

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERU

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PRÁCTICA ANCESTRAL DE COSECHA DE AGUA, PARA EL APROVECHAMIENTO Y
ALMACENAMIENTO.**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Civil

AUTORAS:

Cuadros Quispe, Blanca Maribel

Mercado Torres, Medalit Magali

ASESOR:

Rosas Barturen, Miluska Anthuannet

Lima, noviembre, 2021

Dedicatoria

A Dios por brindarnos salud y perseverancia en nuestro objetivo trazado y permitirnos culminar con la presente tesis.

A nuestros padres, por ser nuestros impulsores a través de sus consejos, motivaciones, apoyo incondicional y sus sacrificios para que nosotras logremos obtener el título profesional.



Agradecimiento

Un enorme agradecimiento a la ingeniera Miluska Anthuannet Rosas Barturen por habernos brindado el apoyo necesario para la elaboración de la tesis por medio de sus conocimientos y experiencias. En especial, por tener una personalidad entusiasta y con un espíritu motivador, que nos inspira a seguir nuestros objetivos en la tabla de la titulación.

RESUMEN

La creciente variabilidad del clima, el incremento de la demanda del agua y la degradación del suelo, viene acrecentando el problema de escasez de agua en Perú, ocasionando bajo rendimiento de los cultivos y disminución de áreas de riego. Para solucionar esta problemática existen alternativas a favor de la seguridad hídrica. La más convencional es la construcción de infraestructura «gris», como presas y reservorios artificiales; sin embargo, estas incluyen inversiones a largo plazo, con costos elevados, e implementaciones complejas. Frente a ello, esta tesis está enfocada en la implementación de soluciones basadas en infraestructura «verde», como las “qochas” o reservorios naturales de almacenamiento de agua. La implementación de “qochas” es una práctica ancestral de siembra y cosecha de agua. Para elaborar el presente proyecto, primero se evaluará las condiciones medioambientales (precipitación, temperatura, cobertura y tipo de suelo) de la zona de estudio, en este caso la región de Puno, provincia de Azángaro, distrito de Asillo. Luego se realizó un estudio hidrológico y balance de agua mediante la herramienta CUBHIC (Cuantificación de Beneficios Hídricos de Intervenciones en Cuencas) que nos permitirá realizar una evaluación rápida de los beneficios de una intervención hídrica natural. Finalmente, se evaluó el aporte hídrico de un sistema de “qochas” Warihumaña y Chullumpirini. Los resultados mostraron un aumento del volumen de percolación en la primera “qocha” de 328 515 m³/año y en la segunda “qocha” de 132 003 m³/año. Con ello, se concluye que gracias a la implementación de las “qochas” se obtuvo un incremento significativo del volumen de agua en las “qochas” propuestas y que la herramienta CUBHIC es una alternativa práctica como método hidrológico

Índice

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Hipótesis.....	2
1.3. Justificación.....	2
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo General.....	3
1.4.2. Objetivos Específicos.....	3
1.5. Alcances y limitaciones.....	4
1.5.1. Alcances.....	4
1.5.2. Limitaciones.....	4
1.6. Organización de la tesis.....	5
2. ANTECEDENTES	7
2.1. Problemática de demanda de agua	7
2.2. Técnicas ancestrales	10
2.3. Proyectos de Cosecha y siembra de agua en el Perú.....	15
3. MARCO TEÓRICO	20
3.1. Cosecha y siembra de agua	21
3.2. “Qochas”	23
3.2.1. Definición	23
3.2.2. Aspectos Constructivos.....	24
3.2.3. Criterios para el diseño de la altura de dique.....	28
3.2.4. “Qochas”: Cosmovisión.....	31
3.3. Balance Hídrico.....	32
3.4. Cobertura Vegetal: NDVI	37

3.5.	Propiedades de suelos.....	38
4.	DATA Y METODOLOGÍA.....	41
4.1.	Diseño de la investigación.....	41
4.2.	Caso de estudio.....	43
4.2.1.	Localización.....	43
4.2.2.	Aspectos Físicos.....	44
4.2.3.	Aspectos Económicos.....	44
4.2.4.	Aspectos Sociales.....	45
4.2.5.	Problemas de escasez de agua.....	46
4.3.	Recolección de información.....	47
4.3.1.	Registros de Precipitación.....	47
4.3.2.	Registros de Temperatura.....	52
4.3.3.	Datos del suelo.....	53
4.3.4.	Datos de cobertura vegetal.....	55
4.3.5.	Datos de elevación.....	58
4.4.	Herramienta CUBHIC.....	59
4.5.	Índice de calibración del modelo.....	63
4.5.1.	Método de regresión lineal.....	63
4.5.2.	Coeficiente de NASH.....	63
5.	PREPROCESO DE LA INFORMACIÓN.....	65
5.1.	Completación de datos de precipitación en las estaciones.....	66
5.2.	Análisis de consistencia.....	69
5.3.	Estimación de datos de precipitación en las “qochas”.....	71
5.4.	Completación de datos de temperatura.....	74
5.5.	Análisis de información de suelos.....	76

5.6.	Análisis de información topográfica	77
5.7.	Análisis de cobertura vegetal	82
6.	RESULTADOS	86
6.1.	Disponibilidad hídrica de las microcuencas Warihumaña y Chullumpirini (línea base sin ninguna implementación).....	86
6.2.	Implementación del sistema de “qochas”	88
6.1.1.	Resultados del Escenario 1: Modelo “qocha” proyectada y dique (H1).....	88
6.3.	Calibración de resultados	91
6.4.	Resultados del Escenario 2: Modelo “qocha” proyectada y dique (H2)	96
7.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	98
7.1.	Contribución al recurso hídrico.....	98
7.2.	El estudio en el contexto regional	100
7.3.	CUBHIC como herramienta de cálculo	102
8.	CONCLUSIONES.....	104
9.	RECOMENDACIONES	106

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

Anexo A. Información meteorológica

Anexo B. Número de curva

Anexo C. Mapa de ubicación de “qochas”

Anexo D. Datos de entrada elaborados para la herramienta CUBHIC

Anexo E. Cálculo de la altura del dique H2 (Escenario 2)

Lista de tablas

Tabla 1 <i>Borde libre normal y mínimo según Fecth</i>	30
Tabla 2 <i>Grupo hidrológicos del suelo</i>	38
Tabla 3 <i>Numero de curva según el tipo de suelo y la condición de vegetación</i>	39
Tabla 4 <i>Precipitación promedio mensual y máxima mensual de las estaciones meteorológicas de un periodo de 1964 hasta 2018</i>	49
Tabla 5 <i>Temperaturas mínimas media mensual</i>	52
Tabla 6 <i>Temperaturas máximas media mensual</i>	53
Tabla 7 <i>Descripción de suelo</i>	54
Tabla 8 <i>Control de humedad</i>	54
Tabla 9 <i>Capacidad portante</i>	55
Tabla 10 <i>Leyendas del índice de área foliar LAI y definiciones de clases</i>	57
Tabla 11 <i>Valores referenciales del criterio de Nash –Sutcliffe</i>	64
Tabla 12 <i>Precipitación (mm) anual acumulada de las estaciones</i>	70
Tabla 13 <i>Características del suelo para las Microcuencas Warihumaña y Chullumpirini</i>	77
Tabla 14 <i>Obtención de área y altitudes del programa ARGICS</i>	80
Tabla 15 <i>Datos de entrada de área y altura de dique</i>	81
Tabla 16 <i>Resultados de las láminas mensuales de evapotranspiración caudal, precipitación, percolación y balance de agua</i>	87
Tabla 17 <i>Volúmenes mensuales de escorrentía, evaporación, precipitación, filtración y total del escenario 1</i>	89
Tabla 18 <i>Volúmenes mensuales de escorrentía, evaporación, precipitación, filtración y total del escenario 1</i>	90
Tabla 19 <i>Resultados de volumen de almacenamiento /área de las "qochas"</i>	102

Lista de figuras

Figura 1. Organigrama de la tesis Fuente: Propia.....	6
Figura 2. Extracciones globales de agua a lo largo del siglo pasado Fuente: AQUASTAT (2010)8	
Figura 3. Pérdidas de superficie glaciar de las cordilleras del Perú Fuente: Adaptado de Adriana Mayo 2016	9
Figura 4. Una sección de cisterna y su suelo circundante con flujo de aire inducido por el viento sobre la superficie del agua. Fuente: Tomado de Saeidian (2013)	11
Figura 5. Domus romana Fuente: Tomado de Méndez (2018).....	12
Figura 6. Corte esquemático de una casa de la región serrana de Yucatán Fuente: Tomado de Hideyo Noguchi (2015)	13
Figura 7. Sección del filtro cisterna con pozo poco profundo en una plaza de Venecia. Fuente: Tomado de Gnadlinger (2015).....	14
Figura 8. Organigrama de Marco teórico Fuente: Propia	20
Figura 9. Construcción de dique Fuente: Adaptado de Sierra Azul	27
Figura 10. Elementos de dique construido Fuente: Adaptado de Sierra Azul	28
Figura 11 Niveles Característicos de la “qochas”. Fuente: Martinez (2019).....	29
Figura 12. Explicación de la metodología Fuente: Propia.....	42
Figura 13. Ubicación de las “qochas” Warihumaña y Chullumpirini, más las “qochas” aledañas a ellas, y el mismo distrito Asillo Fuente: Tomado de Google Earth (2020)	43
Figura 14. Ubicación de las estaciones Fuente: Propia.....	48
Figura 15 Precipitación diaria de la estación Ayaviri de un periodo de 1964 hasta 2018 Fuente: Adaptado del ANA	50
Figura 16 Precipitación diaria de la estación Orurillo de un periodo de 1966 hasta 1992 Fuente: Adaptado del ANA	50
Figura 17 Precipitación diaria de la estación Progreso de un periodo de 1964 hasta 2018 Fuente: Adaptado del ANA	51
Figura 18 Precipitación diaria de la estación Azangaro de un periodo de 1964 hasta 2018 Fuente: Adaptado del ANA	51
Figura 19 Precipitación diaria de la estación Pucara de un periodo de 1964 hasta 2018 Fuente: Adaptado de SENAMHI.....	52

Figura 20 Imagen satelital de las zonas de las lagunas (RGB-432). Fuente: Tomado de LANSAT 8 – USGS	56
Figura 21 DEM de las zonas de las lagunas Fuente: Tomado de SRTMGL1	58
Figura 22 Valores de cobertura y textura del suelo Fuente:Tomado de CUBHIC	61
Figura 23 Datos de entrada de escenario Fuente:Tomado de CUBHIC	62
Figura 24 Datos de entrada de coeficiente y precipitación Fuente: Tomado de CUBHIC	62
Figura 25 Explicación del preproceso de información Fuente: Propia.....	65
Figura 26 Precipitación diaria de la estación Ayaviri de un periodo de 1981 hasta 2015 Fuente: Adaptado del ANA	67
Figura 27 Precipitación diaria de la estación Progreso de un periodo de 1981 hasta 2015 Fuente: Adaptado del ANA	68
Figura 28 Precipitación diaria de la estación Azángaro de un periodo de 1981 hasta 2015 Fuente: Adaptado del ANA	68
Figura 29 Precipitación diaria de la estación Pucara de un periodo de 1981 hasta 2015 Fuente: Adaptado del ANA	69
Figura 30 Diagrama de doble masa de las precipitaciones anuales de las estaciones. Fuente: Adaptado del ANA	71
Figura 31 Precipitación diaria de la microcuenca Warihumaña de un periodo de 1981 hasta 2015 Fuente: Adaptado del ANA	73
Figura 32 Precipitación diaria de la microcuenca Chullumpirini de un periodo de 1981 hasta 2015 Fuente: Adaptado del ANA	73
Figura 33 Temperatura máxima de la estación Ayaviri Fuente: Adaptado del ANA.....	75
Figura 34 Temperatura mínima de la estación Ayaviri Fuente: Adaptado del ANA	75
Figura 35 Temperaturas máximas y mínimas de las “qochas” Fuente: Adaptado del ANA	76
Figura 36 Imagen de los DEM unido del proyecto Fuente: Propia	78
Figura 37 Delimitación de la cuenca Azángaro Fuente: Propia	79
Figura 38 Delimitación de la microcuenca Warihumaña Fuente: Propia	81
Figura 39 Delimitación de la microcuenca Chullumpirini Fuente: Propia	82
Figura 40 Valores del NDVI de la “qocha” Warihumaña Fuente: Propia	83
Figura 41 Valores del NDVI de la “qocha” Chullumpirini Fuente: Propia	84
Figura 42 Valores para la clasificación de vegetación según Bioma LAI/Fpar Fuente: Propia ...	85

Figura 43 Láminas de evapotranspiración y percolación de la microcuenca Warihumaña y Chullumpirini Fuente: Propia	87
Figura 44 Volúmenes de evaporación, filtración y almacenamiento del escenario 1 Fuente: Propia	89
Figura 45 Volúmenes de evaporación, filtración y almacenamiento del escenario 1 Fuente: Propia	90
Figura 46 Volúmenes de la “qocha” Warihumaña realizados mediante el CUBHIC y por Sierra Azul Fuente: Propia	92
Figura 47 Correlación entre los volúmenes de la “qocha” Warihumaña realizados con el CUBHIC y por Sierra Azul Fuente: Propia	93
Figura 48 Volúmenes de la “qocha” Chullumpirini realizados mediante el CUBHIC y por Sierra Azul Fuente: Propia	93
Figura 49 Correlación entre los volúmenes de la “qocha” Chullumpirini realizados con el CUBHIC y por Sierra Azul Fuente: Propia	94
Figura 50 Comparación de valores de volúmenes de precipitación en la”qocha” Warihumaña Fuente: Propia	¡Error! Marcador no definido.
Figura 51 Comparación de valores de volúmenes de evapotranspiración en la ”qocha” Warihumaña Fuente: Propia	95
Figura 52 Comparación de valores de volúmenes de precipitación en la”qocha” Chullumpirini Fuente: Propia	¡Error! Marcador no definido.
Figura 53 Comparación de valores de evapotranspiración en la”qocha” Chullumpirini Fuente: Propia	95
Figura 54 Volúmenes de almacenamiento en el escenario 1 y 2 en Warihumaña Fuente: Propia	97
Figura 55 Volúmenes de almacenamiento en el escenario 1 y 2 en Chullumpirini Fuente Propia	97
Figura 56 Volumen de percolación de la microcuenca Warihumaña Fuente: Propia.....	99
Figura 57 Volumen de percolación de la microcuenca Chullumpirini Fuente: Propia.....	100
Figura 58 Microcuencas y "qochas" en Ayacucho Fuente: Propia.....	101

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La región Puno es considerada uno de los lugares más sensibles y afectados por la variabilidad climática presentando una disminución de caudal base de los cursos de agua, ocasionando bajo rendimiento de los cultivos y disminución de áreas de riego. A causa de ello, la Autoridad Nacional del Agua (ANA), del Ministerio de Agricultura del Perú, declaró oficialmente en emergencia hídrica 37 valles y áreas agrícolas de siete regiones del país por la sequía que está dejando sin agua a la población y los cultivos (López,2016),dentro de ello se encuentra la provincia de Azángaro. Otro indicador de la disminución del recurso hídrico, es el balance hídrico realizado por el Instituto Nacional de Recursos Naturales Intendencia de Recursos Hídricos que indica un déficit de agua en la región de Azángaro durante los periodos de los meses de agosto hasta noviembre, sobre todo en zonas de mayor concentración de riego (INRENA,2008). Adicionalmente, se ha reportado que la cobertura de abastecimiento de agua por red pública, en el año 2011 alcanzó únicamente el 48,2% de total de viviendas, concentrándose en áreas urbanas. Por lo tanto, gran parte de viviendas del medio rural no cuentan con este servicio, por lo que se abastecen de agua de pozo, río, acequia, manantial o similar (Puno,2013). Por ello, la construcción de infraestructura “verde” y/o “natural” se muestra como una alternativa viable en este contexto, donde la participación local y el conocimiento ancestral están involucrados. A pesar de que las técnicas ancestrales, para la regulación y almacenamiento de agua, en este caso “qochas”, son conocidas de manera local, la información sobre la cuantificación del aporte hídrico, antes y después de la implementación es aún limitada. En consecuencia, la presente tesis tiene como objetivo principal analizar el comportamiento en sistema de “qochas” implementadas en la provincia de Azángaro.

1.2. Hipótesis

La “qocha” contribuye a la seguridad, generación y conservación del recurso hídrico, para satisfacer los usos múltiples del agua, especialmente en épocas de estiajes en zonas andinas.

1.3. Justificación

En la actualidad, las zonas andinas se encuentran afectadas por el cambio climático y sus secuelas en los ecosistemas hídricos. Esto provoca el desecamiento del ambiente, con un aumento de evaporación, y la escasez del agua para el consumo animal y riego (Morante, 2018). Estudios anteriores aseguran una disminución en la precipitación promedio anual de 7% aproximadamente, en 20 años (MINAM, 2016), en ciertas zonas del país. Por otro lado, la zona Andina es impactada por la creciente desglaciación. La aceleración del deshielo de los glaciares suscitará de manera negativa en los recursos hídricos de las regiones montañosas (WWAP, 2020). En el Perú, la disminución estimada del área glaciar fue de 53.56% entre el año 1962 y 2017 (INAIGEM, 2017). Ante los diversos efectos del cambio climático, se propondrá una técnica ancestral de almacenamiento que permita una adaptación con respecto a la potencial escasez hídrica. Existen diversas técnicas de almacenamiento; entre las cuales, se encuentra la cosecha y siembra de agua, que consiste en almacenar el agua en la época de lluvia y aprovecharla durante la época de estiaje. Entre los diversos tipos de cosecha y siembra de agua, se encuentra aquella técnica ancestral llamada “qochas”.

Las “qochas” son pequeños reservorios naturales que permiten recoger y regular el agua de lluvia. Este tipo de infraestructura se clasifica como «verde».

Uno de los beneficios que presenta la implementación de “qochas”, es una menor dependencia a la lluvia, para poder sembrar. Es decir, se podrá disponer de agua durante estaciones secas y no se desperdiciará el recurso, en caso de excedentes. Adicionalmente, las “qochas” proporcionan un mejor control de los huaycos e inundaciones causadas por el transporte de materia sólida (Barazorda & Salinas, 2014). Por último, la construcción de reservorios naturales apelará al uso de materiales existentes en la zona y aportará a la conservación de la flora y fauna silvestre. Esto evitará la construcción de una estructura artificial, con insumos sofisticados y elevados costos; la cual, en varios casos, no acredita la inversión (Morante, 2018). Como bien se ha nombrado, los aportes que generarán las construcciones de las “qochas” serán muy significativos para lidiar con los efectos del cambio climático; en especial, frente a la agricultura peruana, que es dependiente de la precipitación. Esto servirá como impulso para analizar, a nivel hidrológico, cuán relevante será la implementación de las “qochas”.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Implementar y evaluar el comportamiento de un sistema de reservorios naturales o “qochas” llamadas Warihumaña y Chullumpirini ubicadas en la cuenca de Azángaro en el incremento de la oferta hídrica mediante la metodología CUBHIC

1.4.2. Objetivos Específicos

- Recolectar información como las características del suelo, de la vegetación e información meteorológica de la zona estudiada (provincia de Azángaro).
- Evaluar el aporte hídrico en la provincia Azángaro (línea base) mediante un estudio hidrológico y balance de agua.

- Evaluar el aporte hídrico del sistema de “qochas” (escenario 1), utilizando la herramienta CUBHIC
- Evaluar el aporte hídrico del sistema de “qochas” que incluye la implementación de diques como una alternativa de mejora en el almacenamiento de agua (escenario 2).

1.5. Alcances y limitaciones

1.5.1. Alcances

La tesis en desarrollo tiene como alcance el estudio hidrológico de un sistema de “qochas”, ubicado en el departamento de Puno. Los aspectos puntuales que comprende la investigación son determinar las máximas intensidades de lluvia, el máximo caudal de avenida del área de recarga hídrica y realizar la estimación anual del volumen que escurre en el lugar. Con los datos obtenidos en campo, se logrará calcular las dimensiones del dique, para su construcción. Así, el aporte hídrico (volumen de agua) adicional, generado por las “qochas” se podrá estimar.

1.5.2. Limitaciones

- Solo se realizará el estudio hidrológico, más no se tomará en cuenta otros aspectos laterales como la geotecnia, topografía, geología y estudios de suelos agronómicos.
- Para la validación del modelo, la escasez bibliográfica sobre estudios hidrológicos de “qochas” conllevó a extrapolar la información existente sobre el tema, en el campo.
- Falta de información de demanda de agua de la población.

- Las circunstancias de la Pandemia COVID -19. Debido a la cual, los proyectos se encuentran paralizados. Esto limita la posibilidad de tener acceso al proyecto y a la información sobre su avance.

1.6. Organización de la tesis

La organización de la tesis abarca 7 secciones; la primera, antecedentes, comprende la problemática del agua, técnicas ancestrales y los diferentes proyectos de “qochas” como alternativa de solución ante la escasez del agua. (ver Figura 1). Luego en el marco teórico, se expondrá a detalle sobre la cosecha y siembra de agua, el concepto de “qocha” y toda la teoría que deviene de este término además de los términos de balance hídrico, cobertura vegetal y las propiedades del suelo. Posteriormente en la sección de data y metodología se indica información de la zona de estudio, recolección de información y la herramienta CUBHIC para el estudio hidrológico. Después se realiza el preproceso de la información, esta parte se ha considerado la completación de datos de precipitación con sus respectivos análisis de consistencia, además de la estimación de datos de precipitación, información de suelos, topografía y la cobertura vegetal de las “qochas” en estudio. Una vez obtenido toda la información son insertados en la herramienta CUBHIC y se obtiene la sección de resultados de la microcuenca, del escenario 2 y la calibración del ensayo. Por último, el análisis de discusión de resultados donde se resaltarán los puntos principales de la tesis y el contraste con la hipótesis planteada al inicio de la investigación, y las conclusiones y recomendaciones de la tesis.

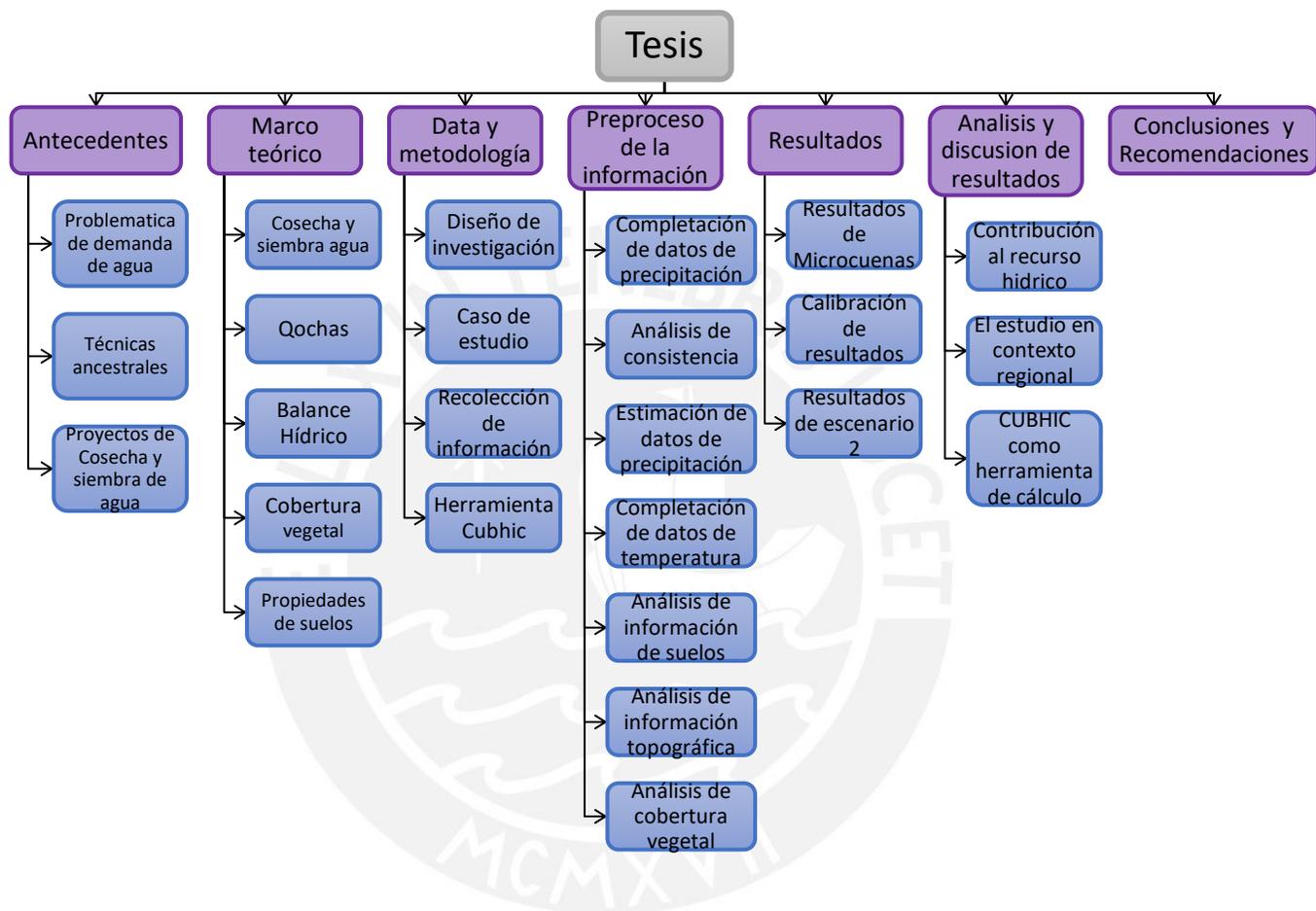


Figura 1. Organización de la tesis
Fuente: Propia

2. ANTECEDENTES

En esta sección, se explicará la problemática de la demanda de agua, a nivel global y dentro del contexto peruano. Luego, se dará a conocer las diversas técnicas ancestrales basadas en la recolección de agua de lluvia. Las mismas que han sido practicadas desde hace muchos siglos, en todo el mundo. Después, se expondrá algunos proyectos de cosecha y siembra de agua llevados a cabo en Perú.

2.1. Problemática de demanda de agua

La actual dependencia del agua ha ocasionado la escasez de este recurso, alrededor del mundo. Algunos estudios indican que la demanda global de agua se ha multiplicado por seis, en la última década, y ha llegado a un valor aproximado de 4250 km³/ año, en el 2010 (ver Figura 2). Esta cifra sigue ascendiendo, de manera constante, en un 1% anual, aproximadamente (AQUASTAT, 2010). Además, se pronostica que, si la actual demanda no disminuye, habrá que afrontar un déficit hídrico del 40%, en el 2030, a nivel global (WRG, 2009). Asimismo, el decaimiento de las aguas subterráneas se duplicó entre 1960 y el 2000; periodo en el que se redujo a 280 km³ (PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2014).

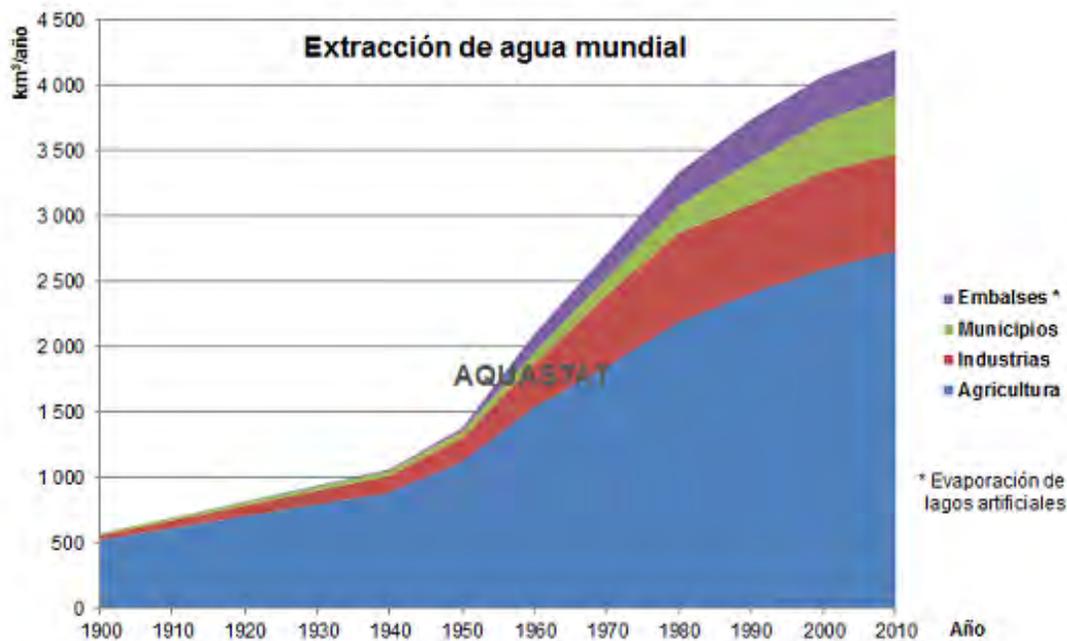
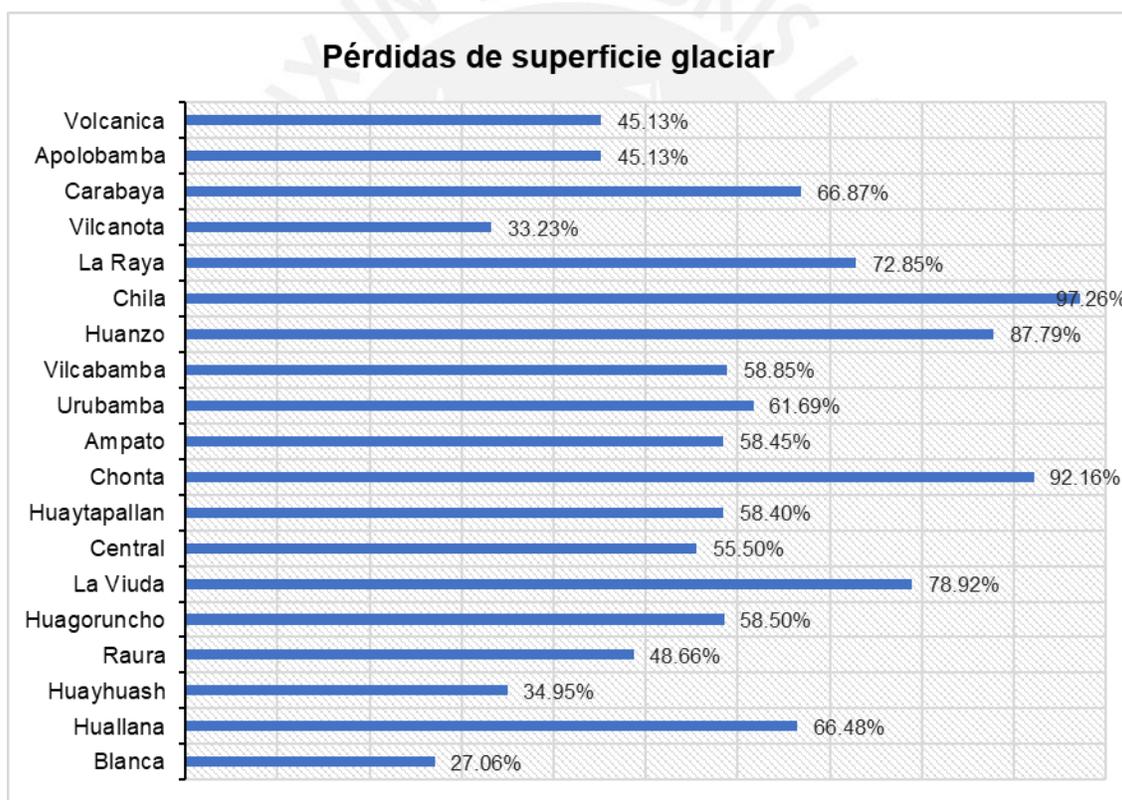


Figura 2. Extracciones globales de agua a lo largo del siglo pasado
Fuente: AQUASTAT (2010)

El Perú, a pesar de ser rico en agua dulce, a nivel de Latinoamérica, debido al suministro de la cuenca amazónica, es uno de los países que sufren de escasez hídrica. La principal causa de este fenómeno es la desigualdad en la distribución demográfica del país y los requerimientos de agua, pues donde hay mayor población, hay menor cantidad de agua. Las aguas que discurren hacia el océano Pacífico constituyen solo el 2,2% de la disponibilidad nacional de agua y deben proveer al 62,3% de la población del país. Muchos estudios han demostrado que, en la región andina, el agua destinada para las áreas de cultivo ha disminuido generando una preocupación económica local (Damonte et al., 2017).

Otro de los factores que causan preocupación es la variación que sufren las precipitaciones y la temperatura. Estas perturban directamente a las reservas de agua terrestre. Junto con esto está la constante desglaciación, la cual repercutirá negativamente en los recursos hídricos de las regiones montañosas y de las llanuras adyacente. Debido a que, en los Andes peruanos, se encuentra más

del 71% de los glaciares tropicales del mundo, y el 42.64% (870,660 km²) de estos representan la pérdida ocurrida durante los últimos 40 años (INEI,2016). Además de ello, el Perú presentaba 20 cordilleras; de las cuales, una ha desaparecido, mientras que las demás se están reduciendo. Glaciares como Chonta, Huanzo, Chila, La Raya y Volcánica se encuentran en peligro de extinción, pues podrían desaparecer en los próximos 20 años (ver Figura 3) (Mayo, 2016). Como consecuencia a la desaparición de estas, se genera un descenso significativo en la oferta hídrica de las localidades andinas, quienes viven de este recurso, pues lo utilizan para mantener su ganado y la agricultura de la zona.



*Figura 3. Pérdidas de superficie glaciar de las cordilleras del Perú
Fuente: Adaptado de Adriana Mayo 2016*

También, el excesivo consumo de agua se ha experimentado en el último siglo; que acompañado de un suministro deficiente, empeorará la situación de estrés hídrico, en regiones donde este es ya un problema (WWAP,2020). Por último, la mala práctica antrópica (sobrepastoreo, quemas, deforestación) interrumpe la infiltración natural de agua en el suelo; lo que produce la reducción de la recarga del acuífero, en las áreas generadoras de agua en las cuencas (Morante,2018).

