.28</b>
<b>Nov.</b>	15.08	17.74	18.48	17.18	19.47	0.00	18.54	18.80	<b>15.66</b>
<b>Dic.</b>	14.99	15.92	16.30	17.27	17.48	14.90	16.89	18.10	<b>16.48</b>
<b>Media</b>	<b>14.46</b>	<b>16.39</b>	<b>16.14</b>	<b>16.27</b>	<b>17.47</b>	<b>14.14</b>	<b>16.37</b>	<b>16.96</b>	<b>-</b>

*Nota.* Obtenido del SENAMHI (2024)

En la tabla 15, se aprecia los datos de temperatura (°C) de la estación meteorológica Pampahuta, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la temperatura (°C), presentando una media entre 12.29 °C a 14.75 °C respectivamente.

**Tabla 15***Datos de temperatura (°C) de la estación meteorológica Pampahuta*

Año	Estación Pampahuta								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
<b>Ene.</b>	13.74	13.28	11.35	12.87	12.32	11.63	14.37	14.12	<b>12.96</b>
<b>Febr.</b>	14.48	13.22	10.88	11.06	13.01	10.81	12.97	13.20	<b>12.45</b>
<b>Mar.</b>	14.58	11.88	11.64	12.23	13.34	11.41	13.53	13.14	<b>12.72</b>
<b>Abri.</b>	15.58	12.93	12.63	12.02	13.69	11.25	13.73	13.69	<b>13.19</b>
<b>May.</b>	15.27	13.06	13.16	12.32	13.25	12.05	13.70	12.85	<b>13.21</b>
<b>Jun.</b>	10.83	12.15	10.86	11.52	13.47	11.57	13.51	13.45	<b>12.17</b>
<b>Jul.</b>	13.41	13.50	10.69	12.15	13.11	12.17	13.29	15.32	<b>12.96</b>
<b>Agos.</b>	14.54	15.17	12.70	12.39	14.54	13.00	15.49	14.91	<b>14.09</b>
<b>Sept.</b>	16.15	14.82	14.45	12.52	15.33	14.03	15.21	16.30	<b>14.85</b>
<b>Octu.</b>	16.32	16.68	11.85	13.55	14.91	15.10	14.45	17.54	<b>15.05</b>
<b>Nov.</b>	15.44	14.41	15.14	12.65	16.31	14.51	17.60	17.18	<b>15.41</b>
<b>Dic.</b>	14.77	12.83	12.12	12.21	13.23	12.14	14.86	15.30	<b>13.43</b>
<b>Media</b>	<b>14.59</b>	<b>13.66</b>	<b>12.29</b>	<b>12.29</b>	<b>13.88</b>	<b>12.47</b>	<b>14.39</b>	<b>14.75</b>	-

*Nota.* Obtenido del SENAMHI (2024)

En la tabla 16, se aprecia los datos de temperatura (°C) de la estación meteorológica Pampahuta, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la temperatura (°C), presentando una media entre 16.28 °C a 18.67 °C respectivamente.

**Tabla 16***Datos de temperatura (°C) de la estación meteorológica Cabanillas*

Año	Estación Cabanillas								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
<b>Ene.</b>	16.56	16.97	15.75	17.06	17.10	16.73	17.93	18.48	<b>17.07</b>
<b>Febr.</b>	17.21	16.66	14.85	15.31	17.01	15.95	16.86	17.25	<b>16.39</b>
<b>Mar.</b>	17.27	14.66	15.58	17.00	17.41	15.48	16.81	17.23	<b>16.43</b>
<b>Abri.</b>	17.68	16.36	16.29	16.74	18.10	16.25	18.83	17.89	<b>17.27</b>
<b>May.</b>	18.12	16.56	16.27	16.78	17.81	16.60	17.47	16.88	<b>17.06</b>
<b>Jun.</b>	13.76	15.62	15.06	15.80	17.67	15.91	17.99	17.35	<b>16.14</b>
<b>Jul.</b>	15.85	16.48	14.67	16.34	17.34	16.46	18.25	19.13	<b>16.81</b>
<b>Agos.</b>	16.99	17.91	16.32	16.81	18.37	17.30	19.60	18.54	<b>17.73</b>
<b>Sept.</b>	18.31	17.33	18.18	17.57	19.35	18.31	17.80	20.13	<b>18.37</b>

<b>Octu.</b>	18.25	19.26	16.27	17.50	19.20	19.54	18.19	21.37	<b>18.70</b>
<b>Nov.</b>	17.53	17.84	19.80	17.89	20.59	19.61	21.17	20.55	<b>19.37</b>
<b>Dic.</b>	16.80	16.65	16.33	16.85	17.93	17.43	18.46	19.26	<b>17.46</b>
<b>Media</b>	<b>17.03</b>	<b>16.86</b>	<b>16.28</b>	<b>16.80</b>	<b>18.16</b>	<b>17.13</b>	<b>18.28</b>	<b>18.67</b>	-

*Nota.* Obtenido del SENAMHI (2024)

En la tabla 17, se aprecia los datos de temperatura (°C) de la estación meteorológica Crucero Alto, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la temperatura (°C), presentando una media entre 12.28 °C a 17.95 °C respectivamente.

**Tabla 17**

*Datos de temperatura (°C) de la estación meteorológica Crucero Alto*

<b>Estación Crucero Alto</b>									
<b>Año</b>	<b>Año</b>								<b>Media</b>
	<b>1990</b>	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2023</b>	
<b>Ene.</b>	0.00	0.00	10.89	15.10	13.46	12.12	17.10	18.22	<b>10.86</b>
<b>Febr.</b>	0.00	0.00	10.74	14.36	13.96	12.06	15.94	17.45	<b>10.56</b>
<b>Mar.</b>	0.00	0.00	11.86	13.95	13.63	11.81	16.60	16.72	<b>10.57</b>
<b>Abri.</b>	0.00	0.00	13.05	13.97	13.56	14.05	16.16	17.71	<b>11.06</b>
<b>May.</b>	0.00	0.00	12.31	14.31	12.83	12.50	15.97	15.86	<b>10.47</b>
<b>Jun.</b>	0.00	0.00	10.71	14.49	13.07	10.73	15.78	15.89	<b>10.08</b>
<b>Jul.</b>	0.00	0.00	10.21	14.82	12.57	11.41	16.85	17.88	<b>10.47</b>
<b>Agos.</b>	0.00	0.00	12.23	14.52	14.17	12.50	18.06	17.84	<b>11.16</b>
<b>Sept.</b>	0.00	0.00	13.99	14.53	14.91	13.88	17.31	19.47	<b>11.76</b>
<b>Octu.</b>	0.00	0.00	12.77	16.09	14.86	14.22	17.24	20.18	<b>11.92</b>
<b>Nov.</b>	0.00	0.00	15.94	16.74	15.99	15.33	20.54	19.84	<b>13.05</b>
<b>Dic.</b>	0.00	0.00	12.74	16.52	13.59	12.30	17.34	18.38	<b>11.36</b>
<b>Media</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>12.28</b>	<b>14.95</b>	<b>13.88</b>	<b>12.74</b>	<b>17.07</b>	<b>17.95</b>	-

*Nota.* Obtenido del SENAMHI (2024)

En la tabla 18, se aprecia los datos de temperatura (°C) de la estación meteorológica Capachica, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la temperatura (°C), presentando una media entre 14.27 °C a 16.47 °C respectivamente.

**Tabla 18***Datos de temperatura (°C) de la estación meteorológica Capachica*

Año	Estación Capachica								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
<b>Ene.</b>	14.13	14.96	13.63	15.11	14.92	14.48	15.76	16.29	<b>14.91</b>
<b>Febr.</b>	14.55	15.01	13.38	14.19	15.24	14.54	15.28	14.83	<b>14.63</b>
<b>Mar.</b>	15.33	14.08	13.84	15.68	15.39	15.41	15.29	14.86	<b>14.98</b>
<b>Abri.</b>	15.02	15.22	14.35	15.97	15.93	15.37	14.93	16.13	<b>15.37</b>
<b>May.</b>	15.25	14.97	14.62	15.90	15.37	14.32	14.54	14.97	<b>14.99</b>
<b>Jun.</b>	12.43	13.74	13.63	14.70	15.16	13.33	14.40	15.38	<b>14.10</b>
<b>Jul.</b>	13.86	14.16	12.88	15.52	15.99	13.45	15.20	16.30	<b>14.67</b>
<b>Agos.</b>	13.87	15.82	14.10	15.33	15.36	14.14	15.73	16.28	<b>15.08</b>
<b>Sept.</b>	14.97	15.29	15.49	15.25	15.97	16.19	16.21	18.34	<b>15.96</b>
<b>Octu.</b>	15.77	16.72	14.07	15.34	16.49	15.97	17.38	19.37	<b>16.39</b>
<b>Nov.</b>	15.47	16.30	16.61	16.21	17.11	16.77	17.09	18.08	<b>16.70</b>
<b>Dic.</b>	14.94	14.28	14.61	15.99	13.63	15.16	16.44	16.82	<b>15.24</b>
<b>Media</b>	<b>14.63</b>	<b>15.05</b>	<b>14.27</b>	<b>15.43</b>	<b>15.55</b>	<b>14.93</b>	<b>15.69</b>	<b>16.47</b>	-

*Nota.* Obtenido del SENAMHI (2024)

En la tabla 19, se aprecia los datos de temperatura (°C) de la estación meteorológica Pucará, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la temperatura (°C), presentando una media entre 15.94 °C a 18.81 °C respectivamente.

**Tabla 19***Datos de temperatura (°C) de la estación meteorológica Pucará*

Año	Estación Pucará								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
<b>Ene.</b>	0.00	16.57	15.63	17.37	16.55	15.98	17.15	18.77	<b>14.75</b>
<b>Febr.</b>	0.00	16.46	14.59	16.12	17.16	15.71	16.67	17.61	<b>14.29</b>
<b>Mar.</b>	0.00	15.44	15.25	17.55	17.77	16.81	16.81	18.03	<b>14.71</b>
<b>Abri.</b>	0.00	17.10	16.87	17.79	18.27	17.11	16.31	18.27	<b>15.22</b>
<b>May.</b>	0.00	17.44	17.52	17.52	17.54	16.83	16.69	17.35	<b>15.11</b>
<b>Jun.</b>	0.00	16.14	15.76	16.44	17.99	15.40	16.49	17.22	<b>14.43</b>
<b>Jul.</b>	0.00	17.17	1.99	16.49	17.37	16.04	17.21	19.16	<b>13.18</b>
<b>Agos.</b>	0.00	18.45	0.00	17.06	18.37	16.94	17.98	18.39	<b>13.40</b>
<b>Sept.</b>	0.00	17.90	0.00	17.83	19.55	18.59	19.12	20.04	<b>14.13</b>

<b>Octu.</b>	0.00	19.36	0.00	17.79	19.59	18.61	19.79	21.28	<b>14.55</b>
<b>Nov.</b>	0.00	18.32	0.00	17.94	20.11	19.87	19.53	20.72	<b>14.56</b>
<b>Dic.</b>	0.00	16.78	0.00	17.39	17.62	16.49	16.53	18.82	<b>12.95</b>
<b>Media</b>	<b>0.00</b>	<b>17.26</b>	<b>15.94</b>	<b>17.28</b>	<b>18.16</b>	<b>17.03</b>	<b>17.52</b>	<b>18.81</b>	<b>-</b>

*Nota.* Obtenido del SENAMHI (2024)

En la tabla 20, se aprecia los datos de temperatura (°C) de la estación meteorológica Pucará, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la temperatura (°C), presentando una media entre 16.34 °C a 18.75 °C respectivamente.

**Tabla 20**

*Datos de temperatura (°C) de la estación meteorológica Ayaviri*

Año	Estación Ayaviri								Media
	Año								
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
<b>Ene.</b>	15.75	16.56	15.34	16.82	16.48	15.42	17.33	18.61	<b>16.54</b>
<b>Febr.</b>	16.94	17.41	14.83	15.91	17.82	14.66	17.03	16.94	<b>16.44</b>
<b>Mar.</b>	16.85	15.85	15.42	16.94	17.98	16.17	17.36	17.09	<b>16.71</b>
<b>Abri.</b>	17.16	17.41	17.44	17.67	18.27	16.08	16.21	17.74	<b>17.25</b>
<b>May.</b>	17.06	17.85	17.19	17.66	17.92	16.57	16.33	16.34	<b>17.12</b>
<b>Jun.</b>	14.11	16.28	15.07	17.01	18.32	16.46	16.31	17.19	<b>16.35</b>
<b>Jul.</b>	14.82	17.48	14.68	16.83	18.08	16.70	17.03	19.57	<b>16.90</b>
<b>Agos.</b>	16.17	19.25	16.48	17.75	18.99	17.97	17.88	18.92	<b>17.93</b>
<b>Sept.</b>	17.33	19.51	18.71	18.58	20.34	19.48	17.97	20.49	<b>19.05</b>
<b>Octu.</b>	17.45	19.50	16.31	18.28	20.14	20.74	20.41	21.74	<b>19.32</b>
<b>Nov.</b>	17.07	18.43	19.89	17.92	20.83	20.16	19.32	21.05	<b>19.33</b>
<b>Dic.</b>	15.32	16.26	16.58	17.16	18.39	17.25	18.20	19.30	<b>17.31</b>
<b>Media</b>	<b>16.34</b>	<b>17.65</b>	<b>16.49</b>	<b>17.38</b>	<b>18.63</b>	<b>17.31</b>	<b>17.62</b>	<b>18.75</b>	<b>-</b>

*Nota.* Obtenido del SENAMHI (2024)

### c) Humedad relativa

En la tabla 21, se exhibe los datos de humedad relativa (%) de la estación meteorológica Puno, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la humedad relativa (%), presentando una media entre 73.22 % a 77.68 % respectivamente.

**Tabla 21**

*Datos de humedad relativa (%) de la estación meteorológica Puno*

Año	Estación Puno								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
<b>Ene.</b>	81.66	75.22	78.96	79.36	80.51	79.54	80.01	78.80	<b>79.26</b>
<b>Febr.</b>	84.63	75.24	80.65	81.97	82.75	83.42	83.83	82.64	<b>81.89</b>
<b>Mar.</b>	83.95	83.14	80.62	84.62	70.62	80.94	84.60	81.22	<b>81.21</b>
<b>Abri.</b>	75.62	74.63	70.26	75.36	71.54	72.98	73.75	71.50	<b>73.21</b>
<b>May.</b>	70.25	72.56	75.62	76.29	77.51	72.63	71.28	78.36	<b>74.31</b>
<b>Jun.</b>	70.65	72.56	68.99	69.54	79.25	75.32	67.44	77.63	<b>72.67</b>
<b>Jul.</b>	72.62	71.52	78.69	75.24	73.62	74.62	71.04	79.66	<b>74.63</b>
<b>Agos.</b>	70.62	68.62	75.24	74.69	84.21	70.68	69.10	77.55	<b>73.84</b>
<b>Sept.</b>	71.62	73.62	75.84	76.21	70.21	69.55	70.43	76.78	<b>73.03</b>
<b>Octu.</b>	70.52	73.65	75.41	74.21	75.62	79.62	69.71	75.89	<b>74.33</b>
<b>Nov.</b>	70.62	76.32	70.24	75.62	70.62	65.36	63.60	73.85	<b>70.78</b>
<b>Dic.</b>	72.62	75.98	79.24	78.51	73.52	72.54	73.88	78.29	<b>75.57</b>
<b>Media</b>	<b>74.62</b>	<b>74.42</b>	<b>75.81</b>	<b>76.80</b>	<b>75.83</b>	<b>74.77</b>	<b>73.22</b>	<b>77.68</b>	-

*Nota.* Obtenido del SENAMHI (2024)

En la tabla 22, se exhibe los datos de humedad relativa (%) de la estación meteorológica Pampahuta, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la humedad relativa (%), presentando una media entre 59.77 % a 68.21 % respectivamente.

**Tabla 22**

*Datos de humedad relativa (%) de la estación meteorológica Pampahuta*

Año	Estación Pampahuta								Media
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
<b>Ene.</b>	75.04	72.14	75.43	72.47	71.53	72.65	71.72	64.21	<b>71.90</b>
<b>Febr.</b>	76.15	75.14	70.04	71.04	72.65	74.23	78.43	72.72	<b>73.80</b>
<b>Mar.</b>	74.94	71.96	70.46	73.17	75.61	74.12	77.11	72.73	<b>73.76</b>
<b>Abri.</b>	61.51	60.01	60.17	70.83	65.23	65.82	68.49	64.71	<b>64.60</b>
<b>May.</b>	52.65	65.98	54.35	67.81	59.64	57.21	58.60	62.80	<b>59.88</b>
<b>Jun.</b>	57.63	61.84	58.76	64.88	55.43	52.64	54.51	53.76	<b>57.43</b>
<b>Jul.</b>	54.40	61.86	62.61	68.41	52.31	53.26	54.59	50.41	<b>57.23</b>
<b>Agos.</b>	50.95	63.98	61.88	65.33	60.23	53.54	50.24	55.24	<b>57.67</b>
<b>Sept.</b>	50.57	56.23	59.28	60.35	59.64	55.65	58.37	52.24	<b>56.54</b>

<b>Octu.</b>	55.17	67.60	62.87	56.49	50.21	50.32	48.00	56.71	<b>55.92</b>
<b>Nov.</b>	46.15	77.44	63.38	68.23	56.75	53.64	49.80	61.30	<b>59.59</b>
<b>Dic.</b>	62.10	84.35	73.32	73.66	62.54	68.62	70.30	67.77	<b>70.33</b>
<b>Media</b>	<b>59.77</b>	<b>68.21</b>	<b>64.38</b>	<b>67.72</b>	<b>61.81</b>	<b>60.98</b>	<b>61.68</b>	<b>61.22</b>	-

*Nota.* Obtenido del SENAMHI (2024)

En la tabla 23, se exhibe los datos de humedad relativa (%) de la estación meteorológica Cabanillas, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la humedad relativa (%), presentando una media entre 56.24 % a 58.38 % respectivamente.

**Tabla 23**

*Datos de humedad relativa (%) de la estación meteorológica Cabanillas*

<b>Estación Cabanillas</b>									
<b>Año</b>	<b>Año</b>								<b>Media</b>
	<b>1990</b>	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2023</b>	
<b>Ene.</b>	68.62	70.54	75.24	79.65	69.25	70.68	66.03	77.93	<b>72.24</b>
<b>Febr.</b>	72.65	75.63	78.25	74.36	75.69	75.36	74.41	71.73	<b>74.76</b>
<b>Mar.</b>	70.23	71.63	72.65	73.25	78.69	70.62	69.24	71.32	<b>72.20</b>
<b>Abri.</b>	52.36	60.25	61.38	62.84	55.34	59.64	65.3	49.51	<b>58.33</b>
<b>May.</b>	50.36	56.32	50.41	45.85	48.62	49.87	48.53	55.78	<b>50.72</b>
<b>Jun.</b>	50.32	45.62	43.87	46.32	45.84	50.32	52.58	37.92	<b>46.60</b>
<b>Jul.</b>	40.23	42.68	43.01	43.62	45.85	43.62	42.56	46.08	<b>43.46</b>
<b>Agos.</b>	52.36	51.95	50.63	45.32	49.62	40.63	47.58	54.95	<b>49.13</b>
<b>Sept.</b>	55.62	58.42	56.97	55.98	58.63	57.42	56.27	58.62	<b>57.24</b>
<b>Octu.</b>	56.32	53.84	56.35	55.84	56.32	55.64	56.57	50.46	<b>55.17</b>
<b>Nov.</b>	45.62	40.36	45.32	43.65	50.2	51.65	41.02	58.02	<b>46.98</b>
<b>Dic.</b>	60.22	64.87	63.95	65.82	66.47	69.25	68.48	63.06	<b>65.27</b>
<b>Media</b>	<b>56.24</b>	<b>57.68</b>	<b>58.17</b>	<b>57.71</b>	<b>58.38</b>	<b>57.89</b>	<b>57.38</b>	<b>57.95</b>	-

*Nota.* Obtenido del SENAMHI (2024)

En la tabla 24, se exhibe los datos de humedad relativa (%) de la estación meteorológica Crucero Alto, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la humedad relativa (%), presentando una media entre 51.61 % a 56.02 % respectivamente.

**Tabla 24**

*Datos de humedad relativa (%) de la estación meteorológica Crucero Alto*

<b>Estación Crucero Alto</b>									
<b>Año</b>	<b>Año</b>								<b>Media</b>
	<b>1990</b>	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2023</b>	
<b>Ene.</b>	55.63	56.39	52.41	56.34	59.62	60.34	66.04	54.5	<b>57.66</b>
<b>Febr.</b>	62.52	70.34	73.64	70.32	70.32	52.36	74.96	64.61	<b>67.38</b>
<b>Mar.</b>	65.32	63.24	65.32	66.98	52.74	68.24	67.57	64.71	<b>64.27</b>
<b>Abri.</b>	55.62	56.32	51.32	53.75	54.32	56.98	56.29	52.77	<b>54.67</b>
<b>May.</b>	55.32	60.21	59.75	52.62	58.34	57.42	60.06	52.87	<b>57.07</b>
<b>Jun.</b>	45.33	53.21	56.24	51.42	53.62	58.64	56.88	44.61	<b>52.49</b>
<b>Jul.</b>	43.26	45.98	46.35	47.52	43.65	48.25	44.76	45.65	<b>45.68</b>
<b>Agos.</b>	40.35	42.85	46.52	45.32	46.38	49.32	41.67	45.29	<b>44.71</b>
<b>Sept.</b>	49.32	45.27	50.32	48.37	49.67	48.25	49.76	40.28	<b>47.66</b>
<b>Octu.</b>	50.67	51.36	52.37	55.61	53.72	55.82	53.71	47.09	<b>52.54</b>
<b>Nov.</b>	40.39	42.75	49.62	48.32	45.21	47.95	38.72	51.95	<b>45.61</b>
<b>Dic.</b>	55.63	60.75	59.61	60.84	63.24	59.73	61.78	58.41	<b>60.00</b>
<b>Media</b>	<b>51.61</b>	<b>54.06</b>	<b>55.29</b>	<b>54.78</b>	<b>54.24</b>	<b>55.28</b>	<b>56.02</b>	<b>51.90</b>	-

*Nota.* Obtenido del SENAMHI (2024)

En la tabla 25, se exhibe los datos de humedad relativa (%) de la estación meteorológica Capachica, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la humedad relativa (%), presentando una media entre 62.33 % a 64.82 % respectivamente.

**Tabla 25**

*Datos de humedad relativa (%) de la estación meteorológica Capachica*

<b>Estación Capachica</b>									
<b>Año</b>	<b>Año</b>								<b>Media</b>
	<b>1990</b>	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2023</b>	
<b>Ene.</b>	70.36	71.52	72.45	73.61	62.34	69.72	73.27	67.79	<b>70.13</b>
<b>Febr.</b>	78.32	77.42	79.31	80.24	79.42	76.24	79.59	78.29	<b>78.60</b>
<b>Mar.</b>	75.32	74.21	75.98	76.32	74.21	75.21	74.03	76.25	<b>75.19</b>
<b>Abri.</b>	68.32	67.21	65.63	68.32	69.52	67.32	69.21	64.31	<b>67.48</b>
<b>May.</b>	65.32	67.82	66.32	63.24	69.52	65.42	66.20	65.98	<b>66.23</b>
<b>Jun.</b>	60.32	58.63	57.63	56.24	59.63	57.21	59.13	53.42	<b>57.78</b>
<b>Jul.</b>	57.63	60.32	59.84	58.32	57.42	53.63	58.92	55.95	<b>57.75</b>
<b>Agos.</b>	53.21	56.98	57.24	50.65	51.45	56.38	55.46	50.58	<b>53.99</b>
<b>Sept.</b>	50.34	56.85	54.76	56.98	51.42	60.32	62.38	48.83	<b>55.24</b>

<b>Octu.</b>	53.21	54.68	56.98	52.35	55.75	59.62	53.73	54.60	<b>55.12</b>
<b>Nov.</b>	60.23	61.52	63.84	59.84	58.76	60.32	60.60	61.78	<b>60.86</b>
<b>Dic.</b>	65.32	66.94	67.85	69.22	70.62	64.80	64.32	70.15	<b>67.40</b>
<b>Media</b>	<b>63.16</b>	<b>64.51</b>	<b>64.82</b>	<b>63.78</b>	<b>63.34</b>	<b>63.85</b>	<b>64.74</b>	<b>62.33</b>	-

*Nota.* Obtenido del SENAMHI (2024)

En la tabla 26, se exhibe los datos de humedad relativa (%) de la estación meteorológica Pucará, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la humedad relativa (%), presentando una media entre 57.51 % a 61.91 % respectivamente.