2.2. Técnicas ancestrales

A lo largo de los siglos, la especie humana ha encontrado múltiples soluciones innovadoras para la obtención de agua. Una de las prácticas más reconocidas, desde tiempos ancestrales, es la gestión y recolección de agua proveniente de la lluvia. Esta práctica se ejerce especialmente en zonas con precipitación limitada, variable e impredecible; es decir, las regiones áridas y semiáridas. Es por ello que, para poder comprender de una manera más clara la actual crisis del agua, es fundamental conmemorar las prácticas de gestión del agua que se han implementado en diferentes épocas y lugares del mundo.

YAZD

Yazd es una de las ciudades más antiguas e históricamente importantes de Irán. Las condiciones desérticas de la región Yazd estimulan la necesidad de almacenar agua y mantenerla fresca, a través de unos depósitos subterráneos llamados Ab Anbar (ver Figura 4). Esta estructura presenta un depósito cilíndrico con una cúpula de cubierta masiva y una o más torres de viento que sirven para la ventilación (Saeidian, 2013).

Su construcción se caracterizaba por presentar materiales muy resistentes, como el Sarooj; que es un mortero hecho principalmente de arena, arcilla, claras de huevo, en otros, proporciones específicas que dependían de la zona y el clima (Sanizadeh, 2008). Los ab Anbar abastecían

ciudades enteras y se construían en el centro de cada ciudad. Estaban formados por cuatro componentes principales: Khazine (la cisterna real), la cúpula, el Pasheer y la torre de viento (Badgir).

El primero, Khazine se caracteriza por su forma cilíndrica y está construido a profundidades, para transportar el agua procedente del “Qanat” (canales subterráneos) y conservar la temperatura baja del agua. La cúpula de forma esférica, construida sobre el Khazine sirve para preservar el agua de la contaminación ambiental y mantenerla fresca. Después, se encuentra el Pasheer, que es una plataforma que se utiliza para la extracción del agua del Khazine. Por último, la torre de viento cumple la función de enviar el aire dentro del Ab-Anbar, con el fin de que el agua no se descomponga (Saeidian, 2013).

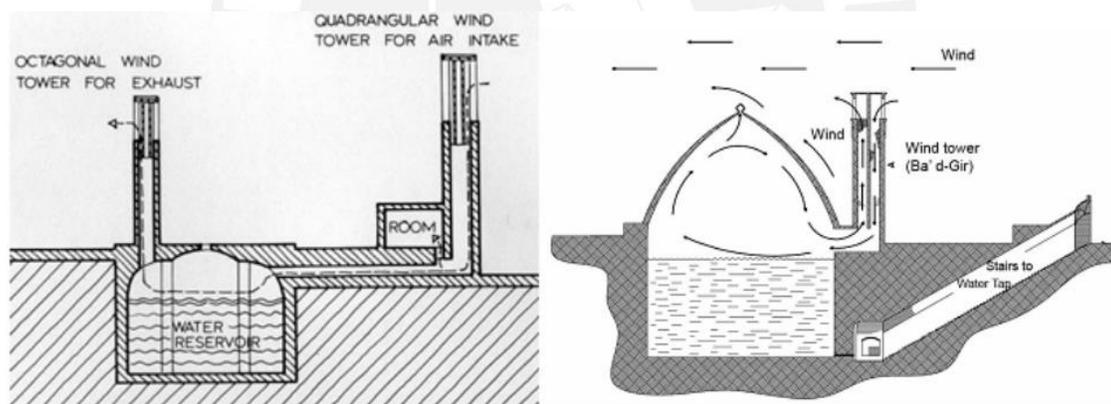


Figura 4. Una sección de cisterna y su suelo circundante con flujo de aire inducido por el viento sobre la superficie del agua.

Fuente: Tomado de Saeidian (2013)

ROMA

En el imperio romano, una forma eficiente de obtener agua, en épocas de escasez de agua, fue la creación de pozos de almacenamiento de agua de lluvia. En los siglos III y IV a. n. e., las casas o *Domus*, (ver Figura 5) presentaban una sola habitación, llamada *Atrium*. Esta área era un patio

central, con una entrada en el techo, denominada *compluvium*; el cual, permitía acarrear agua de lluvia, por medio del tejado inclinado. Se dirigía el agua hacia el interior de la vivienda. Además, el agua era recogida en un estanque central llamado *impluvium* (Ballén, Galarza & Ortiz, 2006).

Otro tipo de almacenamiento de agua eran las cisternas subterráneas cubiertas, las cuales presentaban dos grandes beneficios. El primero es la disminución de las pérdidas por evaporación, lo que produjo un aumento en el almacenamiento de agua. El segundo es que las cisternas sirvieron de protección para el agua, contra la contaminación (Pizarro et al., 2015).

Por último, una de sus más grandes obras hidráulicas de esta cultura son los acueductos, que son canales de sección rectangular que transportaban agua a todo el Imperio Romano. Para construirlos, analizaban el suelo y la orografía de toda la zona; en base a tal estudio, se escogía las zonas más convenientes para que el agua se transporte por gravedad.

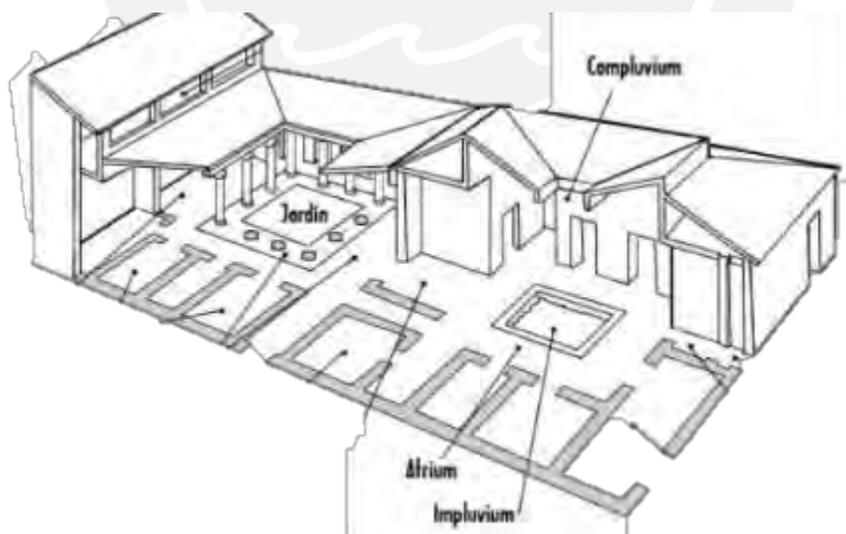


Figura 5. Domus romana
Fuente: Tomado de Méndez (2018)

MÉXICO

En la península de Yucatán, en el siglo X a. C., los mayas desarrollaron un sistema de captación de agua de lluvia. El agua era recogida en un área de 100 a 200 m² y se almacenaba en cisternas, conocidas como “Chultunes” (ver Figura 6). Estas cisternas tenían un diámetro aproximado de 5m y se construían en el subsuelo, y se impermeabilizaban con yeso (Ballén et al., 2006). Además, pueden tener diversas formas, como forma de botellones, de campanas y forma irregular. Los “Chultunes” en forma de botella se caracterizan por presentar una profundidad aproximada de 6m y por tener paredes internas constituidas por una gruesa capa de yeso (Thompson, 1897). Esta variedad de su forma se debe a la clase de material del área en que se excavaron (Zapata, 1989).

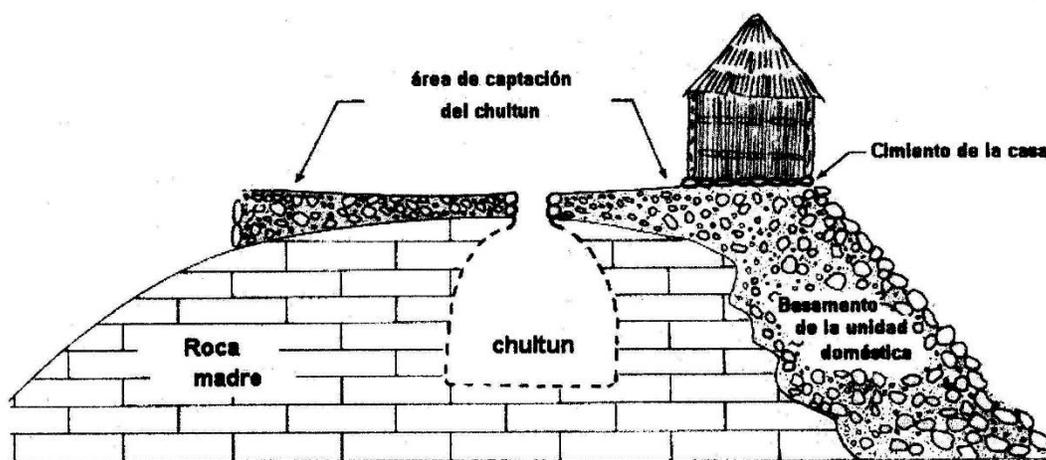


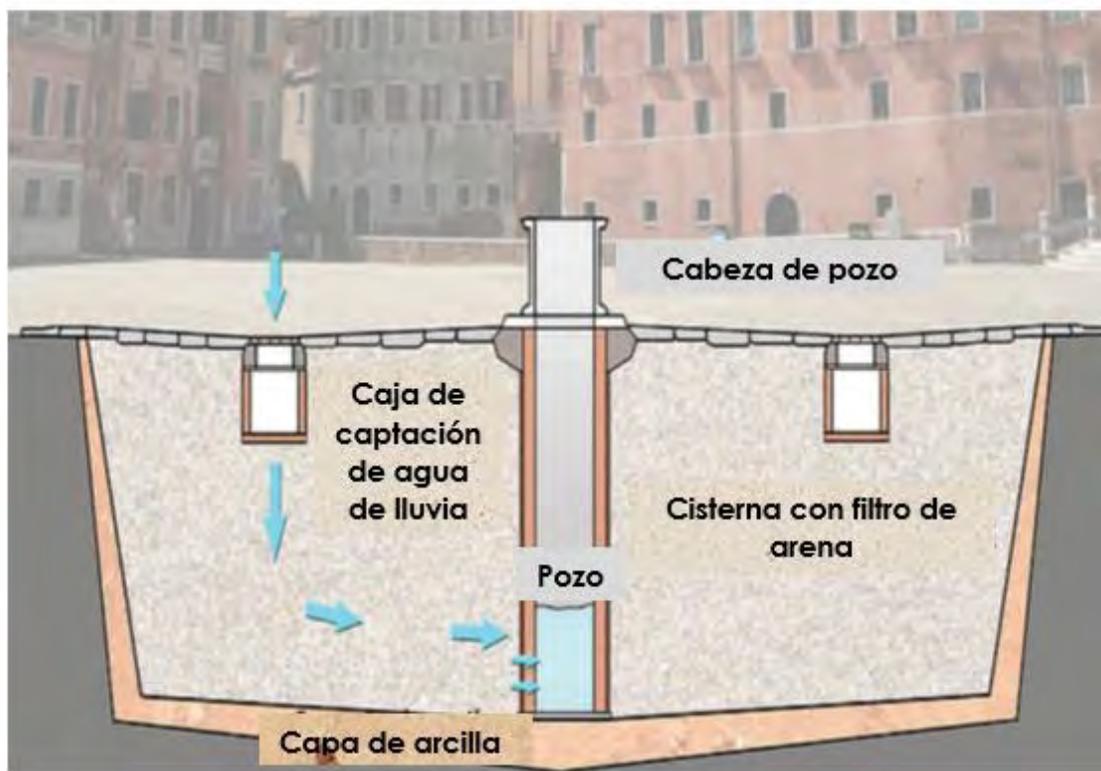
Figura 6. Corte esquemático de una casa de la región serrana de Yucatán
Fuente: Tomado de Hideyo Noguchi (2015)

VENECIA

Venecia es conocida por sus islas adyacentes, que están rodeadas de agua. Esta ubicación debería implicar gran abundancia de agua; sin embargo, esta agua no es potable. Al igual que los romanos, en la Edad Media, construyeron cisternas de filtración subterránea, conocidas como pozos. Estos

pozos se ubican en el centro de plazas y patios; lugares donde había mayor población (Gnadlinger, 2015).

El funcionamiento consistía en canalizar el agua de lluvia de los techos o plataformas especiales, hacia las cisternas. Las mismas que eran excavadas en el suelo y cubiertas con arena. Para mantener el agua pura y fresca, se debía filtrar el agua, por medio de la arena. A través de la capa de arcilla, colocada en el contorno de la cisterna, se logró impermeabilizarla: con ello, se evitó la intromisión del agua salada del mar (ver Figura 7). Estos pozos fueron alrededor de 6700; los cuales, funcionaron hasta el siglo XIX. En la actualidad, existen más de 500 "cabezas de pozo" a lo largo de la ciudad. El sistema de cisternas contribuyó a que la ciudad se elevara y prosperara, a lo largo de los siglos.



*Figura 7. Sección del filtro cisterna con pozo poco profundo en una plaza de Venecia.
Fuente: Tomado de Gnadlinger (2015)*

2.3. Proyectos de Cosecha y siembra de agua en el Perú

Las prácticas ancestrales evidencian los conocimientos avanzados en la gestión del agua que poseían nuestros antepasados. En la actualidad, este conocimiento puede ayudarnos a adaptarnos mejor a la problemática de la escasez de agua. A continuación, detallamos proyectos actuales desarrollados en las zonas alto andinas del Perú.

Recarga artificial de acuíferos, a través de zanjas de infiltración en el distrito de Chaclla

Este proyecto se encuentra en el distrito de San Antonio de Chaclla, provincia de Huarochirí, departamento de Lima. En esta región, uno de los problemas es la dependencia que existe por las precipitaciones de lluvia; la misma que es muy escasa. Esto provoca que la actividad agrícola sea insuficiente y destinada solo al autoconsumo (MINAGRI, 2015).

Para la solución de esta problemática, se desarrolló la recarga artificial de acuíferos. Con el objetivo de lograrlo, se evaluaron las zonas más adecuadas para la instalación de zanjas de infiltración, de acuerdo a las características hidrogeológicas. Además, se construyeron 7000 plantones de quenuales (árboles que permitieron reforzar el proceso de recarga artificial). Por último, para realizar el mantenimiento de las zanjas, se formaron grupos de trabajo, dentro de la misma comunidad (MINAGRI, 2016).

Siembra y cosecha de agua en el distrito de Santo Domingo de Capillas

Santo domingo de Capillas es un distrito ubicado en la provincia de Huaytará, departamento de Huancavelica. Los pobladores agropecuarios se vieron afectados por los cambios producidos en los periodos de lluvia. La intensidad de la precipitación provocó la perturbación de los procesos naturales de recarga de fuentes de agua (manantiales, reservorios), en el lugar.

Los cambios que se realizaron, para optimizar la adaptación de los productores agropecuarios al cambio climático, fue, en primer lugar, la construcción de 10 km de zanjas de infiltración y un cerco para vicuñas. Esto fue promovido por el Gobierno Regional de Huancavelica y efectuado por la Comunidad Campesina de Santo Domingo de Capillas. En segundo lugar, la construcción de diques o “atajaditos” fueron implementados y favorecieron la cosecha de agua en reservorios y ojos de agua de las zonas. En tercer lugar, se encuentra la construcción de reservorios impermeabilizados con geomembranas, además de módulos de riego tecnificado. Por último, se colocó un sistema de monitoreo hidrológico para reconocer los beneficios de la implementación de zanjas de infiltración y diques rústicos. El monitoreo se realizó por CONDESAN (MINAGRI, 2015).

Los resultados suscitaron diversos beneficios, como un aumento de velocidad en el llenado de reservorios de riego, los cuales alimentan a manantiales en los tiempos de estiaje, y la recuperación de pastos y bofedales, alrededor de las zanjas de infiltración y los diques rústicos (MINAGRI, 2016).

Cosecha de Agua en la Comunidad Campesina de Antacollana, Cusco

La Comunidad Campesina de Antacollana, se encuentra en la provincia de Espinar. Esta comunidad tiene como principal actividad económica la pecuaria; además de la agricultura donde produce papa y quinua, los cuales son afectados por las bajas temperaturas, sequias y granizadas (MINAGRI,2015). Asimismo, la principal fuente de agua es la lluvia periódica, con alta evapotranspiración y pérdida de retención de agua por escorrentía superficial. Bajo este contexto, se construyeron pozas individuales, atajados a maneras de diques continuos y escalonados, además de la ampliación de humedales (“qochas”), en zonas adecuadas para la captación de agua de lluvia.

Ciertas pozas estimulan el agua en el subsuelo y ayudan a la humedad en la zona, mientras que hay otras pozas de uso exclusivo de consumo humano. Como resultado se aumentó el almacenamiento a 306 000 m³ de agua en los reservorios medianos. Este proyecto fue gracias a el proyecto MARENASS del Ministerio de Agricultura junto a la municipalidad local(MINAGRI, 2016).

Gestión del recurso hídrico en la subcuenta de Shullcas, Junín

La subcuenca del río Shullcas está situado en el departamento de Junín, provincia de Huancayo. La principal fuente de suministro de agua, es el nevado Huaytapallana el cual presenta, durante los últimos 30 años, una disminución en 60% de su área de cobertura glaciaria; además de una reducción del 15% de la precipitación y un aumento de temperatura entre 1° y 2° de la cuenca del río Mantaro (MINAGRI, 2015).

Debido a ello, se realizaron varias medidas en la subcuenca con el fin de revertir el potencial riesgo a grandes periodos de sequía y por consecuencia a la escasez de agua. Para ello, se instalaron sistemas de riego tecnificado en los cultivos agrícolas y las mejoras en el uso de riego(MINAGRI, 2016).

También, se realizó la reforestación a través de plantaciones de quenuales, las cuales contribuyen al proceso de recarga hídrica para llenar los acuíferos; además de otras plantaciones como el ccolle que aporta significativamente a la captación de la precipitación. Por último, se construyeron zanjas de infiltración las cuales contribuyeron en la recarga hídrica(MINAGRI,2015).

Se resalta una mayor concientización por parte de la comunidad, pues dentro de sus temas a desarrollar está el de la adaptación al cambio climático, además de presentar como reglamento la prohibición de la quema de pasturas.

Siembra y cosecha de agua en la cuenca alta del río Lurín, Lima

Se forma debido al déficit hídrico provocado por la baja precipitación del lugar. La zona es conocida por presentar en la parte alta de la cuenca un gran número de amunas; sin embargo, no son suficientes para solucionar la escasez del agua. Como solución se construyó reservorios impermeabilizados para la abducción y el almacenamiento del agua de escorrentía. Primero, se construyó el reservorio de mampostería en Yanasari. Luego en el 2007, se realizó la construcción de los embalses de Oruri, Cantajuayqui, Huachincara, Hueccho, Cancasica; proyectos que permitieron el aumento de la capacidad de almacenamiento a 931 000 m³, además de un embalse de 2 000 000 de m³. Este proyecto fue ejecutado por la comunidad campesina junto con la Municipalidad Distrital de Tupicocha (MINAGRI, 2016).

Siembra y cosecha de agua en la cuenca del río Chavín – Topara, Ica

Topara se encuentra en el distrito de Chavín, provincia de Chincha, departamento Ica. Esta presenta como característica ser una zona seca con un valle semidesértico de escasa precipitación y con limitadas fuentes de agua. Otra de las dificultades de la zona es la inadecuada explotación de recursos naturales, debido a la ausencia de un plan de Zonificación Económica Ecológica (ZEE) (MINAGRI, 2015).

Primero se construyó en el origen de la microcuenca un reservorio de tierra. Luego se elaboraron microreservorios de una capacidad de alrededor de 5 000 m³ cada uno, impermeabilizados con geomembrana, los cuales son útiles para el riego del cultivo y de plantaciones forestales. Por último, se trabajó en mejorar la capacidad de captura, filtración y retención de las aguas de lluvia por medio del manejo de los suelos y la cobertura vegetal. Todo ello, promovió a la elaboración

de proyectos donde se involucraron la misma comunidad junto con la municipalidad distrital y el Gobierno regional (MINAGRI, 2016).



3. MARCO TEÓRICO

En esta sección, se expondrá a detalle sobre la cosecha y siembra de agua, el concepto de “qocha” y toda la teoría que deviene de este término. En la primera parte, se definirá, de manera más concisa, qué es la cosecha y siembra de agua, y cuál es su forma de clasificación. En la segunda parte, se explicará a detalle los conceptos que enmarcan a las “qochas”, como los aspectos constructivos de la qocha y del dique de embalse, y la cosmovisión y el ámbito social detrás de la implementación de una “qocha”.

En la tercera parte se presentará los conceptos involucrados en la comprensión del balance hídrico de una “qocha”, como precipitación, escorrentía, infiltración, entre otros. Luego se detalla los conceptos involucrados en la determinación de la vegetación. Finalmente, se expondrá a detalle las propiedades de suelos requerida para la evaluación de las “qochas” (ver Figura 8).

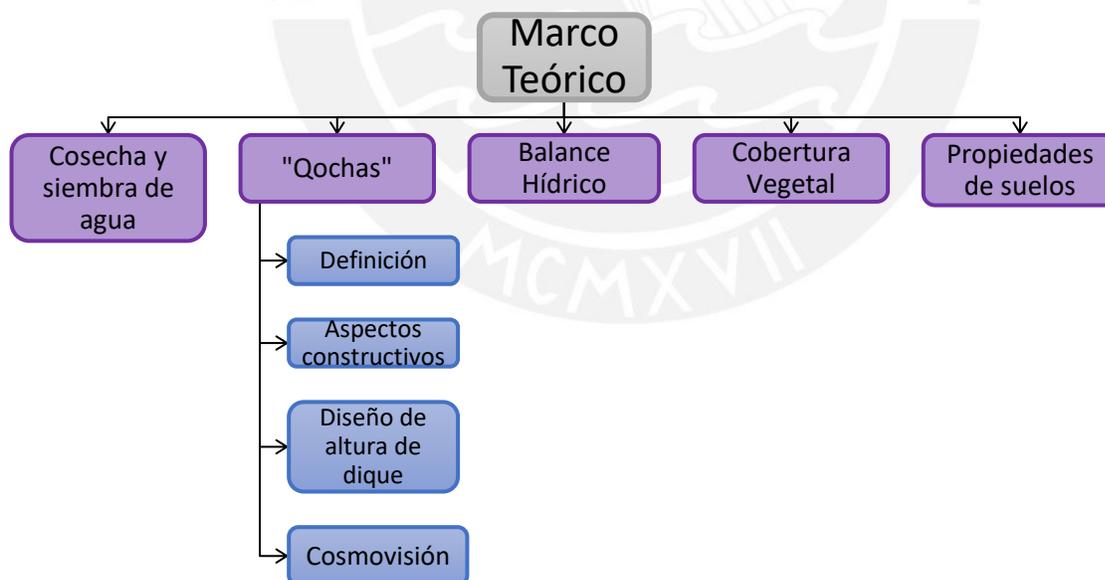


Figura 8. Organigrama de Marco teórico
Fuente: Propia

3.1. Cosecha y siembra de agua

La cosecha y siembra del agua es conocida a nivel mundial, especialmente en países con características áridas y semiáridas. A esta práctica también se le conoce con otros términos como water harvesting, rain water harvesting, cloud seeding entre otros. En el Perú la cosecha y siembra de agua permite retener, conservar y regular el agua procedente de la lluvia, para gestionar el agua de acuerdo a las necesidades de las personas (MINAGRI,2016).

La cosecha y siembra de agua presenta diferentes operaciones de implementaciones y manejo de infraestructura. Una de ellas, es la regulación de un ecosistema de acuerdo a la labor y uso de la zona, con el fin de restaurar y mejorar el funcionamiento. También, se realiza leves cambios físicos en la zona como en la topografía, flujos de agua hacia determinados lugares; incremento de cobertura vegetal, incremento de la permeabilidad del suelo, entre otros; y acuerdos socio institucionales para mejorar la retención superficial o subsuperficial del agua, asegurar la calidad y regular el uso del agua.

La expresión “cosecha de agua” corresponde al almacenamiento del agua proveniente de la escorrentía local y superficial (Harvesting, 1994). Este almacenamiento, busca la regulación de los flujos de descarga, para luego ser utilizados en diversas actividades económicas como la agricultura, ganadería, consumo humano, pecuario, etc.

El significado de “siembra de agua” se enfoca en la recarga hídrica de acuíferos, suelos y subsuelos. Una de sus funciones es estimular la utilización del agua de lluvia a través de la infiltración de la escorrentía superficial del suelo, subsuelo y acuífero. El aforo que presente dependerá de la intensidad de precipitación, el grado de escorrentía, la capacidad de retención del sistema suelo planta y de la capacidad de infiltración del suelo y geología del territorio (MINAGRI,2016).

Existen muchas formas de sembrar y cosechar, para lograr identificarlas se clasificarán en tres tipos de acuerdo a las experiencias en el Perú.

Tipo 1: Recarga de agua en sub suelos y acuíferos.

Este tipo de medida sirve para captar e infiltrar agua que es dirigida hacia acuíferos para después cosechar el agua en quebradas manantiales y/o lagunas que se encuentren cerca o aguas abajo de la zona. Este régimen se encuentra enfocado principalmente a la recarga hídrica de acuíferos y de subsuelo. Por ejemplo, las zanjas de infiltración, canales de infiltración (amunas), pozas y “qochas” de infiltración, etc.

Tipo 2: Incremento de la humedad y recarga in situ de suelo y subsuelo.

En esta medida se enfoca en el aumento de la humedad del suelo y subsuelo en la misma zona por medio de técnicas de captación y retención de agua para rescatar y/o extender los humedales, bofedales, praderas, etc. Dichas estructuras, ayudan a mantener e incrementar durante un tiempo prolongado la humedad en el ecosistema local y la cobertura vegetal.

Tipo 3: Almacenamiento superficial del agua.

Esta medida plantea almacenar y regular el agua de las lluvias por medio de reservorios, microrepresas, embalses, “qochas” de almacenamiento, etc. Además, se realizan obras complementarias como acequias de aducción que permiten dirigir las precipitaciones hacia los almacenamientos de agua, para luego derivarlas a zonas donde se utilizaran este recurso hídrico, como áreas de cultivo, población, etc.

3.2. “Qochas”

3.2.1. Definición

La “qocha” proviene de una designación quechua que denota charco, laguna, estanque reservorio pequeño - que permitía recolectar el agua naciente de manantiales o puquios. Además, se conoce que servían como reservorios naturales en épocas de lluvias, y en otros casos que las lagunas eran controladas por diques rústicos (Morante,2018).

Las “qochas” tienen diferentes orígenes, naturales artificiales e incluso pueden ser de ambas composiciones. Las “qochas” de origen natural presentan agua de manera permanente o temporal que provienen de los glaciares que, en su avance, han arrastrado materiales que después en su retroceso han quedado depositados en diques o “morrenas”. El subsuelo de estos depósitos está compuesto por mezclas compactadas de arcillas, arena y grava, haciendo que el material sea compactado.

Existen diferentes tipos de “qochas” de acuerdo al tipo de suelo (FONCODES, 2015):

- De cosecha o de almacenamiento, se caracterizan por almacenar agua únicamente en temporadas de lluvias, y cuando se termina el agua almacenada, desciende lentamente, sobre todo, por evaporación e infiltración. Sus suelos y bordes de almacenamiento son impermeables, lo cual no permite la infiltración del agua con facilidad.
- De siembra o de recarga de aguas subterráneas, este tipo de “qochas” su nivel de agua no permanece mucho tiempo y desciende con celeridad por la infiltración. Estas “qochas” recargan las fuentes de agua subterránea, mantienen

a los manantes o afloramientos de agua en terrenos aguas abajo, y preservan la irrigación de pastos en épocas de sequía.

- “Qochas” mixtas, de siembra y cosecha, estas “qochas” poseen suelos permeables, o poco permeables. En el último caso, su suelo tiene poca facilidad de infiltrar en el centro de la “qocha” y sus bordes presentan mayor capacidad de infiltración.

3.2.2. Aspectos Constructivos

3.2.2.1. Reconocimiento y diagnóstico de la zona.

Para seleccionar el lugar de construcción de una “qocha” se debe tener las siguientes consideraciones: el lugar se debe ubicar en las zonas altas de las microcuencas con depresiones naturales, debe tener un área tributaria suficientemente grande para una buena capacidad de almacenamiento de agua, bofedales y riachuelos de topografía suave. El terreno debe tener como característica una depresión natural con pendientes suaves de poca escorrentía; asimismo, debe contar con materiales (piedras, champas, tierra arcillosa o gredosa) para la edificación del dique y que se encuentre lo más cerca posible de la obra. Por último, tener en claro la tenencia de la construcción del terreno y evitar conflictos entre las familias o comunidades (Santa Cruz et al.,2008).

3.2.2.2. Determinación de la capacidad de almacenamiento.

El estudio hidrológico cuantifica la cantidad de ingreso de agua, sobre todo en periodo de lluvias a través de un balance hídrico. Esta cuantificación permitirá definir la instalación, las medidas de la válvula y tubería, la construcción del aliviadero y especificaciones del dique. Asimismo, con el levantamiento topográfico y batimétrico, se hallarán las

dimensiones del dique (corona y talud) y el área de embalse o laguna. Ambos determinan el volumen de almacenamiento y la cantidad de materiales que se requiere para la construcción del dique (Santa Cruz et al.,2008).

3.2.2.3. *Trabajos previos a la construcción del dique*

El dique constituye una infraestructura esencial en el rol de mantenimiento en zonas de escasa pendiente y así evitar inundaciones de los campos aledaños. Además, impide que el agua discurra por el cauce natural y asegura el almacenamiento de agua deseado sobre todo en épocas de estiaje. Por ello, la construcción del dique cuenta con 4 etapas previas antes de iniciar la construcción y llenado del mismo, cada etapa se detalla a continuación (ver Figura 9).

Medición y trazados para la medición

Se realiza la marca del lugar donde se construirá el dique, el ancho del dique varía entre 10 a 20 m, el eje no debe ubicarse sobre terrenos con pendientes por encima del 5%.

Limpieza del terreno

Es la limpieza donde se edificará el muro de tierra. Se realiza con materiales al alcance de los pobladores, como lampa y pico, dejando libre el terreno de toda cubierta vegetal, para luego realizar la marcación de los tres sectores en los que se divide el muro: un núcleo y dos taludes en ambos lados.

Excavación de la zanja de cimentación.

Se procede a la apertura de la zanja a una profundidad de 50 centímetros como mínimo. Esta dimensión depende de la pendiente del terreno en la salida, la altura del dique y la capacidad de almacenamiento.

Instalación de la tubería para salida del agua almacenada.

Antes de proceder al relleno y compactación total del dique, se instala la tubería de salida de agua de manera transversal, considerando los siguientes aspectos; la tubería se debe colocar con una pendiente de 3% lo que permite tener efecto de presión en la salida y pueda circular con mayor rapidez; además, la longitud de la tubería dependerá de grosor del dique. Luego, se protege la tubería con una cubierta de cemento ligero, lo que permite que este no se dañe durante la compactación del dique. Después de la construcción, se inicia la colocación de la válvula de salida a un metro de la tubería (Santa Cruz et al ,2008).



*Figura 9. Construcción de dique
Fuente: Adaptado de Sierra Azul*

Construcción y llenado del dique

La construcción se realizará por etapas, en el primer año se construye, y después de 2 años se refuerza con trabajos de impermeabilización hasta lograr la consolidación adecuada. En primer lugar, la primera capa debe estar compuesta de piedras grandes en la base y en las caras externas e internas del dique. Luego, rellenar la parte central del dique con piedras pequeñas y material arcilloso. Posteriormente, se realiza la compactación en capas de 30 cm, para impermeabilizar y eliminar la porosidad y evitar las infiltraciones. Repetir lo

mencionado anteriormente hasta lograr la altura final del dique. Después, colocar piedras planas en la cara interna del dique, para evitar la erosión y disminuir la filtración. Posteriormente, sobre la parte externa y superior del dique debe estar protegida de tierra negra y luego agregarle estiércol para el prendimiento de vegetación de las champas (vegetación compactada). Finalmente, en la parte de la cara externa y superior del dique, se deben colocar champas o bofedales, 0,60 x 0,60 m de tamaño, que garantizará solidez y evitar la erosión por las lluvias y el viento (Valer & Pérez, 2014). En la figura 10, se indica los elementos que conforman el dique construido.



*Figura 10. Elementos de dique construido
Fuente: Adaptado de Sierra Azul*

3.2.3. Criterios para el diseño de la altura de dique.

Para el predimensionamiento de la altura del dique de los microservorios se utilizará los siguientes términos relacionados a las características de los niveles de las “qochas” (Ver Figura 11).