**Tabla 26**

*Datos de humedad relativa (%) de la estación meteorológica Pucará*

<b>Estación Pucará</b>									
<b>Año</b>	<b>Año</b>								<b>Media</b>
	<b>1990</b>	<b>1995</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2023</b>	
<b>Ene.</b>	60.23	68.95	63.41	65.82	67.32	69.52	61.2	60.27	<b>64.59</b>
<b>Febr.</b>	63.24	68.32	62.54	69.52	60.75	63.58	61.51	64.27	<b>64.22</b>
<b>Mar.</b>	60.52	63.52	66.34	60.578	63.54	61.95	59.42	64.73	<b>62.57</b>
<b>Abri.</b>	67.25	63.24	69.32	70.32	63.54	65.96	68.85	61.39	<b>66.23</b>
<b>May.</b>	63.54	64.32	65.32	69.32	60.24	62.58	61.88	65.8	<b>64.13</b>
<b>Jun.</b>	63.21	61.54	60.35	63.98	64.32	60.32	61.73	62.31	<b>62.22</b>
<b>Jul.</b>	56.31	57.21	56.32	59.84	56.32	58.63	58.45	57.56	<b>57.58</b>
<b>Agos.</b>	53.21	54.69	56.24	59.67	55.34	56.94	54.27	57.25	<b>55.95</b>
<b>Sept.</b>	51.32	54.32	52.34	56.84	58.63	57.48	50.93	58.1	<b>55.00</b>
<b>Octu.</b>	45.63	48.63	45.32	47.52	49.62	50.32	40.80	59.35	<b>48.40</b>
<b>Nov.</b>	53.21	56.32	57.32	56.32	58.94	56.82	51.55	59.34	<b>56.23</b>
<b>Dic.</b>	60.32	62.34	63.63	63.24	60.37	62.58	59.52	64.05	<b>62.01</b>
<b>Media</b>	<b>58.17</b>	<b>60.28</b>	<b>59.87</b>	<b>61.91</b>	<b>59.91</b>	<b>60.56</b>	<b>57.51</b>	<b>61.20</b>	-

*Nota.* Obtenido del SENAMHI (2024)

En la tabla 27, se exhibe los datos de humedad relativa (%) de la estación meteorológica Ayaviri, indicando que en los periodos evaluados (1990 a 2023), existe una variación de la humedad relativa (%), presentando una media entre 62.60 % a 65.43 % respectivamente.

**Tabla 27***Datos de humedad relativa (%) de la estación meteorológica Ayaviri*

Año	Estación Ayaviri								Media
	Año								
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2023	
<b>Ene.</b>	71.63	72.54	73.61	72.32	70.65	72.42	73.55	68.85	<b>71.95</b>
<b>Febr.</b>	78.62	79.32	78.34	77.63	78.52	79.63	79.91	77.28	<b>78.66</b>
<b>Mar.</b>	73.62	74.63	75.42	74.32	78.62	72.62	70.48	76.12	<b>74.48</b>
<b>Abri.</b>	70.32	73.65	71.54	76.32	75.21	63.24	70.73	66.35	<b>70.92</b>
<b>May.</b>	63.24	63.00	64.32	65.98	62.34	65.32	60.44	65.90	<b>63.82</b>
<b>Jun.</b>	50.32	51.34	56.34	53.41	56.95	57.82	54.15	49.41	<b>53.72</b>
<b>Jul.</b>	50.32	52.31	49.85	48.35	50.24	52.94	51.15	50.97	<b>50.77</b>
<b>Agos.</b>	53.62	57.24	59.63	50.24	49.31	49.62	47.65	59.43	<b>53.34</b>
<b>Sept.</b>	59.62	60.34	62.48	61.85	63.75	62.46	57.03	62.22	<b>61.22</b>
<b>Octu.</b>	55.32	59.42	54.62	54.32	58.27	59.63	55.08	62.23	<b>57.36</b>
<b>Nov.</b>	61.32	62.75	65.34	66.42	65.31	62.47	60.33	67.39	<b>63.92</b>
<b>Dic.</b>	71.02	72.41	73.64	74.25	71.36	70.00	70.68	72.87	<b>72.03</b>
<b>Media</b>	<b>63.25</b>	<b>64.91</b>	<b>65.43</b>	<b>64.62</b>	<b>65.04</b>	<b>64.01</b>	<b>62.60</b>	<b>64.92</b>	-

*Nota.* Obtenido del SENAMHI (2024)**d) Análisis de la consistencia de datos**

En la tabla 28, se exhibe el análisis de consistencia de las variables climáticas (precipitación, temperatura y humedad relativa) de las estaciones meteorológicas más próximas al área en estudio (Puno, Pampahuta, Cabanillas, Crucero Alto, Capachica, Pucará, y Ayaviri), indicando que los datos obtenidos de las variables climáticas, son consistentes y confiables para ser empleados en el presente estudio.

**Tabla 28**

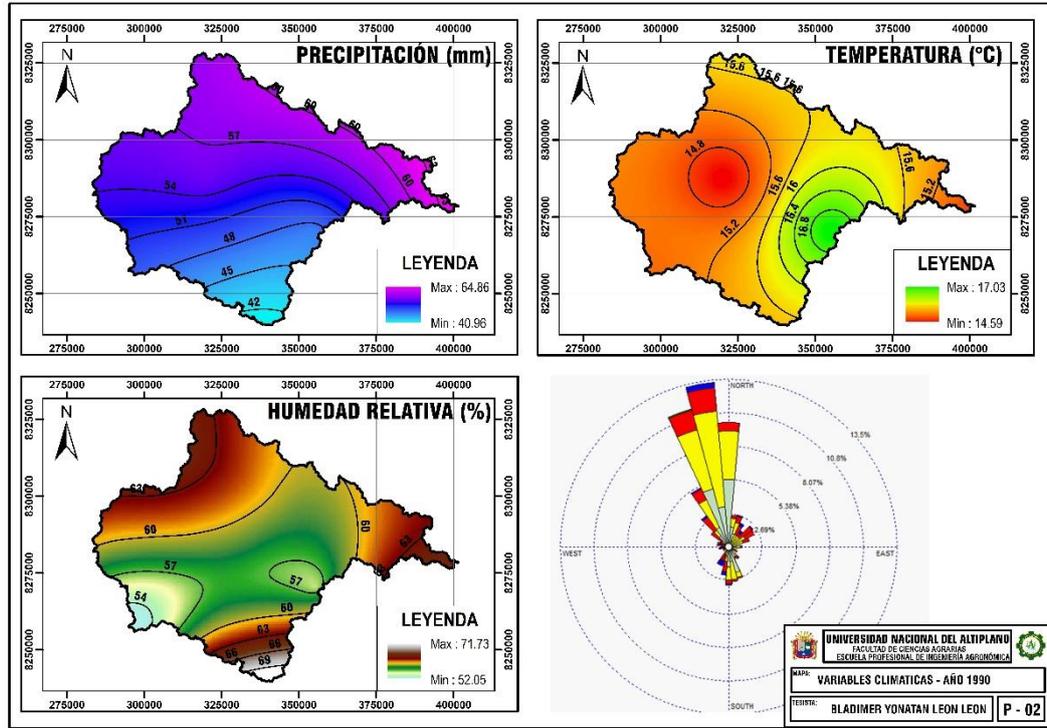
*Análisis de consistencia de las variables climáticas de las estaciones meteorológicas más próximas al área en estudio*

Estación meteorológica	Datos dudosos										Datos confiables						Análisis de consistencia			
	$n_1$	$\bar{x}_1$	$S_1$	$GL_1$	$N_2$	$X_2$	$S_2$	$GL_2$	$S_p$	$S_d$	$T_c$	$T_t$	T de Sudent		$F_c$	$F_t$	F de Fisher $F_c < F_t$			
													$T_c < T_t$							
Puno	36.00	56.05	63.17	35.00	60.00	50.00	57.01	59.00	59.38	12.52	0.48	1.99	consistente	1.04	1.83	consistente				
Pampahuta	48.00	63.00	69.78	47.00	48.00	62.57	69.78	47.00	69.78	14.24	0.03	1.99	consistente	1.00	1.62	consistente				
Cabanillas	72.00	34.76	44.92	71.00	24.00	43.89	57.88	23.00	48.41	11.41	0.80	1.99	consistente	1.66	1.85	consistente				
Crucero Alto	36.00	81.23	90.75	35.00	60.00	65.96	83.16	59.00	86.06	18.14	0.84	1.99	consistente	1.19	1.62	consistente				
Capachica	72.00	16.46	0.94	71.00	24.00	16.46	0.94	23.00	0.94	0.22	0.08	1.99	consistente	1.00	1.85	consistente				
Pucará	48.00	15.43	1.51	47.00	48.00	15.43	1.51	47.00	1.51	0.31	0.53	1.99	consistente	1.00	1.62	consistente				
Ayaviri	48.00	18.02	1.33	47.00	48.00	18.02	1.33	47.00	1.33	0.27	0.58	1.99	consistente	1.00	1.62	consistente				

#### 4.1.2. Variables climáticas de la cuenca del río Coata

Figura 8

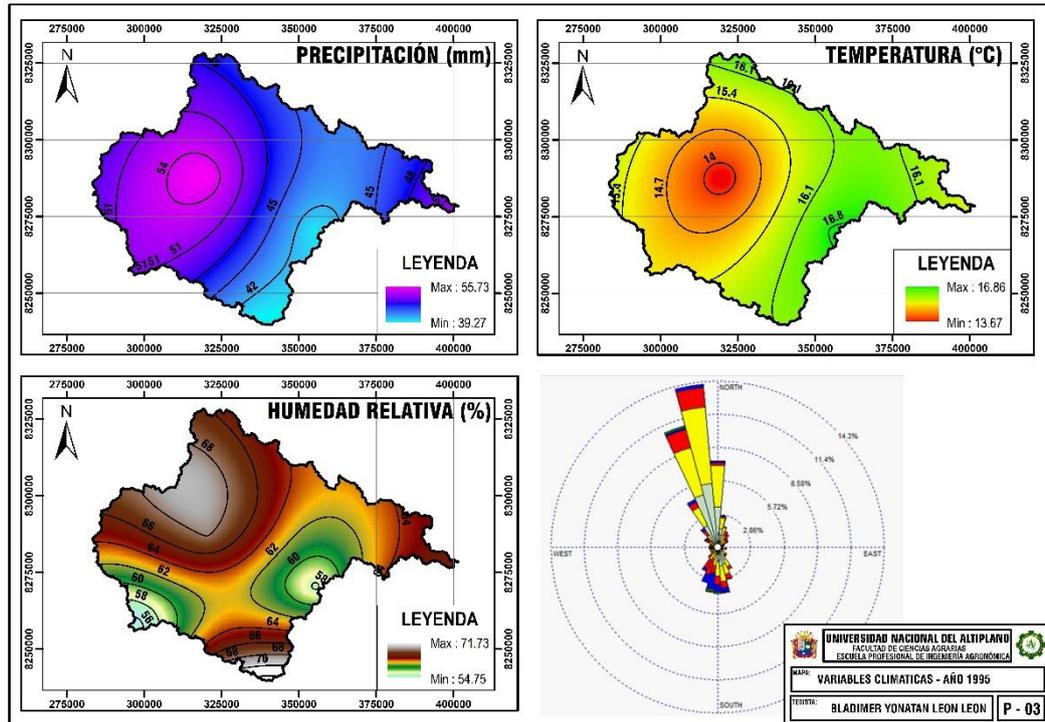
*Variables climáticas de la cuenca del río Coata al año 1990*



En la figura 8, se exhibe las variables climáticas de la cuenca del río Coata al año 1990, indicando que la precipitación fluctúa entre 40.96 mm a 64.86 mm, mientras que la temperatura fluctúa entre 14.59 °C a 17.03 °C, también la humedad relativa fluctúa entre 52.05 % a 71.73 %, con una velocidad del viento promedio de 2.52 m/s, con dirección predominante del Nor-oeste al Sur-este, respectivamente.

**Figura 9**

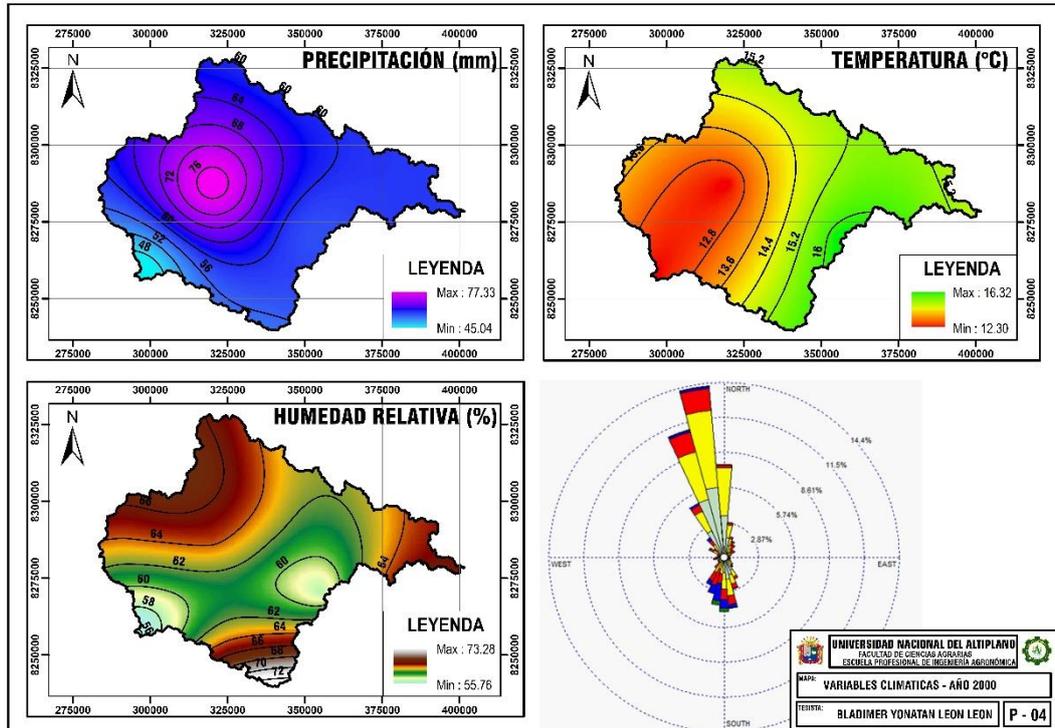
*Variables climáticas de la cuenca del río Coata al año 1995*



En la figura 9, se exhibe las variables climáticas de la cuenca del río Coata al año 1995, indicando que la precipitación fluctúa entre 39.27 mm a 55.73 mm, mientras que la temperatura fluctúa entre 13.67 °C a 16.86 °C, también la humedad relativa fluctúa entre 54.75 % a 71.73 %, con una velocidad del viento promedio de 2.62 m/s, con dirección predominante del Nor-oeste al Sur-este, respectivamente.

**Figura 10**

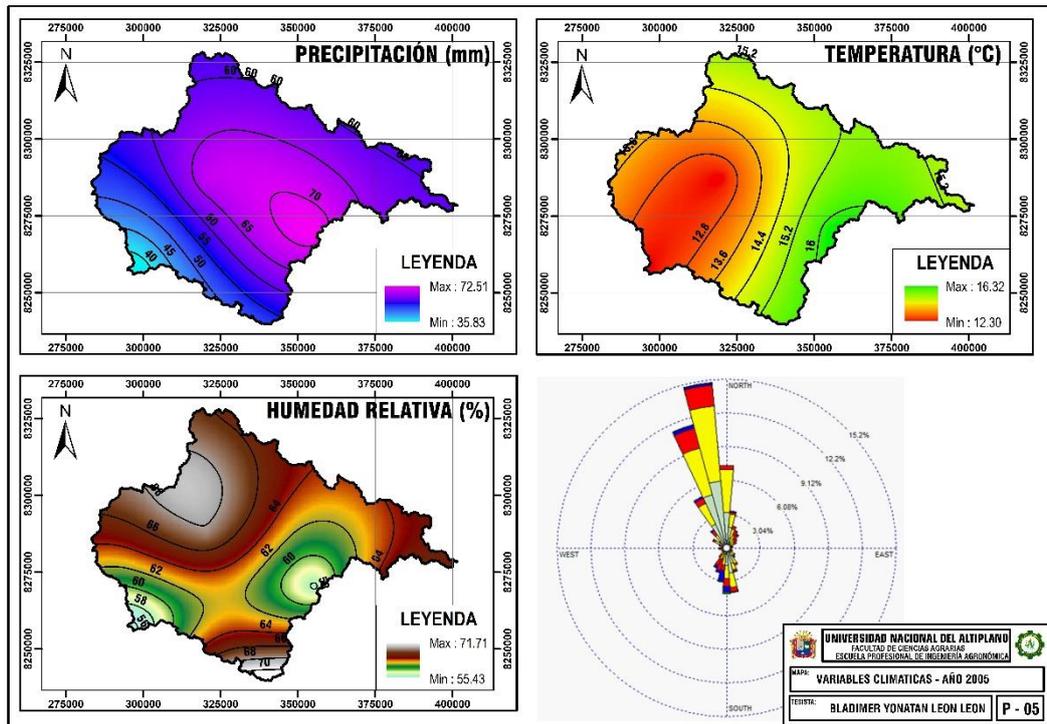
*Variables climáticas de la cuenca del río Coata al año 2000*



En la figura 10, se exhibe las variables climáticas de la cuenca del río Coata al año 2000, indicando que la precipitación fluctúa entre 45.04 mm a 77.33 mm, mientras que la temperatura fluctúa entre 12.30 °C a 16.32 °C, también la humedad relativa fluctúa entre 55.76 % a 73.28 %, con una velocidad del viento promedio de 2.74 m/s, con dirección predominante del Nor-oeste al Sur-este, respectivamente.

**Figura 11**

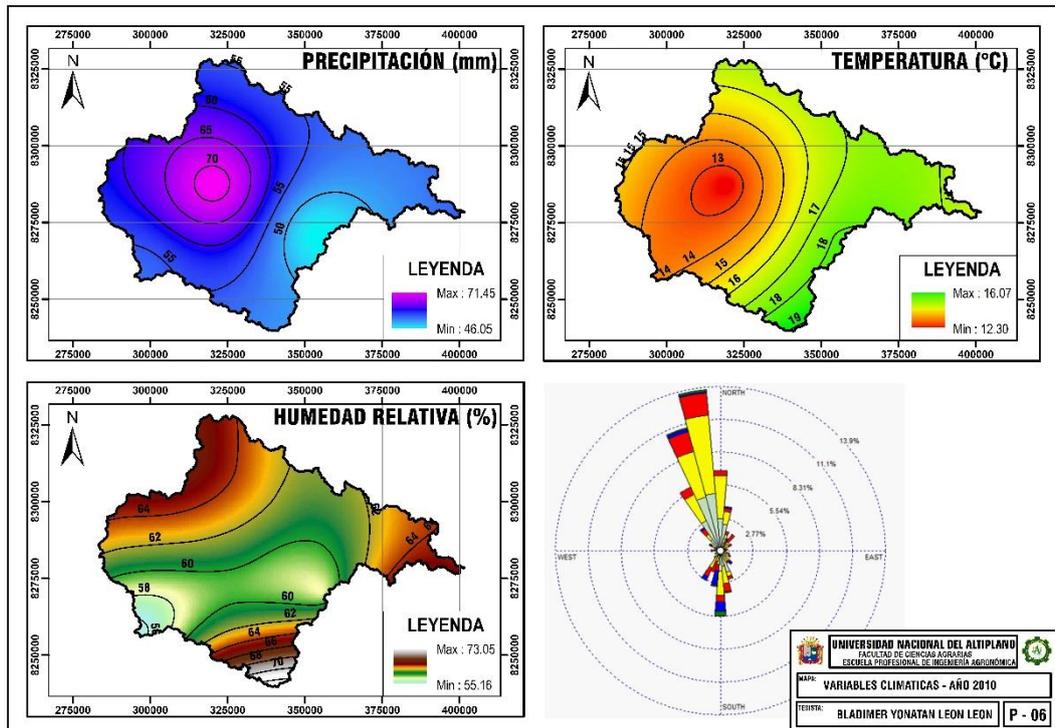
*Variables climáticas de la cuenca del río Coata al año 2005*



En la figura 11, se exhibe las variables climáticas de la cuenca del río Coata al año 1990, indicando que la precipitación fluctúa entre 35.83 mm a 72.51 mm, mientras que la temperatura fluctúa entre 12.30 °C a 16.32 °C, también la humedad relativa fluctúa entre 55.43 % a 71.71 %, con una velocidad del viento promedio de 2.22 m/s, con dirección predominante del Nor-oeste al Sur-este, respectivamente.

**Figura 12**

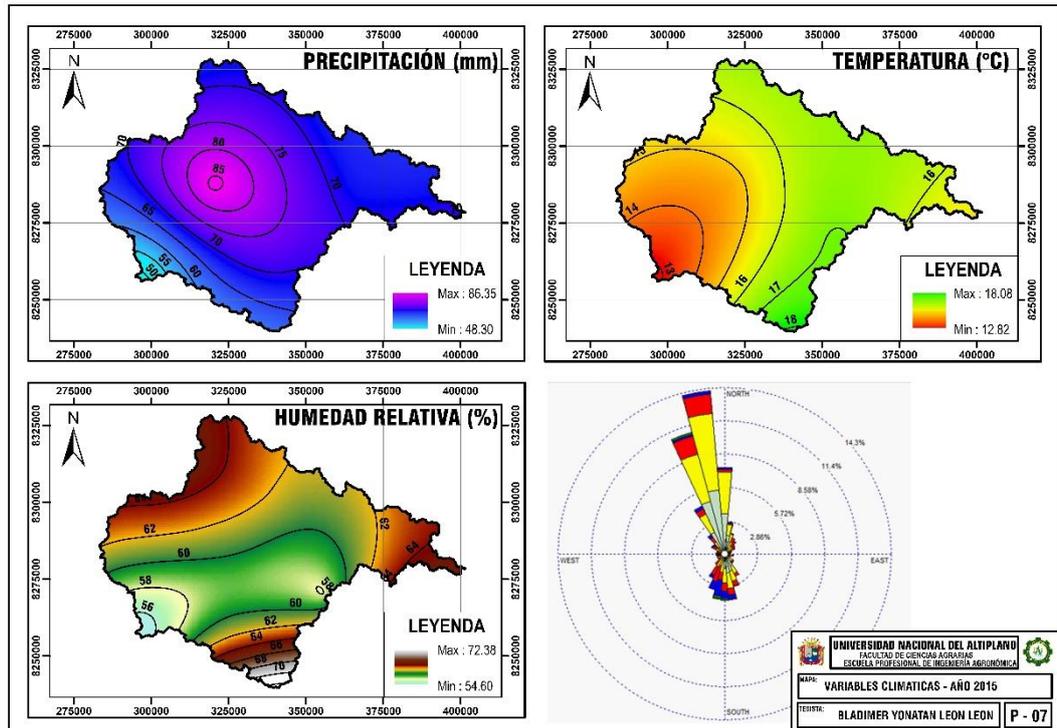
*Variables climáticas de la cuenca del río Coata al año 2010*



En la figura 12, se exhibe las variables climáticas de la cuenca del río Coata al año 2010, indicando que la precipitación fluctúa entre 46.05 mm a 71.45 mm, mientras que la temperatura fluctúa entre 12.30 °C a 16.70 °C, también la humedad relativa fluctúa entre 55.16 % a 73.05 %, con una velocidad del viento promedio de 2.24 m/s, con dirección predominante del Nor-oeste al Sur-este, respectivamente.