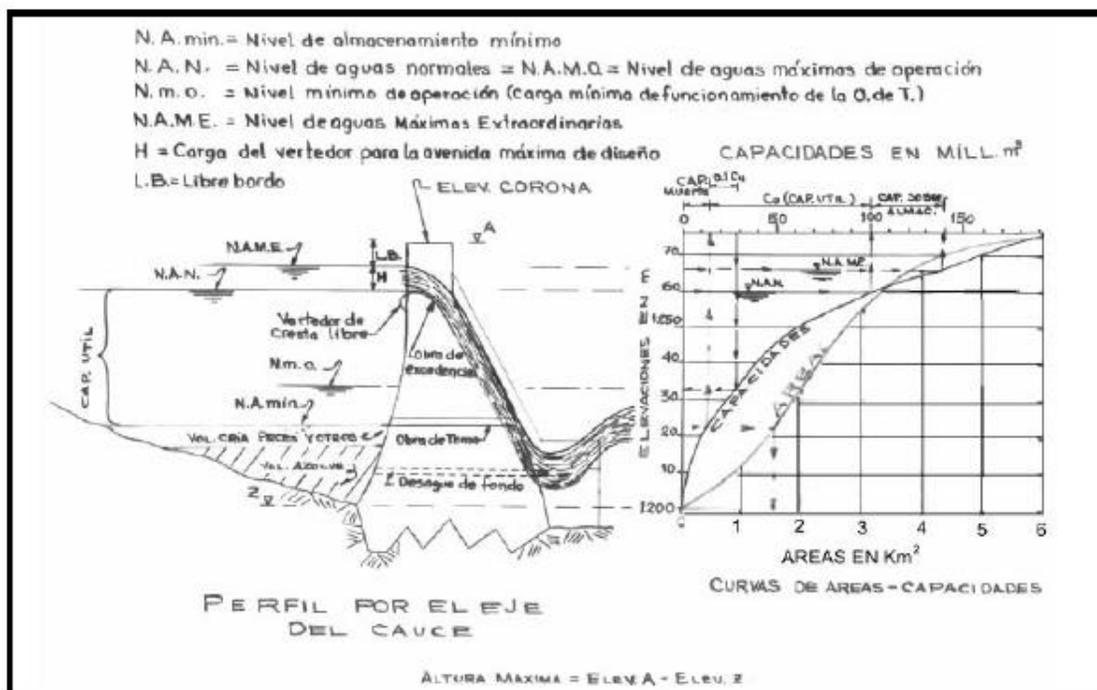


Figura 11 Niveles Característicos de la "qochas".
Fuente: Martínez (2019)

Namo (NAMO): Nivel de Aguas Máximas Normales o de Operación. Es un indicador del nivel máximo que puede almacenar el micro reservorio y satisfacer las demandas (Ccencho, 2019).

Name (NAME): Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias. Este nivel es el más alto del agua y se muestra en el proceso de operación del vertedero de seguridad con el caudal de diseño bajo cualquier condición (Ccencho, 2019).

Fetch: Es la distancia más extensa que recorre el agua sobre el embalse a partir del dique. Para el cálculo de la altura de la ola por viento, se considera, la *Formula* empírica de Stevenson mostrada a continuación, donde F es el Fetch en Km.

$$H_0 = 0.76 + 0.34(F) \frac{1}{2} - 0.26(F) \frac{1}{4} \quad (1)$$

Borde Libre: es la distancia vertical entre la cresta de la presa y la altura máxima del agua en el vertedero para evitar la inundación del diseño. Permite que las ondas del agua oscilen dentro del canal sin generar salida de agua. Para el cálculo del borde libre mínimo, se utilizará el procedimiento combinado de Knapen:

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

$$Vg \text{ (m/s): } = 1.52 + 2 H_0 \quad (3)$$

Donde, H_0 es la altura de la ola según Stevenson. y Vg es la velocidad de ola según Gaillard.

Otra forma de hallar de hallar los bordes libres normal y mínimo es a través del Fetch , como se muestra en la tabla 1 de Bureau de Reclamación de los Estados Unidos 1987.

Tabla 1
Borde libre normal y mínimo según Fetch

Fetch	Borde Libre	
	Normal(m)	Mínimo(m)
<1.6	1.2	0.9
1.6	1.5	1.2
4	1.8	1.5
8	2.4	1.8
16	3	2.1

Nota. Datos obtenidos de Bureau of Reclamation ,1987

Nivel de la Corona del Dique: es el nivel en la cortina al cual queda el coronamiento, el que nunca debe ser rebasado por el agua. Es por ello, que se considera:

$$N. Corona = N. A. M. E. + L. B \quad (4)$$

Altura del Dique(H) : es la altura del diseño que está relacionada con la cota del corona y la cota de terreno en estudio.

$$H = \text{cota de la corona} - \text{cota del terreno} \quad (5)$$

3.2.4. “Qochas”: Cosmovisión

Las comunidades consideran al agua como componentes de la naturaleza que tienen vida (kawsaqmi), es por ello la importancia en la conservación. Existen diversas maneras de realizar siembra y cosecha de agua en la zona alta andina, que aún conservan las comunidades.

- Qucha ruway (almacenamiento de agua de lluvia en vasos naturales u hoyadas).
- Puquio waqaychay (protección y conservación de puquiales emergentes).
- Plantación de plantas que “llaman agua” o “madres del agua” en ojos emergentes y bofedales.
- Lliwas (formación de bofedales o humedales).
- Puquio laqay (mantenimiento festivo de los ojos de agua).

Qucha ruway es una actividad de almacenamiento de agua de lluvias en “vasos” impermeabilizados a través de construcciones de diques. Cuando se va a fundar las lagunas, los pobladores realizan actividades ceremoniales con profundo respeto hacia las deidades del lugar. La finalidad de estas actividades es la infiltración del agua hacia los suelos y que contribuya a los acuíferos, llamados “ojos de agua” o puquios. Estos puquios son conservados con plantas que a la vez “crían agua” llamadas yakupa maman (plantas madres del agua) o yaku qayaq (plantas que llaman agua), como por ejemplo la putaqa (*Rumex peruvianus*). Estas plantas se caracterizan por hacer brotar agua y aumentar el caudal del

manante. Así también las lagunas son protegidas del daño de los animales con pukutus o pukullus o infraestructuras de protección hechas de piedra (Romero, 2012).

Las siguientes actividades por parte de la organización de los pobladores son la formación y ampliación de los bofedales, el mantenimiento de los puquiales y las lagunas en cada año agrícola. Estas labores se encuentran ligados a rituales como es el Yarqa Aspiy (limpieza de canales) donde la ceremonia central es la ofrenda al Puquio laqay (mantenimiento de puquiales), generalmente se celebra entre los meses de mayo y septiembre. Lo sobresaliente de estas actividades es la participación de tanto hombres como mujeres incluso niños sin importar el grado de dificultad del trabajo.

Las comunidades en el transcurrir de los días han recuperado los valores ancestrales, respecto al manejo del agua, adoptando un conjunto de tecnologías agroecológicas para la conservación de los recursos naturales, y una mayor disponibilidad de agua para el cultivo y el “buen vivir” (kausakuy). Gracias al impulso del programa de siembra y cosecha de agua, ha permitido la mitigación de los cambios climáticos y que las comunidades pasen de economía de subsistencia con inseguridad alimentaria, a una economía de mercado con seguridad alimentaria. Todo ello es posible a la colaboración y organización de sus pobladores.

3.3. Balance Hídrico

El balance hídrico de una “qocha” se realizará de una perspectiva de cuantificación, considerando una interacción de dos sistemas relacionadas entre sí. 1) un área contribuyente aguas arriba y 2) la “qocha” misma, que es un reservorio de almacenamiento de agua (Foster et al, 2020). El balance hídrico permitirá contabilizar las entradas y salidas del sistema durante un tiempo prolongado.

El estudio del balance hídrico en la hidrología se centra en la aplicación del principio de conservación de masas de agua. Este método permite analizar la entrada y salida de agua de una zona de estudio o volumen total de agua necesaria en un tiempo prolongado. Para el cálculo del balance hídrico en la región contribuyente, la precipitación se puede representar mediante la siguiente ecuación (Foster et al, 2020):

$$P = Q + ET + p + \Delta R \quad (6)$$

Donde, la cantidad de agua precipitada (P) es igual a la sumatoria de la escorrentía (Q), la evapotranspiración (ET), percolación (p), y el cambio de contenido de agua (ΔR), normalmente en milímetros.

Escorrentía

La lámina de agua que no se infiltra en el suelo se convierte en escorrentía. El cálculo se efectuará con el método de número de curva (Foster et al, 2020). Este modelo empírico comprueba un umbral de escorrentía por medio de un número hidrológico o número de curva (CN) añadido de la cuenca (Agua y SIG, 2017). El método de esta curva utiliza como primer dato de entrada la lluvia precipitada (P), considerando aquella lluvia que genera más escorrentía. El número de curva se halla a través de tablas que toma valores de 0 a 100, los cuales son cuantificadores de las condiciones de la permeabilidad. Además, el número de curva depende de los factores de la escorrentía de la cuenca como: tipo hidrológico de suelo, uso de la tierra y tratamiento y condición previa de humedad (Agua y SIG, 2017). La escorrentía nos permitirá estimar la infiltración al aplicar la siguiente ecuación:

$$\text{Si } P > 0,05 S, \text{ entonces } Q = \frac{(P - 0,05s)^2}{P + 0,95s} \quad (7)$$

donde:

P = precipitación (mm)

Q = escorrentía (mm)

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

CN = número de curva (de tablas)

Percolación

Llamada también filtración profunda debido a que el agua que circula sobre la superficie del suelo se infiltra o excede a la capacidad del campo, y luego, pasa con el transcurrir del tiempo hacia las capas más profundas. Para el cálculo de filtración se consideran dos parámetros: capacidad de campo y punto de marchitez. Los valores hallados se representan como un porcentaje y se multiplicará por la profundidad de la capa del suelo y obtener un valor en milímetros (Foster et al, 2020).

$$p = \max (0, R_{t-1} + P - Q - fc) \quad (8)$$

Donde:

p= percolación

fc = capacidad de campo (mm)

R_{t-1} = contenido de humedad del paso de tiempo previo (mm)

P = precipitación (mm)

Q = escorrentía (mm)

Capacidad de campo

Es el contenido de agua que tiene un suelo después que se saturó y drenó libremente por un espacio de 24 a 72 horas, cuanto más pesado el suelo, más demora en llegar a la capacidad de campo (García et al.,2012)

Punto de marchitez

Es limite que relaciona la necesidad de agua de un cultivo para un óptimo desarrollo y se encuentra relacionado con los tipos de suelo, lo que permitirá tener un cálculo de la necesidad de agua necesaria.

Conductividad hidráulica saturada

Es una propiedad en la descripción de los procesos de infiltración y redistribución del agua. Su estimación depende de la estructura del suelo; por ello, se realiza a través de métodos de laboratorios o métodos de campo. Esta estimación es importante para diseño de obra de infiltración.

Evaporación y evapotranspiración

La evaporación, es emisión de vapor de agua a través de una superficie libre con temperaturas por debajo del punto de ebullición. Por otro lado, la transpiración es el mecanismo por el cual el agua precipitada a tierra retorna a la atmósfera. La evaluación de ambos términos, no se puede realizar por separado; es por ello, que las pérdidas totales de agua conforman la evapotranspiración, que es el agua transportada del suelo a la atmósfera por evaporación y transpiración de plantas.

Evapotranspiración potencial

Es un elemento esencial para el cálculo del balance hídrico, ya que halla las pérdidas de agua de la superficie del suelo en condiciones definidas. Esta cuantificación permite saber el agua disponible en el suelo, que es utilizada por las plantas para su crecimiento y producción. A

diferencia con la lluvia, este indicador ayuda a establecer las necesidades de riego o drenaje en una determinada zona ubicadas en estaciones meteorológica.

$$ET = \min[E_0 \times r, 0.8 (R_{t-1} + P - Q - p - wp)] \quad (9)$$

Evapotranspiración potencial (ET)

E_0 se calcula aquí utilizando el método de Priestly-Taylor

R_{t-1} = contenido de humedad del paso de tiempo previo (mm)

P = precipitación (mm)

Q = escorrentía (mm)

p = percolación (mm)

wp = punto de marchitez (mm)

Método de Priestly-Taylor,

La evapotranspiración tiene varias variables que la influyen, tales como, temperatura del aire, humedad atmosférica, radiación solar y velocidad de viento. Sin embargo, en contextos con información limitada, es recomendable utilizar métodos simplificados, como es el caso de Priestly – Taylor. Este método permite la estimación de la evapotranspiración a partir de la radiación solar neta. La ecuación adquiere la siguiente forma (Sánchez & Carvacho ,2011):

$$E = \frac{\alpha_{pet} \Delta}{\lambda(\Delta + \gamma)} (R_n - G) \quad (10)$$

Donde:

α_{pet} = coeficiente (1.26)

E = evapotranspiración de referencia en mm día⁻¹,

R_n = radiación neta calculada, MJ m⁻² día⁻¹

G = densidad de flujo de calor en el suelo en MJ m⁻² día⁻¹,

$G = 0$ en una escala diaria

λ = calor latente de vaporización igual a 2.45 MJ kg⁻¹,

$\gamma = \frac{c_p P}{\epsilon \lambda} = 0.665 \times 10^{-3} \times P$, constante psicro-métrica,

c_p = calor específico a presión constante 1.013×10^{-3} en MJ kg⁻¹ °C⁻¹,

ϵ = cociente del peso molecular de vapor de agua/aire seco = 0.622,

$P_a = 101.3 \left(\frac{293 - 0.0065z}{293} \right)^{5.26}$ Pa = presión atmosférica en kPa, z altitud en m.

Δ = pendiente de la curva de presión de saturación – temperatura (Kpa/°C)

$$\Delta = \frac{4098e_0}{(T + 237.3)^2} \quad (11)$$

Donde:

e_0 = presión de vapor de saturación (Kpa)

$$e_0 = \exp \left(\frac{16.78T - 116.9}{T + 237.3} \right) \quad (12)$$

3.4. Cobertura Vegetal: NDVI

Para la caracterización de la cobertura vegetal presente en el área de estudio se requieren conceptos, como el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).

Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

Este índice de vegetación permite cuantificar la biomasa o el vigor vegetativo a través de las propiedades espectrales de la vegetación (Agapiou y Hadjimitsis, 2011). Los valores del NDVI pueden variar acorde al uso del suelo, el estado fenológico de la vegetación, la situación hídrica del suelo y el ambiente climático de la zona.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} = \frac{\text{banda 5} - \text{banda4}}{\text{banda 5} + \text{banda4}} \quad (13)$$

Según el valor del NDVI se podrá concluir lo siguiente: si el NDVI es menor a 0, existen cuerpos de agua y presencia de nubosidad. En cambio, si el NDVI se encuentra en el intervalo de 0 y 0.1 ó 0.2, el suelo se encuentra desnudo. Por otro lado, si el NDVI presenta valores en el intervalo de 0.2 a 1, existe un incremento progresivo de vegetación. De lo descrito, se puede indicar mientras más altos sean los valores, la calidad y cantidad de la vegetación será aún mayor.

3.5. Propiedades de suelos

Natural Resources Conservation Service (NRCS) ha dividido los suelos en cuatro grupos hidrológicos, como se muestra en la siguiente tabla 2 (CONGOPE, 2018).

Tabla 2
Grupo hidrológicos del suelo

GRUPOS	DESCRIPCION
HSG Grupo A	Suelos con altas tasas de infiltración y bajo potencial de escorrentía, incluso al estar completamente húmedo. Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua (infiltración final > 7,6 mm/hr).
HSG Grupo B	Suelos con tasas de infiltración moderadas cuando se humedecen completamente. Estos suelos tienen una tasa moderada de transmisión de agua (3,8 < infiltración final < 7,6 mm/hr).

HSG Grupo C	Suelos con tasas de infiltración lentas cuando se humedecen completamente. Estos suelos tienen una tasa de transmisión de agua lenta (1,3 < infiltración final < 3,8 mm/hr).
HSG Grupo D (alto potencial de escorrentía)	Suelos con tasas de infiltración muy lentas cuando se humedecen completamente. Estos suelos tienen una tasa de transmisión de agua muy lenta (infiltración final < 1,3 mm/hr).

Nota. Datos obtenidos de Agua y SIG, 2018

El número de curva es un parámetro que ayuda a caracterizar el potencial de escorrentía en una cuenca hidrográfica, se calcula con particularidades propias de la zona, densidad, tratamiento de coberturas, además se puede hallar a través del número hidrológico, como se detalla en la tabla 3 (ver Anexo B para mayor detalle).

El Numero de Curva toma un valor de 0 a 100 según sea su capacidad de generar escorrentía superficial. Los valores cercanos a 0 representan condiciones de permeabilidad muy alta, mientras que valores cercanos a 100 representan condiciones de impermeabilidad (Agua y SIG, 2017).

Tabla 3
Numero de curva según el tipo de suelo y la condición de vegetación

Tipo de vegetación	Condición Hidrológica	Tipo de suelo			
		A	B	C	D
Pastizales o pastos naturales	Pobres	68	79	86	89
	Regulares	49	69	79	84
	Buenas	39	61	74	80
Matorral-herbazal, siendo el matorral preponderante	Pobres	48	67	77	83
	Regulares	35	56	70	77
	Buenas	≤30	48	65	73
Combinación de arbolado y	Pobres	57	73	82	86

herbazal, cultivos agrícolas leñosos	Regulares	43	65	76	82
	Buenas	32	58	72	79
Montes con pastos	Pobres	45	66	77	83
(aprovechamientos silvopastorales)	Regulares	36	60	73	79
	Buenas	25	55	70	77
Bosques	I Muy pobre	56	75	86	91
	II Pobre	46	68	78	84
	III Regular	36	60	70	76
	IV Buena	26	52	63	69
	V Muy buena	15	44	54	61
Caseríos	-	59	74	82	86
Caminos en tierra	-	72	82	87	89
Caminos con firme	-	74	84	90	92

Nota. Datos obtenidos de A. Martínez de Azagra, J. Mongil & J. del Río (2003)

4. DATA Y METODOLOGÍA

4.1. Diseño de la investigación

Con el propósito de conocer el aporte en la implementación de las “qochas” Warihumaña y Chullumpirini, se realizará el estudio hidrológico de la zona (ver Figura 12). Este estudio tiene 3 etapas; la primera, la línea base, que consiste en la evaluación hidrológica de la región de estudio sin ninguna implementación. Para ello, se recolectará información como características del suelo, vegetación e información meteorológica. Una vez insertado estos datos recolectados en el CUBHIC, se logrará evaluar la cuenca contribuyente el cual mostrará datos de salida de láminas de percolación, evapotranspiración y caudal.

La siguiente etapa, incluye la implementación de las “qochas” de Warihumaña y Chullumpirini (escenario 1). Para esta etapa se requiere datos adicionales de área del reservorio natural y altura de diques recopilados con herramienta del GIS. Esta información se inserta en el CUBHIC, el cual nos mostrará como resultado el volumen de precipitación, escorrentía, evaporación, filtración y total. En esta etapa uno de los pasos importantes es el cálculo de volumen de agua total almacenado en las “qochas” y la calibración de la herramienta CUBHIC en base a información de hídrica modelada por la de la entidad Sierra Azul.

La última etapa, propone nuevas alturas de diques para las “qochas” en estudio y que fueron incluidos en el modelo calibrado (escenario 2). Finalmente, se comparará la diferencia de volúmenes de agua de entre los dos escenarios y con la línea base. Se espera un incremento del volumen de agua almacenado y del caudal de escorrentía entre los escenarios evaluados.

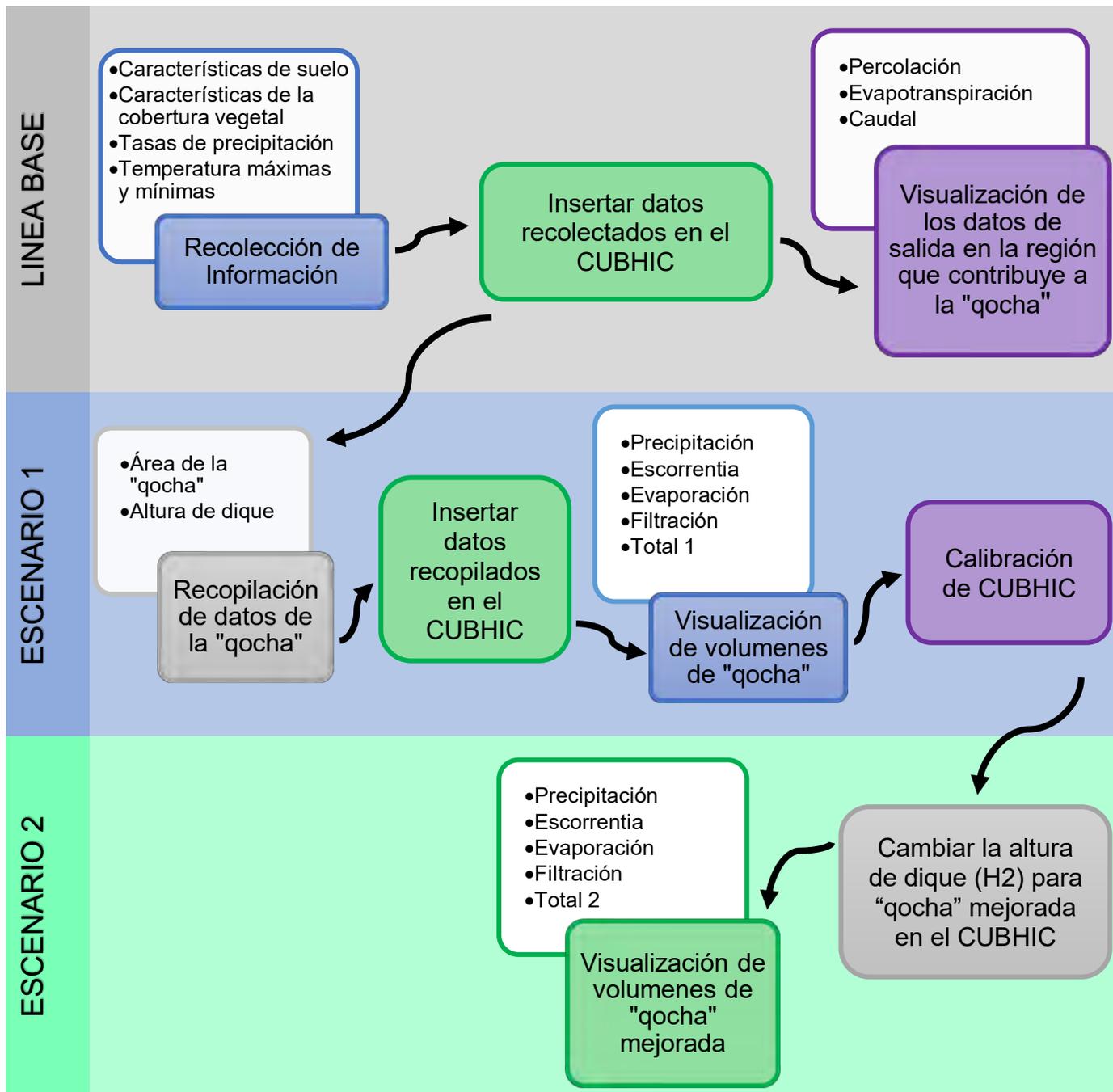


Figura 12. Explicación de la metodología
Fuente: Propia

4.2. Caso de estudio

4.2.1. Localización

Las “qochas” que se estudiarán son Warihumaña y Chullumpirini, los cuales están ubicados en el distrito de Asillo, provincia de Azángaro, departamento de Puno (ver Figura 13). Ambas “qochas” se encuentran en la cuenca Azángaro y la región hidrográfica del lago Titicaca. Para mayor exactitud de su ubicación, la “qocha” Warihumaña presenta como coordenadas geográficas $14^{\circ}52'20.904''$ en latitud, $70^{\circ}19'23.49''$ en longitud y 4088 ms.n.m como elevación. Mientras que la “qocha” Chullumpirini presenta como coordenadas geográficas $14^{\circ}51'56.696''$ en latitud, $70^{\circ}20'10.507''$ en longitud y 4080 ms.n.m como elevación (mayor detalle en el Anexo C).

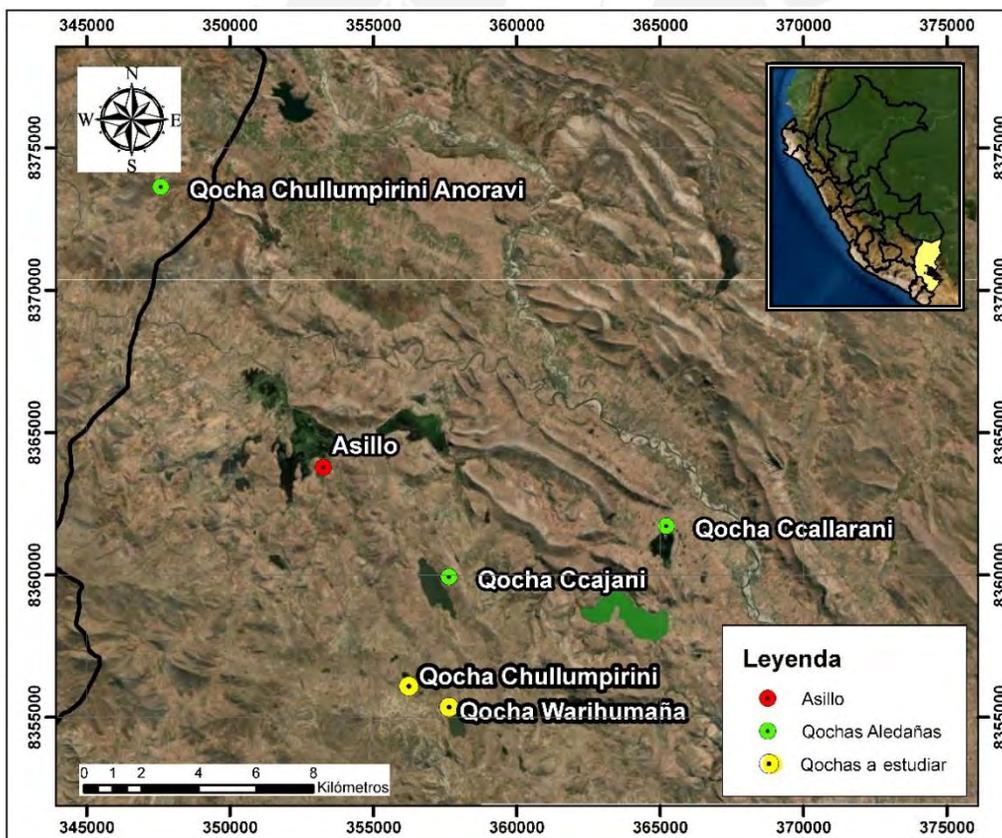


Figura 13. Ubicación de las “qochas” Warihumaña y Chullumpirini, más las “qochas” aledañas a ellas, y el mismo distrito Asillo

Fuente: Tomado de Google Earth (2020)

4.2.2. Aspectos Físicos

El clima que prevalece en la zona es frígido seco durante el otoño e invierno y húmedo templado durante la primavera hasta el verano, esto es característico del departamento de Puno, debido a que se encuentra en la región sur andina de la cordillera. En cuanto a la precipitación, las máximas oscilan entre 500 a 6000 mm, en donde hay mayor precipitación es en las provincias de Carabaya y Sandía, ubicadas al norte de Puno, mientras donde hay menor precipitación es en la provincia de El Collao, Puno y San Ramón, ubicadas al sur de Puno.

La topografía de la zona de estudio presenta características ondulada, accidentada con una altitud aproximada entre 4080 y 4090 ms.n.m. Presenta taludes con altura elevada y estructura estable, cuyas pendientes promedio de los taludes varían entre 30% y 40%. En cuanto a las características del suelo, la zona está conformado por arenas lomos y arcillas provenientes de depósitos coluviales y aluvio lacustres en la planicie.

4.2.3. Aspectos Económicos

En el distrito de Asillo las principales actividades económicas son: la agricultura, la ganadería y la minería. La agricultura es considerada la principal actividad económica de la región Puno. Muestra de ello, es al ser considerado el primer productor a nivel nacional de quinua, además se produce papa, cebada grano y haba grano seco (INEI,2019). Esta actividad presenta tierras agrícolas de secano, la cual la hace más vulnerable ante los cambios climáticos. Otras limitaciones a la extensión de esta actividad son el escaso desarrollo en la agroindustria, la contaminación del medio ambiente, la dificultad del

acceso al agua en la cuenca, el restringido crédito agrario, así como el pronunciado fraccionamiento de la tierra, entre otras, que determinan el desarrollo agrario regional.

La segunda actividad importante en esta región es la pecuaria. Esta región presenta mayor producción de lana y carne, donde la provincia de Azángaro es una de las más influyentes (RCR,2019). Por otro lado, la producción pecuaria y sus derivados (carne, queso charqui, chalona etc.), tiene como destino el mercado interno de la provincia, especialmente, para el consumo de la población minera que vive en los valles del río Inambari; mientras, la lana y fibra es vendido a los colectores provenientes primordialmente de la ciudad de Juliaca y; por último, la crianza de animales menores es para el autoconsumo.

La tercera actividad primordial en esta región es la minería, esta constituye una gran fuente de ingreso para la población, por la explotación del oro, la cual se encuentra en yacimientos (vetas) y en los ríos (oro aluvial) que discurren en la cuenca del río Inambari. Una fuente alternativa de ocupación inmediato es la minería artesanal, la cual requiere poca especialización y capacitación, debido al trabajo intensivo en mano de obra no calificada; sin embargo, las condiciones en la que se labora, generan problemas ambientales por el uso desmedido de insumo químicos (mercurio) y los desechos que genera, los cuales son botados en los ríos.

4.2.4. Aspectos Sociales

En los aspectos sociales se describirán las viviendas, y los servicios de agua y energía eléctrica que presenta la zona. Las viviendas en su mayoría están construidas con material de adobe o tapia, el estado de alguna de estas se encuentra en estado regular y bueno, mientras que otros están en mal estado debido a ser edificaciones antiguas (INEI,2018).

Muchas de estas se encuentran ocupadas por una sola familia, las cuales generalmente se encuentran en los campos de cultivo, además durante los procesos de cosecha y sembrío gran parte de la comunidad deja la zona urbana para enfocarse en esta.

Los servicios de agua y luz eléctrica ambos son regulares. En el servicio de energía eléctrica, la empresa que suministra energía es Electro Puno, y se puede calificar como relativamente bueno, ya que la mayoría de pobladores cuenta con conexiones de red primaria y secundaria en el área de influencia. En cuanto a los servicios de agua de la zona, el 63.5% de domicilios presentan el servicio de agua por pozo (agua subterránea), y el 21,3% agua por red pública domiciliaria (INEI, 2018).

4.2.5. Problemas de escasez de agua

La región Puno es considerada uno de los lugares más sensibles y afectados por la variabilidad climática. Esto altera aquellos parámetros como las temperaturas extremas y las precipitaciones pluviales. El cambio climático, en el futuro, podría afectar la vulnerabilidad y las condiciones de vida, primordialmente, en la actividad agropecuaria, que resulta ser el principal soporte de la población (Sanabria et al., 2009).

En la actualidad, existe una disminución de caudal base de los cursos de agua; lo que provoca un bajo rendimiento de los cultivos y disminución de áreas bajo riego. Como medida de adaptación, para aumentar la oferta hídrica, aguas arriba, surgió la necesidad de mejorar los vasos existentes (“qocha”). Así, se genera un incremento en el volumen de almacenamiento superficial en época de lluvia y, además, de manera indirecta, permite la recarga de acuíferos en las zonas bajas de la cuenca (zonas productoras).

En el contexto de la mejora de la oferta hídrica, para los cultivos en el distrito de Asillo, además de las “qocha” que se estudiarán en esta tesis, la unidad promotora Sierra Azul promoverá la construcción de 4 “qochas” adicionales (ver Figura 13), estas son Ccajani (4063 ms.n.m.), Ccallarani (3938 ms.n.m), Chullumpirini Anoravi (3940 ms.n.m) e Inampo (4385 ms.n.m). Estos proyectos se encuentran aledaños a nuestro caso de estudio: “qochas” Warihumaña y Chullumpirini.

4.3. Recolección de información

4.3.1. Registros de Precipitación

La recolección de información, que permitirá la evaluación, mediante el CUBHIC, se realizará gracias a los registros de la red de estaciones meteorológicas y pluviométricas, a cargo de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), quienes registran los parámetros meteorológicos, como la precipitación y temperaturas máximas y mínimas. Para nuestro estudio, encontramos de 5 estaciones meteorológicas aledañas a la zona de interés (Tabla 4 y Figura 14).

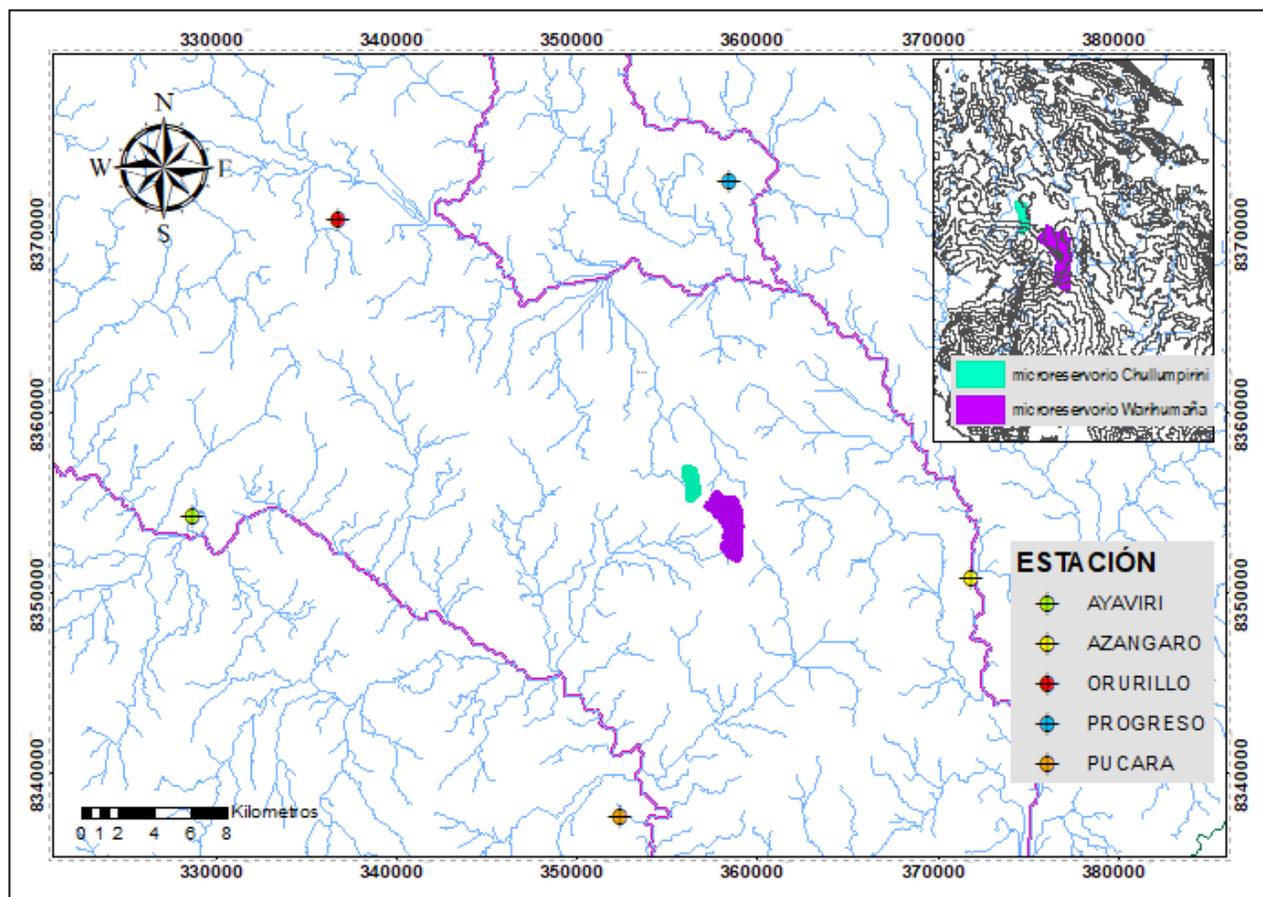


Figura 14. Ubicación de las estaciones
Fuente: Propia

Los registros meteorológicos que se necesitarán, de acuerdo a la metodología CUBHIC, son la precipitación diaria, las temperaturas máximas y las mínimas, en un año.