**Figura 13**

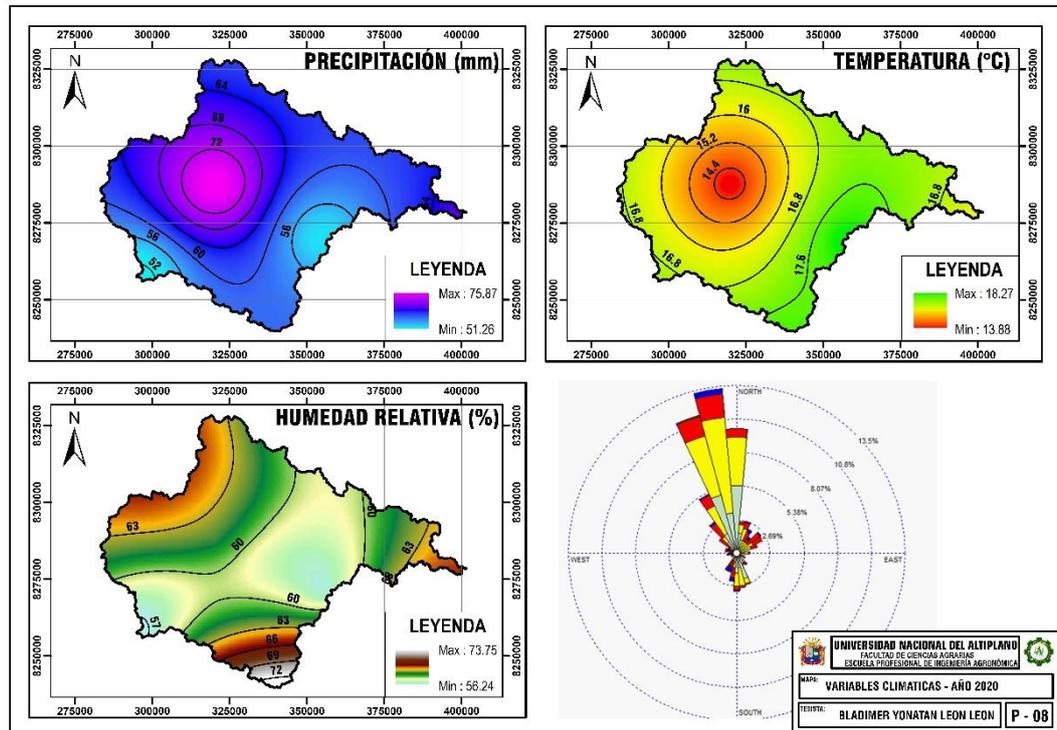
*Variables climáticas de la cuenca del río Coata al año 2015*



En la figura 13, se exhibe las variables climáticas de la cuenca del río Coata al año 2015, indicando que la precipitación fluctúa entre 48.30 mm a 86.35 mm, mientras que la temperatura fluctúa entre 12.82 °C a 18.08 °C, también la humedad relativa fluctúa entre 54.60 % a 72.38 %, con una velocidad del viento promedio de 2.76 m/s, con dirección predominante del Nor-oeste al Sur-este, respectivamente.

**Figura 14**

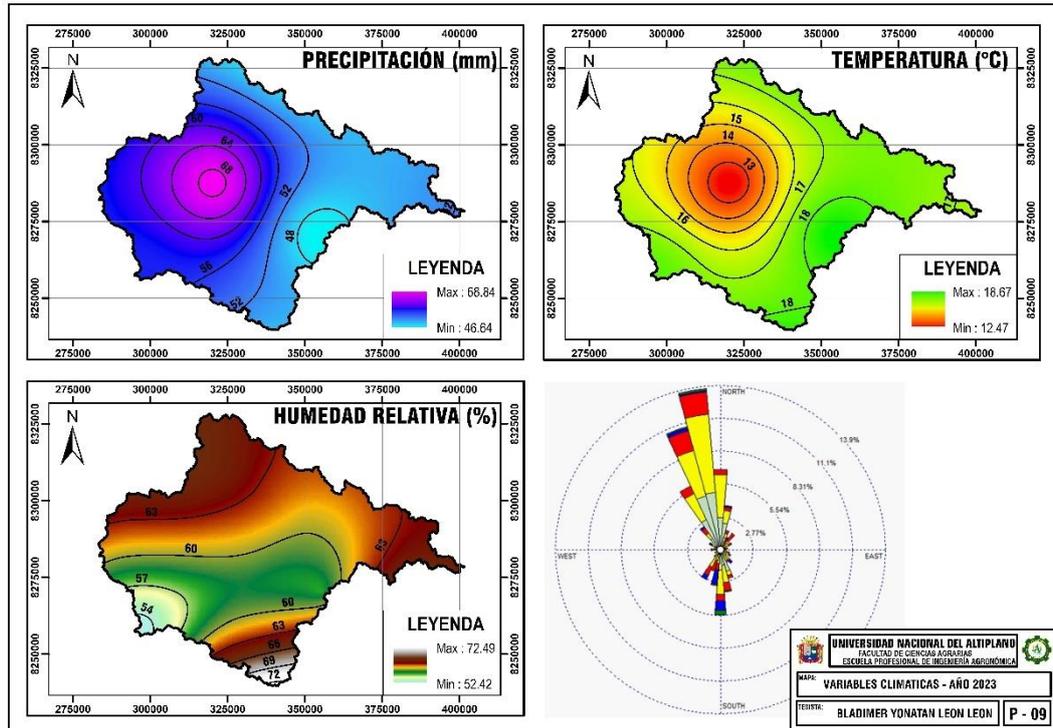
*Variables climáticas de la cuenca del río Coata al año 2020*



En la figura 14, se exhibe las variables climáticas de la cuenca del río Coata al año 2020, indicando que la precipitación fluctúa entre 51.26 mm a 75.87 mm, mientras que la temperatura fluctúa entre 13.88 °C a 18.27 °C, también la humedad relativa fluctúa entre 56.24 % a 73.75 %, con una velocidad del viento promedio de 3.47 m/s, con dirección predominante del Nor-oeste al Sur-este, respectivamente.

**Figura 15**

*Variables climáticas de la cuenca del río Coata al año 2023*



En la figura 15, se exhibe las variables climáticas de la cuenca del río Coata al año 2023, indicando que la precipitación fluctúa entre 46.64 mm a 68.84 mm, mientras que la temperatura fluctúa entre 12.47 °C a 18.67 °C, también la humedad relativa fluctúa entre 52.42 % a 72.49 %, con una velocidad del viento promedio de 2.75 m/s, con dirección predominante del Nor-oeste al Sur-este, respectivamente.

En la tabla 29, se aprecia el resumen de las variables climáticas de la cuenca del río Coata – periodo 1990 al 2023, indicando que presentan una variación de la precipitación entre 47.50 mm a 68.45 mm, además una variación de la temperatura entre 15.62 °C a 17.55 °C, también presenta una variación de la humedad relativa entre 61.89 % a 65.00 % con una velocidad del viento entre 2.22 m/s a 3.47 m/s, con dirección predominante de Nor-oeste al Sur-este.

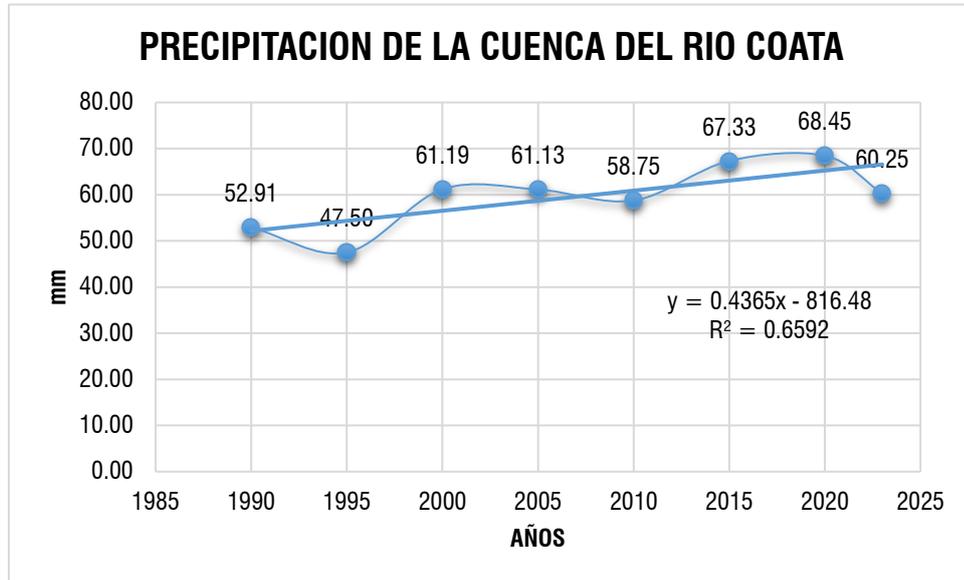
**Tabla 29**

*Variables climáticas de la cuenca del río Coata – periodo 1990 al 2023*

Año	Precipitación (mm)			Temperatura (°C)			Humedad relativa (%)			Velocidad (m/s) y dirección del viento	
	min.	max.	media	min.	max.	media	min.	max.	media	Velocidad	Dirección
1990	40.96	64.86	52.91	14.59	17.03	15.71	52.05	71.73	61.89	2.52	
1995	39.27	55.73	47.50	13.67	16.86	15.62	54.75	71.73	63.24	2.62	
2000	45.04	77.33	61.19	12.30	16.32	15.73	55.76	73.28	62.33	2.74	
2005	35.83	72.51	61.13	12.30	16.32	15.67	55.43	71.71	63.57	2.22	Nor-oeste
2010	46.05	71.45	58.75	12.30	16.70	15.79	55.16	73.05	64.11	2.24	al Sur-este
2015	48.30	86.35	67.33	12.82	18.08	15.77	54.60	72.38	63.49	2.76	
2020	51.56	75.87	68.45	13.88	18.27	15.70	56.24	73.75	65.00	3.47	
2023	46.04	68.84	60.25	13.70	14.29	15.82	52.42	72.49	63.46	2.75	

**Figura 16**

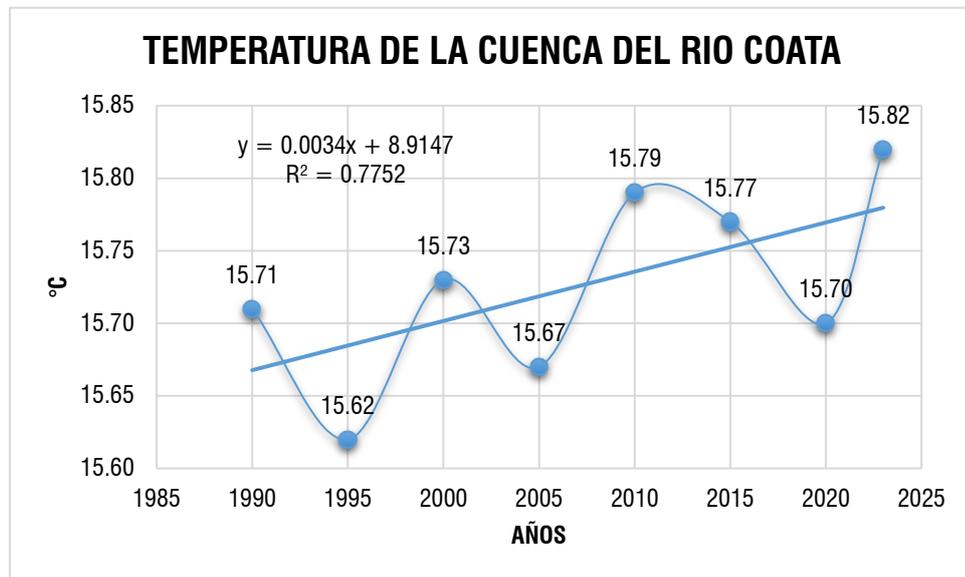
*Tendencia de la precipitación de la cuenca del río Coata – periodo 1990 al 2023*



En la figura 16, se exhibe la tendencia de la precipitación de la cuenca del río Coata – periodo 1990 al 2023, indicando que presenta una tendencia de incremento de la precipitación en la cuenca del río Coata para los periodos evaluados respectivamente.

**Figura 17**

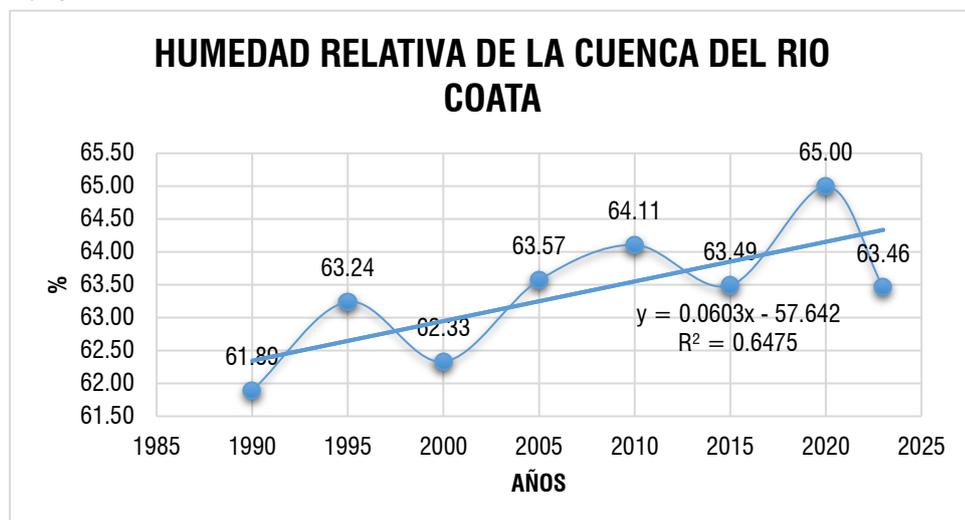
*Tendencia de la temperatura de la cuenca del río Coata - periodo 1990 al 2023*



En la figura 17, se exhibe la tendencia de la temperatura de la cuenca del río Coata – periodo 1990 al 2023, indicando que presenta una tendencia de incremento de la temperatura en la cuenca del río Coata para los periodos evaluados respectivamente.

**Figura 18**

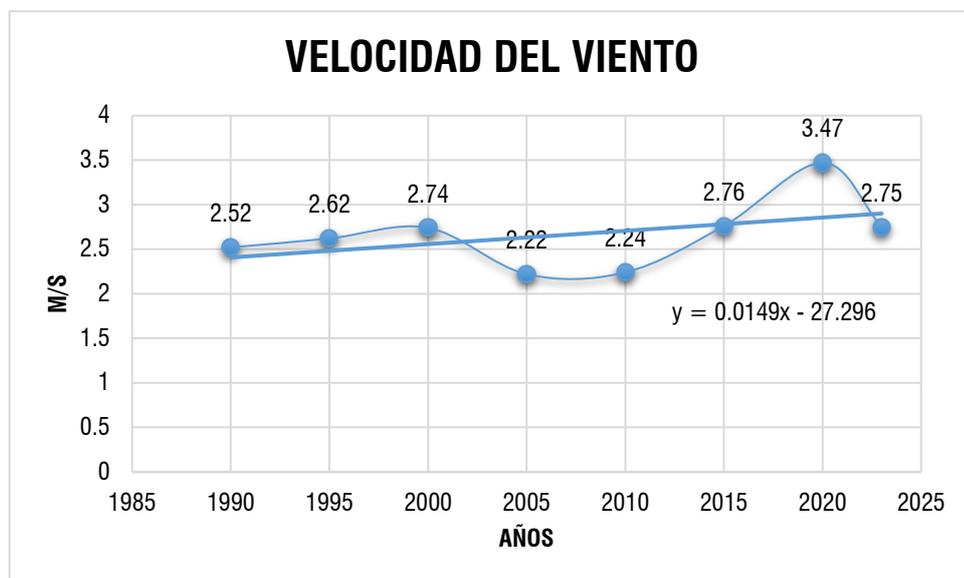
*Tendencia de la humedad relativa de la cuenca del río Coata – periodo 1990 al 2023*



En la figura 18, se exhibe la tendencia de la humedad relativa de la cuenca del río Coata – periodo 1990 al 2023, indicando que presenta una tendencia de incremento de la humedad relativa en la cuenca del río Coata para los periodos evaluados respectivamente.

### Figura 19

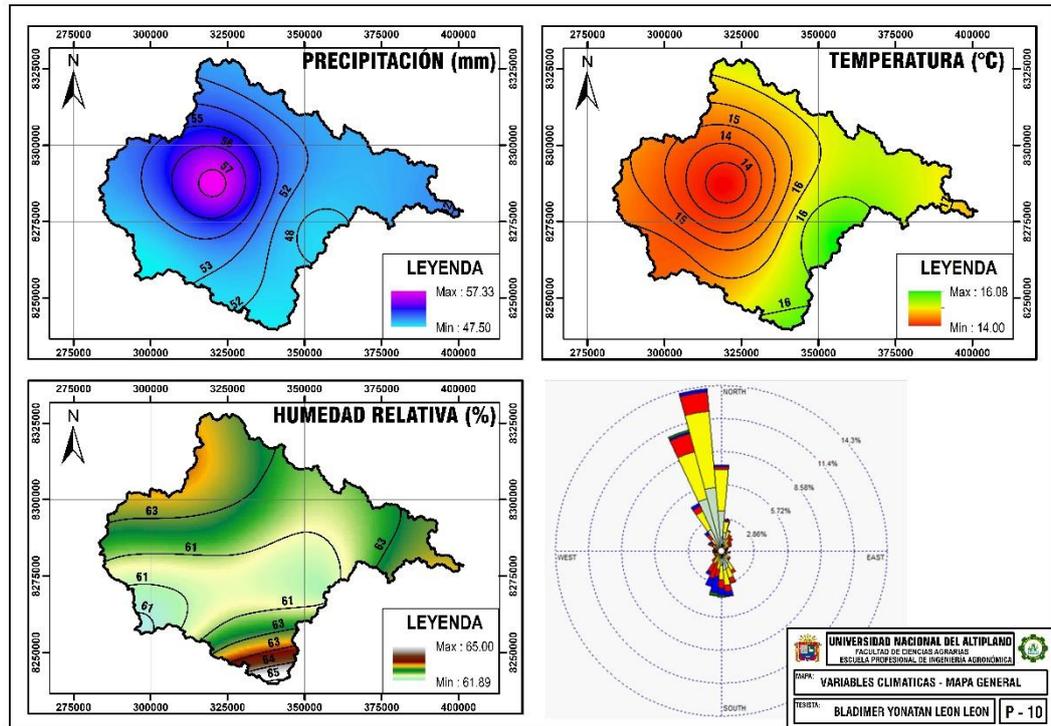
*Tendencia de la velocidad del viento de la cuenca del río Coata – periodo 1990 al 2023*



En la figura 19, se exhibe la tendencia de la velocidad del viento de la cuenca del río Coata – periodo 1990 al 2023, indicando que presenta una tendencia de incremento de la velocidad del viento en la cuenca del río Coata para los periodos evaluados respectivamente.

**Figura 20**

*Variables climáticas de la cuenca del río Coata (mapa general)*



En la figura 20, se exhibe las variables climáticas de la cuenca del río Coata (mapa general) de todos los periodos en estudio, indicando que la precipitación fluctúa entre 47.50 mm a 57.33 mm, mientras que la temperatura fluctúa entre 14.00 °C a 16.08 °C, también la humedad relativa fluctúa entre 61.89 % a 65.00 %, con una velocidad del viento promedio de 2.85 m/s, con dirección predominante del Nor-oeste al Sur-este, respectivamente.

Dichos resultados con respecto al estudio efectuado por Lozano (2022), exhiben características diferentes, debido a que los datos de precipitación tienen a disminuir y los datos de temperatura tienden a aumentar en la cuenca del río Guadalquivir, lo que provocara que a futuro la disponibilidad hídrica sea desfavorable, ante ello se debe tomar acciones de resiliencia antes estos eventos que podrían llegar a originar escasez hídrica,



además con respecto a Medina (2021), se asemejan, en donde las condiciones de sequía también pueden deberse a un aumento general de la temperatura, a un incremento de las precipitaciones durante la estación seca y a una reducción de las mismas durante la estación húmeda, todo ello principalmente por el cambio climático, de igual manera con respecto al estudio realizado por Valencia & Salazar (2023), demuestra la gran imprevisibilidad que pueden acarrear las circunstancias del cambio climático al mostrar cómo el descenso de las precipitaciones y el incremento de la temperatura provocan una disminución de los caudales y, posiblemente, de la disponibilidad de agua durante la estación seca para la cuenca magdalena, y finalmente lo resultante con respecto al estudio efectuado por Mamani (2023), presentan características similares al presente estudio, encontrando que en la microcuenca Huenque existe una tendencia de precipitación positiva del 0.48 % anual, al igual que la temperatura con una tendencia del 0.039 % anual, respectivamente, lo que genera abundante disponibilidad hídrica en la microcuenca, sin embargo esta no se almacena a largo plazo en ella, por ello se requiere medidas para mejorar la disponibilidad hídrica en la microcuenca.

## 4.2. DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA FUTURA AL AÑO 2050 BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CUENCA DEL RIO COATA.

### 4.2.1. Calibración y validación del modelo

En la tabla 30, se aprecia la calibración y validación del modelo, indicando que se hizo comparando los caudales mensuales observados y/o simulados por el modelo WEAP con las series de caudales observados, esto corresponde a un registro de 34 años entre 1990 y 2023, también se demuestra que existe un muy buen ajuste entre los datos simulados y observados ya que presentan valores superiores a 0.75 en el índice de Nash, el cual representa adecuadamente la estacionalidad de los datos de precipitación de la Cuenca del río del Coata, Además, puede afirmarse que los caudales producidos se asemejan y presentan en general las mismas características que la curva de caudal observada, mediante la evaluación gráfica visual, el resultado de la aproximación del error cuadrático es de 0,758395, es decir, 758,8%, que se sitúa en el intervalo no deseable de  $0,70 > RSR$ , la calibración adquirida con un rendimiento de "Muy bueno" indica que el valor obtenido mediante la técnica de Nash, que es 0,998562, es legítimo, ya que entra dentro del intervalo de  $0,75 < E \leq 1$ .

**Tabla 30**

*Calibración y validación del modelo*

Índice	Valor
Nash	0.998562
Pearson correlation coeff	0.8619
Kling-gupta Efficiency	0.466195
Bias Score	0.979
RRMSE	0.758395
Relative Volumen Bias	0.0123
Normalized Peak Error	0.145

Los resultados muestran una sobreestimación, con el enfoque de Sesgo normalizado arrojando un valor de 0.979, además, parece que el modelo WEAP podría predecir con precisión la disponibilidad de agua y ser utilizado para proyecciones en el futuro.

#### **4.2.2. Selección de modelos climáticos**

La información de los escenarios climáticos para la región de Puno fue tomada en consideración de la plataforma del MINAM (tercera comunicación) (2016), siendo escenarios regionalizados principalmente de un modelo global (CANESM2) y dos escenarios de emisión (un escenario intermedio: RCP 4.5, y un escenario pesimista: RCP 8.5) dando un total de  $1 \times 2 = 2$  escenarios posibles.