Según los registros de precipitaciones de las estaciones escogidas, el comportamiento de estas se puede describir de la siguiente forma:

Durante el mes de diciembre, hasta el mes de marzo, es cuando hay mayor intensidad de lluvia; este período representa el 76.7%, en promedio, de las estaciones, respecto a las precipitaciones totales anuales. Mientras que el periodo con menor lluvia (periodo seco) transcurre durante el mes de mayo, hasta el mes de agosto. En este periodo, los valores mínimos de precipitación pueden llegar al 3.4%, en promedio, del tiempo de

precipitaciones totales anuales. El mes de abril y el periodo que va de setiembre a noviembre corresponden a los meses transitorios, los cuales representan el 19.8%, en promedio, del tiempo de precipitaciones totales anuales. Por medio de la tabla 4 se logra apreciar la precipitación promedio mensual y máxima mensual de las estaciones meteorológicas.

Tabla 4

Precipitación promedio mensual y máxima mensual de las estaciones meteorológicas de un periodo de 1964 hasta 2018.

ESTACION	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD MEDIA msnm	PRECIPITACION MEDIA ANUAL mm	PRECIPITACION MAXIMA MENSUAL mm
AYAVIRI	-14.88	-70.59	3928	662.86	811.30
ORURILLO	-14.73	-70.52	3920	650.13	266.00
PROGRESO	-14.72	-70.31	3980	593.57	240.40
AZANGARO	-14.91	-70.19	3863	591.58	246.50
PUCARA	-15.03	-70.37	3900	752.19	346.60

Nota. Datos obtenidos de ANA

El récord de precipitación diaria de las estaciones analizadas se muestra en siguientes las figuras (Figura 15 a Figura 19), además el Anexo A.1 documenta los datos mensuales de precipitación.

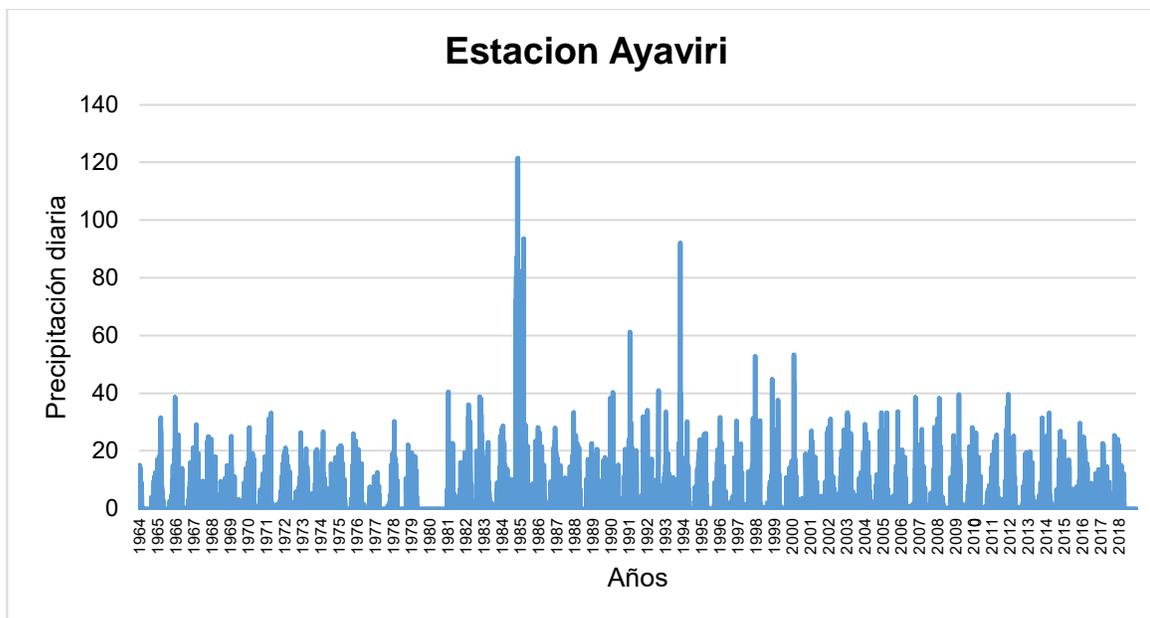


Figura 15 Precipitación diaria de la estación Ayaviri de un periodo de 1964 hasta 2018
Fuente: Adaptado del ANA

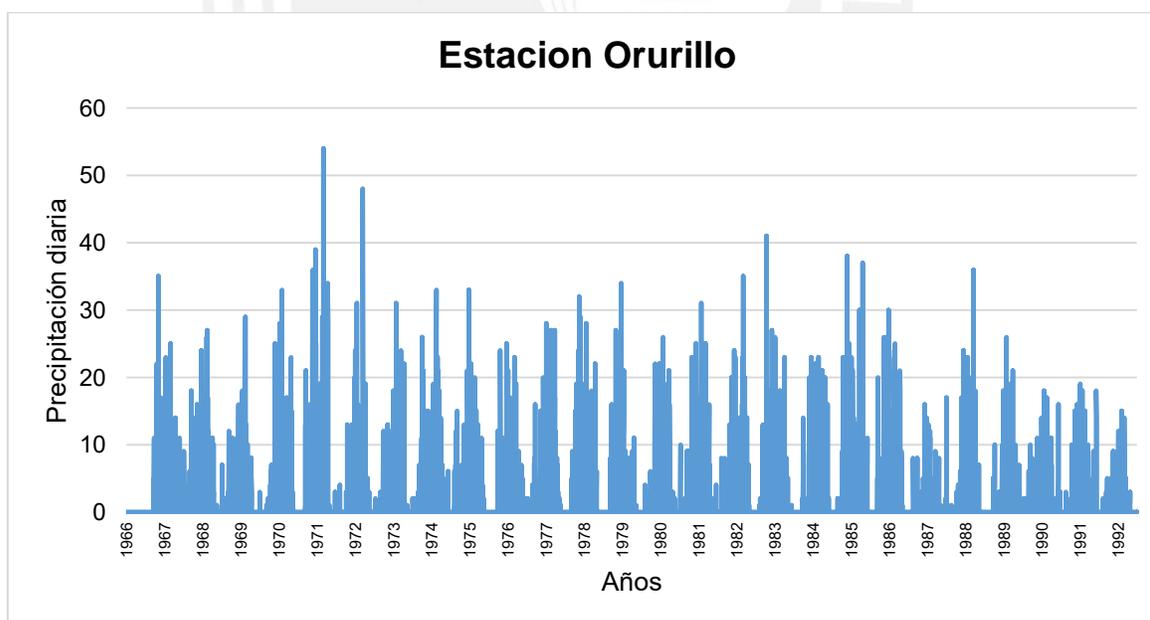


Figura 16 Precipitación diaria de la estación Orurillo de un periodo de 1966 hasta 1992
Fuente: Adaptado del ANA

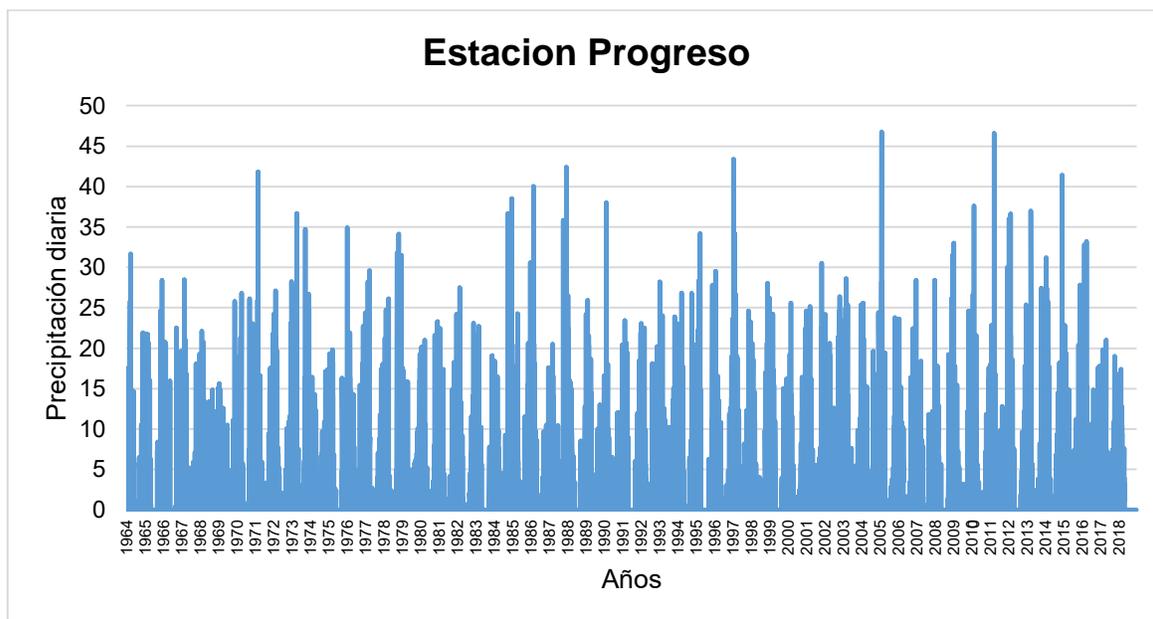


Figura 17 Precipitación diaria de la estación Progreso de un periodo de 1964 hasta 2018
Fuente: Adaptado del ANA

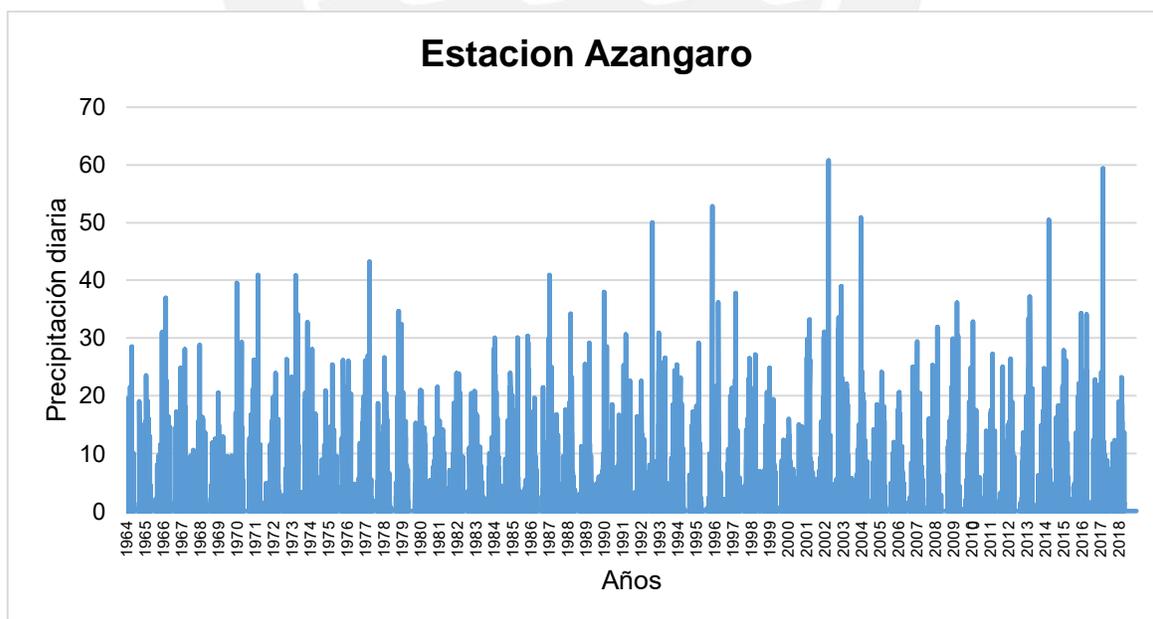


Figura 18 Precipitación diaria de la estación Azangaro de un periodo de 1964 hasta 2018
Fuente: Adaptado del ANA

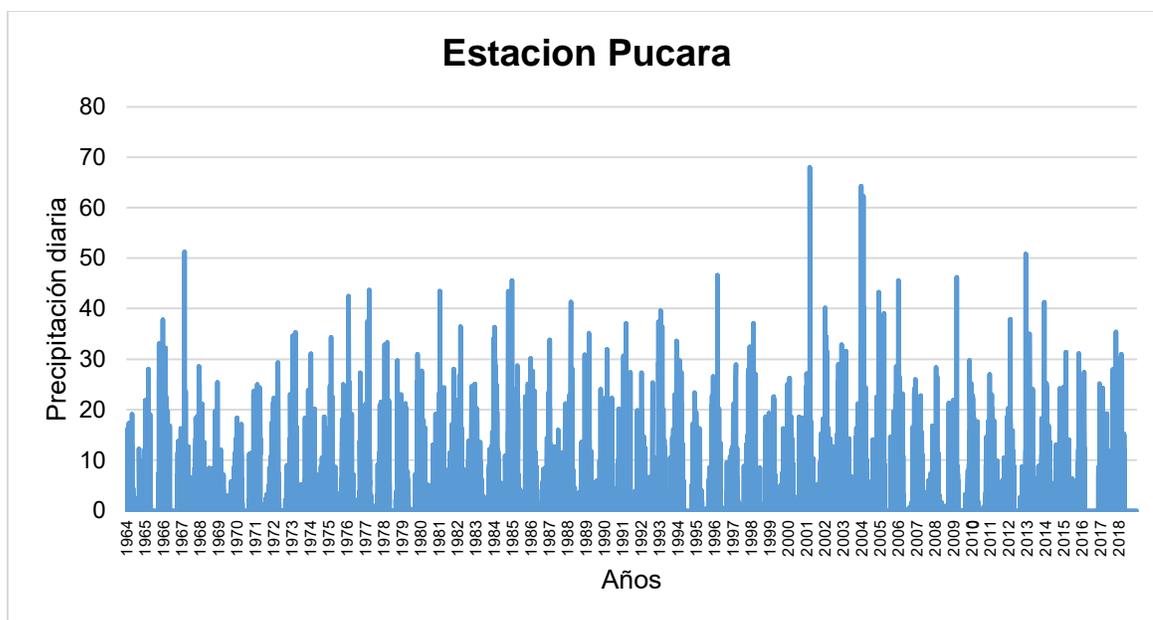


Figura 19 Precipitación diaria de la estación Pucara de un periodo de 1964 hasta 2018 Fuente: Adaptado de SENAMHI

4.3.2. Registros de Temperatura

Para este estudio, se utilizarán los registros de temperatura extraídos de la información elaborada por el ANA (Se aprecia los datos mensuales de temperatura en el Anexo A.2).

Los registros que se tomarán en cuenta, en esta sección, son aquellos referentes a las temperaturas mínimas y temperatura máxima (Tablas 5 y 6).

Tabla 5
Temperaturas mínimas media mensual

TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL													
ESTACIONES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
AYAVIRI	3.62	3.59	3.15	2.42	4.15	6.79	7.14	5.44	2.99	2.35	2.49	3.07	3.93
PROGRESO	4.41	4.38	3.90	2.38	-0.77	-2.82	-3.26	-1.71	0.87	2.62	3.35	4.02	1.45
AZANGARO	4.73	4.85	4.18	2.31	-1.38	-4.39	-4.63	-2.87	0.37	2.44	3.25	4.32	1.04
PUCARA	4.35	4.51	3.63	1.07	-3.67	-7.03	-7.20	-5.31	-1.47	0.80	1.94	3.39	-0.42

Nota. Datos obtenidos de ANA

Tabla 6
Temperaturas máximas media mensual

TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL													
ESTACIONES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
AYAVIRI	23	23	22.4	22.2	21.4	21.2	20.8	21.6	23.2	23.4	26.6	25.6	26.6
PROGRESO	21.6	21.4	22.2	20.4	20.6	20.4	19.8	20.4	21.6	22.4	22.8	21.8	22.8
AZANGARO	22.2	21.6	21.4	20.8	20.4	21	20.8	21.2	22.6	23.3	23.8	23.5	23.8
PUCARA	22.4	22.6	21.8	21.2	20.8	19.8	20.2	21	22.2	22.8	23.6	23.2	23.6

Nota. Datos obtenidos de ANA

Las temperaturas máximas alcanzan valores entre 22 y 27 C° siendo noviembre el mes más cálido. Así las temperaturas más bajas están entre 1 y 4 C°, para los meses de Julio y agosto.

4.3.3. Datos del suelo

Para el estudio de los suelos se realizó en dos etapas; en la primera etapa, se consideró reconocimiento de área, excavación de calicatas, mapa geológico – geotécnico y sus respectivos muestreos para los ensayos de laboratorio. La segunda etapa corresponde al trabajo de laboratorio y análisis cuantitativo para la descripción y clasificación de los suelos encontrados en cada “qocha” analizada, dicha información ha sido obtenida de la unidad ejecutora Sierra Azul a través de un estudio geológicos, geomorfológicos y geotecnia, realizado en el mes de mayo de 2019.

La tabla 7, muestra la característica e identificación de perfil estratigráfico de las diferentes unidades de cada suelo correspondiente a las zonas de estudio, y la tabla 8 presenta los resultados referentes al control de humedad en ambas “qochas”.

Tabla 7
Descripción de suelo

“QOCHA”	SUCS	AASHTO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO
WARIHUMAÑA	CL-SM	A-5	Material cuaternario de cobertura vegetal color pardusco. Material arena arcillosa, de grano fino con contenido de intercalación de limos de color amarillo, tiene suelo franco arcilloso.
	Qr	N.F.	No hay agua. Material con cobertura vegetal color pardo Suelo arcilloso de color negro limoso y plástico. No hay agua.
CHULLUMPIRINI	CL	A-6 N.F.	El PH del suelo es moderadamente alcalino, el contenido de materia orgánica fluctúa de alto a bajo, la profundidad efectiva de los suelos es superficial a medianos en zonas con pendiente y profundos en zonas planas, la clase textural varía de suelos Francos a Francos arcillosos y Franco arcillo limosos, son semipermeables y la disponibilidad de fósforo y Potasio es de muy bajo a bajo y el drenaje interno es de medio a rápido.

Nota. Datos obtenidos de SIERRA AZUL

Tabla 8
Control de humedad

CONTROL DE HUMEDAD			
“QOCHAS”			
	WARIHUMAÑA	CHULLUMPIRINI	
Peso tara + muestra húmeda	Gr.	434.7	125.3
Peso tara + muestra seca	Gr.	399.5	118.2
Peso del agua	Gr.	35	7.1
Peso de la tara	Gr.		21.2
Peso de muestra seca	Gr.	399.7	97
Contenido de humedad	%	8.76	7.3
Densidad muestra seca	Gr./cm ²	1.6	2.11

Nota. Datos obtenidos de SIERRA AZUL

La capacidad portante de los suelos de las lagunas se mostrará en la tabla 9, estos datos hallados, se obtuvo mediante un análisis de los ensayos de suelos: granulometría, peso específico, porosidad, relación de vacíos y también de métodos de Terzaghi, Meyerhof que son ecuaciones para el cálculo de capacidad admisible y última.

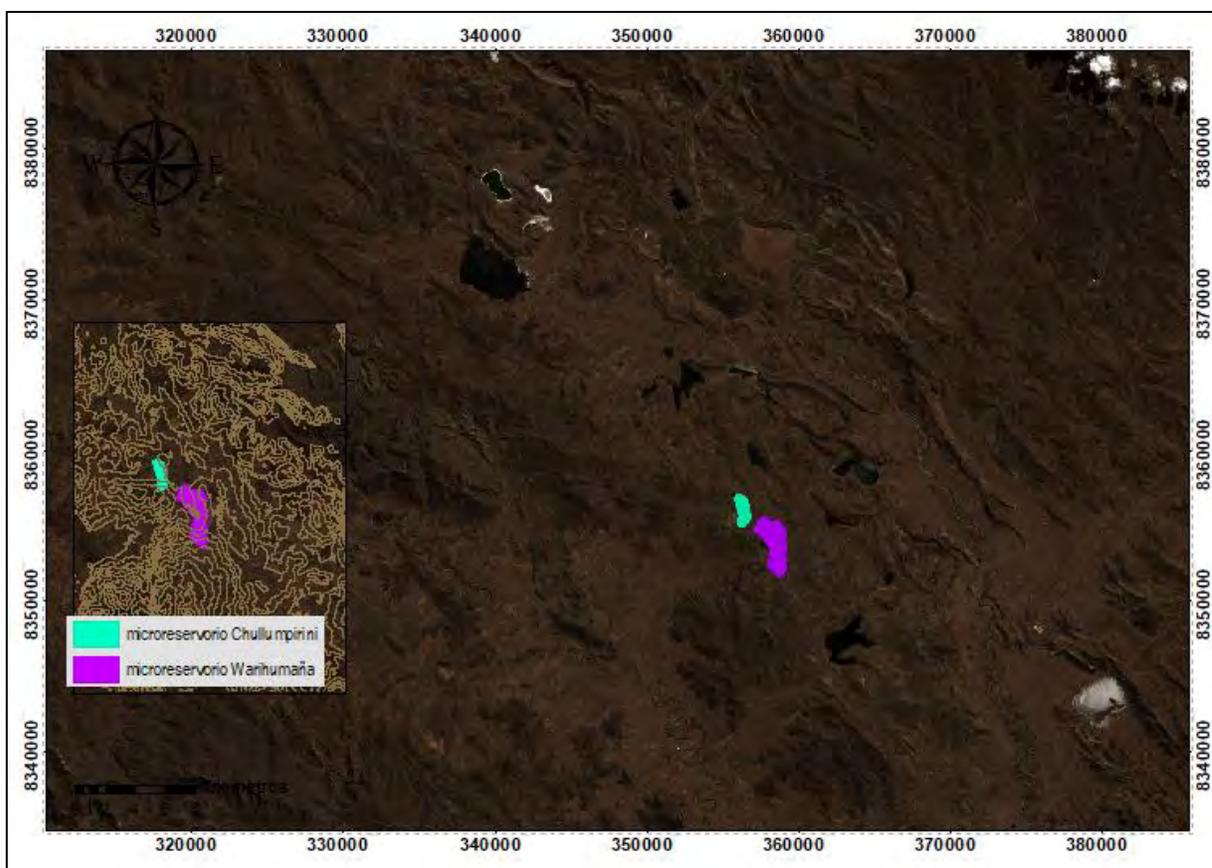
Tabla 9
Capacidad portante

“QOCHAS”	CAPACIDAD ADMISIBLE (qd g/cm²)	CAPACIDAD ÚLTIMA (qa kg/cm²)
WARIHUMAÑA	1.08	0.9
CHULLUMPIRINI	0.83	0.8

Nota. Datos obtenidos de SIERRA AZUL

4.3.4. Datos de cobertura vegetal

El análisis de la cobertura vegetal se realizará mediante imágenes satelitales provenientes del USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos). USGS recopila, estudia, analiza y brinda información científica, de los recursos naturales, a través del satélite “LANSAT 8 OLI-TIRS”. El satélite cuenta con sensores, el primero OLI provee acceso a 9 bandas espectrales, mientras que el segundo sensor, TIRS, cubre 2 bandas termales adicionales. La imagen satelital que corresponde a la zona de estudio se muestra en la figura 20, en su representación de color natural, (RGB: red green blue) con la combinación de las bandas 4, 3 y 2 en sistema de coordenadas de WGS 1984 UTM, en la zona 19S. El satélite provee imágenes a una resolución de 30 x 30 m de tamaño de pixel para esta región.



*Figura 20 Imagen satelital de las zonas de las lagunas (RGB-432).
Fuente: Tomado de LANSAT 8 – USGS*

Además, se utilizó el producto 6 MODIS Land Cover (MCD12Q1 y MCD12C1) (ver Figura 20), el cual permite mapear la cobertura terrestre global, con una resolución espacial de 500 m. Estos mapas fueron establecidos a partir de las clasificaciones de características espectro-temporales procedentes de datos del espectro radiómetro de imágenes de resolución moderada (MODIS). Este producto consta de seis esquemas de clasificación diferentes, de los cuales se empleará el esquema de clasificación de Bioma LAI/Fpar realizado por Myneni et al. (2002), lo cual se observa en la tabla 10.

Tabla 10
Leyendas del índice de área foliar LAI y definiciones de clases.

Nombre	Valor	Descripción
Cuerpos de agua	0	Al menos el 60% del área está cubierta por cuerpos de agua permanentes.
Pastizales	1	Dominado por plantas anuales herbáceas (<2 m), incluidas las tierras de cultivo de cereales.
Matorrales	2	Cobertura de arbustos (1-2 m) > 10%.
Tierras de cultivo de hoja ancha	3	Dominado por herbáceas anuales (<2 m) que se cultivan con cultivos de hoja ancha.
Sabanas	4	Entre el 10-60% de cobertura arbórea (> 2 m).
Bosques de hoja perenne	5	Dominado por árboles de hoja perenne y palmeados (> 2 m). Cobertura arbórea > 60%.
Bosques caducifolios de hoja ancha	6	Dominado por árboles caducifolios de hoja ancha (> 2 m). Cobertura arbórea > 60%.
Bosques de hoja perenne	7	Dominado por coníferas de hoja perenne (> 2 m). Cobertura arbórea > 60%.
Bosques caducifolios de hojas agujas	8	Dominado por árboles de hoja caduca (alerce) (> 2 m). Cobertura arbórea > 60%.
Tierras sin vegetación	9	Al menos el 60% del área es estéril sin vegetación (arena, roca, suelo) o nieve y hielo permanentes con menos del 10% de vegetación.
Terrenos urbanos y urbanizados	10	Al menos un 30% de superficie impermeable, incluidos materiales de construcción, asfalto y vehículos.

Desclasificado

255

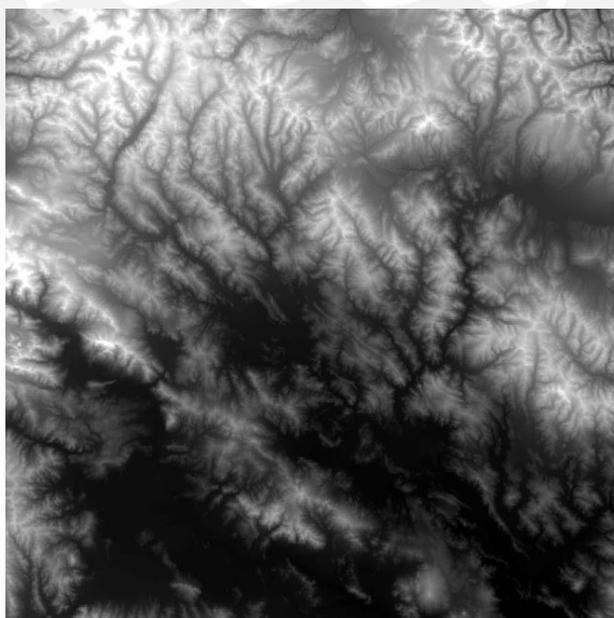
No ha recibido una etiqueta de mapa debido a entradas faltantes.

Nota. Datos obtenidos de Myneni (2002)

4.3.5. Datos de elevación

La Misión Topográfica Shuttle Radar (SRTM) de la Nasa, genera un modelo de elevación digital (DEM) casi global de la Tierra. Con el fin de recopilar datos topográficos (elevación) de la superficie de la tierra, SRTM utiliza la técnica de interferometría a través de dos antenas de radar. La información obtenida en cada DEM permite crear patrones del tiempo, modelos de lluvias, flujo y almacenamiento de las aguas superficiales.

La figura 21 muestra el DEM que cubre nuestra área de estudio a una resolución de tamaño 30 x 30 de tamaño de pixel. A partir de esta información y través de la herramienta del Arcgis se obtendrá la delimitación de la cuenca, las áreas y las altitudes de las “qochas”.



*Figura 21 DEM de las zonas de las lagunas
Fuente: Tomado de SRTMGL1*

4.4. Herramienta CUBHIC

La metodología CUBHIC (Cuantificación de Beneficios Hídricos de Intervenciones en Cuencas) fue elaborada por la firma medioambiental de ingeniería estadounidense Kieser & Associates, con el apoyo del proyecto “Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica”, de CONDESAN, SPDA, EcoDecisión e Imperial College London (Foster et al., 2020).

El método CUBHIC permite realizar una evaluación rápida de los beneficios de cantidad y calidad del agua de la infraestructura natural. En términos de cantidad de agua, incluye el incremento en el flujo de la estación seca y, en términos de calidad, incluye la reducción en los procesos erosivos y de sedimentación. Este método tiene la característica de ser práctico, en la cuantificación del beneficio hídrico y en modelos hidrológicos que, en algunos casos, requiere tiempo e información sofisticada.

Esta metodología se realiza a través de una hoja de cálculo de Excel. A través de dicha hoja, se ingresan datos de suelo y vegetación, y datos climáticos de precipitación y temperatura (máximos, mínimos y promedios). Además, incluye datos de campo de la “qocha” en estudio, como el tipo de suelo, altitud, humedad, asimismo, latitud, área contribuyente, etc. CUBHIC estima los cálculos de las áreas correspondientes al aspecto tributario de contribución y a los balances hídricos de la propia “qocha”. Asimismo, estima sus componentes de evapotranspiración, escorrentía, percolación, balance de agua, etc., Las ecuaciones utilizadas han sido desarrolladas en el marco teórico, específicamente en la sección de Balance Hídrico (sección 3.3).

La herramienta compara “qochas” propuestas e incluso ofrece estimaciones preliminares de la rentabilidad de las alternativas planteadas. Esto permitirá cuantificar los beneficios y la eficiencia de costos, para las distintas “qochas” de intervención (Foster et al, 2020). Con este aporte, se

aprovecha la capacidad de la naturaleza para proporcionar agua, en base a una infraestructura natural (“qochas”) y prácticas ancestrales.

Siendo una metodología relativamente nueva, ha sido aplicada en proyectos de Cosecha y Siembra de agua impulsados por CONDESAN. Sin embargo, CUBHIC aún se encuentra en la etapa de validación, y se proyecta a incluir el componente de agua subterránea que también cumple un papel importante en el modelo. Por lo cual, esta investigación es valiosa para la mejora de la herramienta especialmente en el ajuste y precisión de ciertos factores de entrada.

Modo de aplicación del Excel CUBHIC.

El Excel del CUBHIC- QOCHAS posee siete pestañas: una de instrucciones; tres, para almacenar la información de entrada (pestañas de escenarios, coeficientes y clima), y tres donde se realizan las operaciones (pestañas de constantes, cálculos de ET y cálculos). Los resultados o salidas de la herramienta se ubican también en la pestaña de escenarios. La primera pestaña muestra las instrucciones; es decir, indica los pasos a seguir para el uso de la hoja de cálculo y muestra los diferentes valores de cobertura y textura del suelo (ver Figura 22).

Valores para diferentes usos/condiciones de la cobertura						Valores para diferentes texturas de suelo			
Vegetación	Condición de la vegetación	Número de curva		LAI (m ² /m ²)	Albedo (fracción)	Textura del suelo	Capacidad de campo (mm/mm)	Punto de marchitez (mm/mm)	Ksat (mm/día)
		Suelo tipo B	Suelo tipo C						
Pradera	Pobre	77	85	1	0.21	Arena	0.1	0.05	127 - 423
	Regular	73	81	1.5	0.18	Arena arcillosa	0.12	0.05	127 - 423
	Bueno	61	73	2	0.16	Franco arenoso	0.18	0.08	42 - 127
Matorral	Pobre	70	79	2	0.2	Franco arcilloso arenoso	0.27	0.17	4 - 13
	Regular	59	70	2.5	0.17	Marga	0.28	0.14	13 - 42
	Bueno	47	62	3	0.15	Arcilla arenosa	0.36	0.25	1 - 4
Pastizales arbolados	Pobre	74	82	1.5	0.18	Franco limosa	0.31	0.11	13 - 42
	Regular	66	76	2	0.16	Limo	0.3	0.06	13 - 42
	Bueno	57	69	2.5	0.14	Franco arcilloso	0.36	0.22	4 - 13
Bosque	Pobre	70	79	2.5	0.13	Franco arcillo limoso	0.38	0.22	4 - 13
	Regular	58	70	3	0.12	Arcilla limosa	0.41	0.27	1 - 4
	Bueno	51	66	3.5	0.11	Arcilla	0.42	0.3	0.1 - 1



Figura 22 Valores de cobertura y textura del suelo
Fuente: Tomado de CUBHIC

Los resultados (pestaña “Escenarios”) incluyen dos parámetros: el aumento del volumen de filtración de la “qocha”, en cada escenario, y los costos respectivos. Además, se muestra un gráfico del volumen almacenado en la “qocha” (ver Figura 23). Asimismo, en la pestaña de coeficientes, se visualizan datos de ubicación (altitud y latitud), coeficientes del modelo y datos del acuífero. Estos últimos datos mencionados son valores que afectan las aguas subterráneas; sin embargo, su utilización es opcional. Por último, en la pestaña de clima, se indican los datos de las precipitaciones y temperaturas diarias del lugar.

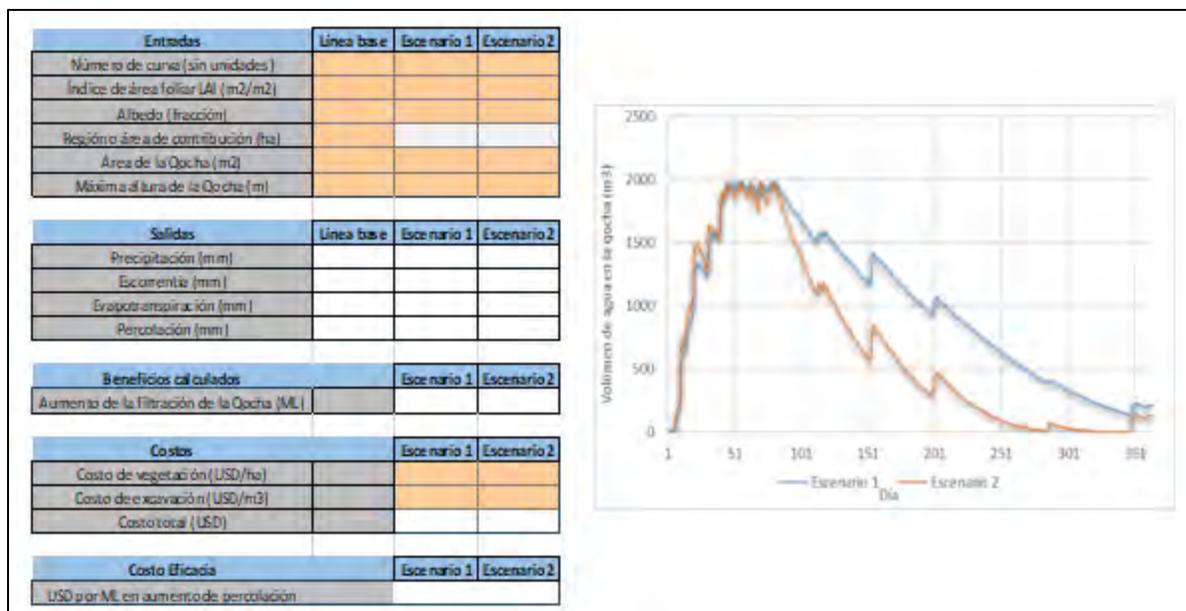


Figura 23 Datos de entrada de escenario

Fuente: Tomado de CUBHIC

Datos de entrada del sitio			
Altitud (m)			
Latitud (grados)			
Datos del suelo			
Capacidad de campo (mm/m)			
Contenido de marchitez (mm/m)			
Qochas			
Ksat (mm/día)			
Altura inicial (m)			
Coeficientes del modelo			
Altura de suelo (mm)			
Coefficiente C (sin unidades)			
Acuífero*			
Recarga (m ³ /m ³)			
Rendimiento (mm/mm)			
Ksat (mm/día)			

Día	T. máx (C)	T. mín (C)	Precipitación (mm)

Figura 24 Datos de entrada de coeficiente y precipitación

Fuente: Tomado de CUBHIC

Después de haber insertado los datos de entrada (ver Figura 24), tendremos los resultados de cálculos, en las siguientes pestañas de constantes, cálculos de ET y cálculos. Estas hojas estiman

las presiones atmosféricas, la evapotranspiración y los elementos de balance hídrico, de los dos escenarios, automáticamente.

4.5. Índice de calibración del modelo

4.5.1. Método de regresión lineal.

El método de regresión lineal, es una técnica estadística que forma una ecuación que relaciona las variables conocidas con las desconocidas.

La ecuación de la recta es:

$$y = a \cdot x + b \quad (14)$$

Una vez que se obtengan la ecuación, se realiza un análisis de correlación para calcular el grado de relación que existe entre las variables, esta relación se le conoce como el coeficiente de correlación cuyo valor se encuentra entre $-1 < r < 1$, el cual indicará cuanta similitud hay entre las variables, cuanto más se acerque este valor a la unidad ($R=1$) significará una relación lineal fuerte entre las variables.

4.5.2. Coeficiente de NASH

El criterio de Nash-Sutcliffe es uno de los más utilizados en el estudio de la hidrología. Es una estadística normalizada que calcula cuanto de la variabilidad de las observaciones (datos medidos) es explicada por la simulación, a través de valores referenciales o simulaciones (Molnar,2011), como se detallará en la tabla 11.

La ecuación de NASH:

$$Nash = 1 - \frac{\sum_{t=ti}^{tf} (Q_{sim,t} - Q_{ref,t})^2}{\sum_{t=ti}^{tf} (Q_{ref,t} - \bar{Q}_{ref,t})^2} \quad (15)$$

Donde:

$Q_{sim,t}$: descarga simulada en un tiempo t (m^3/s)

$Q_{ref,t}$: descarga observada en un tiempo t (m^3/s)

\bar{Q}_{ref} : promedio de descargas observadas en el periodo de tiempo considerado (m^3/s)

Tabla 11

Valores referenciales del criterio de Nash –Sutcliffe

E	AJUSTE
<0.2	Insuficiente
0.2 - 0.4	Satisfactorio
0.4 - 0.6	Bueno
0.6 - 0.8	Muy Bueno
> 0.8	Excelente

Fuente: Molnar, 2011

5. PREPROCESO DE LA INFORMACIÓN

En el preproceso de la información se realizará los procedimientos previos a la colocación de datos de entrada en el CUBHIC como en la precipitación, la temperatura, cobertura vegetal, suelos y topografía. En la figura 25, se muestra a detalle la explicación de cada una de las secciones de este capítulo.

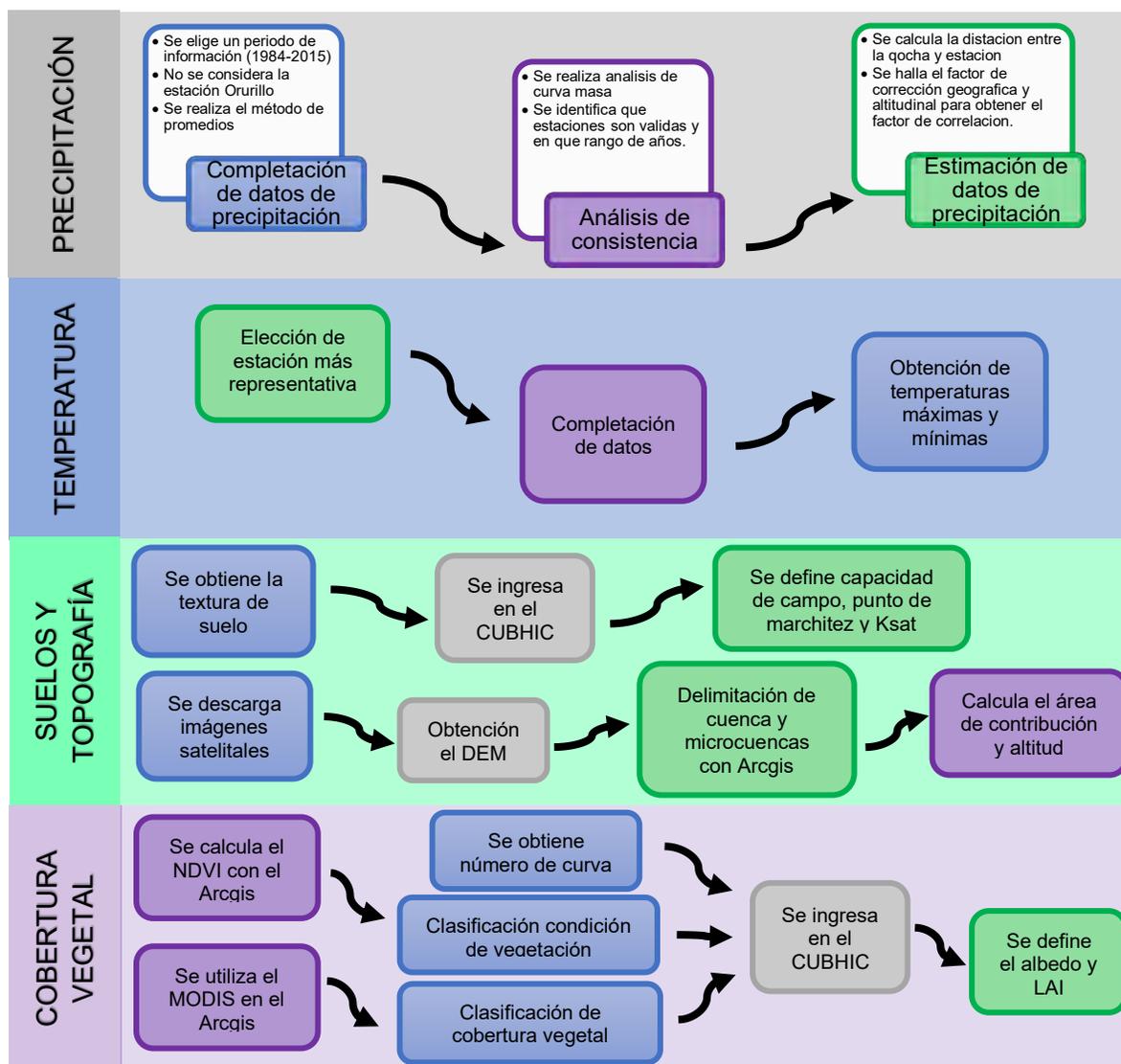


Figura 25 Explicación del preproceso de información
Fuente: Propia

5.1. Completación de datos de precipitación en las estaciones

El estudio de precipitación tiene como periodo base la información del año 1984 hasta el 2015 (32 años), ya que presenta menor cantidad de vacíos en los registros. Además, solo se tendrá en cuenta 4 de las 5 estaciones mencionadas en el ítem 4.3.1., pues la estación Orurillo solo presenta datos desde 1966 hasta 1992 con gran cantidad de vacíos, y no es suficiente para el análisis (ver Anexo A.1).

La completación de datos faltantes se realiza mediante el método de los promedios (también conocido como método de las proporciones o factores), este método es práctico y sencillo y es posible realizarlo a escalas diarias, mensuales y multianuales. Para ello se necesita una estación completa (también llamado índice) con su precipitación media y una estación problema (datos faltantes) con su correspondiente precipitación media. Sin embargo, es necesario emplear estaciones vecinas cuya serie sea homogénea con las estaciones requeridas, además si existiera 2 o 3 estaciones índices, se procede de la misma manera con cada una de ellas, obteniéndose 2 o 3 valores, finalmente el valor final índice será el promedio de ellas (Chereque, 1989).

En este caso la estación completa es la de Pucara y las otras estaciones serían las incompletas. A través de la siguiente ecuación del método de los promedios, se hallará los datos faltantes.

$$E_{1i} = \frac{E_{p1}}{E_{p2}} \times E_{2i} \quad (16)$$

Donde:

E_{1i} : Dato faltante del año "i" en la estación 1

E_{2i} : Dato medido del año "i" en la estación 2

E_{p1} : Promedio de los valores de la estación 1

E_{p2} : Promedio de los valores de la estación 2

En las siguientes figuras (Figura 26, 27, 28 y 29) se muestra la serie diaria de precipitaciones desde 1984 hasta 2015 de las estaciones Ayaviri, Progreso, Azángaro y Pucara, las cuales ya presentan los datos completos de precipitación diaria.

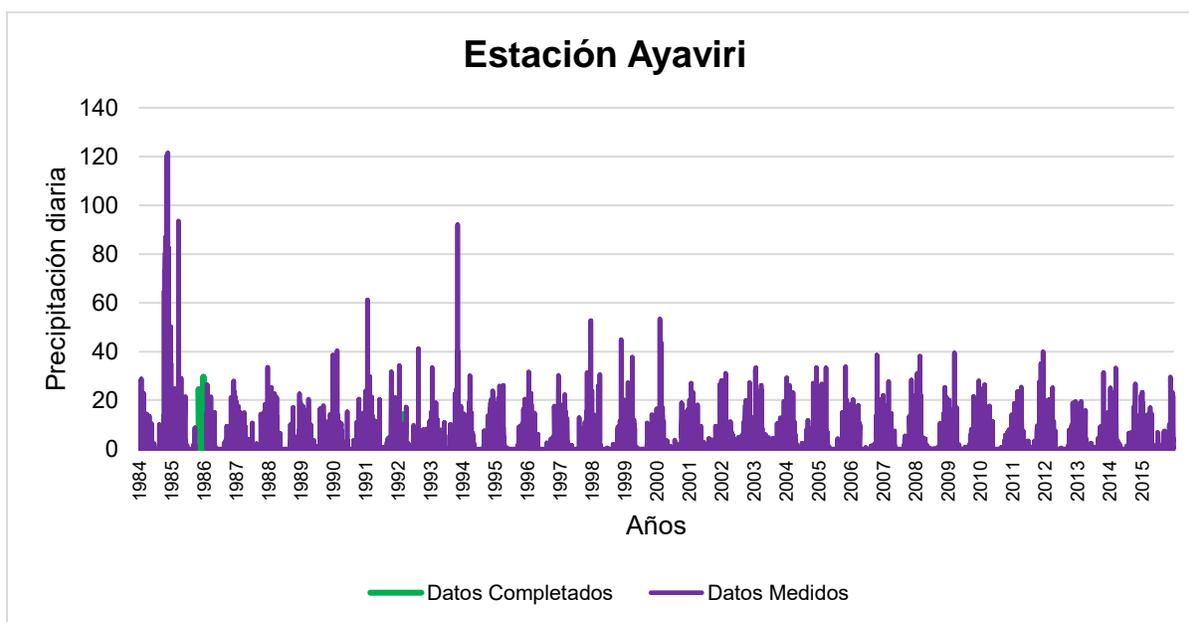


Figura 26 Precipitación diaria de la estación Ayaviri de un periodo de 1984 hasta 2015
Fuente: Adaptado del ANA

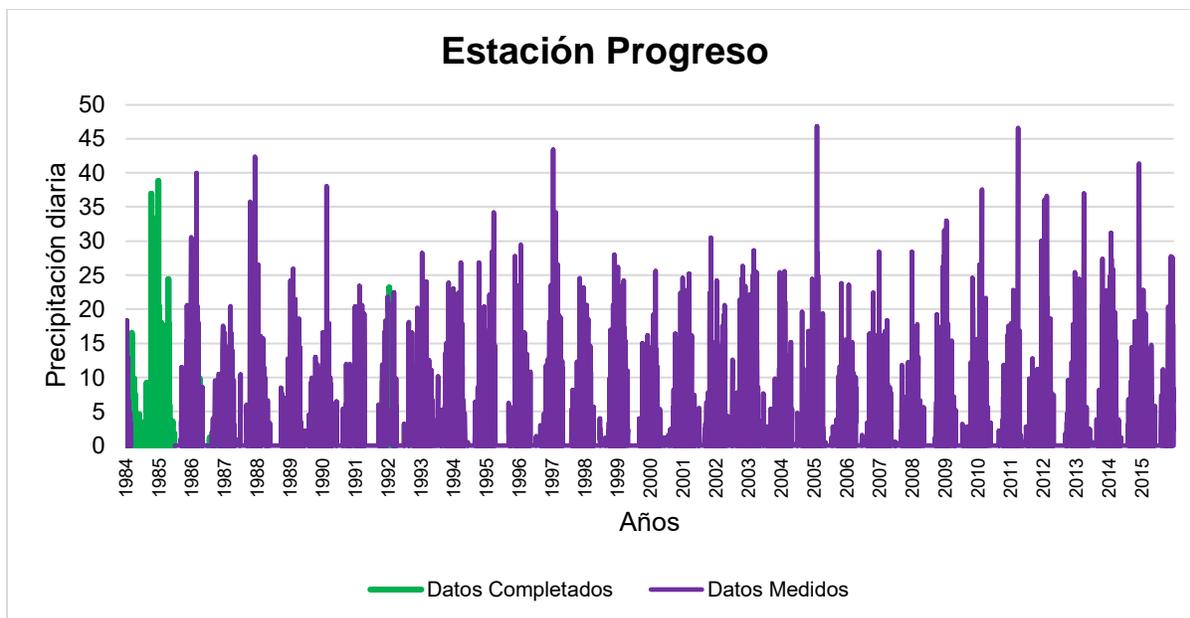


Figura 27 Precipitación diaria de la estación Progreso de un periodo de 1984 hasta 2015
Fuente: Adaptado del ANA

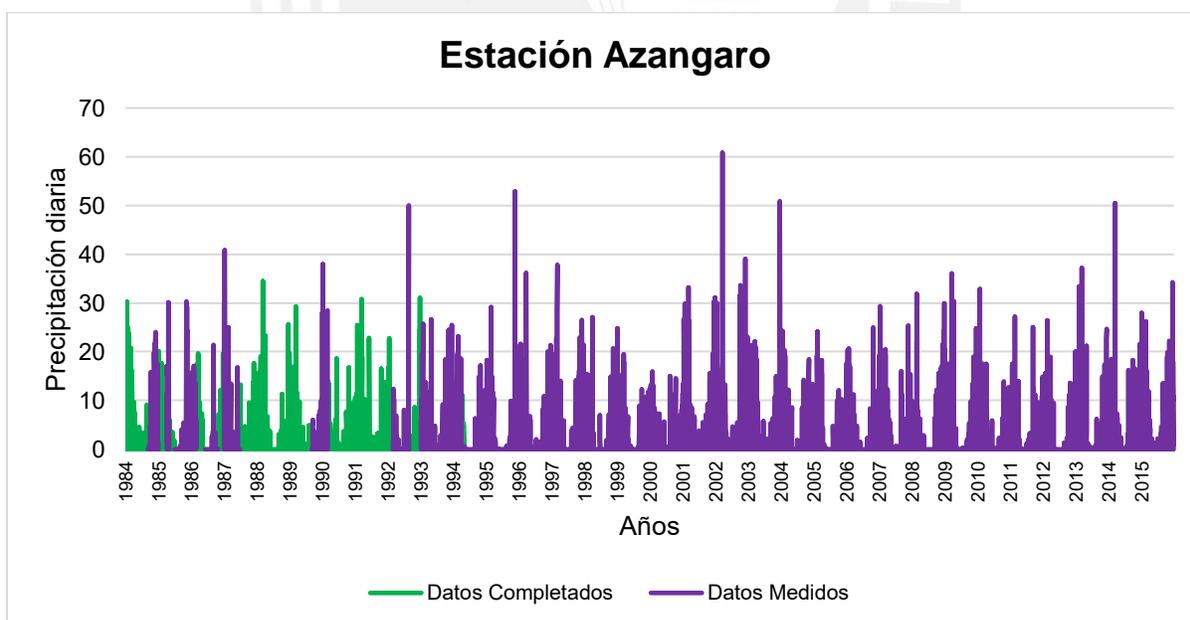


Figura 28 Precipitación diaria de la estación Azángaro de un periodo de 1984 hasta 2015
Fuente: Adaptado del ANA

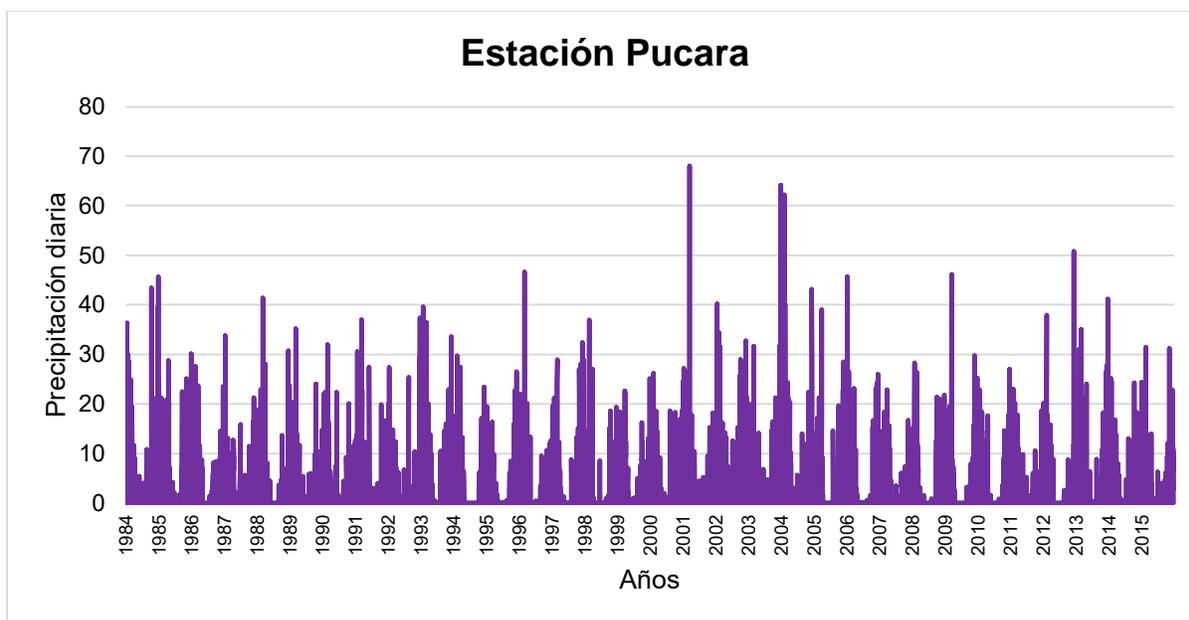


Figura 29 Precipitación diaria de la estación Pucara de un periodo de 1984 hasta 2015

Fuente: Adaptado del ANA

5.2. Análisis de consistencia

Después del completado de datos de las estaciones es necesario hacer un análisis de consistencia en cada una de las estaciones para lograr establecer que datos pluviométricos son válidos y homogéneos y escoger el rango de años de cada estación que sea el más confiable según el método. El método que verificará esto es el análisis de curva doble masa, este consiste en una gráfica de valores de precipitación acumulados de las estaciones durante el rango de años establecidos. Se debe observar si hay un cambio de pendiente en el gráfico, en el caso de que haya significa que hay datos no homogéneos en esta. A continuación, se presentará en la tabla 12 los datos de precipitación acumulada de las estaciones.

Tabla 12
Precipitación (mm) anual acumulada de las estaciones

Años	Ayaviri	Progreso	Azángaro	Pucará	Promedio
	Precipitación Acumulada (mm)	Precipitación Acumulada (mm)	Precipitación Acumulada (mm)	Precipitación Acumulada (mm)	Promedio Acumulado (mm)
1984	2 151	717	1 134	1 279	1 320
1985	3 339	1 568	2 005	2 393	2 326
1986	4 170	2 311	2 627	3 282	3 097
1987	4 745	2 994	3 097	3 929	3 691
1988	5 394	3 565	3 727	4 687	4 343
1989	5 985	4 241	4 208	5 301	4 934
1990	6 664	4 752	4 867	6 083	5 591
1991	7 320	5 330	5 484	6 824	6 239
1992	7 826	5 908	6 066	7 501	6 825
1993	8 661	6 636	6 806	8 295	7 599
1994	9 265	7 306	7 431	9 006	8 252
1995	9 836	7 767	7 891	9 498	8 748
1996	10 424	8 328	8 429	10 129	9 327
1997	11 258	9 157	9 224	10 962	10 150
1998	11 817	9 636	9 667	11 482	10 651
1999	12 459	10 219	10 180	12 089	11 237
2000	13 149	10 834	10 708	12 764	11 864
2001	13 846	11 472	11 485	13 656	12 615
2002	14 684	12 358	12 456	14 670	13 542
2003	15 392	12 998	13 086	15 407	14 221
2004	16 244	13 773	13 698	16 401	15 029
2005	16 943	14 349	14 216	17 101	15 652
2006	17 637	14 884	14 747	17 807	16 269
2007	18 298	15 475	15 382	18 460	16 904
2008	18 928	15 967	15 923	19 090	17 477
2009	19 551	16 517	16 474	19 702	18 061
2010	20 166	17 067	16 973	20 336	18 636
2011	20 905	17 787	17 562	20 956	19 302
2012	21 725	18 457	18 116	21 671	19 992
2013	22 538	19 199	18 874	22 504	20 779
2014	23 231	19 857	19 516	23 199	21 451
2015	23 879	20 578	20 188	23 872	22 129

Nota. Datos obtenidos del ANA

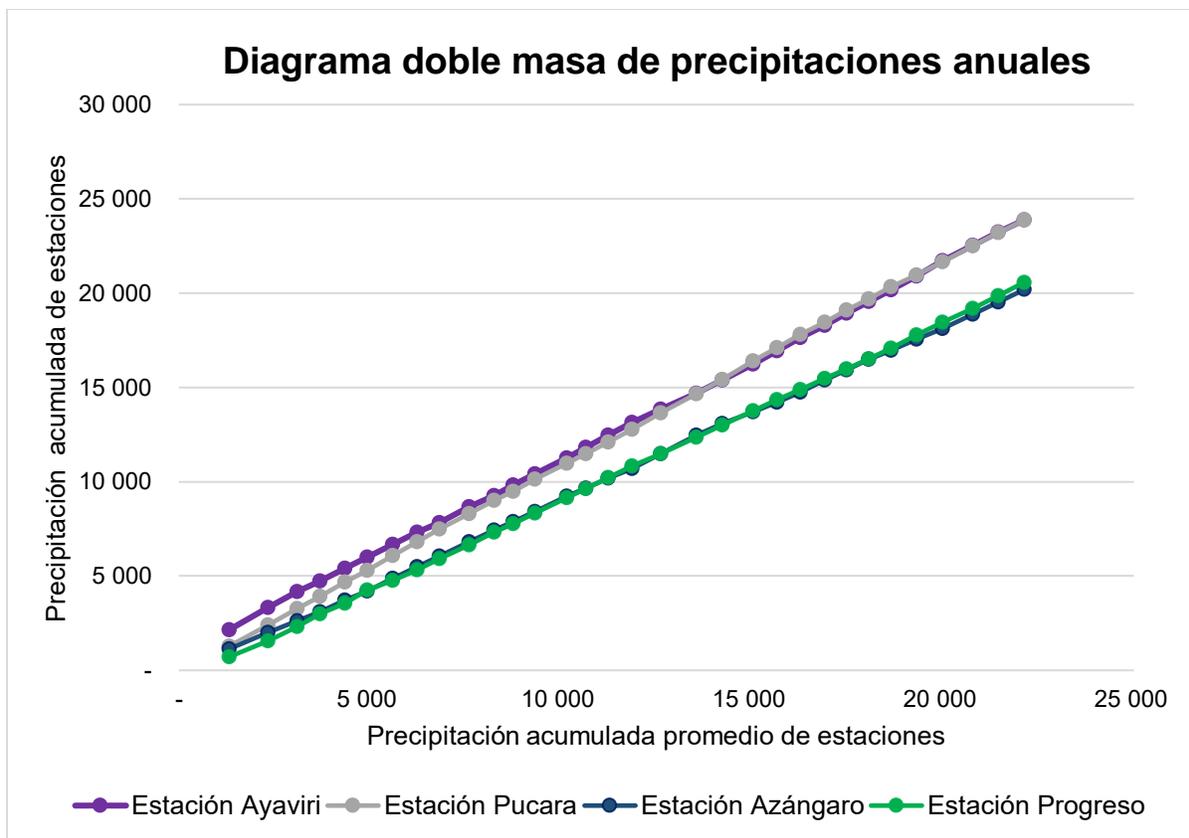


Figura 30 Diagrama de doble masa de las precipitaciones anuales de las estaciones.
Fuente: Adaptado del ANA

En la figura 30, se puede observar que estaciones presentan quiebres en sus pendientes, es decir que estaciones presentan datos no homogéneos para así descartarlos y utilizar los valores más confiables, en este caso las líneas de pendiente no presentan quiebres es decir sus datos son homogéneos y no se hará ningún recorte de datos por lo que se trabajará todo el rango, es decir desde 1984 hasta el 2015.

5.3. Estimación de datos de precipitación en las “qochas”

A través de los datos ya completados de precipitación de las 4 estaciones se prosiguió a calcular la precipitación diaria de cada una de las “qochas” se realiza a través de la siguiente ecuación.

$$P_{QOCHAi} = \sum_{i=1}^n f_i \times P_i \quad (17)$$

Donde:

n : número de estaciones

f_i : factor de correlación en estación i

P_i : Precipitación en estación i

$$f_i = f_{ca} \times f_{cg} \quad (18)$$

f_{ca} : factor de corrección altitudinal

f_{cg} : factor de corrección geográfica

$$f_{cg i} = \frac{\frac{1}{d_i}}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{d_j}} \quad (19)$$

d_i : distancia entre la “qocha” y la estación j

$$f_{ca i} = \frac{Z_{qocha}}{Z_i} \quad (20)$$

Z_{qocha} : altitud de “qocha”

Z_i : altitud de estación i

Finalmente se obtiene los datos de precipitación para cada una de la “qochas”, en las figuras 31 y 32 se observa la serie diaria de precipitaciones de cada “qocha” desde 1984 a 2015.

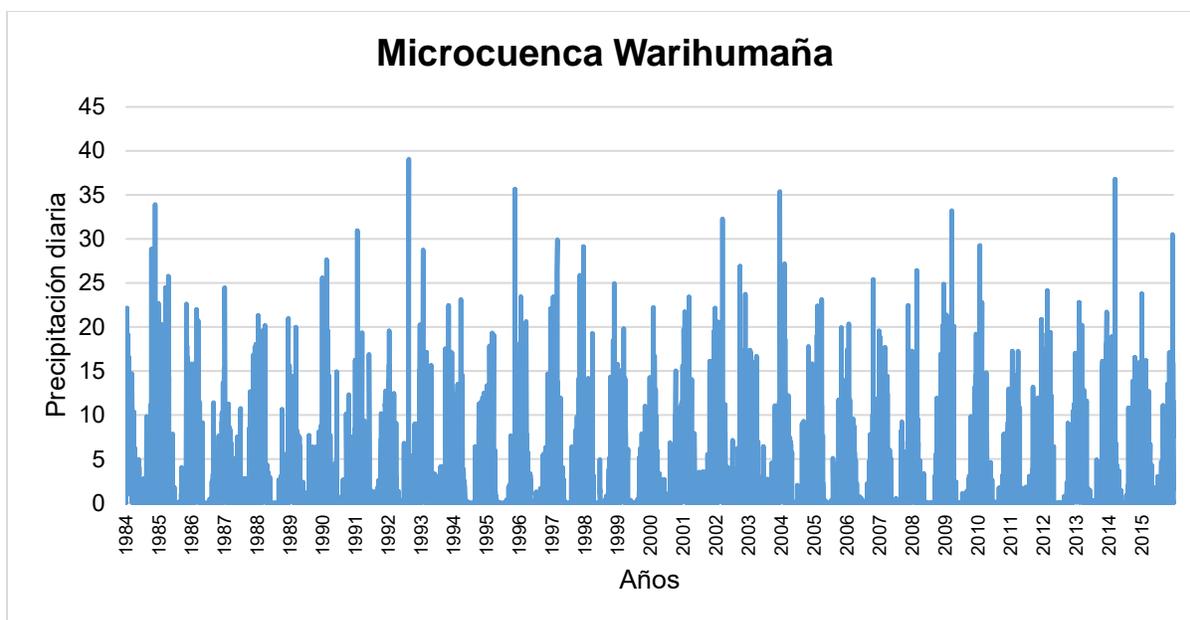


Figura 31 Precipitación diaria de la microcuenca Warihumaña de un periodo de 1984 hasta 2015
Fuente: Adaptado del ANA

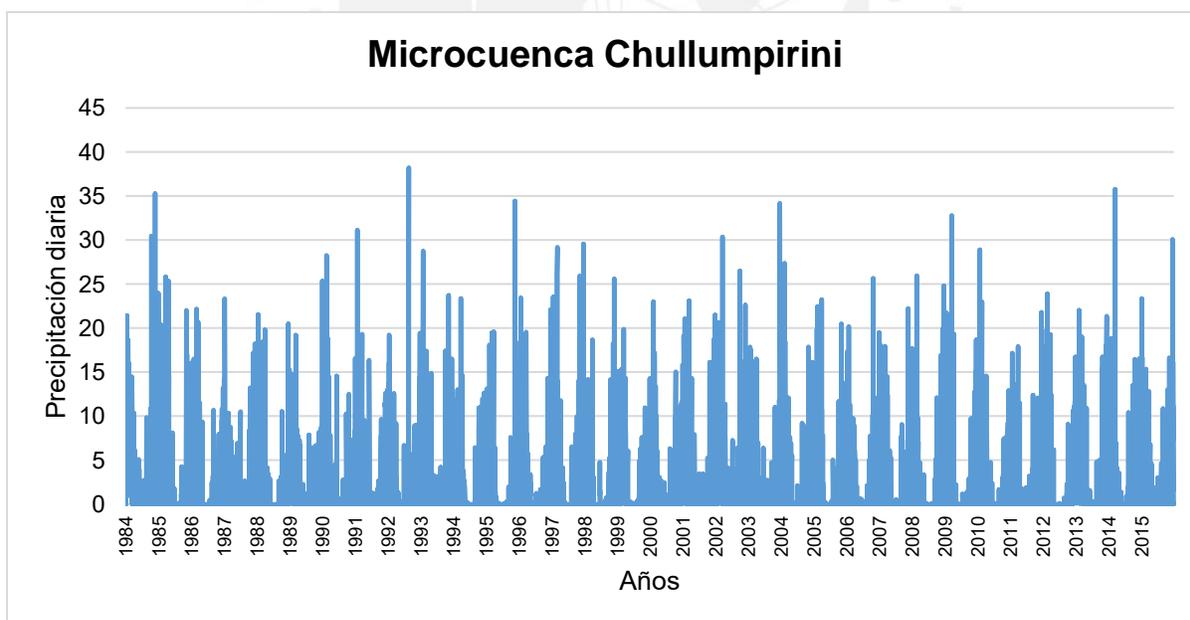


Figura 32 Precipitación diaria de la microcuenca Chullumpirini de un periodo de 1984 hasta 2015
Fuente: Adaptado del ANA

5.4. Completación de datos de temperatura

Los registros de temperatura brindados por el ANA presentan datos faltantes en cada una de las estaciones. Se logró visualizar que las temperaturas de las estaciones no presentan una gran diferencia en los valores de temperatura por ello se escogió la estación más representativa y con menor número de vacíos en la serie de datos, en este caso la información de la estación Progreso (ver Anexo A.2). El procedimiento para completar los datos vacíos es calcular el promedio diario anual dentro de un rango de años cercanos a los años faltantes, y con esos datos diarios promedios completar en los vacíos en la serie de datos.