El modelo de precipitación HadGEM-ES para la zona de Puno y los datos observados de las estaciones SENAMHI proporcionaron los datos utilizados en el proyecto, cercanas al área en estudio, todas ellas ya se encuentran con datos confiables en base a las pruebas estadísticas efectuadas por la entidad.

#### **4.2.3. Escalamiento estadístico**

Una vez seleccionado el modelo climático global para la cuenca del río Coata, el siguiente paso fue realizar el downscaling estadístico, para la variable temperatura y precipitación el cual fue codificado en el lenguaje de programación R.

Una vez realizada el escalamiento estadístico, los parámetros estadísticos de sesgo mejoraron considerablemente tal como se aprecia en la tabla 31, dando una muy buena confiabilidad de los datos.

**Tabla 31**

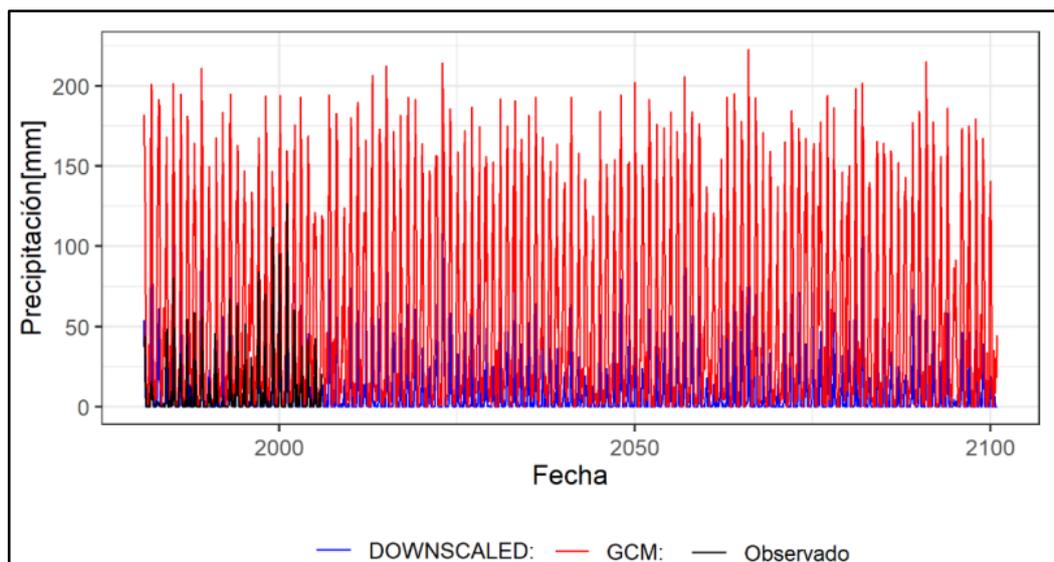
*Escalamiento estadístico*

GCM	Modelos originales				Modelos con escalamiento			
	R2	BIAS	R2	BIAS	R2	BIAS	R2	BIAS
CANESM2	0.901	1.753	0.955	-0.202	0.951	-0.002	0.999	0.017

En la figura 21 y 22, se muestra unos ejemplos de los métodos de escalamiento estadístico para la variable precipitación y temperatura del modelo climático global CANESM2 respectivamente, en donde el color negro es la gráfica de la data observada, la roja es la gráfica de la salida del GCM y la gráfica de color azul es el resultado de aplicar el escalamiento estadístico, una vez realizada este proceso estas variables de precipitación y temperatura ingresan al modelo hidrológico para la obtención de los caudales o la disponibilidad hídrica.

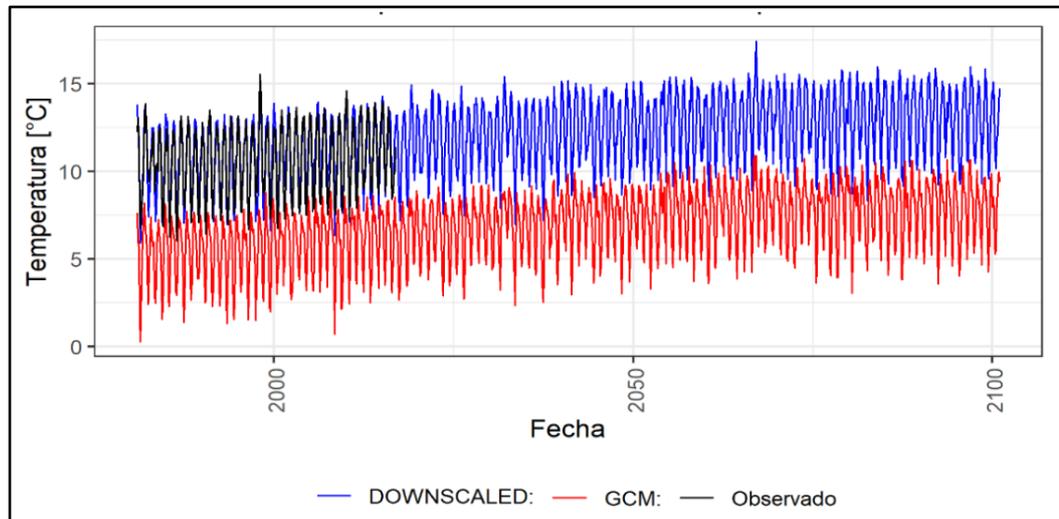
**Figura 21**

*Escalamiento lineal (LS) para la precipitación del modelo climático global seleccionado*



## Figura 22

*Escalamiento lineal (LS) para la temperatura del modelo climático global seleccionado*



### 4.2.4. Análisis de la incertidumbre

De acuerdo a lo resultante de la medición de sesgo entre las variables observadas del SENAMHI y simuladas por el modelo climático global (GCM), y con la ayuda del coeficiente de correlación  $R^2$  y Bias, existe mayor incertidumbre en la variable precipitación que la temperatura, sin embargo, con la técnica de downscaling se logró mejorar la calidad de los resultados del GCM, los cuales ya tienen una mejor representación de la realidad, por lo cual se afirma que la predicción de los GCMs en la variable de precipitación y temperatura es muy confiable.

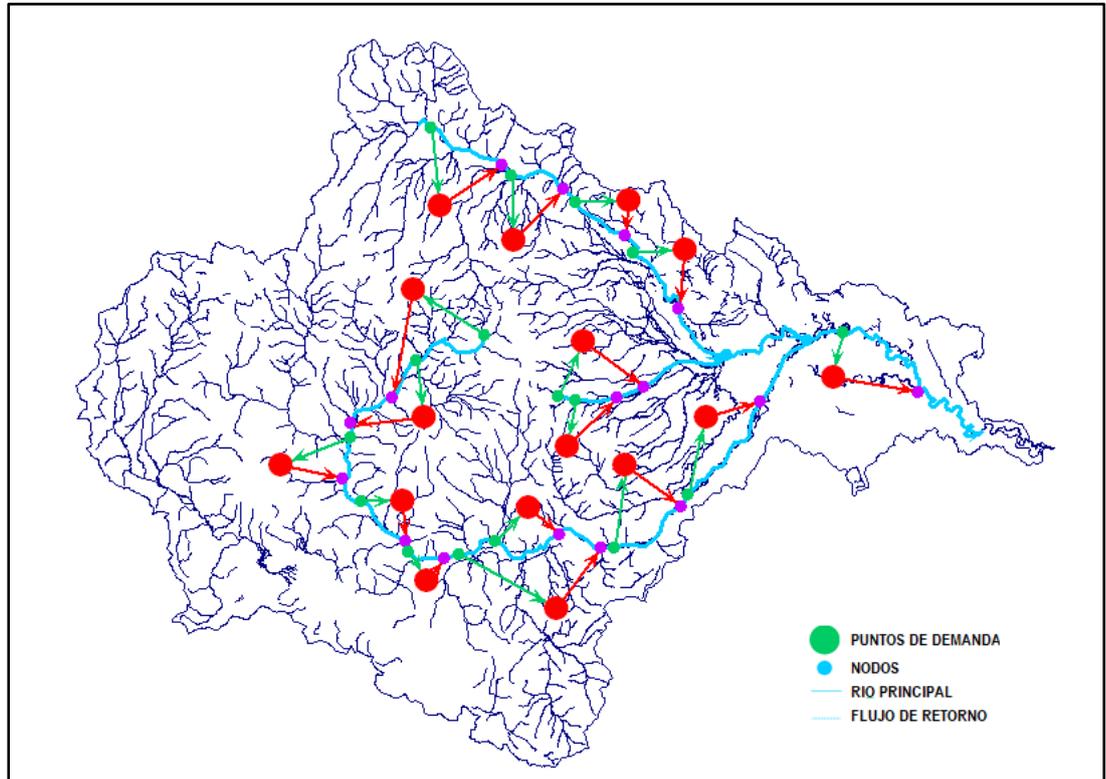
### 4.2.5. Elaboración del catchment

La modelación de la cuenca del río Coata mediante el método de humedad de suelo se realizó a nivel mensual para el periodo de registro (1994-2023),

definiéndose 16 catchments o sitios de demanda (zonas urbanas, sistemas de riego), apreciadas en la figura 23.

### Figura 23

#### *Modelación WEAP de la cuenca del rio Coata*

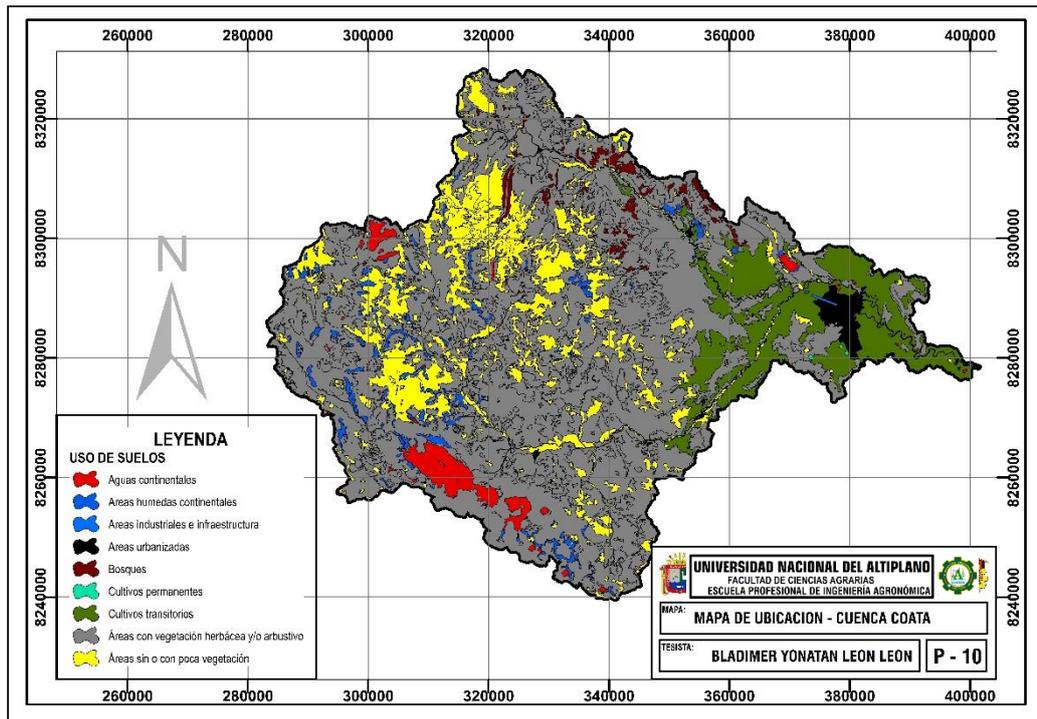


*Nota.* Obtenido de la modelación WEAP de la cuenca del rio Coata

#### 4.2.6. Datos de uso de suelo

### Figura 24

### Uso de suelos de la cuenca del rio Coata



Nota. Obtenido del sitio web GEO GPS PERU

En la figura 24, se exhibe el uso de suelo de la cuenca del rio Coata, manifestando que cubre una extensión territorial de 4908.43km<sup>2</sup>, conformado por diferentes usos de suelo, siendo en este caso de Aguas continentales presenta una extensión de territorio de 133.11km<sup>2</sup>, equiparable al 2.71 % del área, Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo presenta una extensión territorial de 3273.41 km<sup>2</sup>, equivalente al 66.69 % del área, Áreas húmedas continentales presenta una extensión territorial de 116.48 km<sup>2</sup>, equivalente al 2.37 % del área, Areas industriales e infraestructura, presenta una extensión territorial de 1.57 km<sup>2</sup>, equivalente al 0.03 % del área, Áreas sin o con poca vegetación presenta una extensión territorial de 768.06 km<sup>2</sup>, equivalente al 15.65 % del área, Areas urbanizadas presenta una extensión territorial de 53.59 km<sup>2</sup>, equivalente al 1.09 % del área, Bosques presenta una extensión territorial de 57.30 km<sup>2</sup>, equivalente al 1.17 % del área, Cultivos permanentes presenta una extensión territorial de 1.41

km<sup>2</sup>, equivalente al 0.03 % del área y Cultivos transitorios presenta una extensión territorial de 503.50 km<sup>2</sup>, equivalente al 10.26 % del área.

En la tabla 32, se exhibe el rango de parámetros de cobertura de uso de suelos tomados en consideración para la modelación WEAP, indicando que se ha empleado los coeficientes de uso de suelo (Kc), capacidad de agua del suelo (SW), capacidad de agua profunda (DW) y factor de resistencia de la escorrentía (RRF), respectivamente para su modelación.

**Tabla 32**

*Rango de parámetros de cobertura de uso de suelos.*

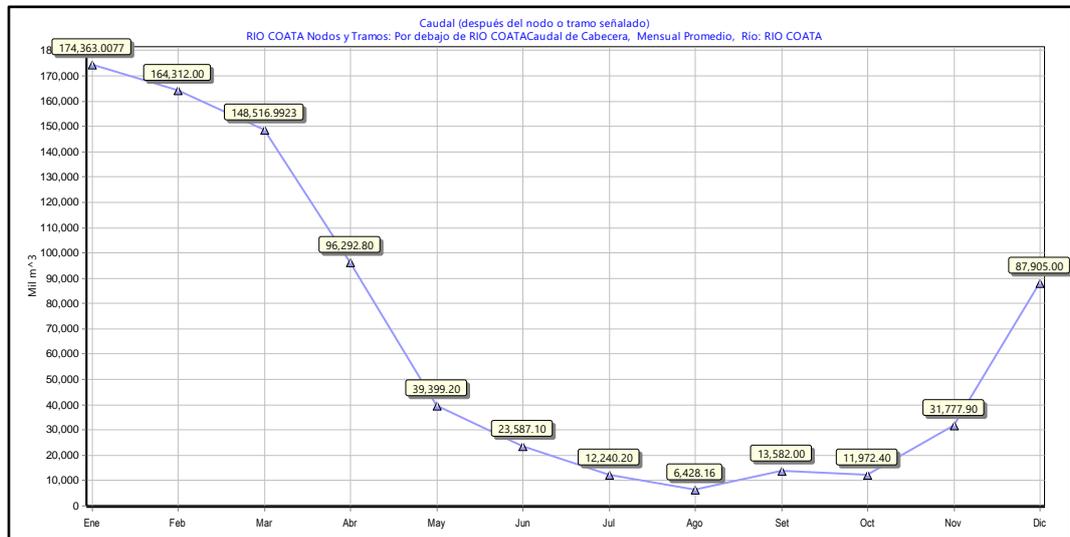
<b>Tipo de Cobertura</b>	<b>Kc</b>	<b>SWC</b>	<b>RRF</b>	<b>DW</b>
Agri	0.5 – 1	100 – 200	5 – 10	0 – 1
Ap	0.1 – 1.25	70 – 300	0.1 – 1.5	0 – 1
Gl	0.1 – 1.25	50 – 100	0.5 – 2	0 – 1
Ma	0.7 – 1	100 – 1500	0.5 – 1	0 – 1
PF	0.5 – 1	100 – 2000	5 – 10	0 – 1
Pj	0.9 – 1	100 – 600	0.1 – 1.5	0 – 1
Lag	1 – 1.25	50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

*Nota.* Obtenido de (Rosario, 2020)

#### 4.2.7. Determinación de la disponibilidad hídrica al año 2023

Figura 25

*Disponibilidad hídrica al año 2023*



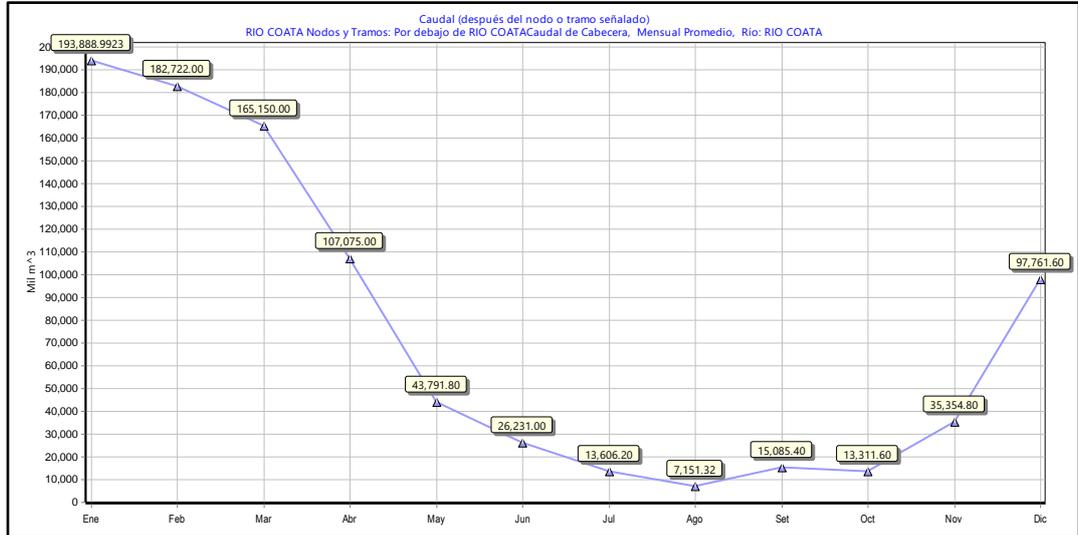
*Nota.* Obtenido de la modelación WEAP de la cuenca del río Coata

En la figura 25, se exhibe la disponibilidad hídrica al año 2023, indicando que la disponibilidad hídrica por mes es de: Enero con 174363.0077 mil metros cúbicos-MMC, Febrero con 164312.00 MMC, Marzo con 148516.99 MMC, Abril con 96292.80 MMC, Mayo con 39399.20 MMC, Junio con 23587.10 MMC, Julio con 12240.20 MMC, Agosto con 6428.16 MMC, Septiembre con 13582.00 MMC, Octubre con 11972.40 MMC, Noviembre con 31777.90 MMC, y diciembre con 87905.00 MMC, presentando una disponibilidad hídrica global al año 2023 de 810376.76 MMC respectivamente.

#### 4.2.8. Determinación de la disponibilidad hídrica al año 2050

Figura 26

*Disponibilidad hídrica al año 2050 bajo un escenario climático RCP 4.5*

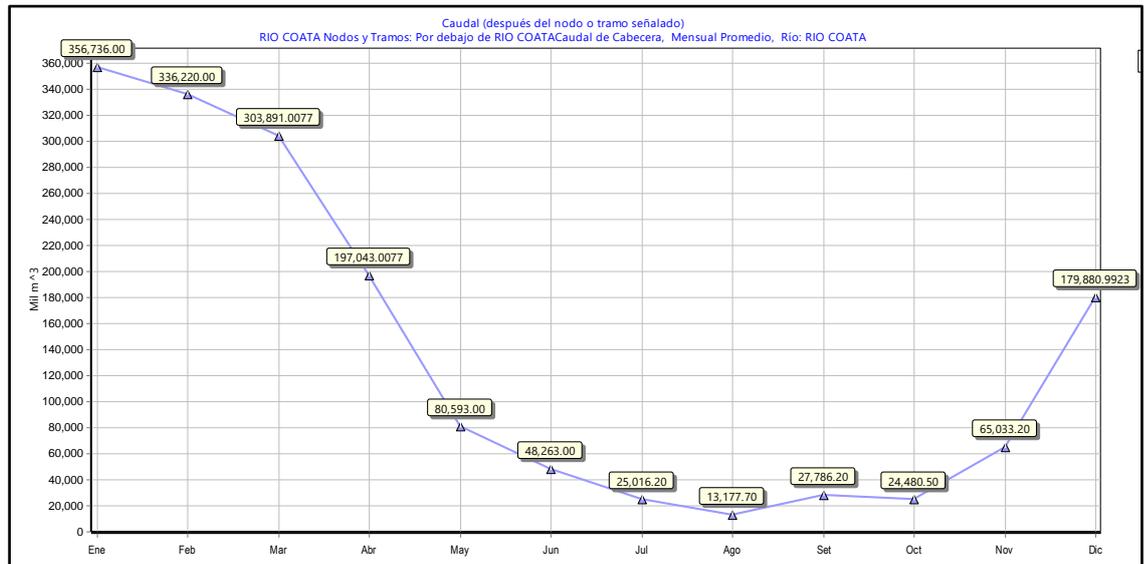


*Nota.* Obtenido de la modelación WEAP de la cuenca del río Coata

En la figura 26, se exhibe la disponibilidad hídrica al año 2050 (RCP 4.5), indicando que la disponibilidad hídrica por mes es de: Enero con 193888.99mil metros cúbicos-MMC, Febrero con 182722.00 MMC, Marzo con 165150.00 MMC, Abril con 107075.00 MMC, Mayo con 43791.80 MMC, Junio con 26231.00 MMC, Julio con 13606.20 MMC, Agosto con 7151.32 MMC, Septiembre con 15065.40 MMC, Octubre con 13311.60 MMC, Noviembre con 35354.80 MMC, y diciembre con 97761.60 MMC, presentando una disponibilidad hídrica global al año 2050 de 901109.71 MMC respectivamente.

**Figura 27**

*Disponibilidad hídrica al año 2050 bajo un escenario climático RCP 8.5*



*Nota.* Obtenido de la modelación WEAP de la cuenca del río Coata

En la figura 27, se exhibe la disponibilidad hídrica al año 2050 (RCP 8.5), indicando que la disponibilidad hídrica por mes es de: Enero con 356736.00 mil metros cúbicos-MMC, Febrero con 336220.00 MMC, Marzo con 303891.01 MMC, Abril con 197043.01 MMC, Mayo con 80593.00 MMC, Junio con 48263.00 MMC, Julio con 25016.20 MMC, Agosto con 13177.70 MMC, Septiembre con 27786.20 MMC, Octubre con 24480.50 MMC, Noviembre con 65033.20 MMC, y diciembre con 179880.99 MMC, presentando una disponibilidad hídrica global al año 2050 de 1658120.81 MMC respectivamente.