El primer rango de años donde se promedió la temperatura fue de 1984 a 1987, ya que en la gráfica de temperatura diaria se observó que dentro de ese rango la temperatura se comporta con una misma tendencia, con ello se procedió a completar los datos promedios diarios de temperatura, de la misma manera se realizó el segundo promedio de temperatura en el rango de años fue 1989 a 1992 para luego ejecutar el mismo procedimiento. A continuación, se observan las gráficas 33 y 34 de las temperatura máxima y mínima diarias completadas en la estación Progreso.

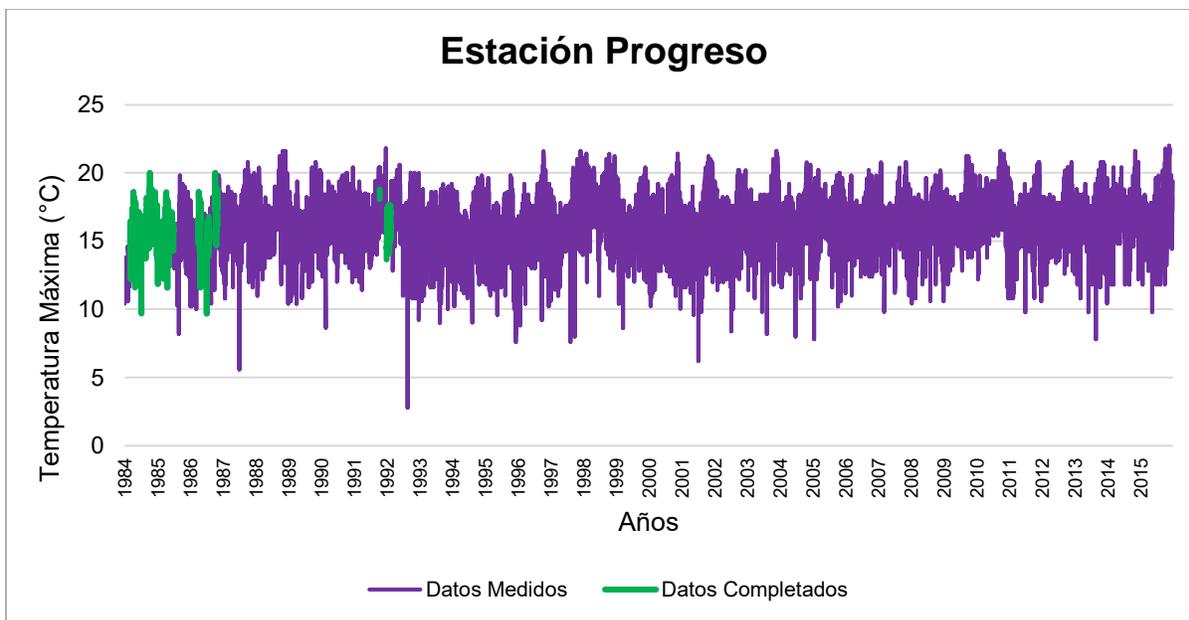


Figura 33 Temperatura máxima de la estación Ayaviri
Fuente: Adaptado del ANA

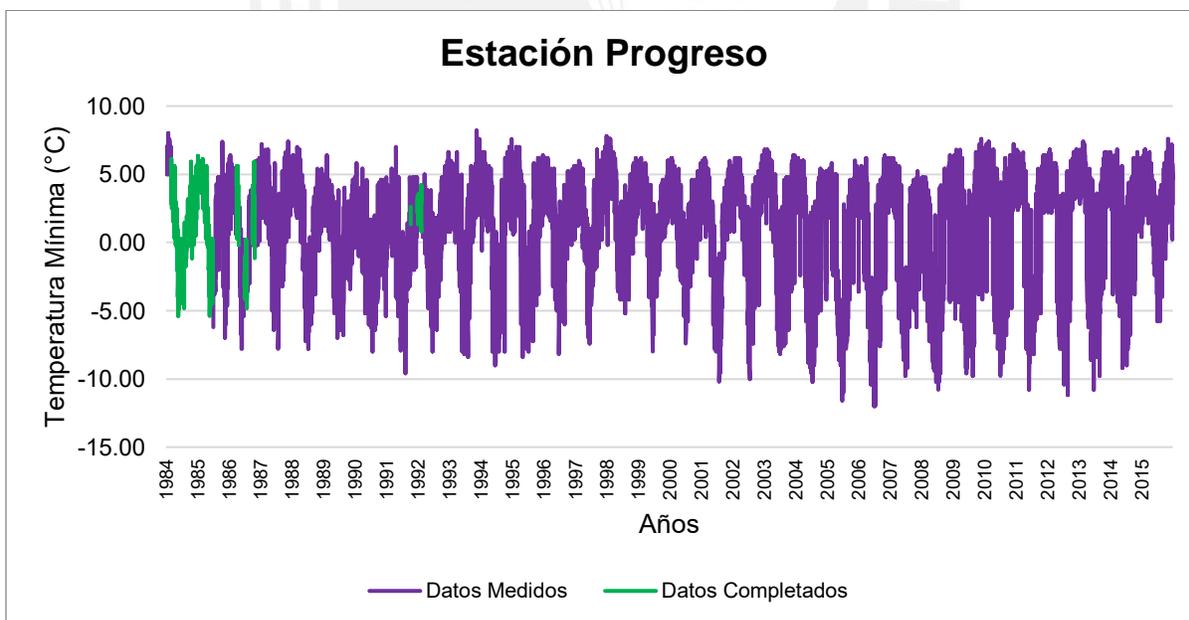
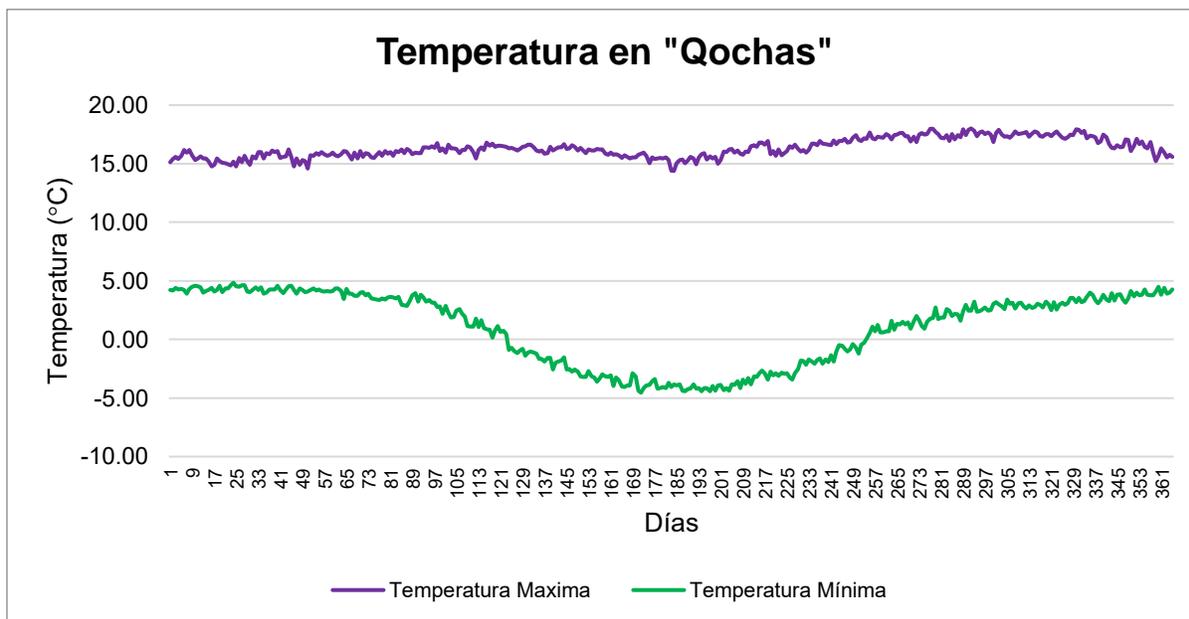


Figura 34 Temperatura mínima de la estación Ayaviri
Fuente: Adaptado del ANA

Finalmente se promedian los datos de temperatura diaria de 1984 a 2015 de la región de estudio para obtener los datos de temperatura diaria promedio (ver Figura 35).



*Figura 35 Temperaturas máximas y mínimas de las "qochas"
Fuente: Adaptado del ANA*

5.5. Análisis de información de suelos

Las características del suelo necesario para la herramienta CUBHIC son: el Tipo de Suelo y la Textura, la Capacidad de campo (mm/mm), el Punto de Marchitez (mm/mm) y el Ksat (mm/día). Todos ellos, se obtendrán a partir de la Textura del suelo, de información bibliográfica, dicha información ha sido obtenida de la unidad ejecutora Sierra Azul a través de un estudio realizado en el mes de mayo de 2019, y de datos predefinidos por la herramienta CUBHIC, ver la Tabla 13 siguiente para mayor detalle.

Tabla 13

Características del suelo para las Microcuencas Warihumaña y Chullumpirini

Característica	Valor	Fuente
Textura	Franco Arcillosa	Tabla 7
Ksat	31.2 mm/día	Tabla 2
Tipo de Suelo	Grupo C	Tabla 2
Capacidad de Campo	0.36	Figura 22
Punto de marchitez	0.22	Figura 22

Nota. Datos obtenidos propios

5.6. Análisis de información topográfica

Topografía

Para el estudio de los datos de entrada de la región o área de contribución y la altitud de las subcuena y microcuencas, se descargaron y se unieron imágenes satelitales del Servicio Geológico de Estados Unidos o USGS (ver figura 36) a partir de las cuales nos brindó información del lugar donde se localizará el proyecto.

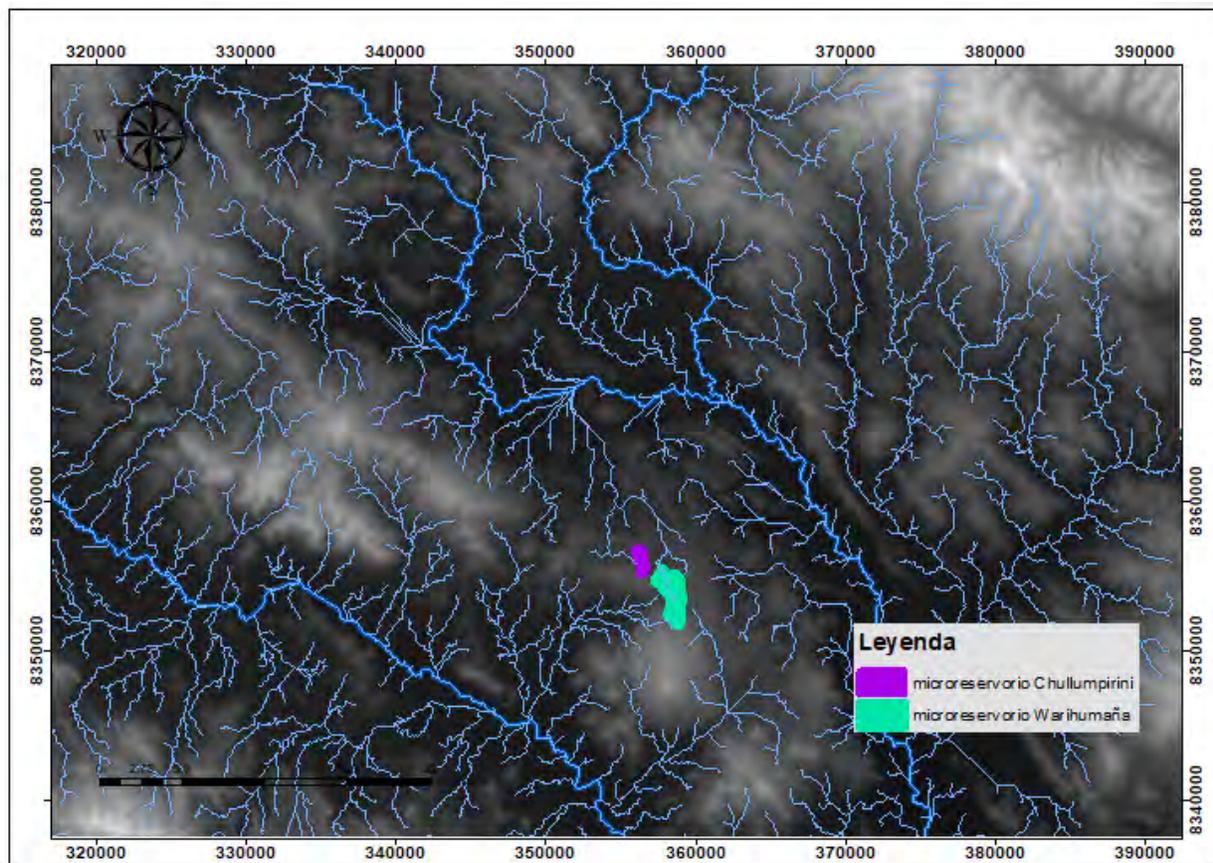


Figura 36 Imagen de los DEM unido del proyecto
Fuente: Propia

Delimitación automática de la cuenca Azángaro

Para delimitar automáticamente la microcuenca de Azángaro se utilizó como herramienta el Arcgis lo cual contiene diferentes herramientas hidrológicas que permiten moldear el flujo del agua a través de las imágenes satelitales, para ello se realizó distintos procedimientos.

Al inicio se define la proyección del DEM ya que es necesario que el archivo *ráster* cuente con una proyección. Después de ser definida la proyección se utilizó la herramienta *Fill*, la cual permite rellenar vacíos en la superficie del *ráster*, para eliminar imperfecciones en la información del DEM. Luego, con la herramienta *Flow Direction*, se estableció la dirección de flujo en el terreno, para generar el archivo de flujo acumulado en la microcuenca. Posteriormente se determinó la

acumulación de la red hídrica con la herramienta *flow accumulation*; además se utilizó herramientas *Basin* y *Clip* para elaborar un ráster delineado de la microcuenca en base de red de drenajes y el recorte de la misma. También, con las herramientas *ráster calculator* convierte automáticamente la red hídrica. Finalmente, con la herramienta *clip* considerando la entrada de la red de polilíneas y cortar con el perímetro, se obtuvo la delimitación aproximada de la cuenca Azángaro (ver Figura 37).

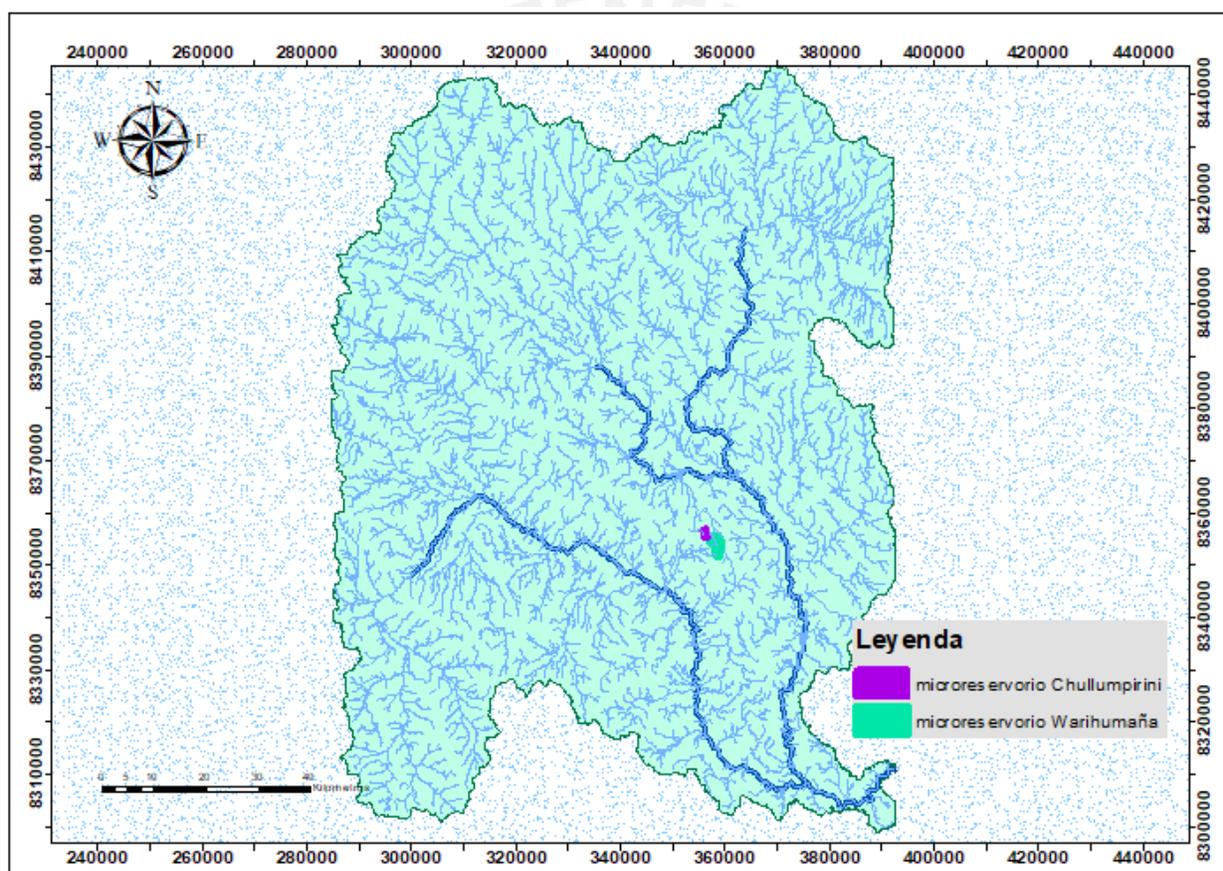


Figura 37 Delimitación de la cuenca Azángaro
Fuente: Propia

Delimitación de las microcuencas Warihumaña y Chullumpirini

A través del programa Arcgis y la herramienta shapefile de polígonos se inicia la delimitación de las microcuencas.

Primero, se definió el punto de aforo de la parte más bajas del curso del cauce principal. A partir del punto de salida se conecta con los puntos altos del plano topográfico con el cursor de la opción de polígono, teniendo como base las curvas de nivel y sus concavidades de la misma. Seguidamente se verificó la limitación, a través del método de una gota de lluvia que debería caer dentro de lo delimitado hacia las partes más bajas en dirección del curso principal. Las figuras 38 y 39 muestran la delimitación de la microcuenca Warihumaña y Chullumpirini respectivamente.

A partir de la delimitación de las dos microcuencas de interés, se logró obtener parámetros geomorfológicos a través de la caracterización de la microcuenca, los cuales brindaron información del área de contribución y la altitud de cada una de ellas (Tabla 14).

Tabla 14
Obtención de área y altitudes del programa ARGICS

“Qocha”	AREA DE CONTRIBUCION (Ha)	ALTITUD (msnm)
WARIHUMAÑA	369.30	4088
CHULLUMPIRINI	100.30	4080

Nota. Datos obtenidos propios

Adicionalmente se necesita los datos del área de espejo y altura de dique de cada una de las “qochas”, las cuales fueron proporcionadas por Sierra Azul, como se observa en la Tabla 15.

Tabla 15
 Datos de entrada de área y altura de dique

“Qocha”	ÁREA DE ESPEJO DE AGUA (m ²)	ALTURA DIQUE ESCENARIO 1(m)
WARIHUMAÑA	424780.61	1.7
CHULLUMPIRINI	187596.69	1.2

Nota. Datos obtenidos de Sierra Azul

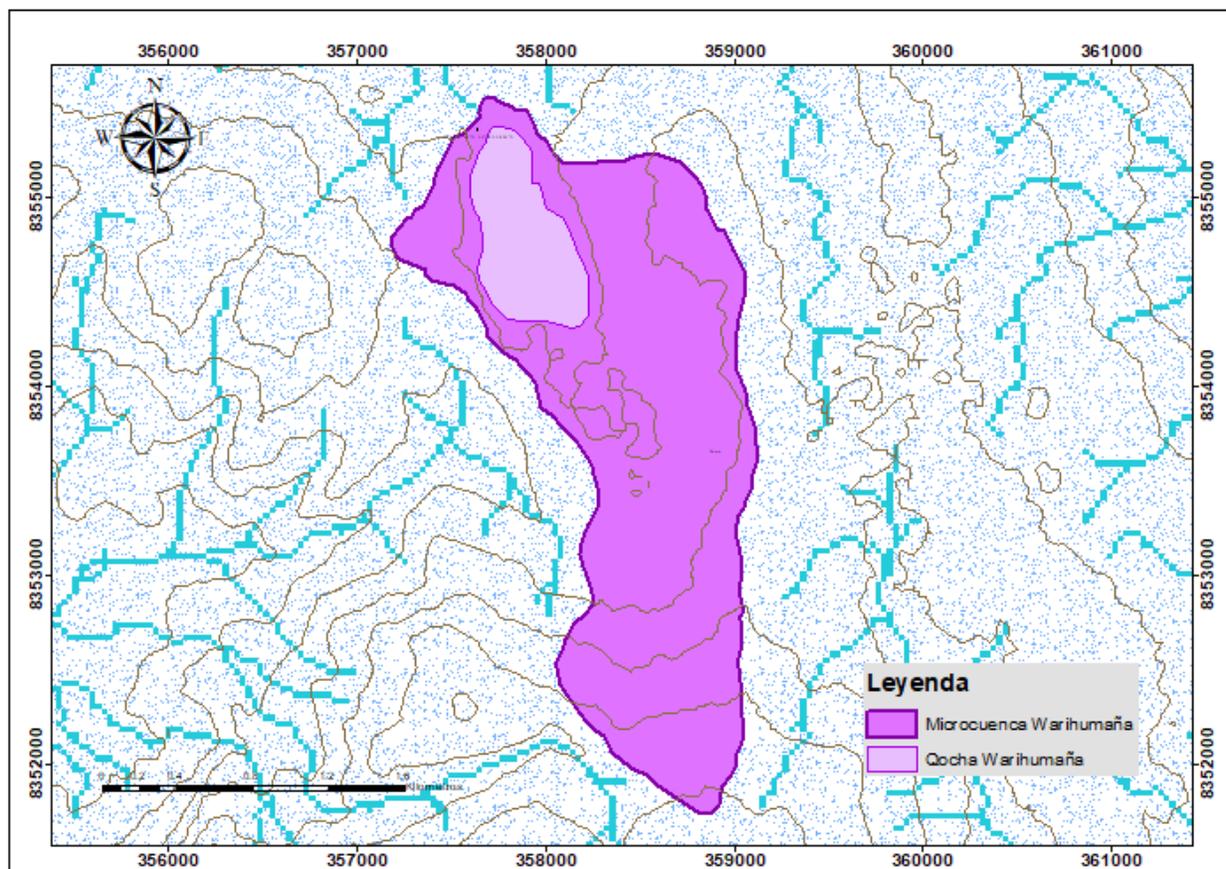


Figura 38 Delimitación de la microcuenca Warihumaña
 Fuente: Propia

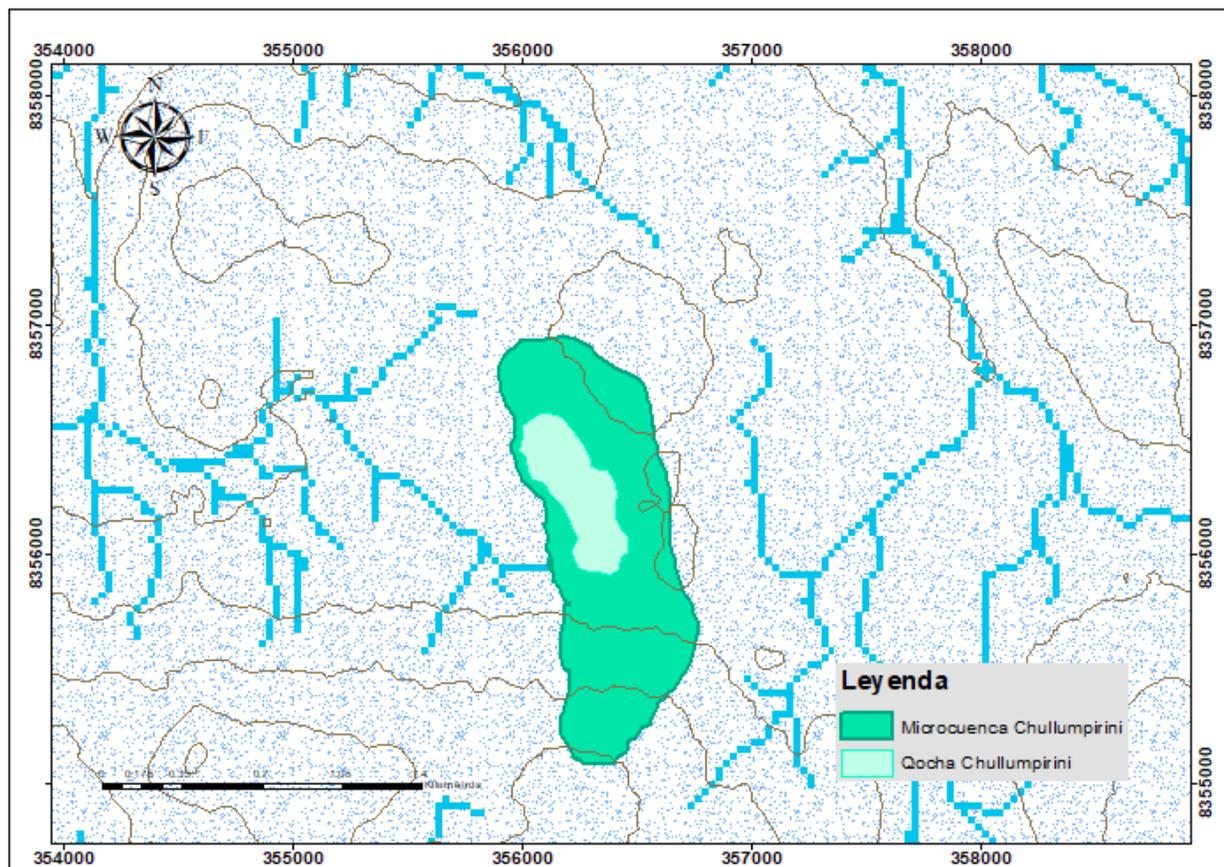


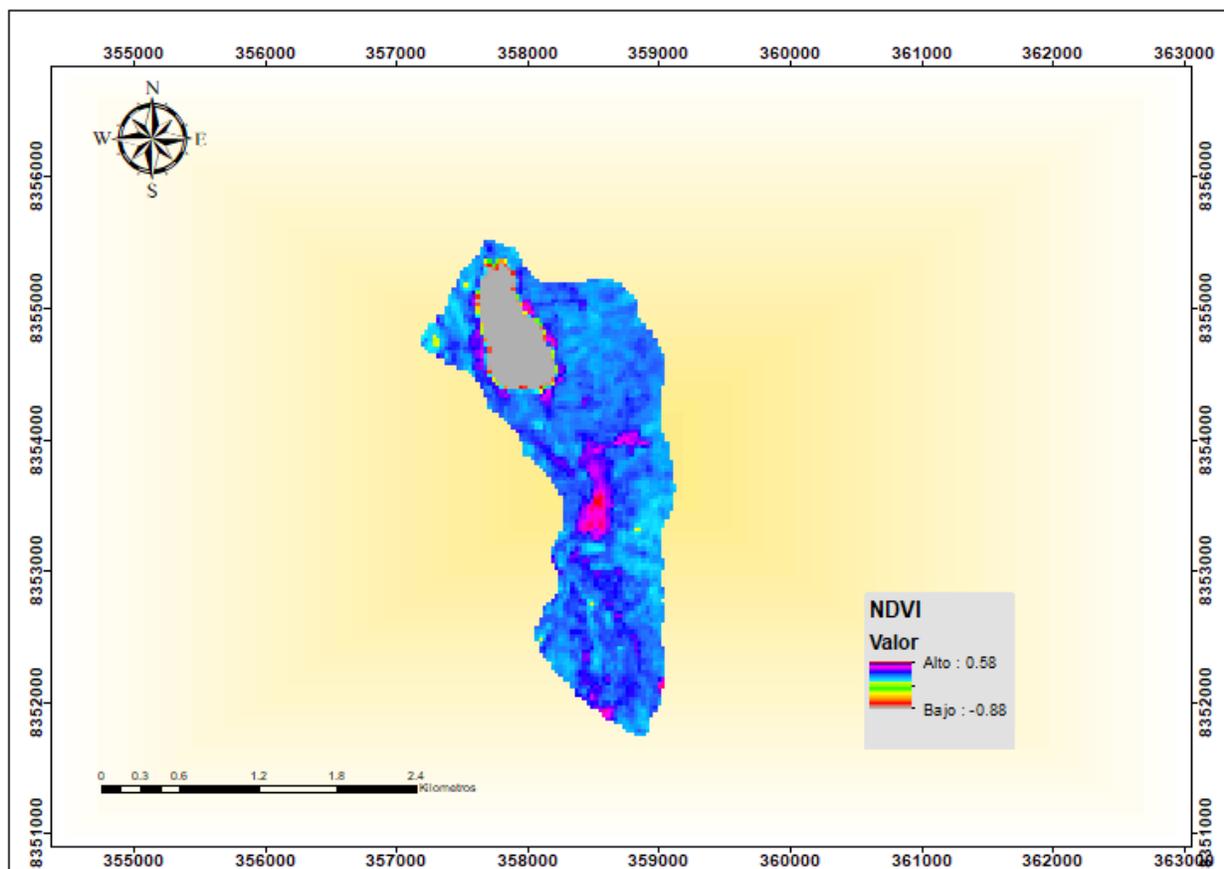
Figura 39 Delimitación de la microcuenca Chullumpirini
Fuente: Propia

5.7. Análisis de cobertura vegetal

NDVI

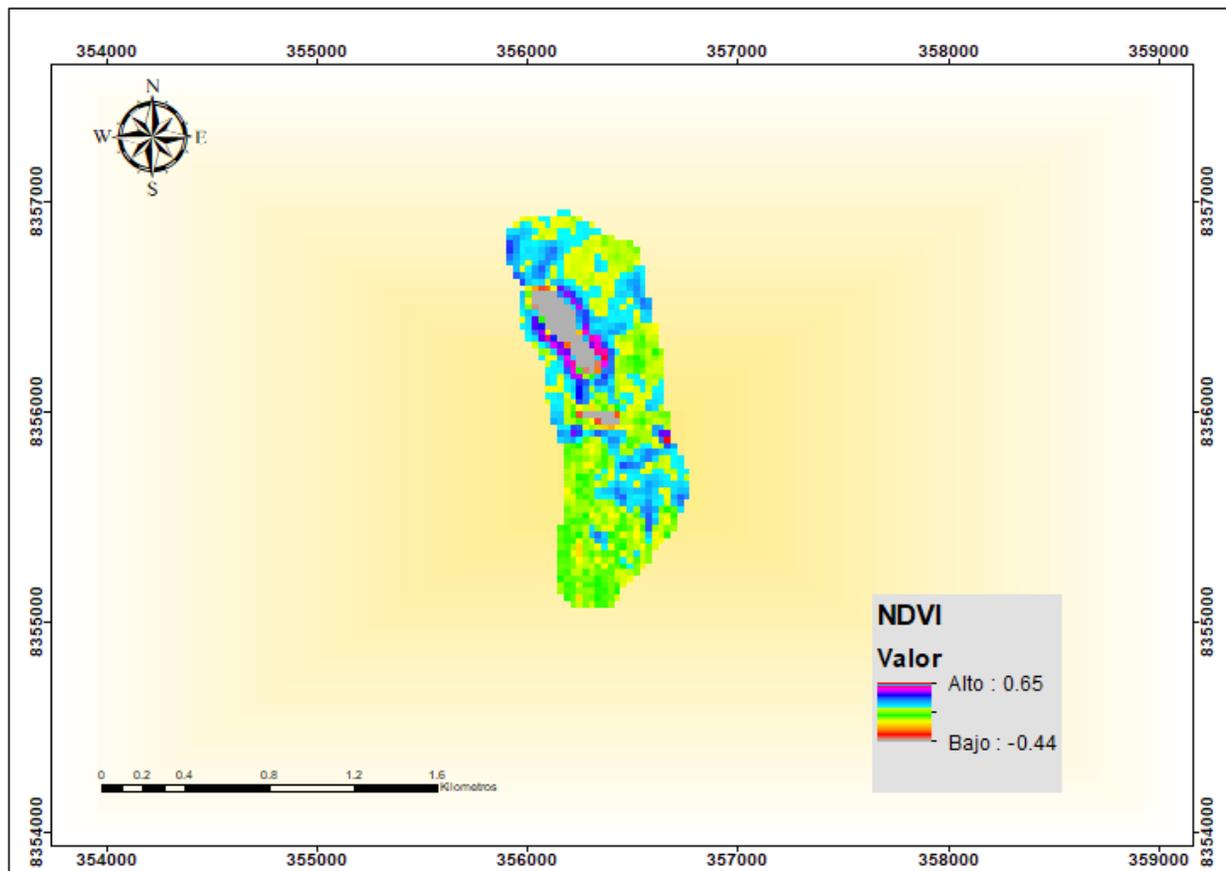
A través de las imágenes satelitales de Landsat 8 de la zona a estudiar se procedió a calcular el NDVI a través de 2 de las 7 bandas que se obtuvo del USGS. El cálculo de NDVI se realiza a través de las bandas 4 y 5, y la ecuación a ítem 3.4. En el caso de la microcuenca de Warihumaña se obtuvo el valor del NDVI promedio de 0.18 el cual se encuentra dentro del rango de valores de 0 y 0.2, lo cual lo clasifica como suelo desnudo es decir presenta una condición de vegetación

pobre. A continuación, se puede observar la figura 40 donde se puede apreciar los valores distribuidos del NDVI en el área de la microcuenca Warihumaña.