Dichos resultados comparados con Espinoza (2023), presentan cierta similitud, en donde indica que habrá cambios significativos en la disponibilidad hídrica de la subcuenca del río Llanganuco, consiguiendo un modesto aumento en el escenario RPC4.5 poco después y un incremento más significativo en el escenario RCP 8.5 más adelante, mientras que con respecto a Rodas (2022), son diferentes en donde indica una disminución en la disponibilidad hídrica, por lo tanto, hay una disminución de hasta el



38,8 % (RCP4.5) y un aumento de hasta el 41,3 % (RCP8.5) en los meses de febrero a agosto, y un incremento de hasta el 91,6 % (RCP4.5) y el 79,3 % (RCP8.5) en los meses de septiembre a enero, el caudal medio anual, sin embargo, disminuye, en concreto, disminuye un 5,4 % (RCP4,5) y un 3,7 % (RCP8,5) en el futuro próximo (2020-2040), un 6,4 % (RCP4,5) y un 8,8 % (RCP8,5) en el futuro medio (2041-2070), y un 6,7 % (RCP4,5) y un 2,0 % (RCP8,5) en el futuro lejano (2071-2100), Así mismo Huaman (2022), indica que el cambio climático incide en la disponibilidad del recurso hídrico de em cuencas con la reducción u aumento de los caudales para todos los escenarios climáticos, además con respecto a Lupaca (2024), se asemejan donde encontró que la disponibilidad hídrica bajo las condiciones del cambio climático al año 2050 será de: 730523.4294MMC para RCP 4.5 y 1208779.775 MMC para RCP 8.5,y para el año 2100 será de: 861912.5354 MMC para RCP 4.5 y 2194198.07 MMC para RCP 8.5,estableciendo que la disponibilidad hídrica bajo las condiciones del cambio climático “RCP 4.5 y 8.5” será superior al año 2022 en la microcuenca del rio Zapatilla tanto para el año 2050 y el año 2100,al igual que el estudio realizado por Mamani (2023), encontró que la disponibilidad de agua bajo condiciones de cambio climático es "RCP4.5" de 969379.42 MilMC y "RCP8.5" de 1285158.73 MilMC presentando mayor disponibilidad hídrica frente a los escenarios RCP4.5 y 8.5, sin embargo este recurso no se almacena en la cuenca, lo que podría generar sequia a largo plazo, e inundaciones en las partes bajas de la cuenca si no se tiene una gestión eficaz del recurso hídrico.

### **4.3. PROPONER MEDIDAS PARA LA MITIGACIÓN DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CUENCA DEL RIO COATA.**

Según los resultados se ha encontrado que la disponibilidad hídrica ira en aumento frente a los escenarios climáticos RCP 4.5 Y RCP 8.5, en la cuenca del rio Coata, sin embargo esta disponibilidad hídrica no está permanentemente en la cuenca, lo cual tiende a discurrir a las partes bajas de la cuenca, conllevando a que se inunden zonas con topografías planas cuando exista mayores intensidades de precipitación, ante ello se propondrá medidas para la preservación de la disponibilidad hídrica en la cuenca, para así evitar que se pierda el recurso hídrico por la escorrentía; ante ello según Mamani (2023), describe algunas medidas de mitigación de los efectos del cambio climático en cuencas hidrográficas, en este caso se ha escogido tomar en consideración las zanjas de infiltración, Qochas y sistemas agroforestales, para mitigar los efectos del cambio climático en la cuenca del rio Coata.

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

##### **a) Pendiente de cada zanja**

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

##### **b) Distanciamiento entre zanjas**

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



### c) Ancho de base y profundidad de la zanja de infiltración

Según las recomendaciones de Mamani (2023), para el tipo de suelo del altiplano puneño, establece que el ancho de base será de 0.5 m con una profundidad de 0.40 m para la zanja de infiltración, por ello se asume dichos datos para el presente estudio.

### d) Cálculo del distanciamiento entre zanjas

$$d = b + e$$

**Donde:**

*b*: base (0.50m)

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

**Reemplazando:**

$$d = 0.50 + 2.00$$

$$d = 2.50m$$

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

### e) Cálculo de la superficie de captación

$$S = l * d$$

**Donde:**

*l*: Largo (5.00 m según MINAGRI)

*d*: Distanciamiento

**Reemplazando:**

$$S = 5.00 * 2.50$$

$$S = 12.50 m^2$$



La superficie de captación de las aguas de lluvia estará dada en un área aproximada de  $12.50\text{m}^2$  para cada zanja de infiltración propuesta.

**f) Coeficiente de escorrentía**

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

**g) Determinación del volumen de aportación a la zona de impluvio**

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

**Donde:**

**P:** Precipitación (190 mm de precipitación máxima en un mes según la modelación en el área en estudio o 0.190)

**S:** Superficie de captación

**e:** Coeficiente de escorrentía

**Reemplazando:**

$$V_{ai} = 0.190 * 12.50 * 0.5$$

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

El volumen de aportación a la zona de impluvio es de  $1.15\text{m}^2$  para la cuenca del río Coata

**h) Determinación del volumen de captura – zona de zanjas ( $\text{m}^3$ )**

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

**Donde:**

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



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

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

**Reemplazando:**

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

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

El volumen de captura de agua estará dado en un volumen de  $1m^3$  para cada zanja de infiltración.

**i) Determinación de la infiltración de la zanja ( $m^2/hr$ )**

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

**Donde:**

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

***v***: velocidad de infiltración de la zanja (0.08m/h según datos de campo - **Anexo 6**)

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

**Reemplazando:**

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

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

La infiltración de la zanja estará dada a un tiempo de  $0.2m^3/hora$  para la cuenca del río Coata

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

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

**Verificando:**

$$1.19 \leq 1.00 + 0.20$$

$$\mathbf{1.19 \leq 1.20}$$



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

**k) Distanciamiento corregido entre zanjas**

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

**Corrección:**

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

$$d = 13m$$

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

**4.3.2. Qochas**

La propuesta de la qocha estará situada en el sector Kellua, ubicado en las coordenadas UTM de 302349.612E y 8289171.148S, respectivamente, además estará realizada con diques de tierra, con protección de Champa, (**anexo 7 al anexo 15**), presentando las siguientes dimensiones

- **Dimensiones del dique propuesto**

En la tabla 33, se aprecia las dimensiones del dique propuesto en el sector Kellua de la cuenca del río Coata, indicando que presenta una longitud de 152.00m, con una altura de 1.89m, con un ancho de 2.50m, respectivamente

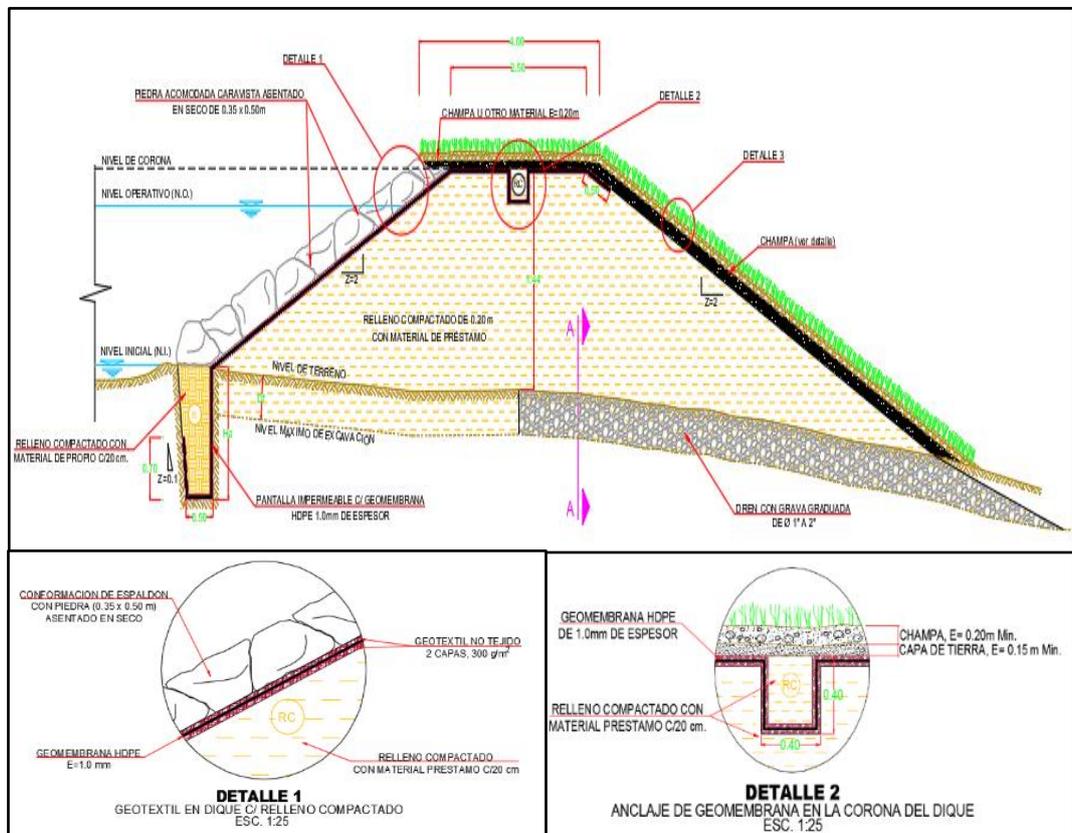
**Tabla 33**

*Dimensiones del dique propuesto*

N°	Qocha	Material	Dique		
			Longitud (m)	Altura (m)	Ancho Corona (m)
1	Kellua	Tierra	152.00	1.89	2.50

**Figura 28**

*Detalles del dique de tierra para la qocha propuesta*



En la figura 28, se exhibe los detalles del dique de tierra para la qocha propuesta, indicando que la geomembrana se cubrirá a ambos lados con una capa de geotextil no tejido de 300 gr/m<sup>2</sup>, los taludes aguas abajo y arriba serán de 2:1 (H:V), acabando en una corona (diques de tierra) de 2,50 m de ancho, que alcanzará una dimensión de 4,04 m cuando se combine con el revestimiento de

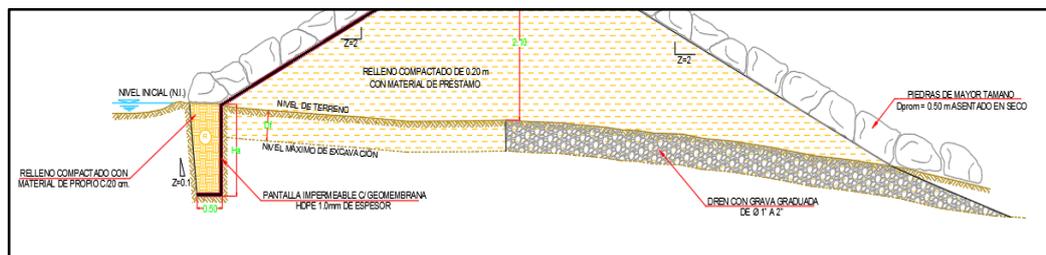
piedra y geomembrana, el talud aguas arriba se protegerá con geomembrana de HDPE de 1,0 mm, se utilizará **champa** para cubrir la corona, y de 12" a 20" de escollera para proteger los taludes aguas arriba y aguas abajo.

- **Cimentación del dique**

La finalidad de lograr una buena cimentación se recomienda realizar el despalme del material orgánico en una profundidad de 0.50 m. como mínimo, por ello la cimentación propuesta estará dado a una profundidad base de 0.80 m, como máximo y 0.60 m como mínimo, o hasta alcanzar una capa dura, la cual representa el apoyo estable del cuerpo del dique, tal como se aprecia en la figura 29.

**Figura 29**

*Detalles de la cimentación del dique de tierra*



- **Filtro del dique**

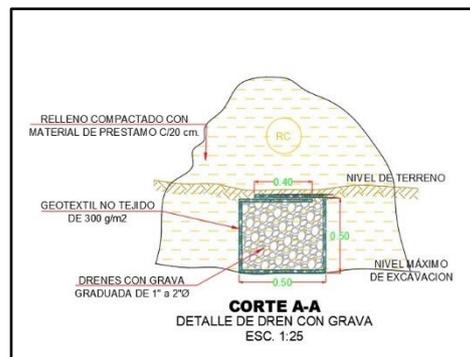
Para eliminar completamente la amenaza de fallo por sifonamiento de los taludes aguas abajo, debe construirse una zanja filtrante de un material elegido para tener una permeabilidad superior a la del cuerpo de la presa y unos poros lo suficientemente pequeños para prevenir el paso de partículas de material protegido, esto consentirá que el agua fluya mediante el cuerpo de la presa y que el subsuelo drene libremente mediante el filtro y hacia el sistema de evacuación de aguas abajo, evitando cualquier fallo aguas abajo y permitiendo que la estructura funcione según lo previsto.

La grava granulada utilizada en el filtro debe tener un diámetro de entre 1 y 2 pulgadas, y la cubierta de la zanja de drenaje debe cubrirse con una manta geotextil no tejida de 300 gr/m<sup>2</sup>, esto garantiza que los materiales de la cimentación y el terraplén no puedan atravesar y cubrir el filtro.

El canal del filtro medirá 0,50 por 0,50 metros y se cubrirá con un geotextil no tejido de 300 gr/m<sup>2</sup> con un solape de 0,40 metros.

**Figura 30**

*Detalles del filtro del dique de tierra*

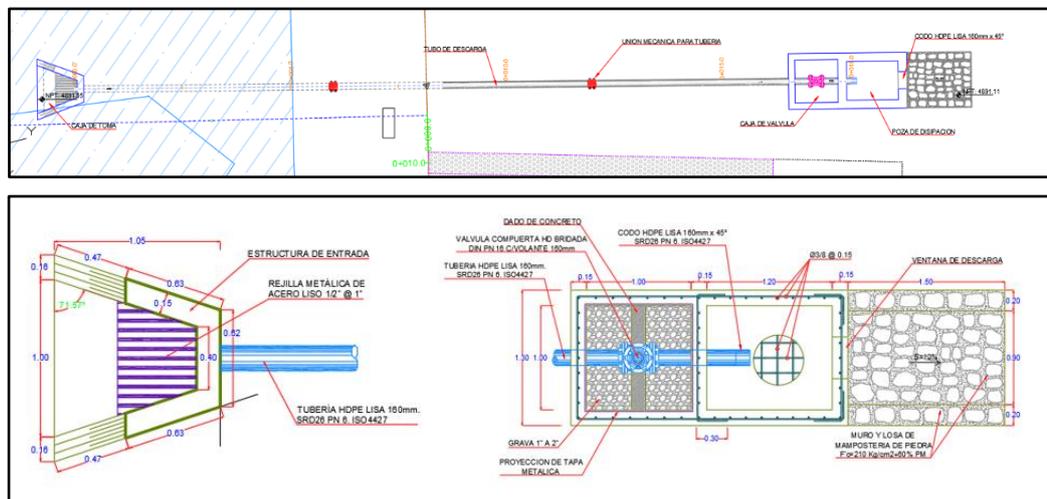


- **Estructura de Toma y Descarga**

En la figura 31, se aprecia los detalles de unión de tubería de descarga con la geomembrana, el sistema de regulación y control se compone de una estructura de toma con una tubería de PE de 160 mm que se fija en un troquel de anclaje básico de hormigón y permite un caudal mínimo de  $0,027 \text{ m}^3/\text{s}$ , la longitud de la tubería puede variar de 13 a 24 metros.

**Figura 31**

*Detalles de unión de tubería de descarga con la geomembrana*

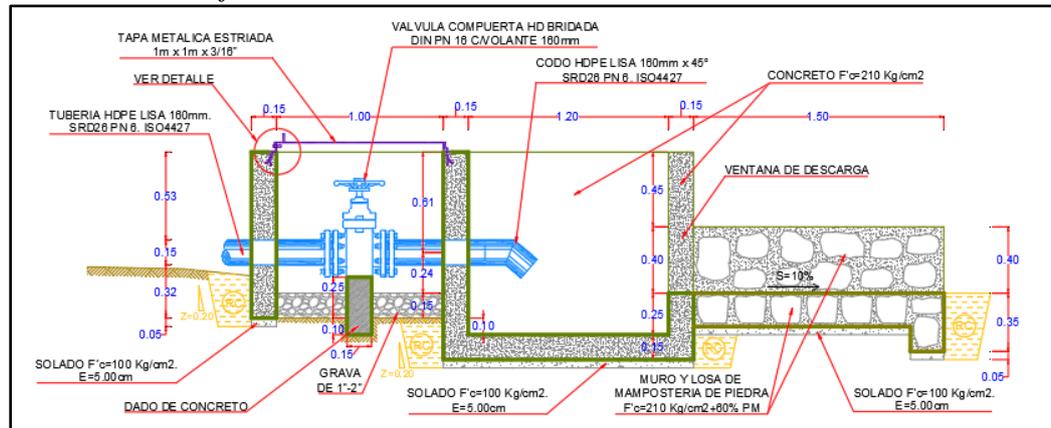


- **Válvula de control**

La válvula de control, formada por una válvula de compuerta HD, controla la descarga del agua, bridada D/N PN 16 con un volante de 160 mm, está resguardada por una caja de seguridad de hormigón armado de 1,30 x 1,30 m con una tapa metálica de 1" x 1" x 3/16" ranurada en la parte superior, las cajas y válvulas de los 07 ejes tienen las mismas características, según lo especificado en la figura 32.

**Figura 32**

*Detalles de la caja de válvula*



• **Aliviadero y Vertedero de Demasías**

Se ha diseñado un aliviadero aguas arriba sobre un terreno natural en la margen izquierda o derecha de la coronación de la presa (según el caso), con el fin de evacuar un caudal máximo para las Qochas.

La estructura se construirá con piedra fraguada en hormigón  $F_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ,  $e = 0,20 \text{ m}$ , que conducirá las aguas de máxima crecida hasta las balsas de disipación de energía, en caso necesario, para llevarlas finalmente al cauce del arroyo.

En la figura 34, se exhibe las dimensiones del aliviadero del dique propuesto, indicando que presentara un largo de 4.00 m, un ancho de 8.00 m con una altura de 8.00 m, respectivamente

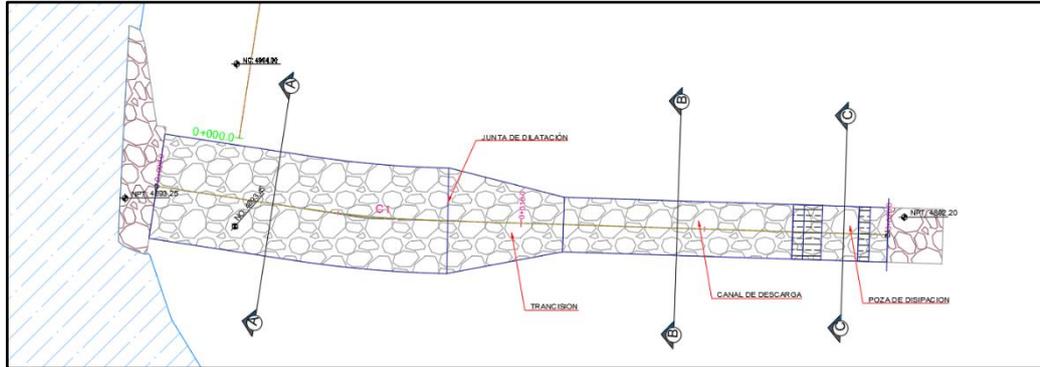
**Tabla 34**

*Dimensiones de aliviadero del dique propuesto*

N°	Qocha	Margen	Dique		
			Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
1	Kellua	Derecho	4.00	8.00	0.50

**Figura 33**

*Detalles del aliviadero del dique propuesto*



- **Estructura de Transición**

Las estructuras conocidas como transiciones conectan piezas de infraestructura con secciones transversales diferentes en cuanto a tamaño o forma, por ejemplo, un tramo de sección rectangular con otro de sección trapezoidal, o un segmento de anchura  $b_1$  con otro de anchura  $b_2$  de sección rectangular.

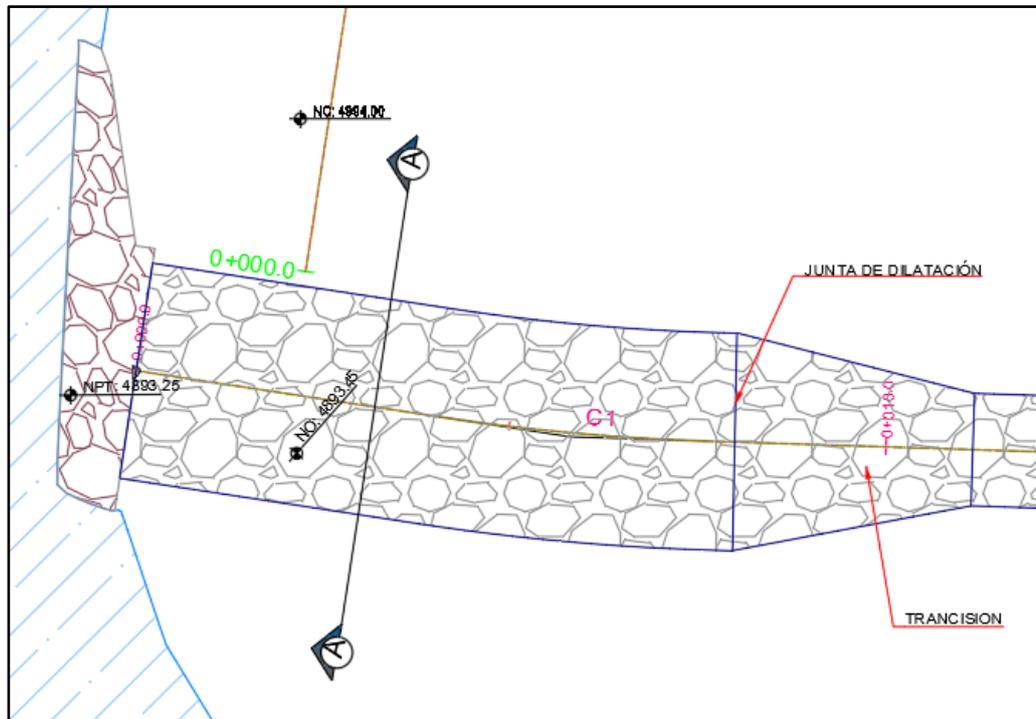
En nuestra situación, los vertederos son rectangulares y tienen transiciones de sección trapezoidal, aunque estas últimas tienen una sección significativamente mayor, esta construcción impedirá que se constituyan olas en el cambio de sección.

A diferencia de las transiciones situadas en terrenos supercríticos, donde las pérdidas son elevadas y no pueden cuantificarse con precisión, las transiciones situadas en terrenos subcríticos tienen pérdidas hidráulicas pequeñas, según el libro de Vente Chow *Hydraulics of Canals*, en consecuencia, se aconseja utilizar un modelo hidráulico para calcular los parámetros de estas transiciones.

Para la construcción se utilizará piedra colocada en hormigón ( $F_c = 210$  kg/cm<sup>2</sup>,  $e = 0,20$  m).

**Figura 34**

*Detalles de transición del dique propuesto*



- **Estructura del canal de descarga y poza disipadora**

Al término de las transiciones, inicia un cambio de dirección y pendiente mayor, con la finalidad de incrementar la velocidad y disminuir el tirante hasta aproximar al cauce natural, para ello se contempla la construcción de pozas disipadoras al final para amortiguar el caudal de excedencia.

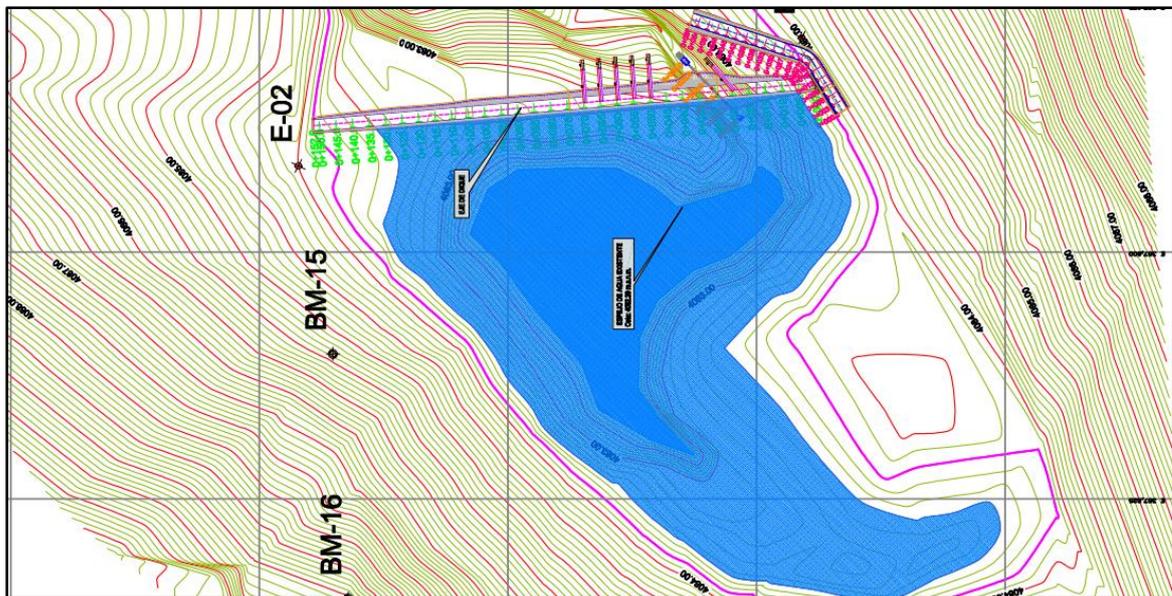
**Tabla 35**

*Dimensiones del canal de descarga y poza disipadora*

Canal de descarga			Poza disipadora		
Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
38.70	4.00	0.60	9.50	4.00	1.35

**Figura 35**

*Qocha propuesta*



#### 4.3.3. Sistemas agroforestales

##### a) Selección de las especies

Se plantea sistemas agroforestales en las zonas altas de cuenca con especies nativas como es la Queñua, Colle, y tola, endémicas del altiplano puneño, ya que prosperan en dichas condiciones climáticas, las cuales ayudaran a la restauración de suelos dañados, mejoraran la infiltración del suelo, mejoraran la disponibilidad hídrica y disminuirán significativamente la escorrentía superficial.

##### b) Plantación

Se realizarán primeramente las actividades necesarias para preparar el terreno para la plantación, como la limpieza, la remoción del suelo y la nivelación, consecutivamente para cada especie se realizará la excavación de hoyos, y colocando la especie forestal, y realizar el riego, todo ello se tendrá que realizar



en temporada de avenidas, para garantizar la supervivencia del 100 de especies forestales plantadas.

**c) Beneficios de la forestación con especies nativas**

La forestación ayudará a reducir la contaminación del aire y aumentar la concentración de oxígeno, así mismo proporcionarán alimento y refugio para la fauna local promoviendo la conservación local, y mejorando el bienestar social de las comunidades al crear un espacio verde para su recreación y el esparcimiento.

**d) Participación de la población beneficiaria**

Se deberán realizar las actividades de sensibilización para informar a la población sobre la importancia de la forestación con especies nativas y su participación en el proyecto, con capacitaciones en técnicas de plantación y su cuidado.

**e) Monitoreo**

Se tendrán que realizar visitas periódicas a la zona de forestación para observar el estado de las especies nativas, al igual que el empleo de imágenes satelitales para evaluar la cobertura vegetal y el crecimiento de las especies nativas.

Dichos resultados comparados con Mamani (2023), presentan características semejantes al presente estudio, donde propuso el diseño de zanjas de infiltración para prevenir los impactos del cambio climático en la cuenca Huenque y mejorar la disponibilidad hídrica en condiciones del altiplano puneño, Además con respecto a Valencia & Salazar (2023), indica que Las futuras investigaciones sobre los efectos del cambio climático en cuencas importantes se



beneficiarán de los resultados de dicho estudio, que también tiene el potencial de ser utilizado en la creación de nuevos lineamientos para la parte alta de la cuenca en asociación con la gestión de los recursos hídricos, y con ello ejecutar medidas de mejoramiento de la disponibilidad hídrica, tomando en consideración el cambio climático, finalmente con respecto al estudio realizado por Huaman (2022), presenta características similares, manifestando que para todos los escenarios y series de tiempo examinados, el cambio climático incide en la disponibilidad de recursos hídricos en la cuenca del río Ica-Alto Pampas provocando una reducción de los caudales, por ello se recomienda el empleo de medidas para el mejoramiento de la disponibilidad hídrica, como es el caso de la siembra y cosecha de agua.



## V. CONCLUSIONES

**PRIMERA:** Según los resultados se concluye que existe variabilidad climática entre los periodos de 1990 al 2023 en la cuenca del río Coata, con una precipitación que fluctúa entre 47.50 mm a 68.45 mm, con una temperatura que fluctúa entre 15.62 °C a 15.82 °C, una humedad relativa que fluctúa entre 61.89 % a 65.00 %, y una velocidad del viento que fluctúa entre 2.22 m/s a 3.47 m/s, con una dirección predominante de Nor-oeste al Sur-este, y presentando un incremento de las variables climáticas.

**SEGUNDA:** Según los resultados se concluye que la disponibilidad hídrica futura al año 2050, frente a un escenario climático estable “RCP 4.5” será de 901109.71 MMC, mientras que a un escenario climático pésimo “RCP 8.5” será de 1658120.81 MMC, manifestando que la disponibilidad hídrica bajo un escenario climático pésimo será mayor con respecto al escenario climático estable.

**TERCERA:** Según los resultados se concluye que las medidas de mitigación de los efectos del cambio climático en la cuenca del río Coata, serán las zanjas de infiltración, Qochas y sistemas agroforestales, que estarán situadas en el sector Kellua, siendo las partes altas de la cuenca del río Coata.



## VI. RECOMENDACIONES

- PRIMERA:** Se recomienda aumentar esfuerzos a las entidades como el SENAMHI y el ANA para mejorar la disponibilidad de información de la cuenca del río Coata, de forma que los datos sean accesibles al público y puedan utilizarse sin problemas con fines educativos.
- SEGUNDA:** Se recomienda el uso del modelo hidrológico WEAP en otras cuencas de estudio debido a su "muy buen" ajuste a la cuenca del río Coata y a su capacidad para replicar con precisión las características de la cuenca en estudio.
- TERCERA:** Se recomienda en base a los posibles incrementos que se pudieran dar a futuro en la cuenca del río Coata, sería beneficioso sugerir y coordinar un plan de adaptación al cambio climático entre los gobiernos locales y regionales para aumentar la conciencia de la comunidad, promover el uso eficiente de los recursos hídricos y tomar precauciones contra posibles catástrofes naturales.
- CUARTA:** Se recomienda implementar las medidas de mitigación de los efectos del cambio climático en la cuenca del río Coata, como es el caso de las zanjas de infiltración, Qochas, y sistemas agroforestales, en cuencas altas, y con ello además tener una mejor disponibilidad hídrica en la cuenca en temporadas de sequía por la variabilidad climática.
- QUINTA:** Finalmente se recomienda seguir estudiando en esta rama de la ciencia e ingeniería, debido a que el cambio climático se encuentra en su mayor



apogeo y sus efectos son cada vez más notorios con distintas intensidades  
a lo largo del planeta.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akhtar, N., Brauch, B., & Ahrens, A. (2017). Climate Modeling over the Mediterranean Sea: Impact of Resolution and Ocean Coupling. *Clim. Dyn.*
- Alizadeh, R., Adamowski, J., & Inam, A. (2022). *Integrated assessment of localized SSP–RCP narratives for climate change adaptation in coupled human-water systems.* Science of The Total Environment. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153660>
- Arias, P., Ortega, G., Villegas, & Martínez, J. (2021). Colombian climatology in CMIP5/CMIP6 models: Persistent biases and improvements. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia.*, 10 - 15.
- Bacca, J. (2023). *Análisis de los impactos del cambio climático sobre los caudales de la parte alta de la cuenca del río Magdalena.* Medellín: Universidad de Antioquia.
- Carvajal, L. (2022). *Análisis multitemporal de la expansión urbana y cambios en el uso del suelo entre los años 2004-2021 de la ciudad de Ambato.* Ambato: Universidad Tecnica Peruana.
- Chavez, R. (2015). *inventario y variación multianual de bofedales en la cuenca alta del rio Cachi.* Ayacucho: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga .
- Climateprediction.net. (2019). *Regional climate models / climateprediction.net.* Obtenido de [https://www.climateprediction.net/climatescience/climate\\_modelling/regional-models/](https://www.climateprediction.net/climatescience/climate_modelling/regional-models/)



- Da Silva, A., Stosic, B., Menezes, R., & Singh, V. (2019). Comparison of interpolation methods for spatial distribution of monthly precipitation in the state of pernambuco, Brazil. *Journal of Hydrologic Engineering*, 1–11.
- Díaz, L., & Alarcon, J. (2018). *Estudio hidrológico y balance hídrico para determinar la oferta y la demanda de agua de la cuenca de la quebrada Niscota para un acueducto Interveredal en Nunchía, Casanare*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- ENES. (2019). *CMIP5 & AR5 - ENES (European Network for Earth Sistem Modelling)*. Obtenido de <https://portal.enes.org/data/enes-model-data/cmip5/datastructure>
- Espinoza, F. (2023). *Impacto del cambio climático en la disponibilidad hídrica de la subcuenca del río Llanganuco, cordillera Blanca-Perú, años 2020-2100*. Huaraz: Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo.
- Faidah, D., Kuswanto, H., & Suhartono, D. (2019). *The comparison of Bayesian model averaging with gaussian and gamma components for probabilistic precipitation forecasting*. AIP Conference Proceedings.
- Fang, G., Yang, J., Chen, Y., & Zammit, C. (2015). Comparing bias correction methods in downscaling meteorological variables for a hydrologic impact study in an arid area in China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2547–2559.
- Fanta, S., Namara, W., & Yesuf, M. (2022). *Assessment of water supply and demand in Gilgel Gibe watershed, southwest Ethiopia*. Sustainable Water Resources Management.



- FONCODES. (2015). *Siembra y cosecha de agua*. Lima: Fondo de Cooperación para el Desarrollo Social.
- Galindo, B. (2021). *Simulación hidrológica del embalse Morocollo de la subcuenca Viluyo - Laraqueri - Puno - Perú*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Gonzales, V., & Alejo, R. (2008). *Desarrollo de cuencas de alta montaña*.
- González, A., & Hernández, M. (2020). *Implementación del modelo WEAP (Water Evaluation and Planning System) a la cuenca del río Apulo para la determinación de la disponibilidad hídrica de la cuenca bajo escenarios de cambios en usos del suelo*. Bogota: Universidad de Santo Tomas.
- Held, I., Guo, H., Adcroft, T., Dunne, J., Horowitz, L., Krasting, J., & Shevliakova, E. (2019). *Structure and Performance of GFDL's CM4.0 Climate Model*. Journal of Advances in Modeling Earth Systems.
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mexico: Mc Graw Hill Education.
- Hinne, M., Gronau, Q. F., Van den Bergh, D., & Wagenmakers, E. (2020). *A Conceptual Introduction to Bayesian Model Averaging*. *Advances in Methods and Practices in Psychological Science*.
- Hormazábal, V., Vargas, V., Abarca, R., Garcia, I., Villalobos, E., & Ulloa, H. (2023). *Simulación hidrológica del caudal del estero Huillinco en la microcuenca agroforestal Huillinco (Chonchi, región de Los Lagos, Chile) bajo condiciones climáticas históricas y futuras*. *Ciencia & Investigación Forestal* , 1 - 27.



- Hoyos, N., Correa, A., Jepsen, S., Wemple, B., Valencia, S., Marsik, M., . . . Velez, M. (2019). Modeling Streamflow Response to Persistent Drought in a Coastal Tropical Mountainous Watershed, Sierra Nevada De Santa Marta, Colombia. *Water*, 19 - 56.
- Huaman, Y. (2022). *Influencia del cambio climático en la disponibilidad del recurso hídrico de la cuenca río Ica-Alto Pampas, aplicando el modelo hidrológico WEAP*. Ica: Universidad Nacional San Luis Gonzaga.
- Ibrahim, U., Dan'azumi, S., Bdliya, H., Bunu, Z., & Chiroma, M. (2022). Comparison of WEAP and SWAT models for streamflow prediction in the Hadejia-Nguru Wetlands, Nigeria. *Modeling Earth Systems and Environment*, 4997–5010.
- IDEAM. (2017). *Resumen Ejecutivo Tercera Comunicación Nacional de Colombia a la convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC)*.  
Obtenido de [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023732/RESUMEN\\_EJECUTIVO\\_T\\_CNCC\\_COLOMBIA.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023732/RESUMEN_EJECUTIVO_T_CNCC_COLOMBIA.pdf)
- INFOR. (2021). Análisis hidrológico comparativo para las cuencas Batuco y Huillinco: proyecciones, adaptación y manejo de cuenca en escenarios de cambio climático. *Parte 1: Recolección de datos microcuenca Huillinco*.
- IPCC. (2014). *Cambio climático* . Ginebra: Informe síntesis.



- Kim, J., Choi, J., Choi, C., & Park, S. (2013). Impacts of changes in climate and land use/land cover under IPCC RCP scenarios on streamflow in the Hoeya River Basin, Korea. *Science of The Total Environment*, 452-453, 181–195.
- Lacho, R. (2018). *Análisis multitemporal de las variaciones superficiales de glaciares y bofedales debido a la precipitación en la cuenca Callancocha en el departamento de Huancavelica*. Huancayo: Universidad Alas Peruanas.
- Laura, J. (2019). *Efecto del cambio climático en la oferta hídrica superficial de la cuenca del río Ilave - Puno*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano de Puno.
- Lozano, M. (2022). Modelación y proyección de escenarios futuros con fines de oferta hídrica aplicando el modelo WEAP. *Universidad Autónoma "Juan Misael Saracho"*, 1 - 14.
- Lujano, E., Diaz, R., Lujano, A., & Quispe, J. (2018). Evaluación de la disponibilidad hídrica actual y futura en el contexto del cambio climático en las cuencas Ilave y Ramis. *XXVII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA*, 1 - 8.
- Lupaca, P. (2024). *Evaluación de la disponibilidad hídrica bajo las condiciones de cambio climático en la microcuenca del Rio Zapatilla*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano de Puno.
- Maldonado, L. (2021). *Oferta hídrica ante escenarios de cambio climático en la cuenca hidrográfica La Vieja - Colombia*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.



- Mamani, F. (2023). *Evaluación de la disponibilidad hídrica bajo las condiciones de cambio climático y propuesta de mejora hídrica en la microcuenca Huenque – Ilave*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Manzano, S. (2022). *Efectos del cambio climático en la disponibilidad hídrica de la subcuenca del río Tahuando, provincia de Imbabura*. Ibarra: Universidad Técnicas del Norte.
- Medina, C. (2021). Modelación hidrológica bajo escenarios de cambio climático para un embalse de abastecimiento de agua en la Paz, Bolivia. *Investigación & Desarrollo*, 1 - 16.
- Mejia, J. (2017). Downscaling climate projections for the Peruvian coastal Chancay-Huaral Basin to support river discharge modeling with WEAP. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 26-42.
- Ortega, G., Arias, P., Villegas, J., Marquet, P., & Nobre, P. (2021). Present-day and future climate over central and South America according to CMIP5 / CMIP6 models. *International Journal of Climatology*, 6713–6735.
- Osorio, K. (2021). *Efecto del cambio climático en la oferta hídrica del río Lurín*. Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina .
- PaccPerú. (2014). *La Qochas rústicas, una alternativa en los andes para la siembra y cosecha de agua en un contexto de cambio climático*. Lima: Programa de adaptación al cambio climático .



- 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 .
- Pedersen, J., Van Vuuren, D., Gupta, J., Santos, F., Edmonds, J., & Swart, R. (2022). IPCC emission scenarios: How did critiques affect their quality and relevance 1990–2022. *Global Environmental Change*, 10 - 75.
- Pilares, I. (2018). Disponibilidades hídricas reguladas del reservorio lagunillas y río verde para usos múltiples en la cuenca del río Cabanillas. *Universidad Nacional Agraria la Molina*, 1 - 10.
- ProyectoGlaciares. (2017). Guía técnica de diseño y construcción de pequeñas presas rusticas en lagunas Peri glaciares. *Mas alla de los riesgos hacia las oportunidades*, Cusco.
- Rau, P., Bourrel, L., Labat, D., Ruelland, D., Frappart, F., Lavado, W., & Dewitte, B. (2018). Assessing multidecadal runoff (1970–2010) using regional hydrological modelling under data and water scarcity conditions in Peruvian Pacific catchments. *Hydrological Processes*, 20–35. Obtenido de <https://doi.org/10.1002/hyp.13318>
- Risal, A., Parajuli, P., Dash, P., Ouyang, Y., & Linhoss, A. (2020). Sensitivity of hydrology and water quality to variation in land use and land cover data. *Agricultural Water Management*, 241.



- Rivera, J., & América, D. (2018). *Aproximación de la oferta hídrica futura de la cuenca del río Chuza bajo escenarios de cambio climático, cuenca estratégica para el sistema de abastecimiento de Bogotá en el PNN Chingaza*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.
- Rodas, F. (2022). *Evaluación del cambio climático y su efecto en la disponibilidad hídrica futura de la cuenca Caplina – Tacna*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Rosario, E. (2020). *Estimación de la disponibilidad hídrica superficial de la cuenca alto Marañón*. Mayolo: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- SENAMHI. (2014). *Regionalización estadística de escenarios climáticos en el Perú*. Lima: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI.
- SENAMHI. (20 de Enero de 2024). *Datos Hidrometeorológicos obtenidas del SENAMHI*. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>
- Silva, D., Stosic, B., Menezes, & Singh, V. (2019). Comparison of interpolation methods for spatial distribution of monthly precipitation in the state of pernambuco, Brazil. *Brazil*, 1 - 11.
- Valencia, S., & Salazar, J. (2023). *Análisis de los impactos del cambio climático sobre los caudales de la parte alta de la cuenca del río Magdalena*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Valéry, A., Andréassian, V., & Perrin, C. (2010). Méthode de régionalisation des précipitations et des températures de l'air pour les bassins de haute altitude - ce



que nous enseignent les bassins à problème. *Hydrological Sciences Journal*, 928–940.

Vuuren, V., Edmonds, J., & Kainuma, M. (2021). Las vías de concentración representativas: una descripción general. . *Cambio Climático*, 2019.

## ANEXOS

**ANEXO 1.** Serie histórica de caudales de la estación hidrométrica Lampa (rio Lampa)

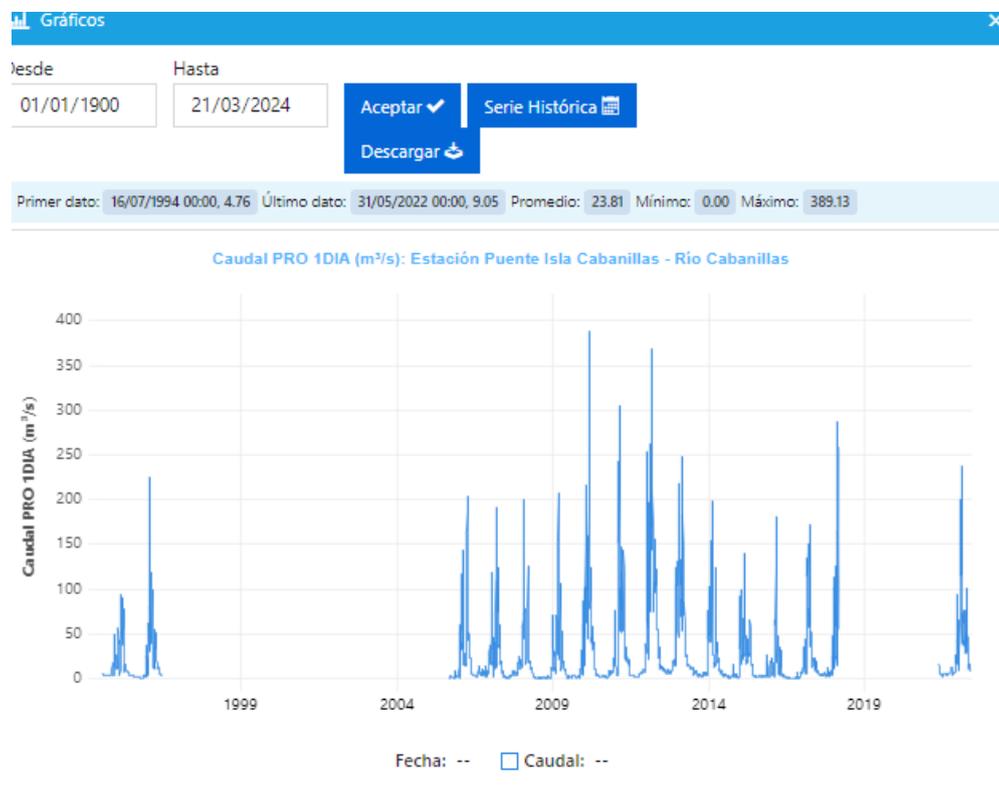
AÑO	Ene.	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom.
1992	151.9	88.8	29.7	8.21	0	1.4	1.4	55.55	2.4	38.8	57.8	45.1	40.09
1993	191.7	36.7	125.3	65.3	1.5	1	0	45.3	20	23.8	65.3	94.2	55.84
1994	129.4	126.7	100.2	58.1	14.8	0	0	0	5.2	10.8	39.5	117.1	50.15
1995	111.9	80.2	138.3	14.6	5.7	0	0	4.2	9.6	11.2	47.5	113.4	44.72
1996	245.6	141.1	34.3	31.5	2	0	7.2	30.5	12	9.5	83.2	86.3	56.93
1997	288	190.8	124.7	60.7	1.4	0	0	61.7	96.1	27.1	91.7	51.4	82.80
1998	97.3	112.6	54.7	59.9	0	13	0	0.1	4.6	41	47.1	41.1	39.28
1999	107.1	153.8	223.4	89.7	14.9	0.6	1.5	3.9	21	123.3	17.9	62.3	68.28
2000	269.9	161.1	135.6	14.4	4.9	4.4	9.3	6.4	3.2	51.5	1	109.8	64.29
2001	298.9	231.8	162.2	44.1	2.5	0.1	15	23.9	12.2	58	33.8	106.9	82.45
2002	108.2	242.7	228.5	156.8	20.9	19.8	43.6	15.2	10.7	69.8	80.7	108	92.08
2003	168.1	78.9	172	14.5	24.3	0.5	0	10.3	52.2	14.1	17.9	89.3	53.51
2004	286.1	132.5	52.6	19.4	10.2	1.6	22.1	38.3	15.9	2.01	22.43	63.2	55.53
2005	125.11	142.5	78.71	23.62	8.3	0	0	0.01	26.22	58.73	55.73	88.51	50.62
2006	335.41	80.11	138.32	30.81	3.21	3.01	0	8.91	27.72	25.63	99.62	81.12	69.49
2007	92.92	61.84	212.42	66.22	2.52	2.11	7.84	5.21	41.52	27.53	30.63	87.15	53.16
2008	245.1	94.72	68.52	17.01	1.83	1.4	7.2	3.2	1.42	53.7	0.6	146.21	53.41
2009	105.11	126.7	81.7	57.55	0	0	8.2	0	40.54	35.2	158.01	57.4	55.87
2010	212.9	116.9	64.46	42.1	37.22	0	0	8.7	1.2	39.03	7.8		48.21
2011		246.8	152.62	5.62	4.01	0	11.01	0	23.13	22.6	16	128.9	55.52
2012	115.01	248.41	179.6	43.52	0	1.2	0	4.2	12.5	7.5	20.7	252.6	73.77
2013	141.8	157	39.32	13.4	33.7	18.3	7.2	6.5	2.5	46	19.1	173.6	54.87
2014	187.4	78.2	36	18.6	0	0	0	0	0	0	0	0	64.04
2015	117.8	217.3	42.51	47.22	1.8	10.1	0.1	20.3	0	18.41	72.2	110.52	54.86
2016	227.2	120.21	85.92	21.72	0.01	0.01	6.4	4.5	27.7	15.73	28.62	122.42	55.04
2017	269.3	146.8	163.91	83.52	12.21	0.02	9.9	20.1	38.5	29.1	23.4	47.91	70.39
2018	211	284.8	60	49	0	4	0	107.1	10	35	15	66.01	70.16
2019	162	191.12	105.01	23	37	27	0	10	41.04	62.02	9.02	199	72.18
2020	238.01	150	101	25	11.8	3	1	47	68	4	6.01	78	61.07
2021	87.02	156.03	232.01	4.03	1.33	0	15.6	2.81	58.41	39.4	104.82	76.93	64.87
2022	211	122.7	81.4	23.03	0.01	0	5.1	11.43	28.62	7.93	124.31		55.96