*Figura 40 Valores del NDVI de la "qocha" Warihumaña
Fuente: Propia*

En el caso de la microcuenca de Chullumpirini se obtuvo el valor del NDVI promedio de 0.22, el cual se encuentra dentro del rango de valores de 0.2 y 0.4, lo cual lo clasifica como vegetación escasa es decir presenta una condición de vegetación pobre. A continuación, se puede observar la figura 41, donde se puede apreciar los valores distribuidos del NDVI en el área de la microcuenca Chullumpirini.



*Figura 41 Valores del NDVI de la "qocha" Chullumpirini
Fuente: Propia*

Clasificación de la cobertura vegetal MODIS

Con el 6 MODIS LAND COVER se logró obtener la clasificación de la cobertura vegetal, en la siguiente figura 42 se logra observar que tanto la microcuenca de Warihumaña y Chullumpirini se encuentran dentro del área del valor 1 lo cual según la tabla 10 está clasificada como pastizal, es decir esta zona se encuentra predominante por plantas anuales herbáceas.

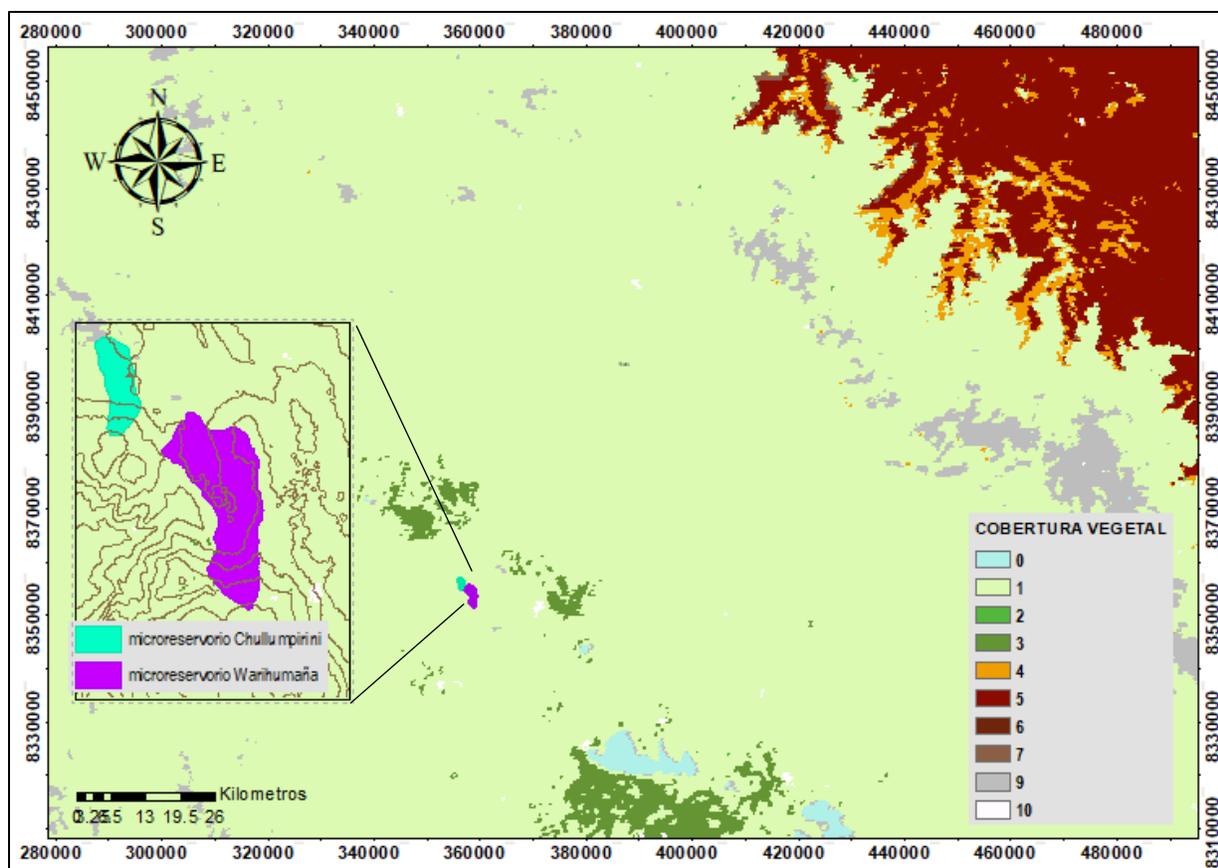


Figura 42 Valores para la clasificación de vegetación según Bioma LAI/Fpar
Fuente: Propia

Con los datos calculados de la vegetación y la condición de la vegetación, a través de los cuadros de entrada del CUBHIC se logra conocer el valor del LAI de $1.5 \text{ m}^2/\text{m}^2$ y Albedo de 0.18 (ver Figura 22).

También será fundamental conocer el número de curva de la zona, para ello se empleará la tabla 3, la cual necesitará como datos el tipo de vegetación, la condición hidrográfica y el tipo de suelo. En este caso, de acuerdo a lo especificado en el ítem 5.7, el tipo de vegetación es pastizal y la condición hidrográfica es pobre, por lo tanto, el número de curva es 86 ya que el tipo de suelo es C.

6. RESULTADOS

En este capítulo se explicará los resultados correspondientes, así como el análisis que se obtiene a través de los resultados obtenidos.

6.1. Disponibilidad hídrica de las microcuencas Warihumaña y Chullumpirini (línea base sin ninguna implementación)

Con el fin de calcular los beneficios potenciales del flujo base de la infraestructura natural se ha considerado que no hay almacenamiento mínimo actual. Para los resultados se han utilizado datos de entrada, número de curva, índice foliar, albedo las mismas de la línea base y el escenario 1 por tener las mismas condiciones específicas del lugar (Ver Anexo D). Además, se ha considerado los datos de la tabla 14.

Los resultados obtenidos de la evaporación, evapotranspiración, caudal, percolación y balance de agua (aporte hídrico) son a partir de un balance hídrico (las ecuaciones del CUBHIC se encuentran en el ítem 3.3) de entradas y salidas hacia y desde el sistema durante un periodo determinado, un factor importante para estos resultados es la infiltración de la “qocha” lo cual aumenta los flujos de base de la estación seca.

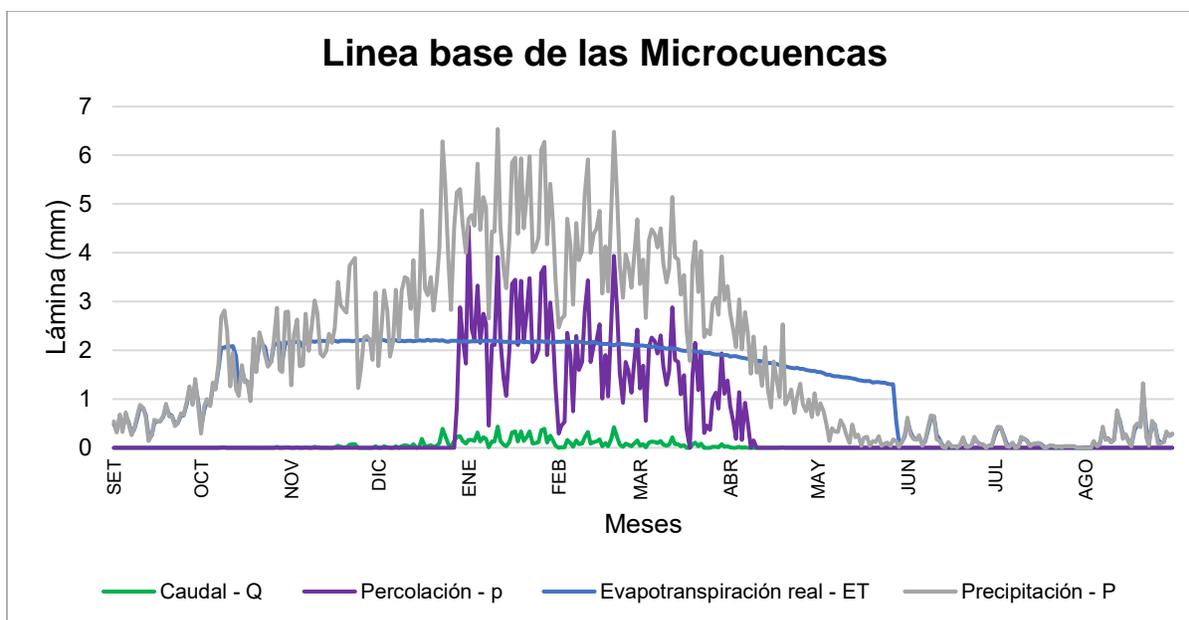


Figura 43 Láminas de evapotranspiración y percolación de la microcuenca Warihumaña y Chullumpirini
Fuente: Propia

Tabla 16
Resultados de las láminas mensuales de evapotranspiración caudal, precipitación, percolación y balance de agua.

Lamina (mm) /Mes	Evapotranspiración		Precipitación - P	Caudal - Q	Percolación - p	Balance de agua - Rt
	Potencial - E_0	Real - ET				
Set	94.7	19.1	19.3	0.0	0.0	1984.8
Oct	110.1	51.9	53.4	0.1	0.0	2066.5
Nov	111.1	65.6	73.4	0.4	0.0	2105.9
Dic	115.1	68.1	109.0	2.3	7.7	2723.6
Ene	114.2	67.5	148.7	5.8	77.5	3280.5
Feb	101.4	60.0	114.4	3.2	51.2	2964.0
Mar	104.8	62.0	107.5	1.8	43.4	3285.8
Abr	87.6	51.8	47.2	0.1	4.5	3105.0
May	73.2	39.2	8.4	0.0	0.0	2476.3
Jun	61.4	4.9	4.8	0.0	0.0	1981.2
Jul	66.0	2.8	2.8	0.0	0.0	2046.7
Ago	80.0	8.3	8.4	0.0	0.0	2048.1
Total	1119.7	501.3	697.1	13.6	184.4	30068.3
% Respecto a Precipitación	-	72	-	2	26	-

Nota. Datos obtenidos propios

A través de la tabla 16 y la figura 43 se logra apreciar la variación de las diferentes laminas, donde existe una menor cantidad de evapotranspiración desde junio hasta agosto, con un comportamiento periódico. En cuanto al caudal y la percolación se observa un comportamiento similar, la percolación aumenta en la temporada húmeda cuando se presenta el escurrimiento. Asimismo, hay escasos de estas laminas entre los meses abril hasta diciembre.

De acuerdo a los cálculos obtenidos en la tabla se puede apreciar cuanto representa la precipitación en las demás laminas. En la lámina evapotranspiración real existe un porcentaje alto de presencia de la precipitación, mientras que el del caudal y la percolación sus porcentajes son bajos en comparación con la evapotranspiración.

6.2. Implementación del sistema de “qochas”

6.1.1. Resultados del Escenario 1: Modelo “qocha” proyectada y dique (H1)

Para los cálculos del escenario 1 de las infraestructuras naturales Warihumaña y Chullumpirini se ha considerado lo indicado de las tablas 14 y 15. También se ha utilizado datos del ítem 4, mencionado anteriormente. Por último, los datos obtenidos de la hoja de cálculo CUBHIC, como la capacidad de campo de 0.36 mm/mm y el punto de marchitez 0.22 mm /mm.

Los volúmenes de agua de la “qocha” del escenario 1 se calculó con un balance hídrico durante un tiempo determinado. El cambio en el volumen del agua incrementa a través de las contribuciones de las láminas de escurrimiento y precipitación y se reduce a través de las pérdidas por evaporación, infiltración y salidas. Para el volumen de filtración se ha considerado la conductividad hidráulica saturada en la parte inferior de la “qocha”.

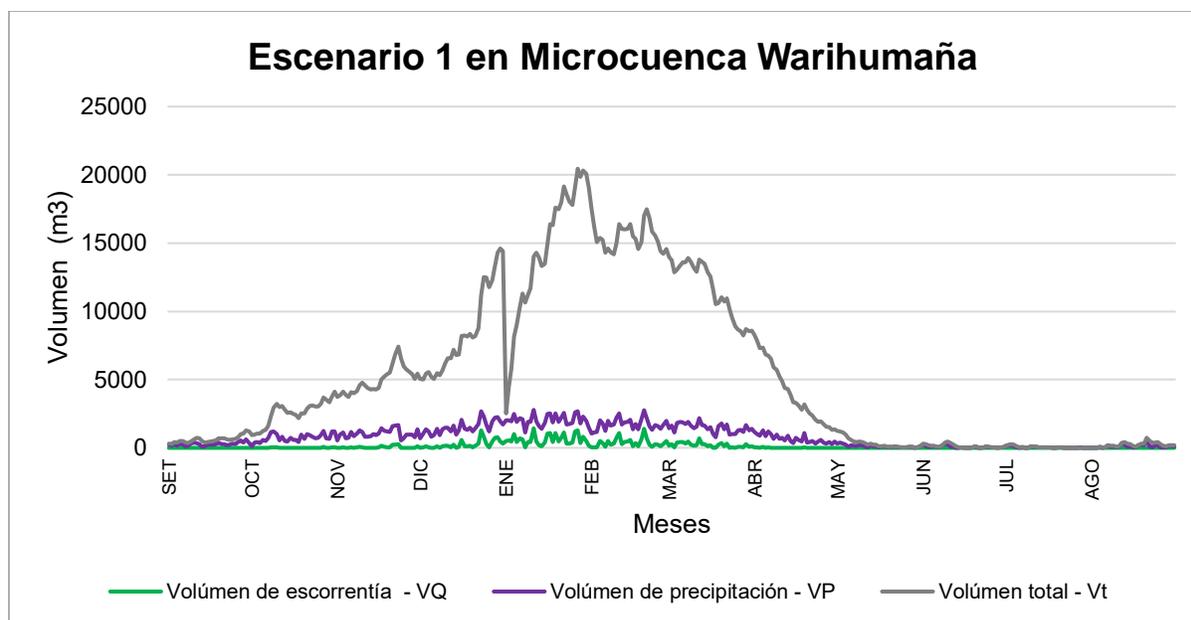


Figura 44 Volúmenes de evaporación, filtración y almacenamiento del escenario 1
Fuente: Propia

Tabla 17

Volúmenes mensuales de escorrentía, evaporación, precipitación, filtración y total del escenario 1

Volumen (m ³) /Mes	Volumen de escorrentía - VQ	Volumen de precipitación - VP	Volumen de evaporación - VE	Volumen de filtración - VS	Volumen total - Vt
Set	166.1	8194.2	357.3	6992.6	18282.5
Oct	397.3	22693.5	1091.4	19083.0	79421.3
Nov	1454.5	31159.0	1754.8	29540.4	148465.0
Dic	7736.8	46284.6	2528.4	42517.5	262628.6
Ene	18878.3	63146.8	3508.9	59492.5	447305.2
Feb	10428.5	48611.5	3483.7	60001.3	434139.2
Mar	6116.3	45660.2	2980.5	54810.6	359466.8
Abr	355.3	20030.7	1257.1	26330.4	121834.9
May	171.9	3549.0	188.5	4775.0	10062.9
Jun	166.3	2052.1	74.3	2245.9	3540.0
Jul	171.8	1187.3	44.3	1332.7	1738.0
Ago	171.7	3555.1	143.5	3393.3	6623.5
Total	46214.9	296124.0	17412.7	310515.3	1893507.9

Nota. Datos obtenidos propios

A través de la tabla 17, la figura 44 se logra apreciar la variación de los diferentes volúmenes, donde existe una menor cantidad de precipitación, evaporación y filtración desde mayo hasta agosto, y esto se repercute en el volumen total de almacenamiento.

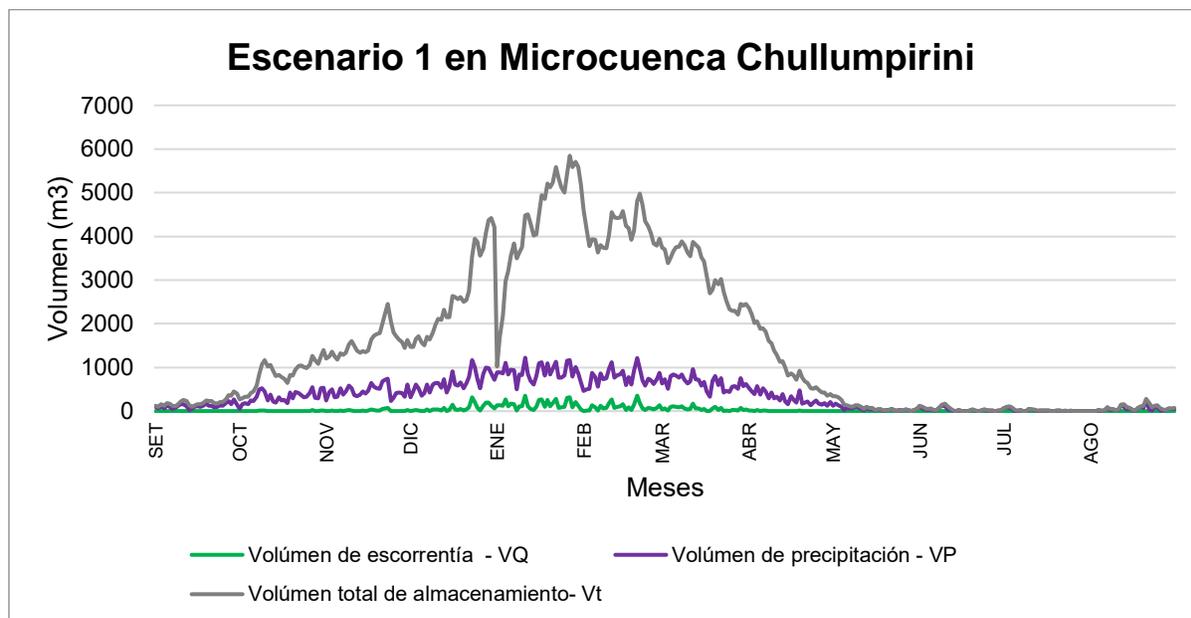


Figura 45 Volúmenes de evaporación, filtración y almacenamiento del escenario 1
Fuente: Propia

Tabla 18

Volúmenes mensuales de escorrentía, evaporación, precipitación, filtración y total del escenario 1

Volumen (m ³) /Mes	Volumen de escorrentía - VQ	Volumen de precipitación - VP	Volumen de evaporación - VE	Volumen de filtración - VS	Volumen total de almacenamiento - Vt
Set	165.4	3589.8	166.1	3252.5	6179.3
Oct	226.9	10050.9	502.4	8787.4	26426.2
Nov	492.8	13773.1	786.2	13240.5	47134.7
Dic	2043.4	20412.5	1164.7	18709.0	81234.8
Ene	4732.1	27895.7	1528.5	25919.3	134935.9
Feb	2685.6	21505.6	1394.8	24034.1	116934.5
Mar	1635.2	20172.3	1201.5	22100.1	97949.1

Abr	212.6	8871.7	507.7	10631.5	33214.0
May	171.7	1556.1	78.4	1993.0	2848.0
Jun	166.0	891.5	35.2	1064.1	1239.2
Jul	171.3	525.1	22.7	680.7	663.1
Ago	171.1	1554.1	67.0	1590.3	2275.4
Total	12874.2	130798.4	7455.3	132002.5	551034.3

Nota. Datos obtenidos propios

A través de la tabla 18 y la figura 45 se logra apreciar la variación de los diferentes volúmenes, donde existe una menor cantidad de precipitación, evaporación y filtración desde mayo hasta agosto, y esto se repercute en el volumen total de almacenamiento.

6.3. Calibración de resultados

Para realizar la calibración del modelo hidrológico CUBHIC se utilizó el método de regresión lineal, mediante la comparación de los valores de volúmenes totales calculados a través de la metodología CUBHIC y los resultados finales elaborados por la Unidad Ejecutora “Fondo Sierra Azul”, dichos resultados fueron calculados a través del modelo hidrológico determinístico Lutz Scholz . El método es más sofisticado que el aplicado en la herramienta CUBHIC y por lo tanto requiere mayor cantidad de información básica de campo.

Al comparar los promedios mensuales de volúmenes de almacenamiento en las “qochas” Warihumaña y Chullumpirini (Fig. 46 y Fig. 48), se observa que nuestros resultados siguen el mismo patrón de almacenamiento que lo modelado por Sierra Azul cuyos valores son próximos a los nuestros. Además, observamos que nuestro modelo tiende a subestimar los valores pico, por ejemplo, en el mes de enero nuestros resultados están entre 20% a 30% menos que lo observado por Sierra Azul.

Para la fiabilidad de los resultados se halló el coeficiente de correlación de Warihumaña y Chullumpirini, ambas infraestructuras naturales presentan coeficientes de 0.92 y 0.95 respectivamente, lo cual indica que existe una estrecha relación de las variables indica un comportamiento óptimo de nuestro modelo (Figuras 47 y 49). Asimismo, se observa en las figuras 47 y 49, una nube de puntos agrupados y cercanos a la recta de la regresión lineal, indicando una dispersión mínima o nula. Se utilizó el Coeficiente de Nash-Sutcliffe, indicador de desempeño o de bondad de ajuste. Los valores referenciales del NASH hallados muestran una buena respuesta hidrológica del modelo CUBHIC, ya que en ambas “qochas” Warihumaña y Chullumpirini se obtuvo valores 0.87 y 0.94 respectivamente, ambos mayores a 0.8, considerados excelente (ver tabla 11) lo cual demuestran un rendimiento satisfactorio del CUBHIC.

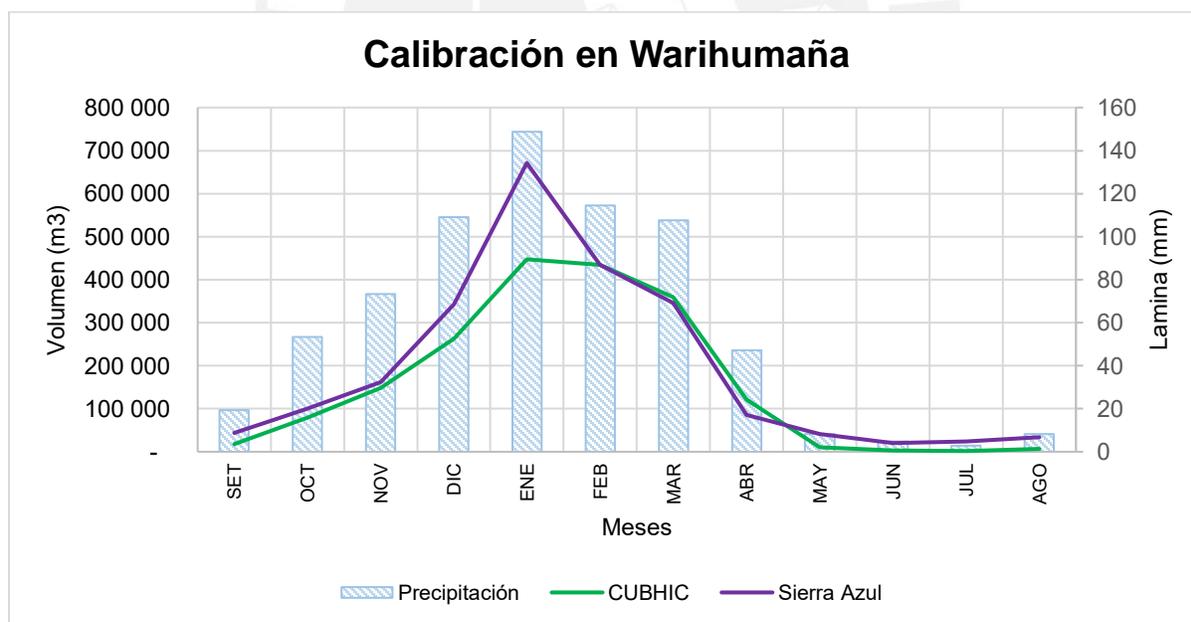


Figura 46 Volúmenes de almacenamiento de la “qocha” Warihumaña realizados mediante el CUBHIC y por Sierra Azul
Fuente: Propia

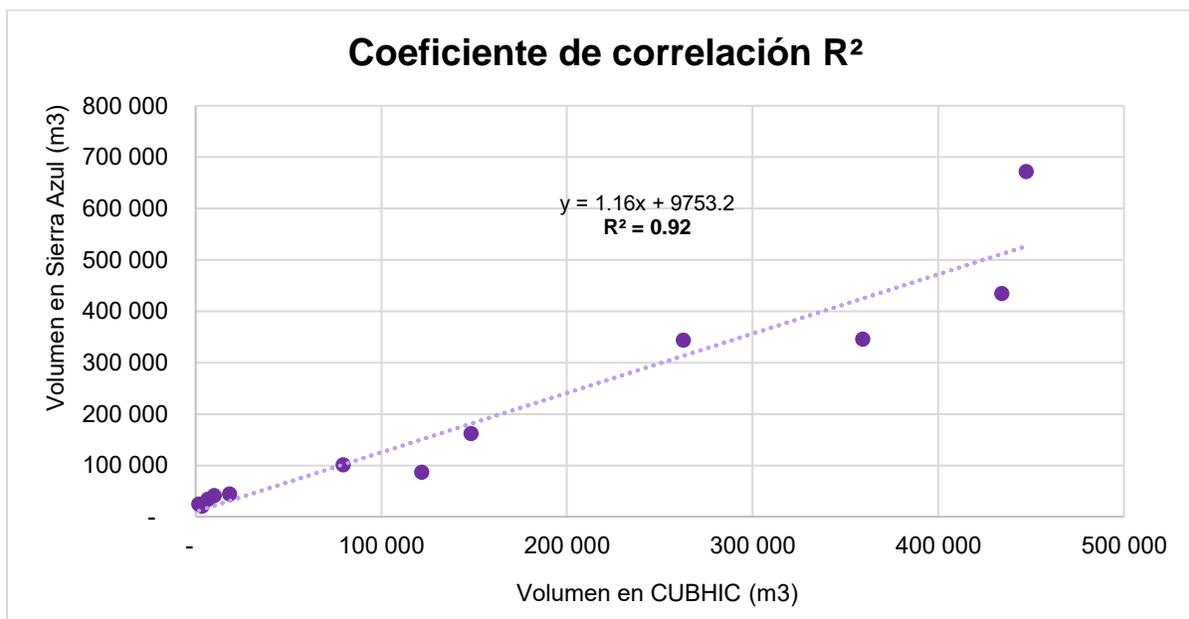


Figura 47 Correlación entre los volúmenes de almacenamiento de la “gocha” Warihumaña realizados con el CUBHIC y por Sierra Azul
Fuente: Propia

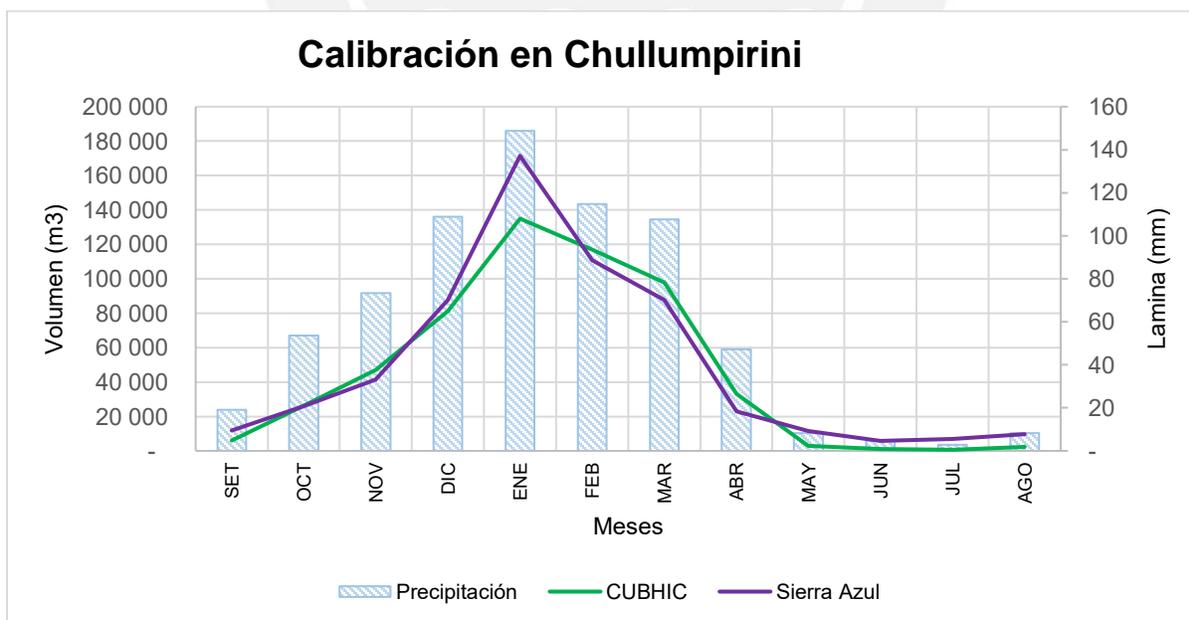
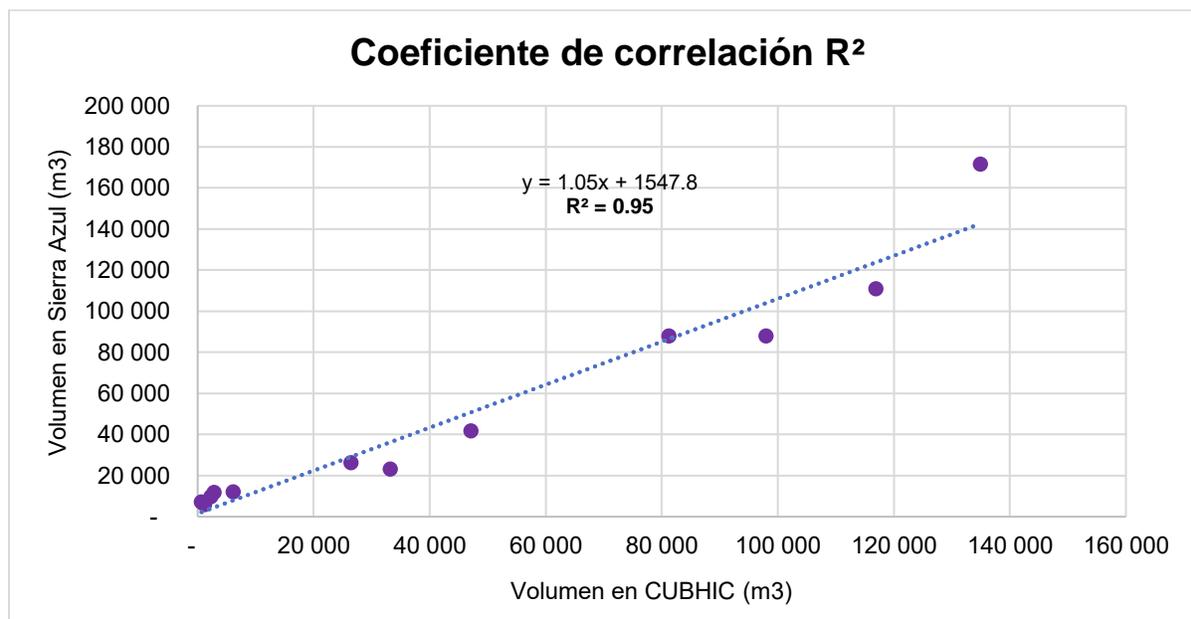


Figura 48 Volúmenes de almacenamiento de la “gocha” Chullumpirini realizados mediante el CUBHIC y por Sierra Azul
Fuente: Propia



*Figura 49 Correlación entre los volúmenes de almacenamiento de la “qocha” Chullumpirini realizados con el CUBHIC y por Sierra Azul
Fuente: Propia*

También, a través de las Figuras 50 y 51 se logra apreciar las similitudes en volúmenes de evapotranspiración de las microcuencas Warihumaña y Chullumpirini a partir de lo calculado respecto a la metodología CUBHIC y Sierra Azul. En el caso de la microcuenca Warihumaña se tiene un volumen de evapotranspiración total de 4 152 498 m³ calculado por el CUBHIC mientras que por Sierra Azul se tiene 4 020 919 m³. Por último, en el caso de la microcuenca Chullumpirini se tiene un volumen de evapotranspiración total de 1 130 173 m³ calculado por el CUBHIC mientras que por Sierra Azul 1 143 636 m³. Los valores totales de volúmenes muestran la viabilidad del método gracias a la similitud de estos resultados.