## ANEXO 2. Serie histórica de caudales de la estación hidrométrica puente Isla

### Cabanillas (rio Cabanillas)

AÑO	Ene.	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom.
1995	21.73	23.37	63.66	15.82	7.51	3.46	2.87	1.97	1.45	0.77	1.26	6.49	<b>12.53</b>
1996	35.69	82.67	29.82	26.22	9.21	4.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>15.68</b>
2005	0.00	0.00	22.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.40	1.79	3.14	5.19	<b>2.85</b>
2006	48.17	43.17	51.93	72.67	12.67	3.68	2.50	6.92	5.55	5.95	5.19	17.34	<b>22.98</b>
2007	38.22	22.47	88.84	40.37	9.52	2.03	1.04	2.20	5.56	4.69	9.42	14.81	<b>19.93</b>
2008	74.44	41.23	40.78	12.41	3.47	0.70	0.79	0.56	0.81	0.80	1.23	18.75	<b>16.33</b>
2009	19.44	38.90	62.16	23.71	10.32	2.66	1.26	2.75	1.81	1.63	5.01	25.08	<b>16.23</b>
2010	83.88	119.79	99.48	35.71	7.68	2.94	1.83	2.17	1.95	5.19	5.95	23.79	<b>32.53</b>
2011	12.00	138.53	86.43	60.30	23.98	9.71	3.64	2.69	1.68	5.08	7.82	21.00	<b>31.07</b>
2012	107.10	164.77	152.40	103.39	39.66	13.26	9.82	7.14	7.80	9.29	16.91	68.52	<b>58.34</b>
2013	93.65	113.61	72.26	20.33	14.05	11.74	6.17	4.99	3.83	3.62	5.59	36.40	<b>32.19</b>
2014	76.84	46.78	28.34	22.30	8.02	3.88	3.29	1.80	1.71	4.75	2.15	7.68	<b>17.30</b>
2015	42.06	52.94	26.51	38.00	15.56	3.07	2.18	1.99	2.25	2.07	5.74	7.44	<b>16.65</b>
2016	5.37	61.08	21.64	18.02	3.39	1.57	1.05	0.50	0.55	1.30	1.10	6.39	<b>10.16</b>
2017	20.93	42.42	100.60	36.96	17.95	10.50	4.78	4.11	4.65	5.53	4.67	13.81	<b>22.24</b>
2018	52.74	87.98	122.22	19.89	11.42	7.52	6.01	4.77	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>26.05</b>
2021	0.00	0.00	0.00	0.00	8.63	4.54	5.76	5.10	6.01	7.57	8.45	35.62	<b>6.81</b>
2022	99.88	90.77	50.36	43.81	11.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>24.68</b>

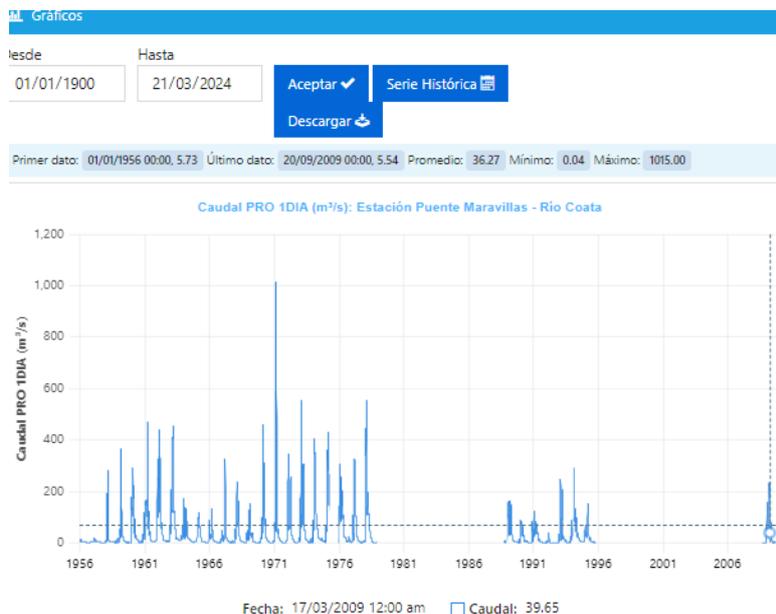




### ANEXO 3. Serie histórica de caudales de la estación hidrométrica puente Maravillas

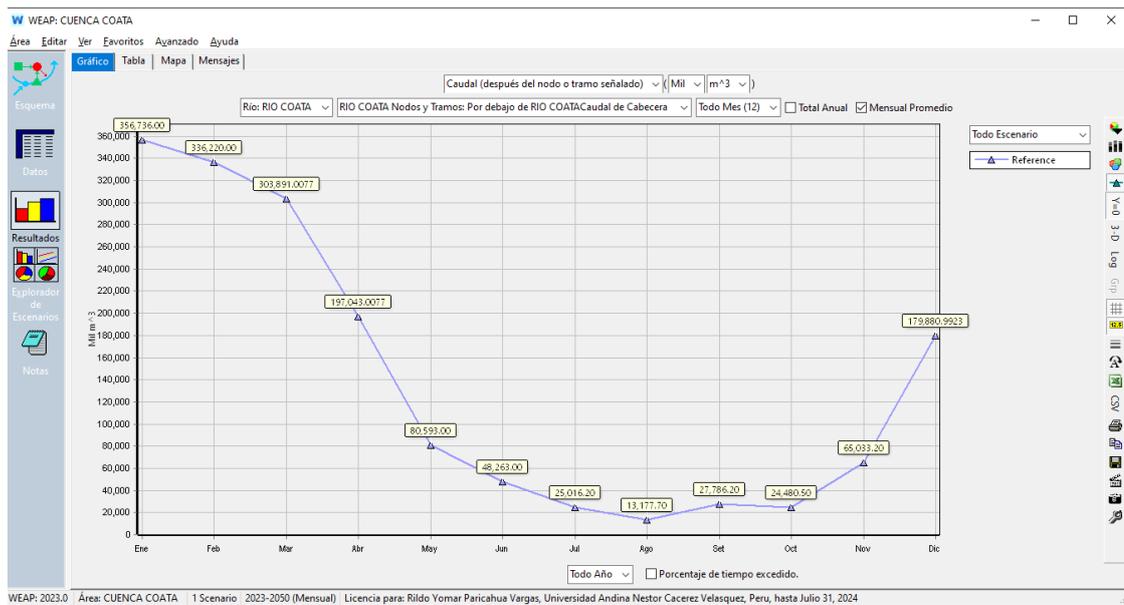
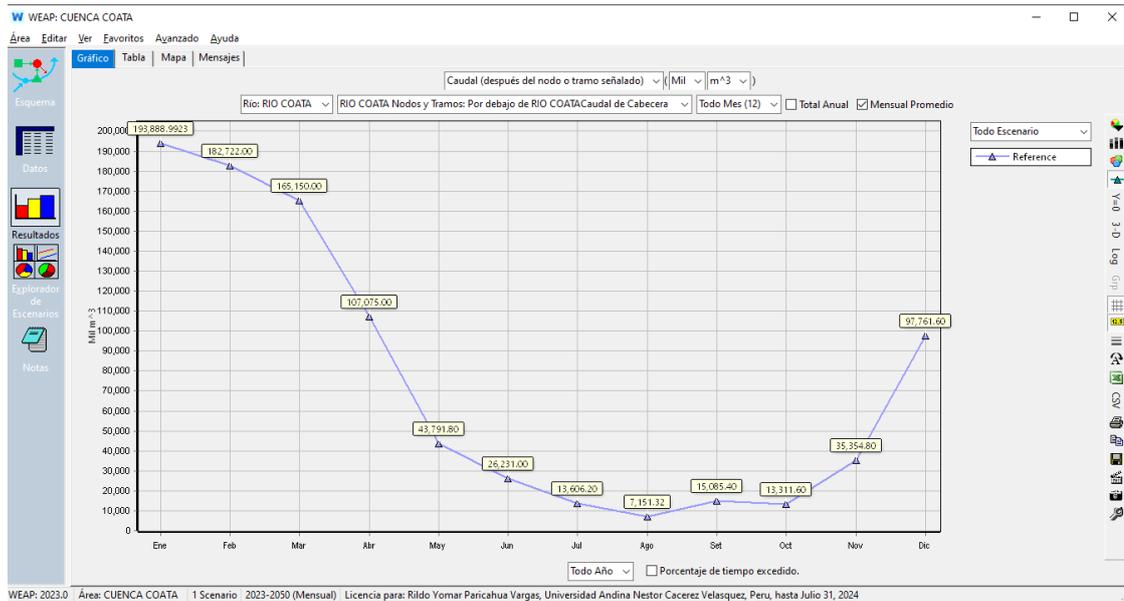
(rio Coata)

AÑO	Ene.	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom.
1974	176.92	306.46	137.98	70.33	33.40	17.54	12.04	12.71	12.42	6.12	5.38	15.18	<b>67.20</b>
1975	123.86	307.04	218.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	52.29	<b>58.48</b>
1976	200.02	162.67	187.70	84.05	27.31	19.81	9.36	5.65	6.33	16.35	4.48	2.90	<b>60.55</b>
1977	44.10	69.84	253.65	93.61	25.17	10.18	5.00	2.35	2.04	1.53	4.37	7.06	<b>43.24</b>
1978	251.95	167.75	147.52	108.39	46.83	21.72	6.56	2.63	1.62	1.21	1.40	0.00	<b>63.13</b>
1988	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.53	3.71	1.33	0.00	<b>0.71</b>
1989	84.80	67.69	71.15	71.98	16.65	9.44	6.14	5.83	4.00	1.37	4.62	4.34	<b>29.00</b>
1990	62.17	43.96	32.22	15.18	5.54	6.18	3.69	1.50	0.43	10.20	49.27	48.61	<b>23.24</b>
1991	65.10	67.92	55.45	37.15	14.71	9.10	4.57	2.40	2.04	1.01	1.16	2.18	<b>21.90</b>
1992	7.75	5.44	12.57	2.29	0.86	1.04	0.86	1.29	1.10	0.61	8.02	30.04	<b>5.99</b>
1993	73.54	19.20	65.11	21.82	14.96	9.19	3.21	1.22	1.18	3.12	15.70	37.55	<b>22.15</b>
1994	0.00	143.03	76.23	78.37	34.90	23.36	10.09	7.64	5.24	4.47	12.26	32.82	<b>35.70</b>
1995	35.51	41.35	84.94	16.43	12.81	5.69	5.04	5.55	2.13	1.35	0.00	0.00	<b>17.57</b>
2008	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.93	0.80	1.33	38.03	<b>3.42</b>
2009	40.14	57.46	94.71	37.15	12.02	3.67	2.24	4.65	6.69	0.00	0.00	0.00	<b>21.56</b>
2015	176.92	306.46	137.98	70.33	33.40	17.54	12.04	12.71	12.42	6.12	5.38	15.18	<b>67.20</b>
2016	123.86	307.04	218.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	52.29	<b>58.48</b>
2017	200.02	162.67	187.70	84.05	27.31	19.81	9.36	5.65	6.33	16.35	4.48	2.90	<b>60.55</b>
2018	44.10	69.84	253.65	93.61	25.17	10.18	5.00	2.35	2.04	1.53	4.37	7.06	<b>43.24</b>
2019	251.95	167.75	147.52	108.39	46.83	21.72	6.56	2.63	1.62	1.21	1.40	0.00	<b>63.13</b>
2020	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.53	3.71	1.33	0.00	<b>0.71</b>
2021	84.80	67.69	71.15	71.98	16.65	9.44	6.14	5.83	4.00	1.37	4.62	4.34	<b>29.00</b>
2022	62.17	43.96	32.22	15.18	5.54	6.18	3.69	1.50	0.43	10.20	49.27	48.61	<b>23.24</b>
2023	65.10	67.92	55.45	37.15	14.71	9.10	4.57	2.40	5.24	4.47	12.26	32.82	<b>25.93</b>
2024	7.75	5.44	12.57	2.29	0.86	1.04	0.86	1.29	1.10	0.61	8.02	30.04	<b>5.99</b>



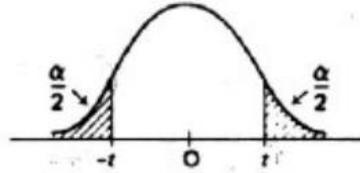


## ANEXO 4. Modelamiento de la disponibilidad hídrica en el software WEAP



ANEXO 5. Valores de T de Student

TABELA DA DISTRIBUIÇÃO t de STUDENT



$\alpha$	0,50	0,25	0,10	0,05	0,025	0,01	0,005
1	1,00000	2,4142	6,3138	12,706	25,542	63,657	127,32
2	0,81650	1,6036	2,9200	4,3127	6,2053	9,9248	14,089
3	0,76489	1,4226	2,3534	3,1825	4,1765	5,8409	7,4533
4	0,74070	1,3444	2,1318	2,7764	3,4954	4,6041	5,5976
5	0,72669	1,3009	2,0150	2,5706	3,1634	4,0321	4,7733
6	0,71756	1,2733	1,9432	2,4469	2,9687	3,7074	4,3168
7	0,71114	1,2543	1,8946	2,3646	2,8412	3,4995	4,0293
8	0,70639	1,2403	1,8595	2,3060	2,7515	3,3554	3,8325
9	0,70272	1,2297	1,8331	2,2622	2,6850	3,2498	3,6897
10	0,69981	1,2213	1,8125	2,2281	2,6338	3,1693	3,5814
11	0,69745	1,2145	1,7959	2,2010	2,5931	3,1058	3,4966
12	0,69548	1,2089	1,7823	2,1788	2,5600	3,9545	3,4284
13	0,69384	1,2041	1,7709	2,1604	2,5326	3,0123	3,3725
14	0,692	1,2001	1,7613	2,1448	2,5096	2,9768	3,3257
15	0,69120	1,1967	1,7530	2,1315	2,4899	2,9467	3,2860
16	0,69013	1,1937	1,7459	2,1199	2,4729	2,9208	3,2520
17	0,68919	1,1910	1,7396	2,1098	2,4581	2,8982	3,2225
18	0,68837	1,1887	1,7341	2,1009	2,4450	2,8784	3,1966
19	0,68763	1,1866	1,7291	2,0930	2,4334	2,8609	3,1737
20	0,68696	1,1848	1,7247	2,0860	2,4231	2,8453	3,1534
21	0,68635	1,1831	1,7207	2,0796	2,4138	2,8314	3,1352
22	0,68580	1,1816	1,7171	2,0739	2,4055	2,8188	3,1188
23	0,68531	1,1802	1,7139	2,0687	2,3979	2,8073	3,1040
24	0,68485	1,1789	1,7109	2,0639	2,3910	2,7969	3,0905
25	0,68443	1,1777	1,7081	2,0595	2,3846	2,7874	3,0782
26	0,68405	1,1766	1,7056	2,0555	2,3788	2,7787	3,0669
27	0,68370	1,1757	1,7033	2,0518	2,3734	2,7707	3,0565
28	0,68335	1,1748	1,7011	2,0484	2,3685	2,7633	3,0469
29	0,68304	1,1739	1,6991	2,0452	2,3638	2,7564	3,0380
30	0,68276	1,1731	1,6973	2,0423	2,3596	2,7500	3,0298
40	0,68066	1,1673	1,6839	2,0211	2,3289	2,7045	2,9712
60	0,67862	1,1616	1,6707	2,0003	2,2991	2,6603	2,9146
120	0,67656	1,1559	1,6577	1,9799	2,2699	2,6174	2,8599
$\infty$	0,67449	1,1503	1,6449	1,9600	2,2414	2,5758	2,8070



**ANEXO 6.** Prueba de velocidad de Infiltración de la zona donde estarán ubicadas las  
zanjas de infiltración

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

<b>Conceptos Básicos</b>	<b>Datos (cm/min)</b>	<b>Datos (cm/hora)</b>	<b>Datos (m/hora)</b>
Prueba de infiltración	0.13	7.54	<b>0.08</b>



## ANEXO 7. Plantilla de cálculo del dique de tierra para la qocha (dique)

### DIMENSIONAMIENTO DEL DIQUE - KELLUA - QOCHA

De los cálculos obtenidos (sección máxima del dique de la minipresa).  
Asumo que la roca se encuentra a 1 metro de la base.

Línea de excavación máxima	:	4,081.47 m.s.n.m
Cota del terreno	:	4,081.97 m.s.n.m
Profundidad de cimentación	:	<b>d= 0.50 m</b> contar con suelo estable
N.O. (Nivel de Operación)	:	4,083.51 m.s.n.m
N.A. (Nivel de Avenidas)	:	4,083.61 m.s.n.m
FETCH	:	0.21299 km

#### ALTURA DE LA OLA POR VIENTO

a) **Altura de ola por viento: Fórmula empírica "Manual on small earth dams FAO - ítem 6.9, p.53"**

$$H_0 = 0.014 (F)^{1/2} \dots(m)$$

Donde : F: fetch en Km

$$F = 0.21299 \text{ km}$$

$H_0$	=	0.006 m
-------	---	---------

Nota: para nuestro pre dimensionamiento no hemos considerado la altura de ola por sismo.

b) **Altura de ola Creada por el Viento, Recomendaciones del USBR (1992)**

$$H_0 = (V)^{1.23} (F)^{1/2} / 87.23 \dots(m)$$

Donde :

V: Velocidad de Viento (m/2): 2.93 m/s      reporte en lugar de las qochas  
F : fetch en Km

$$F = 0.2130 \text{ km}$$

$H_0$	=	0.029 m
<b>FACTOR DE SEGURIDAD (1.27*H<sub>0</sub>)</b>	=	<b>0.037 m</b>

#### BORDE LIBRE

Borde libre mínimo, procedimiento combinado de Knapen:

$$Bl (\text{min}) = 0.75H_0 + (Vg)^2/2g$$

Donde: H<sub>0</sub> : altura de la ola según stevenson

Vg (m/s) : velocidad ola según Gaillard = 1.52 + 2 H<sub>0</sub>

$$H_0 = 0.037$$

$$Vg = 1.594$$

Bl (min)	=	0.16 m
<b>Borde Libre Asumido=</b>	=	<b>0.19 m</b>

También podemos emplear la siguiente tabla:

Fetch (km)	Borde libre	
	Normal (m)	Mínimo (m)
< 1.6	1.2	0.9
1.6	1.5	1.2
4.0	1.8	1.5
8.0	2.4	1.8
16.0	3.0	2.1

Por proceso constructivo del vertedero cuya altura se ha definido en 0.5 m. Se ha asumido que el borde libre (BL) sea de 0.19 m, por contar con un tirante de 0.31 m y un ancho base del vertedero de 4 m.

**NIVEL DE LA CORONA DEL DIQUE:**

Es el nivel en la cortina al cual queda el coronamiento de la presa, el que nunca debe ser rebasado por el agua.

$$N.Corona = N.A. + B.L.$$

<b>N.Corona =</b>	<b>4,083.80</b>	<b>msnm</b>
-------------------	-----------------	-------------

**ALTURA DEL DIQUE:**

$$H = \text{cota de la corona} - \text{cota de Terreno}$$

$$H = 4,083.80 - 4,081.97 = 1.83 \text{ m}$$

<b>H =</b>	<b>1.83 m</b>
------------	---------------

**ANCHO DEL DENTELLÓN:**

$W = h - d$   
 Donde :  
 w : ancho del fondo de la zanja del dentellón.  
 h : carga hidráulica arriba de la superficie del terreno = NAME-Cota del terreno  
 d : profundidad de la zanja del dentellón debajo de la superficie del terreno.

Cota del terreno	=	4,081.97	msnm
N.A. (Nivel de Avenidas)	=	4,083.61	msnm
h	=	1.64	m
d	=	1.00	m
w	=	h - d	m

w	=	0.64	m
---	---	------	---

Por condiciones de estabilidad del terreno y por proceso constructivo se considerará un ancho de w: **0.50** m, en la base del dentellón.

**ANCHO DE CORONA:**

Ancho de corona: **Fórmula empírica "Manual on small earth dams FAO - ítem 6.11, p.54"**

$$C_w = 0.4 H + 1 \dots(m)$$

Donde:  
 Cw : ancho de la corona en m  
 H : altura máxima del dique en m

Cw	=	2.00	m
----	---	------	---

Se tomará un ancho Cw de: **2.50 m** por medida de seguridad, ya que se puede dar el caso de que el material de cantera seleccionado en campo no tenga una granulometría estandar.

### TALUDES RECOMENDADOS

El proceso de oleaje es de carácter intermitente y se produce a alturas de impacto variable.

TALUDES RECOMENDADOS PARA PRESAS SEGÚN EL UNITED STATES BUREAU OF RECLAMATION (USBR).

a).- Taludes Recomendados para las presas de tierra homogéneas sobre cimientos estables.

Altura (m.)	Talud Aguas Arriba	Talud Aguas Abajo
5	2.00 H : 1 V	1.50 H : 1V
5 a 10	2.50 H : 1 V	2.00 H : 1V
12 a 15	2.75 H : 1 V	2.50 H : 1V
20 a 30	3.00 H : 1V	2,50 H : 1V

b).- Taludes que se recomienda para las presas pequeñas de tierra de sección compuesta en cimientos estables.

Caso	Tipo	Propósito	Sujetas a desembalse rápidos (15 cm a más)	Clasificación del material exterior	Clasificación del material del núcleo	Talud de aguas arriba	Talud de aguas abajo
A	Compuesta con el núcleo mínimo	Cualquiera	No crítico	No es crítico relleno de roca GW, GP, SW (gravoso) o SP (gravoso).	No es crítico GC, GM, SC, SM, CL, ML, CH o MH	2 : 1	2:1
B	Compuesta con el núcleo máximo	Regulación o almacenamiento	No	No es crítico relleno de roca GW, GP, SW (gravoso) o SP (gravoso).	GC, GM, SC, SM, CL, ML, CH, MH	2 : 1 2 ¼ : 1 2 ½ : 1 2 ¾ : 1 3 : 1	2:1 2 ¼ : 1 2 ½ : 1 3:1
C	Compuesta con el núcleo máximo	Almacenamiento	Si	No es crítico relleno de roca GW, GP, SW (gravoso) o SP (gravoso).	GC, GM, SC, SM, CL, ML, CH, MH	2 ½ : 1 2 ¾ : 1 3 : 1 3 ½ : 1	2:1 2 ¼ : 1 2 ½ : 1 3:1

### CONCLUSIÓN:

Como el dique de la minipresa presenta una altura menor de 5.0 m, adoptamos un ancho de cresta mayor a 2.0 m por lo que se tomó **2.5 m** y con taludes menos inclinados para reducir la erosión, por lo que:

Talud Aguas Arriba:

H	V
2	1

Talud Aguas Abajo:

H	V
2	1

## ANEXO 8. Plantilla de cálculo del dique de tierra para la qocha (protección de talud)

### PROTECCIÓN DE TALUD AGUAS ARRIBA

El talud aguas arriba debe ser protegido por la acción destructora del oleaje.

a).- Enrocado volcado o colocado a mano RIP\_RAP

Es barato solo para distancias de acarreo < 50Km.

CRITERIO DE DISEÑO PARA ENROCADOS VOLCADOS		
MAXIMA ALTURA DE LA OLA m	TAMAÑO PROMEDIO MINIMO DE LAS ROCAS cm	ESPESOR DEL ENROCADO VOLCADO cm
0 - 0,60	25	30
0,60 - 1,20	30	45
1,20 - 1,80	40	60
1,80 - 2,40	45	75
2,40 - 3,00	55	90

USACE, 2004

El enrocado debe ser bien gradado desde un tamaño máximo igual a 1.5 veces el tamaño promedio hasta un mínimo de 2.5 cm.

Esta constituido por grava y piedra picada gradada y su función es evitar que la acción de las olas erosione el terraplén a traves de los huecos del enrocado.

### ESPESOR MINIMO DE LA CAPA BASE

ALTURA DE LA OLA m	ESPESOR MINIMO cm
0 - 1,20	15
1,20 - 2,40	25
2,40 - 3,00	30

CONCLUSIÓN:

Como las alturas de las olas son menores a 1.2 por tanto:

TAMAÑO MÍNIMO DE ROCAS	30 cm
ESPESOR MÍNIMO DE LA CAPA BASE	50 cm

## ANEXO 9. Plantilla de cálculo del dique de tierra para la qocha (toma descarga)

<b>PREDIMENSIONAMIENTO DE TOMA DE DESCARGA</b>			
<b>DESCARGA MÁXIMA Y MÍNIMA - TUBERÍA DE DESCARGA</b>			
Utilizando la fórmula para tubos cortos con descarga libre:			
$Q = Cd * A * (2gH)^{1/2}$			
<b>Datos:</b>			
A =	0.018 m <sup>2</sup>	<b>Tubería de 6 pulg</b>	
Hmax =	<b>1.83</b> m, para la descarga máxima (ALTURA DE DIQUE)		
Hmin =	0.3 m, para la descarga mínima		
Cd =	0.6		
g =	9.81 m/s <sup>2</sup>		
<b>Aplicando:</b> la ecuación mencionada con los datos mencionados.			
tenemos:			
Qmax =	<b>0.066</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>	
Qmin =	<b>0.027</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>	
Qmax =	<b>65.58</b>	<b>lt/seg</b>	
Qmin =	<b>26.55</b>	<b>lt/seg</b>	
<b>DESCARGA DE FONDO</b>			
<b>A) CALCULANDO EL DIÁMETRO DE SALIDA</b>			
$D = \left[ \frac{4 * Q}{C * \pi * \sqrt{2} * g * h} \right]^{0.5}$			
Q =	0.066 m <sup>3</sup> /s		
C =	0.59		
g =	9.81 m/s <sup>2</sup>		
h =	1.83 mca		
D =	<b>0.1537</b> m	<b>153.69</b> mm	tubería de 6" <b>OKII</b>
<b>B) VERIFICANDO LA VELOCIDAD DE SALIDA</b>			
$Q = V * A$			
<b>Datos:</b>			
Q =	0.066 m <sup>3</sup> /s		
D =	0.1537 m		
D =	0.15 cm		
$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$			
V =	<b>3.54</b>	<b>m/s</b>	
Velocidad recomendada= 3m/s			
Velocidad máxima permisible en tuberías PVC= 5.0 m/s			

C) CALCULANDO LA ALTURA DE CARGA CON LA VELOC. RECOMENDADA

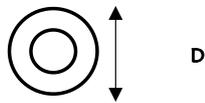
$$h = \left[ \frac{4 * Q}{C * \pi * D^2 * \sqrt{2 * g}} \right]^2$$

Q= 0.066 m<sup>3</sup>/s  
C= 0.59  
D= 0.15 m  
g= 9.81 m/s<sup>2</sup>

h=	1.83	m/s
----	------	-----

D) DIAMETRO DE LA TOMA

El diametro de la toma para el dique será:



D= 0.15 m  
D= 6.05 pulgadas

D=	6.00	pulgadas	Asumido
----	------	----------	---------

**ANEXO 10.** Plantilla de cálculo del dique de tierra para la qocha (vertedero rectangular)

<b>VERTEDERO RECTANGULAR (Tipo aguda)</b>			
<b>Kellua - qocha</b>			
<i>Dato: Activar cálculo Iterativo</i>			
<b>Caudal Máximo de Diseño</b>		<b>Q<sub>máx.</sub> =</b>	<b>1.280 (m<sup>3</sup>/s)</b>
Borde Libre	(BL):	0.190 m	Variable
Longitud de la base del aliviadero	(L):	4.000 m	Variable
Tirante de la carga	(Y):	0.312 m	
Coefficiente de descarga	(C <sub>d</sub> ):	1.840	
Caudal	(Q):	1.280 m <sup>3</sup> /s	
<b>Q = C<sub>d</sub>(L - 0.1 * n * h)<sup>3/2</sup></b>		=	<b>1.280 m<sup>3</sup>/s OK</b>
<b>Y = <math>\left( \frac{Q}{C_d * (L - 0.1 * n * h)} \right)^{2/3}</math></b>		=	<b>0.312 m</b>
<b>H = Y + BL</b>		=	<b>0.502 m 0.3</b>

**DIMENSIONAMIENTO DE LA CARGA MAXIMA DEL ALVIADERO**

<p style="text-align: center; margin: 0;"><b>Vetadero rectangular</b></p> <p><b>Datos del vertedero:</b></p> <p>Longitud de cresta (L): <input type="text" value="4"/> m</p> <p>Caudal (Q): <input type="text" value="1.28"/> m<sup>3</sup>/s</p> <p>Número de contracciones (n): <input type="text" value="0"/></p> <p>Coefficiente de descarga (Cd): <input type="text" value="1.84"/></p>	<p style="text-align: center; margin: 0;"><b>Vetadero triangular</b></p> <p><b>Tipo:</b></p> <p><input checked="" type="radio"/> Cresta aguda</p> <p><input type="radio"/> Perfil Creager</p> <p><input type="radio"/> Cresta ancha</p> <p><b>Calcular:</b></p> <p><input type="radio"/> Caudal (Q)</p> <p><input checked="" type="radio"/> Carga (h)</p>	<p style="text-align: center; margin: 0;"><b>Vetadero trapezoidal</b></p>
--	---	---

**Ecuación:**

$$Q = C_d (L - 0.1nh) h^{3/2}$$

donde:

Q = caudal que fluye por el vertedero, m<sup>3</sup>/s

L = longitud de cresta del vertedero, m

h = carga sobre el vertedero, m

n = número de contracciones (0, 1 ó 2)

C<sub>d</sub> = coeficiente de descarga

**Cresta aguda**

**C<sub>d</sub> = 1.84**

**Resultados:**

Carga (h):  m

**DISEÑO DE CANAL DE DERIVACION (Tirante normal, inicio de la transición)**

<b>Lugar:</b> <input type="text"/>	<b>Proyecto:</b> <input type="text"/>
<b>Tramo:</b> <input type="text"/>	<b>Revestimiento:</b> <input type="text"/>

**Datos:**

Caudal (Q):  m<sup>3</sup>/s

Ancho de solera (b):  m

Talud (Z):

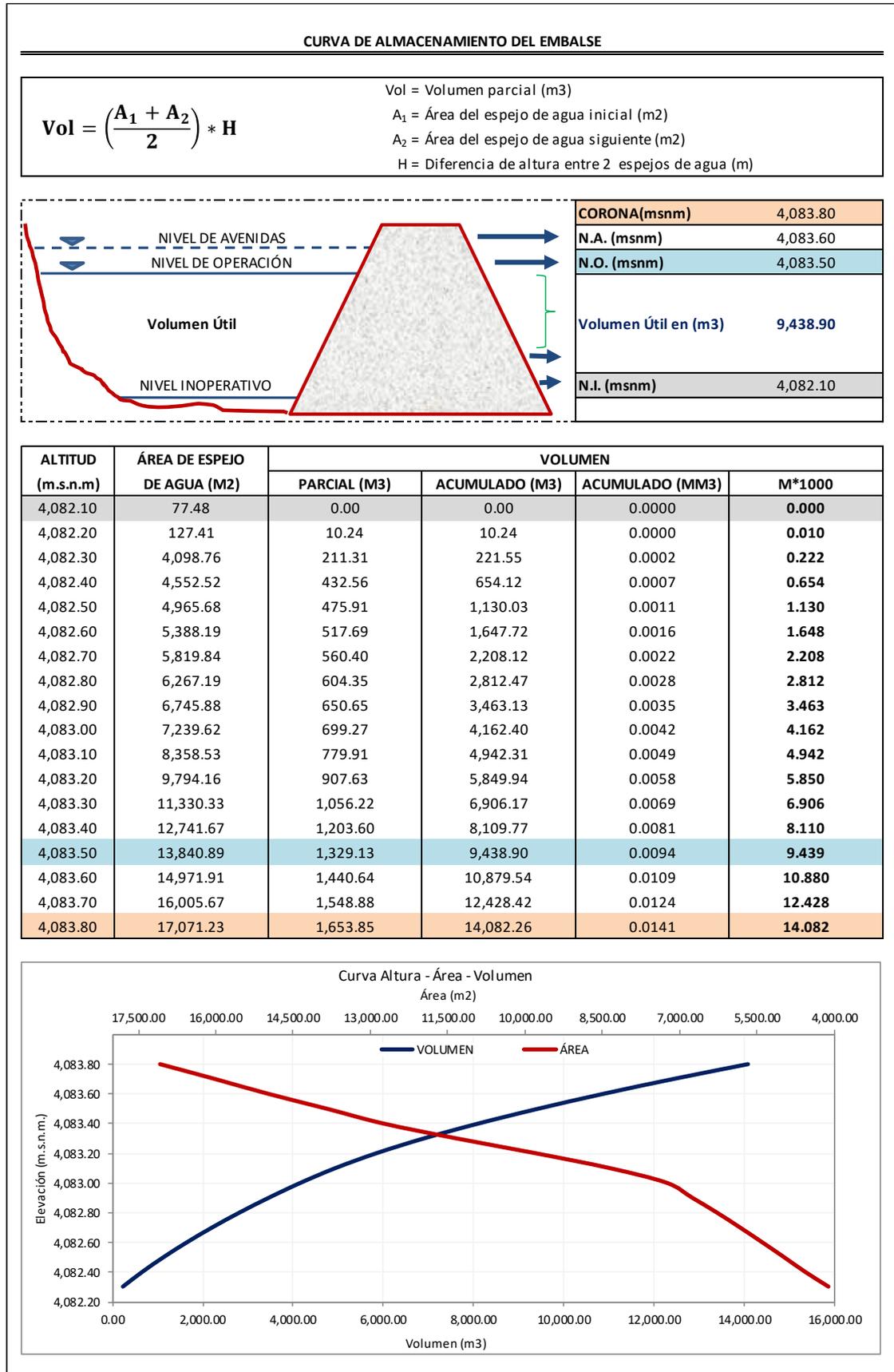
Rugosidad (n):

Pendiente (S):  m/m

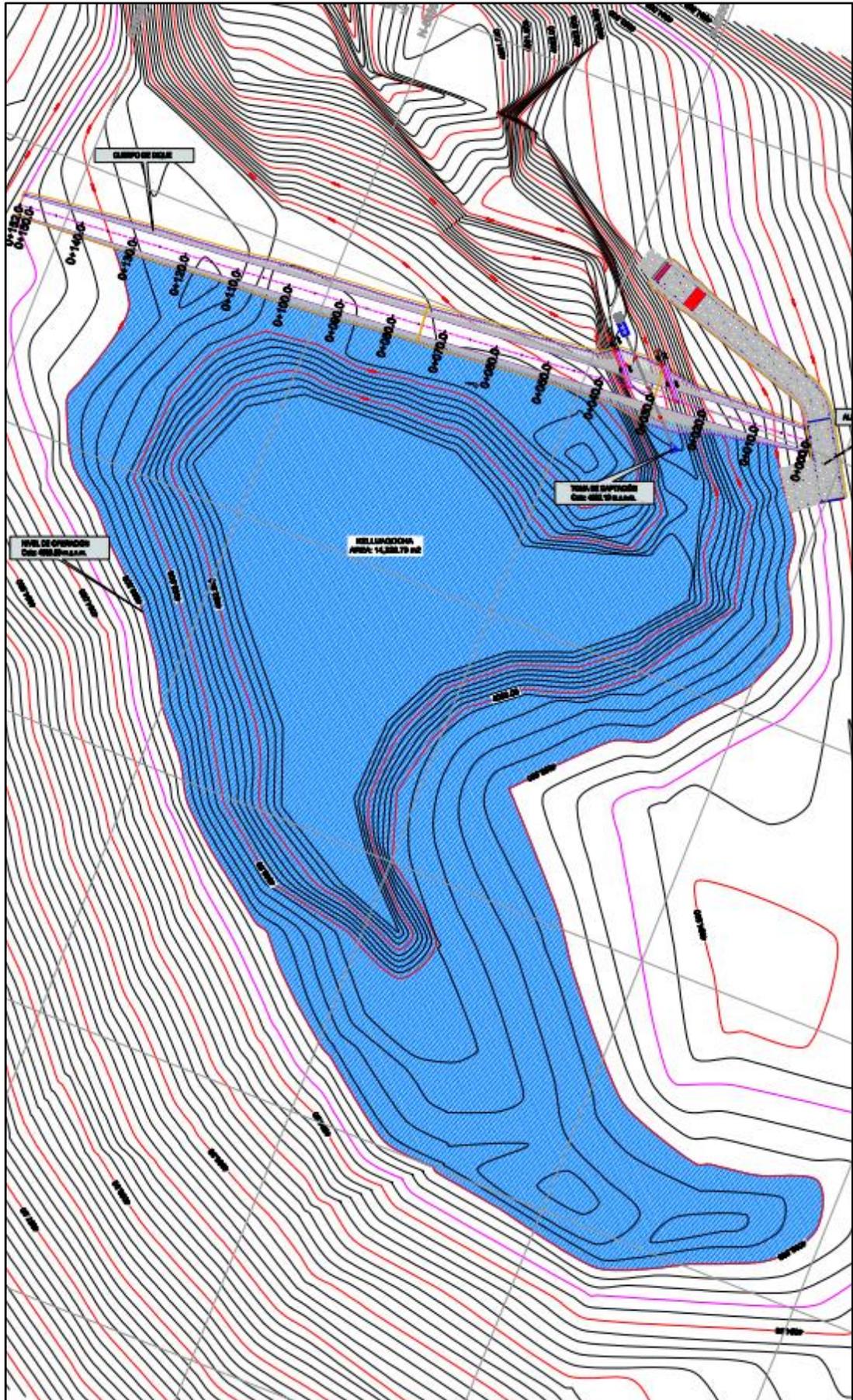
**Resultados:**

Tirante normal (y): <input type="text" value="0.3392"/> m	Perímetro (p): <input type="text" value="2.6783"/> m
Area hidráulica (A): <input type="text" value="0.6783"/> m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R): <input type="text" value="0.2533"/> m
Espejo de agua (T): <input type="text" value="2.0000"/> m	Velocidad (v): <input type="text" value="1.8870"/> m/s
Número de Froude (F): <input type="text" value="1.0345"/>	Energía específica (E): <input type="text" value="0.5206"/> m-Kg/Kg
Tipo de flujo: <input type="text" value="Supercrítico"/>	

## ANEXO 11. Plantilla de cálculo del dique de tierra para la qocha (curva de almacenamiento)

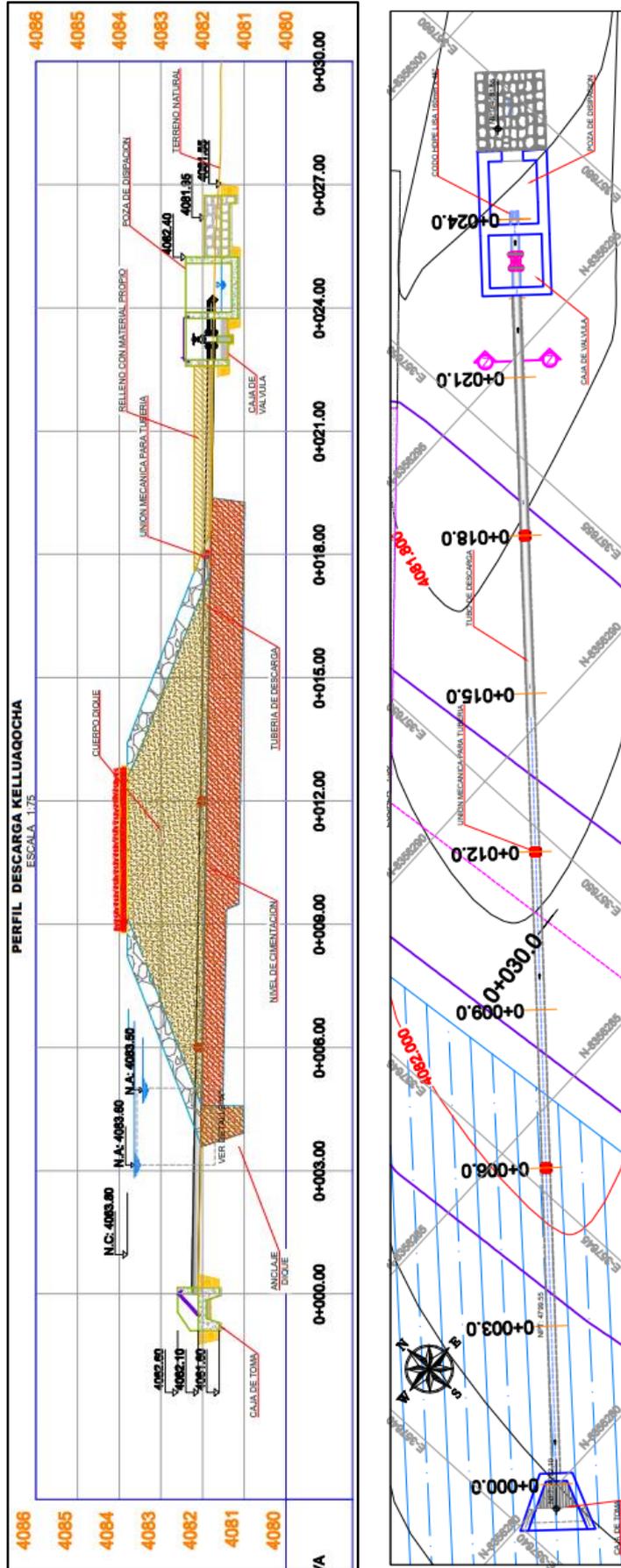


ANEXO 12. Vista en planta del dique de tierra propuesto





ANEXO 14. Vista en planta y perfil de la descarga del dique de tierra propuesto





## ANEXO 16. Panel fotográfico



*Nota.* Confluencia del río Lampa y Cabanillas (cuena del río Coata)



*Nota.* río Coata



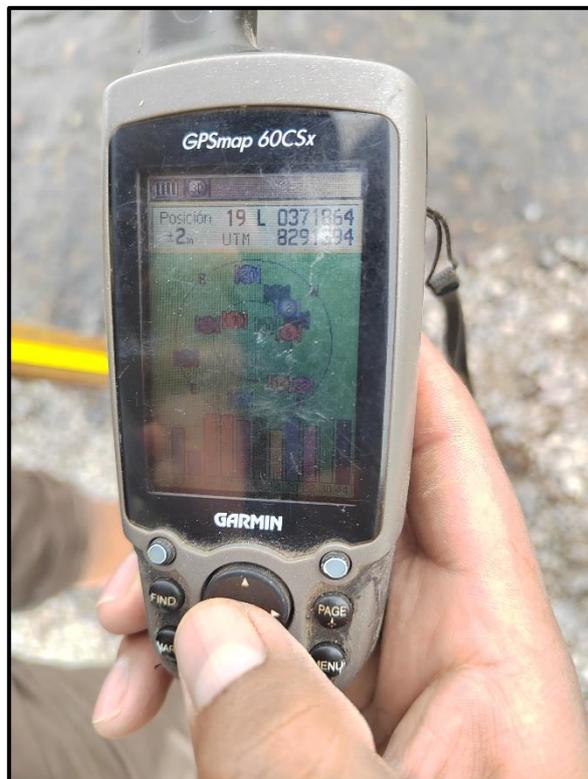
*Nota.* Medición del caudal de la cuenca del río Coata



*Nota.* Medición de la longitud de la sección del río Coata



*Nota.* Medición de la profundidad del agua del río Coata



*Nota.* Toma de coordenadas de la cuenca del río Coata



*Nota.* Preparación del terreno para la prueba de infiltración



*Nota.* Disposición de materiales para la prueba de infiltración por el método de doble anilla



*Nota.* Prueba de infiltración por el método de doble anilla



*Nota.* Prueba de infiltración por el método de doble anilla



*Nota.* Prueba de infiltración por el método de doble anilla



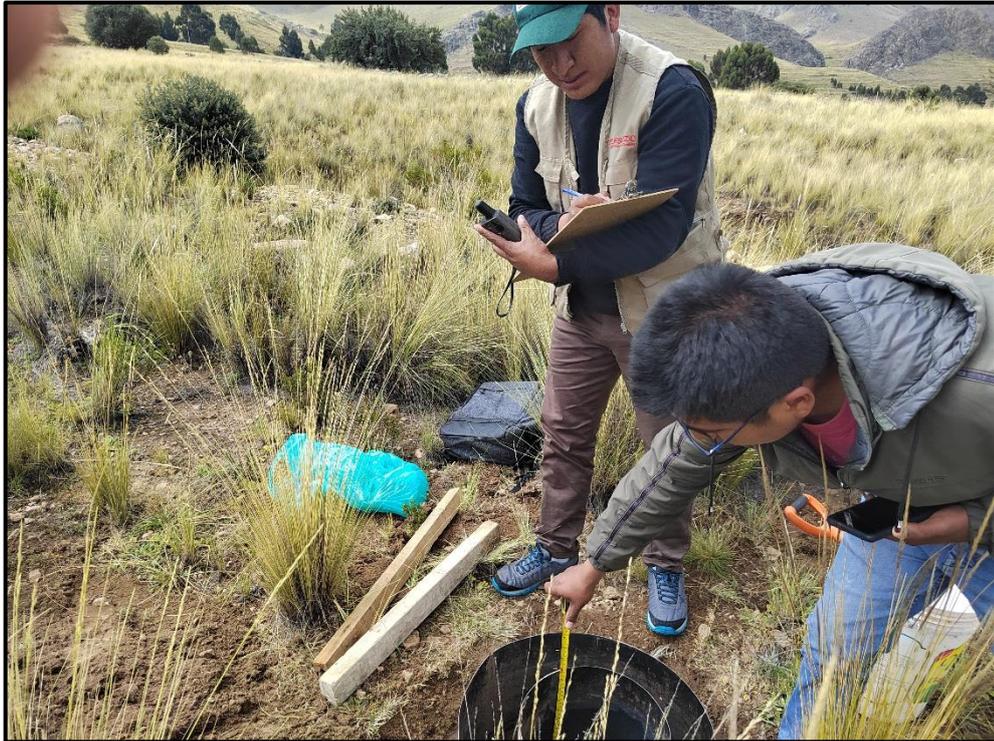
*Nota.* Prueba de infiltración por el método de doble anilla



*Nota.* Medición de la altura y tiempo de infiltración por el método de doble anilla



*Nota.* Altura de infiltración por el método de doble anilla



*Nota.* Toma de datos de la prueba de infiltración por el método de doble anilla



*Nota.* Zona de localización de la qocha propuesta



*Nota.* Sector Kellua



### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Bladimer Yonatan Leon Leon,  
identificado con DNI 76379889 en mi condición de egresado de:

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

Ingeniería Agronómica

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

“MODELACIÓN DE LOS PARAMETROS CLIMATICOS BAJO  
ESCENARIOS DEL CAMBIO CLIMATICO EN LA CUENCA  
DEL RIO COATA”

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 16 de Julio del 2024

  
FIRMA (obligatoria)



Huella



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

Por el presente documento, Yo Bladimer Yonatan Leon Leon,  
identificado con DNI 76379889 en mi condición de egresado de:

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

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

“MODELACIÓN DE LOS PARAMETROS CLIMATICOS BAJO  
ESCENARIOS DEL CAMBIO CLIMATICO EN LA CUENCA  
DEL RIO COATA”

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 16 de julio del 20 24

  
FIRMA (obligatoria)



Huella