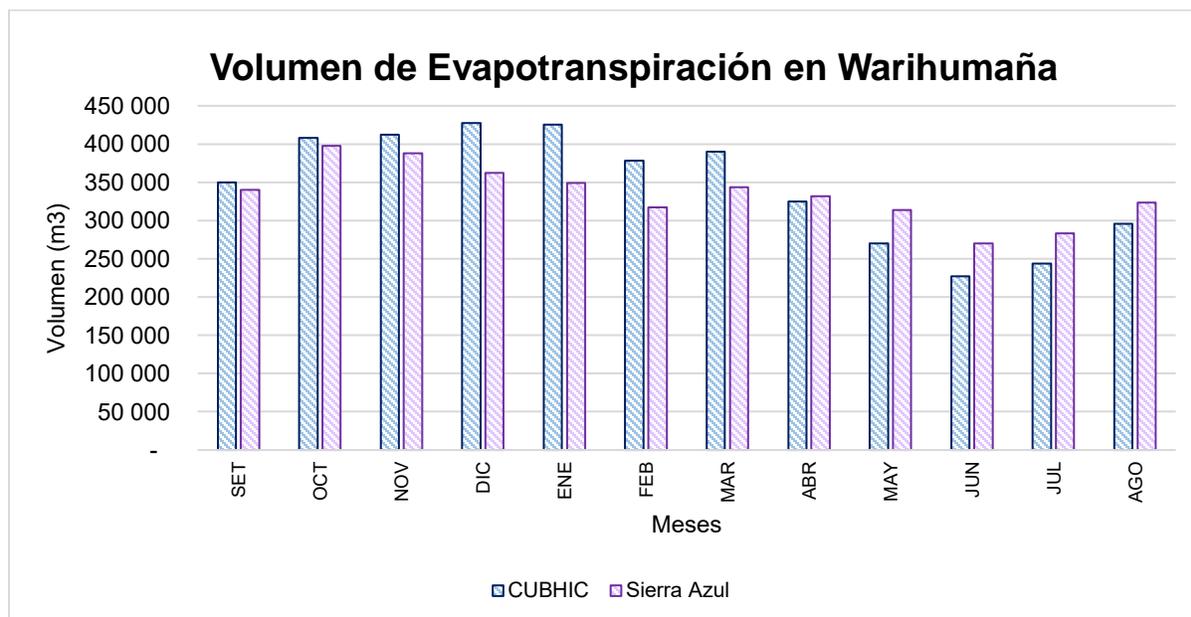


Figura 50 Comparación de valores de volúmenes de evapotranspiración en la "qocha" Warihumaña
Fuente: Propia

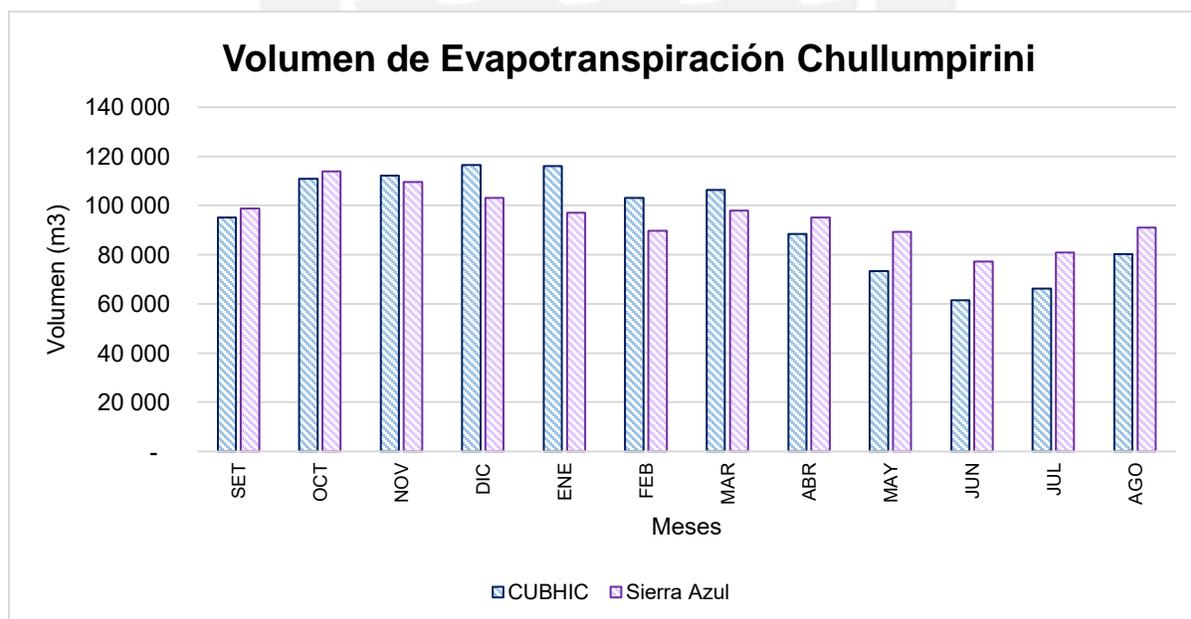


Figura 51 Comparación de valores de evapotranspiración en la "qocha" Chullumpirini
Fuente: Propia

6.4. Resultados del Escenario 2: Modelo “qocha” proyectada y dique (H2)

En este escenario 2 se busca lograr un mayor almacenamiento de agua en las “qochas”, para obtenerlo se ha propuesto el aumento de la altura de dique de las “qochas”. Este aumento se realizará de acuerdo a los estudios explicados en el ítem 3.2.3, los cuales nos facilitaran mediante cálculos la dimensión adecuada y proporcional según a las características propias de cada “qocha” (ver Anexo E).

Las alturas de los diques incrementaron en 0.7 m, así para este escenario las alturas son 2.4 m y 1.9 m para las “qochas” Warihumaña y Chullumpirini, respectivamente. Estos datos de entradas son los únicos que se cambiarán del escenario 1, datos que serán utilizados en la metodología CUBHIC para estudiar el cambio de volumen total de almacenamiento del escenario 2 con el escenario 1.

A través de las figuras 52 y 53 se logra comprobar el aumento de volumen de almacenamiento de agua del escenario 2 respecto al escenario 1, producto del aumento de la dimensión en la altura del dique de las “qochas”.

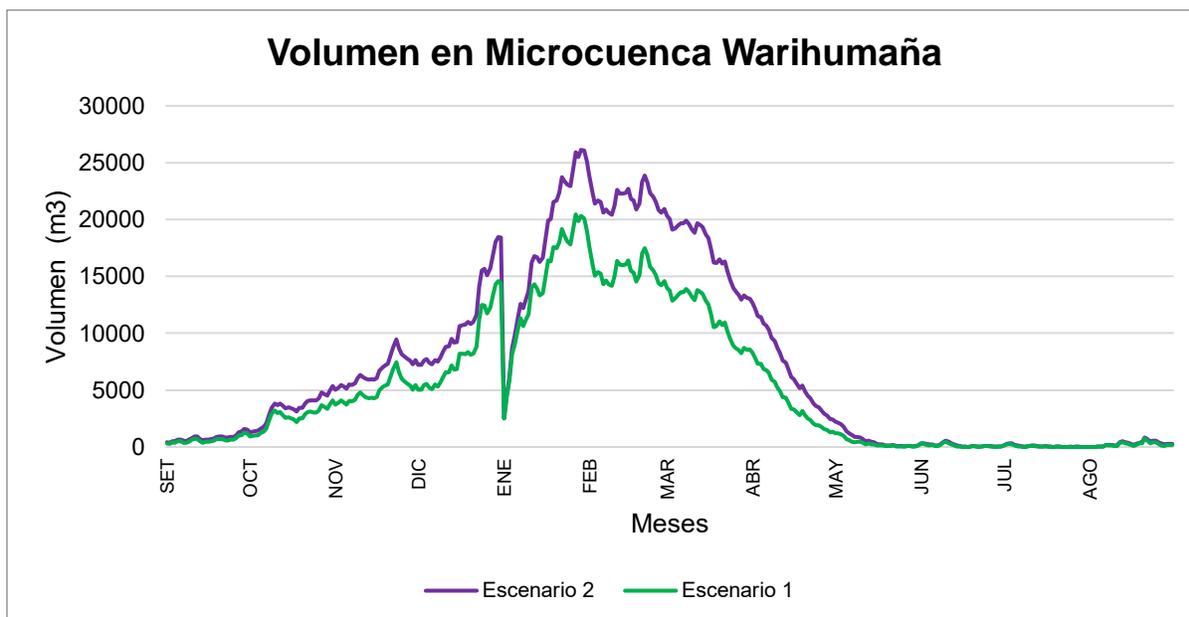


Figura 52 Volúmenes de almacenamiento en el escenario 1 y 2 en Warihumaña
Fuente: Propia

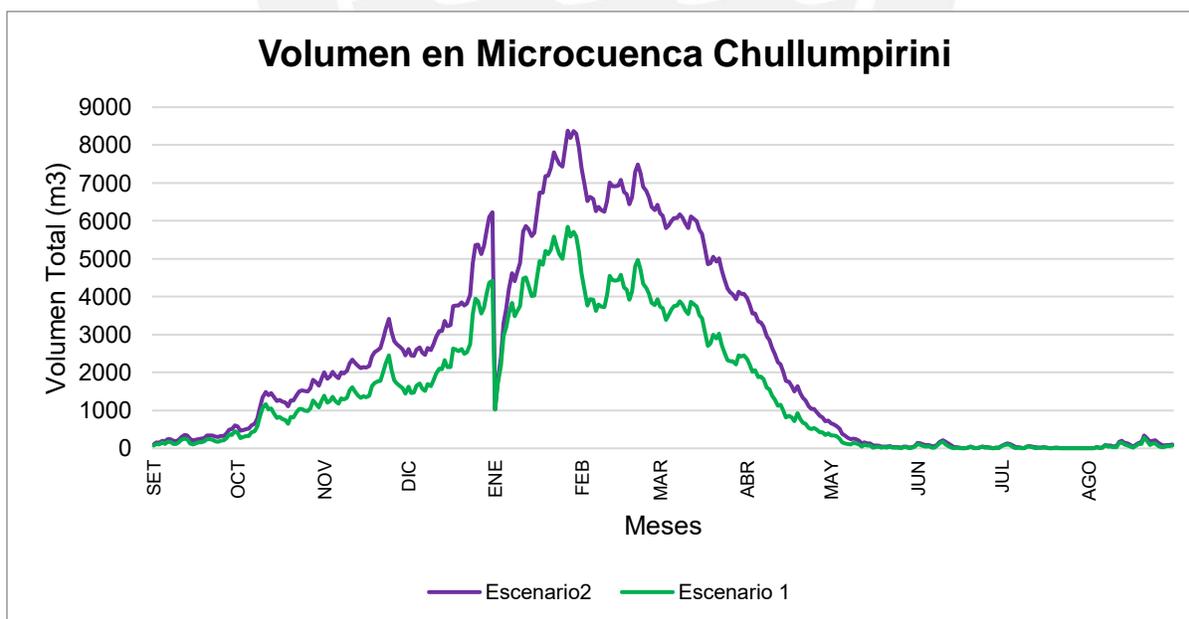


Figura 53 Volúmenes de almacenamiento en el escenario 1 y 2 en Chullumpirini
Fuente Propia

7. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Luego de haber realizado la recolección de información y los cálculos respectivos para tener los resultados, se realiza el análisis de estos, con el fin de lograr la interpretación de aciertos de acuerdo a lo propuesto en la tesis. Primero, se discutirá si los resultados coinciden con lo propuesto en la hipótesis. Luego, se comparará los resultados con otros hallazgos realizados en otra zona como Ayacucho, donde también se realizó la implementación de “qochas”. Por último, se realizará el reconocimiento de las limitaciones y aportes que presenta la metodología CUBHIC.

7.1. Contribución al recurso hídrico

La presente tesis tiene como objetivo aplicar los conocimientos ancestrales, en este caso la implementación de “qochas”, y conocer el aporte hídrico generado. Para cuantificar el aporte hídrico se ha aplicado la herramienta CUBHIC. Esta herramienta nos permitió calcular los volúmenes de línea base y escenario 1, descritos de manera más detallada en el ítem 4.1.

En las figuras 54 y 55 se logra observar los cambios de volúmenes de percolación de la implementación de las “qochas” Warihumaña y Chullumpirini. En primer lugar, se puede afirmar que desde enero hasta abril se conserva la misma tendencia de volúmenes de la línea base con el escenario 1, con el evidente aumento de este último de manera sostenida. En segundo lugar, en los meses no mencionados se observa que en la línea base hay un escaso volumen de agua mientras que en el escenario 1 hay un aumento de volumen. También, a través de los datos de percolación obtenidos, se puede afirmar en la “qocha” Warihumaña que el volumen diario medido en línea base de $1\ 076\ m^3$ aumento en el escenario 1 a $3\ 393\ m^3$, siendo 3.2 veces el valor del volumen de la línea base, este es el máximo aumento de todos los volúmenes obtenidos durante un año. Por otro lado, en la “qocha” Chullumpirini el volumen diario medido en línea base de $271\ m^3$ aumento

en el escenario 1 a $1\,205\text{ m}^3$, siendo 4.5 veces el valor del volumen de la línea base, máximo aumento de todos los volúmenes obtenidos durante un año. Por último, ambas “qochas” conservan similitud en la tendencia de los volúmenes descritas, debido a que se encuentran muy cercanas entre sí. Por otro lado, es evidente que la “qocha” Warihumaña al presentar mayor área de espejo que la “qocha” Chullumpirini, esta tendrá mayor volumen de almacenamiento, donde el volumen de percolación total de la “qocha” de Warihumaña es $913\,088\text{ m}^3$ y la “qocha” de Chullumpirini es $282\,568\text{ m}^3$.

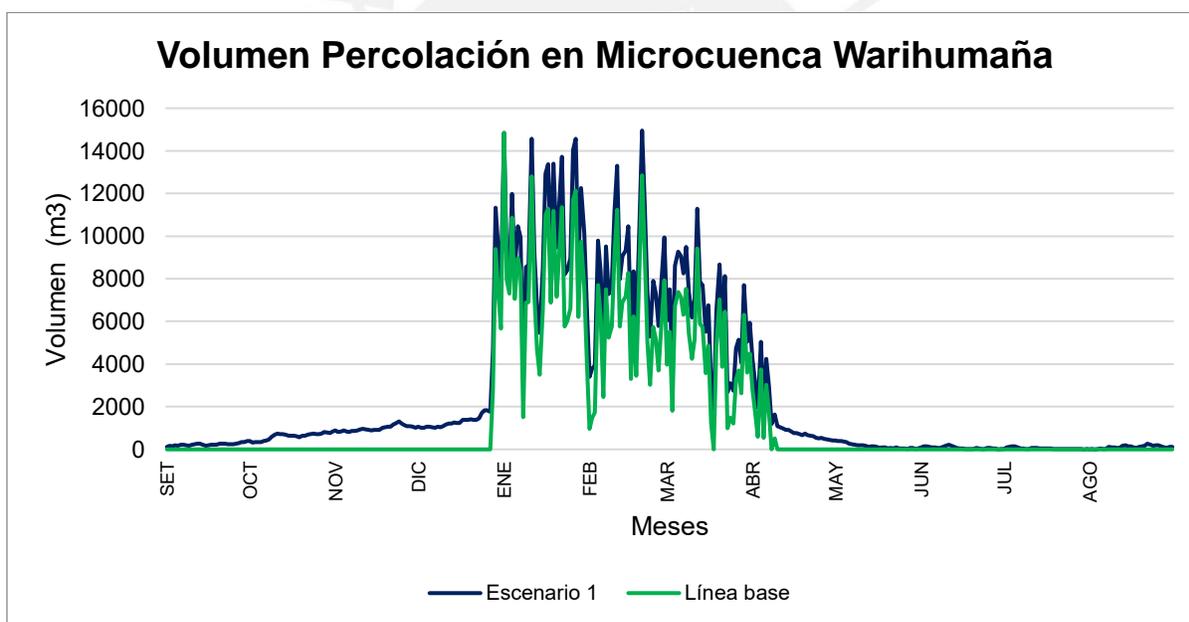


Figura 54 Volumen de percolación de la microcuenca Warihumaña
Fuente: Propia

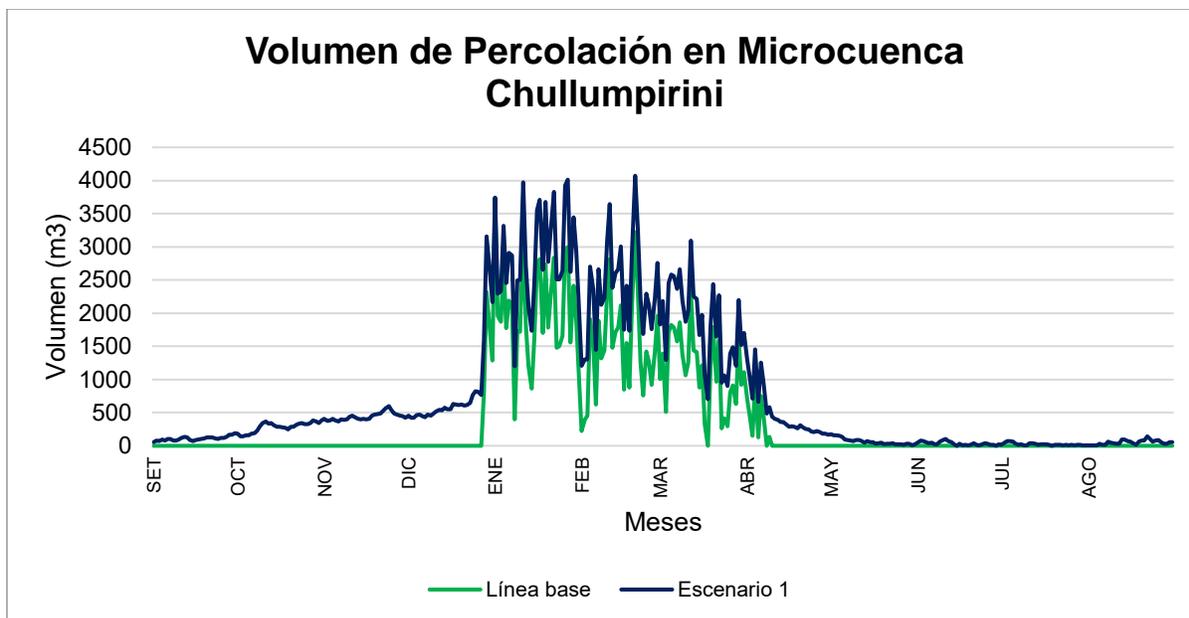


Figura 55 Volumen de percolación de la microcuenca Chullumpirini
Fuente: Propia

7.2. El estudio en el contexto regional

Dentro del marco regional, los resultados presentados realizados en la “qochas” ya mencionadas anteriormente, se encuentran dentro del rango esperado en comparación con la implementación de “qochas” en los Andes peruanos. Un estudio realizado en la región de Ayacucho, provincia de Huamanga, distrito de Chiara, se construyeron 15 “qochas” delimitadas por las microcuencas Llincapampa y Huayjocorral (Mendieta, 2020), como se observa en la figura 56. El área de las microcuencas asciende a 1 113 ha, la cual es mayor a las microcuencas de nuestro estudio (369 ha y 100 ha). Sin embargo, al normalizar los resultados del volumen de almacenamiento de ambos estudios, las qochas de Urquotora y Chinatota de las microcuencas Huayjocorral (Ayacucho) presenta un ratio 4.27 y 1.43 de volumen de almacenamiento por área de la microcuenca, mientras que las microcuencas de Warihumaña y Chullumpirini presentan 4.46 y 2.94 del volumen de almacenamiento por área (ver Tabla 19). Con estos datos se puede afirmar que la herramienta CUBHIC presenta valores dentro del rango a otras “qochas” en el contexto regional. Cabe resaltar

que nuestro caso de estudio presenta suelos de textura Franco Arcillosa de tasa de infiltración lenta (Grupo C) y de vegetación pastizal de condición hidrográfica pobre, ya que el objetivo principal de nuestras “qochas” es de almacenamiento de recurso hídrico , caso contrario en el caso de Ayacucho donde el suelo es Arena limosa con grava y con alta infiltración (Grupo A) y presenta vegetación forraje pasto de condición hidrográfica buena, cuyo objetivo es la recarga de acuíferos , a pesar que los objetivos son diferentes , es la información que se cuenta para una comparación .

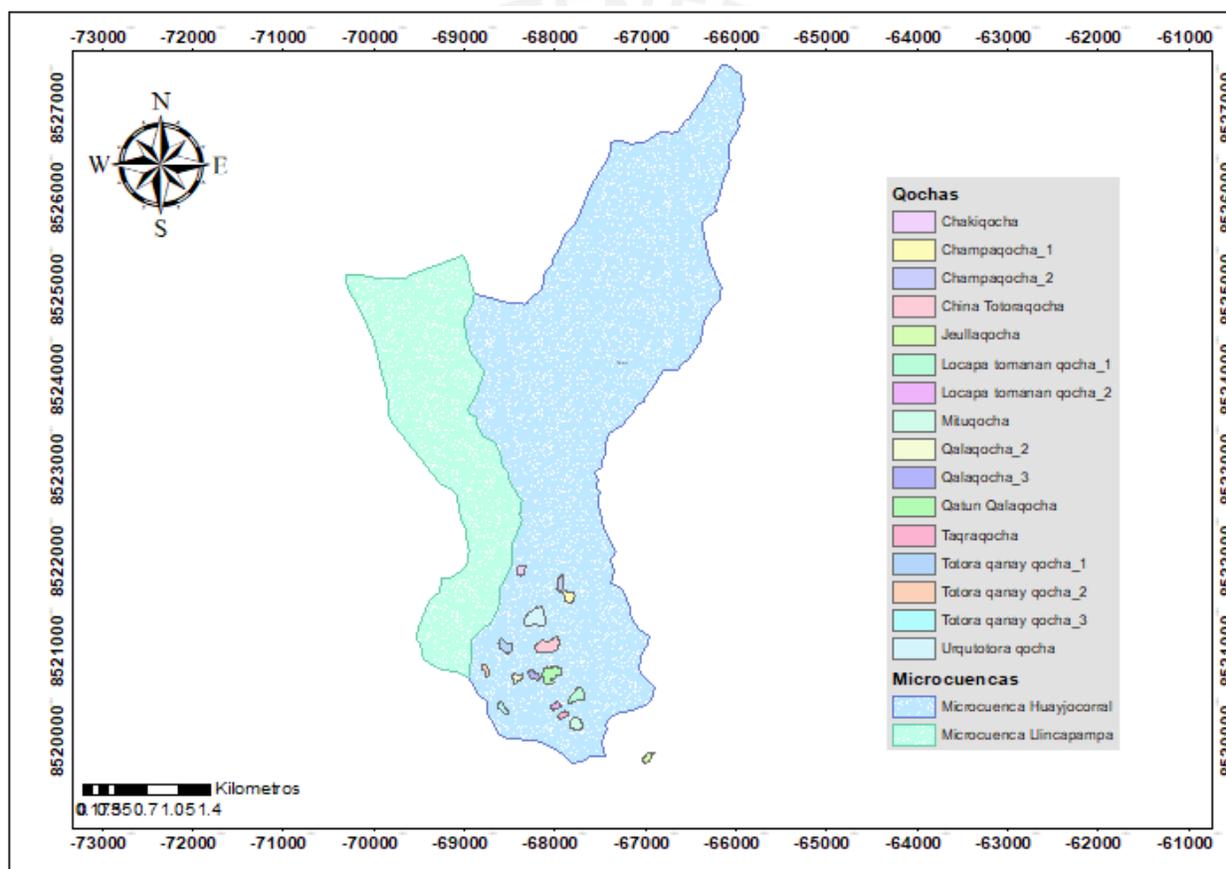


Figura 56 Microcuencas y "qochas" en Ayacucho

Fuente: Propia

Tabla 19
Resultados de volumen de almacenamiento /área de las “qochas”

Microcuencas	Qocha	Vol Alm (m ³)	Área (m ²)	Vol Alm/Área (m)
Azángaro	Warihumaña	1,893,507.91	424,780.61	4.46
	Chullumpirini	551,034.34	187,596.69	2.94
Ayacucho	Urquototora	157,254.30	36,834.11	4.27
	Chinatotora	45,719.00	31,991.39	1.43

Nota. Datos obtenidos de Sierra Azul

7.3. CUBHIC como herramienta de cálculo

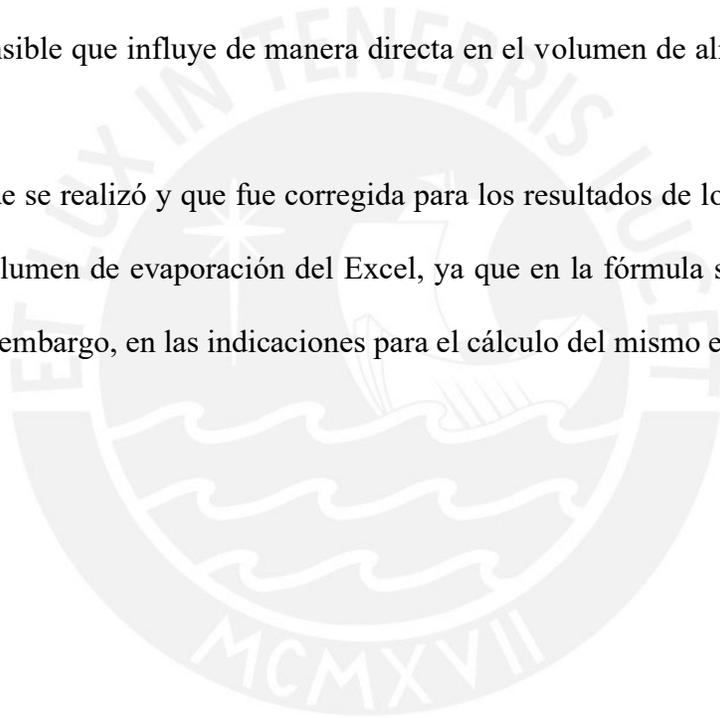
Para la estimación de los beneficios hídricos de las 2 infraestructuras naturales, la metodología CUBHIC permitió realizar de una forma práctica la cuantificación hídrica a través de ecuaciones sencillas en todos los procesos. En línea base el CUBHIC proporcionó datos de salida, como evapotranspiración potencial, evapotranspiración real, caudal, percolación balance de agua en unidades de láminas, indicadores del comportamiento hidrológico de los meses del año; además para los 2 escenarios de Warihumaña y Chullumpirini obtuvimos del CUBHIC volúmenes de escorrentía, precipitación, evaporación, filtración y volúmenes totales en unidades de m³. A través de balances hídricos en los 2 escenarios, se pudo observar que los volúmenes de las “qochas” aumentan debido a las contribuciones de la escorrentía y la precipitación, y disminuye por las pérdidas por evaporación, infiltración.

Debido a que la metodología CUBHIC se conoció en marzo del 2020, esta no tiene muchos estudios donde se haya verificado la viabilidad y confiabilidad de este método. Por tal motivo se tuvo que realizar la calibración a través de datos proporcionados por el fondo de Sierra Azul, donde se obtuvo resultados favorables proporcionando la confiabilidad de seguir demostrando cuan beneficioso es la implementación de las “qochas”.

Para los datos de entrada, de la conductividad hidráulica se ha utilizado la tabla 2 y para el número de curva la tabla 3, que son valores propuestos en esta investigación. Dichos valores son diferentes a lo indicado en las instrucciones de la herramienta CUBHIC. Según las recomendaciones de misma herramienta es importante tener los datos precisos de los estudios de campo para disminuir la incertidumbre de los resultados.

En el caso del número de curva, si bien se tiene datos nacionales se optó por calcularlo con los datos de campo que se tenía de tal manera que sea precisa y se ajuste a la realidad de la zona ya que es un factor sensible que influye de manera directa en el volumen de almacenamiento de las “qochas”.

Una observación que se realizó y que fue corregida para los resultados de los volúmenes finales, es en la parte de volumen de evaporación del Excel, ya que en la fórmula se ha considerado un factor de 0.001, sin embargo, en las indicaciones para el cálculo del mismo es 0.005.



8. CONCLUSIONES

Del estudio presentado, se concluye lo siguiente:

- La implementación de las “qochas” permite un aumento de volúmenes de agua, esto se logra observar en la comparación de volúmenes de percolación de la línea base y el escenario 1, donde en la “qocha” Warihumaña la línea base presenta 602 573 m³ y aumenta a 913 088 m³, mientras que en la “qocha” Chullumpirini la línea base presenta 150 565 m³ y aumenta a 282 568 m³. Así, podemos afirmar que la implementación de técnicas ancestrales como reservorios naturales (“qochas”) son aptas para regular el recurso hídrico y asegurar su disponibilidad.
- El CUBHIC nos permitió analizar que factor de entrada influye más en el aumento del volumen de agua en las “qochas”, es por ello como una propuesta constructiva de optimización ha lo planteado en el escenario 1, se presenta un escenario 2. En el escenario 2, se espera un aumento del volumen almacenamiento por ello se plantea el aumento de altura de dique, como consecuencia se muestra en las figuras 52 y 53 el aumento esperado de los volúmenes de almacenamiento en ambas “qochas” en comparación al del escenario 1. Muestra de ello, en la “qocha” Warihumaña, existe un aumento de volumen respecto al escenario 1 del 38%, puesto que presenta un volumen de almacenamiento de 1 893 508 m³ y en el escenario 2 un volumen de 2 605 511 m³. Mientras que en la “qocha” de Chullumpirini este aumento es de 54%, donde en el escenario 1 el volumen es 551 034 m³ y en el escenario 2 el volumen es 849 305 m³
- A través del CUBHIC, se reconoció que otro factor de entrada que influiría en el volumen de almacenamiento es el número de curva, el cual depende de la condición de vegetación de la zona; sin embargo, no se logró establecer este cambio en un escenario 2 en la

investigación ya que el número de curva de la zona de estudio presenta casi el óptimo beneficio para un mejor volumen.

- El estudio hidrológico realizado a través de la herramienta CUBHIC muestra resultados precisos y minimiza los requerimientos para su uso. Es una alternativa flexible, ya que otros métodos más complejos de simulación hidrológica, que a diferencia del CUBHIC, necesitan mediciones de campo, calibración extensiva del modelo y experiencia del usuario. Así mismo, al implementar parámetros de calibración como, el método de regresión lineal y el coeficiente de NASH, podemos estimar la eficiencia de la herramienta.
- Los datos proporcionados del ANA fueron de vital importancia para proseguir con la investigación, fue necesario realizar un análisis de consistencia para detallar que datos de precipitación en cada estación son adecuados. Resaltamos la necesidad de información meteorológica básica en el país para un mejor modelamiento y pronóstico de la disponibilidad del recurso.

9. RECOMENDACIONES

- Es importante fomentar el desarrollo de investigaciones hidrológicas para exponer los beneficios hídricos que produce la siembra y cosecha de agua, de tal manera se siga impulsando las construcciones de pequeñas presas eco amigables como son las “qochas”. Estudios de monitoreo luego de la implementación de estos reservorios, permiten una mejor calibración de los modelos implementados permitiendo a largo plazo un desarrollo rápido de la infraestructura natural.
- Para proseguir con la investigación fue fundamental los datos meteorológicos proporcionados por el ANA, por ello es preciso hacer énfasis en la implementación de equipos de medición meteorológica en diferentes puntos de la región y así mejorar la cantidad y calidad de la información básica.
- Para obtener cálculos de mayor precisión en el CUBHIC se debería realizar ensayos de estudios geológicos y geotécnicos de suelos del mismo modo estudios de vegetación propias del lugar para ser reemplazadas en los datos de entrada.
- Se recalca el apoyo de los pobladores en la construcción de dique y en diferentes actividades para la elaboración de las “qochas”, puesto que son los principales benefactores en el consumo del agua. Es por ello, que se debe recordar a las autoridades competentes que sigan promoviendo mediante capacitaciones el mantenimiento de las “qochas”.
- Se recomienda implementar información en relación a acuíferos (e.g. recarga, saturación, rendimiento) en la herramienta CUBHIC. Si bien CUBHIC tiene esta opción, en el presente estudio no la hemos considerado por falta de datos de campo. Este sería un aporte importante en futuros estudios.

BIBLIOGRAFIA

- Ab Anbar curado por Shesh Badgir. (s.f.). INSTITUTO CULTURAL DE LA REPÚBLICA ISLÁMICA DE IRÁN. Obtenido de <https://es.irancultura.it/turismo/atracciones/atracciones-yazd/yazd-ab-Anbar/>
- Agapiou, A., & Hadjimitsis, D.G. (2011). Vegetation indices and field spectroradiometric measurements for validation of buried architectural remains: verification under area surveyed with geophysical campaigns. *Journal of Applied Remote Sensing*. 5 (1). doi:10.1117/1.3645590
- Agua y SIG. (9 de enero de 2017). Método del Número de Curva del SCS. Obtenido de <https://aguaysig.com/metodo-del-numero-de-curva-del-scs/>
- Alexakis, D. D., Hadjimitsis, D. G., & Agapiou, A. (2013). Integrated use of remote sensing, GIS and precipitation data for the assessment of soil erosion rate in the catchment area of “Yialias” in Cyprus. *Atmospheric Research*, 131, pp. 108 - 124. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809513000744?fbclid=IwAR2N30nYSN7gKhJACRhzMyP4K9IYxQlaOU3jQzLkKUa8n-TISC-ZA1124PM>
- Ballén J. A., Galarza M. A., Ortiz R. O. (2006). “Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia”, VI SEREA. Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua, Joao Pessoa, Brasil.
- Barazorda, F. V., & Pérez Salinas, J. (2014). Las Qochas Rústicas: una alternativa en los Andes para la siembra y cosecha de agua en un contexto de cambio climático.

- Ccencho Martínez, D. C. (2019). OPTIMIZACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO MEDIANTE EL DISEÑO DE CAPTACIÓN SUPERFICIAL EN LA COMUNIDAD DE MILLPO, AYACUCHO. Obtenido de https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/1283/T037_480370_12_T.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Chereque Morán, W. (1989). Hidrología para Estudiantes de Ingeniería Civil. Lima: Publicaciones Pontificia Universidad Católica del Perú.
- CONGOPE. (JUNIO de 2018). MANUAL TECNICO PARA EL DISEÑO DE SISTEMA DE DRENAJES EN SUELOS AGRICOLAS DE ECUADOR. Obtenido de https://issuu.com/cncecuador/docs/manual_tecnico_para_el_diseño_de
- Damonte, G., Cabrera, A., & Miranda, F. (2017). *Problemas vinculados al cambio y variabilidad climáticos y modelos ejemplares de adaptación por regiones en el Perú*. (Informe Final). Proyecto FORGE.
- FONCODES. (Octubre de 2015). Siembra y Cosecha de Agua. Obtenido de https://www.iproga.org.pe/descarga/guia_s_cosecha.pdf
- Foster, M. E., Chen, D., & Kieser, M. S. (2020). *Qochas: Evaluación de los beneficios potenciales en la cantidad de agua*. (Documento metodológico). CUBHIC. Recuperado de <https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2020/03/CUBHIC-Qochas.pdf>
- García Petillo, M., Puppo, L., Hayashi, R., & Morales, P. (s.f.). Metodología para determinar los parámetros hídricos. Obtenido de <http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/Metodologia%20para%20determinar>

[%20los%20parametros%20hidricos%20de%20%20un%20suelo%20a%20campo.pdf](#)

- Gnadlinger J. (2015). “Agua de Chuva no manejo integrado dos recursos hídricos en localidades semiáridas: aspectos históricos, biofísicos, técnicos, económicos e sociopolíticos”, Instituto Nacional do Semiárido, ISBN 978-85-64265-13-4, Campina Grande. Brasil.
- Harvesting, W. (1994). Operation and management of water harvesting techniques.
- INAIGEM. (2017). *Informe de la Situación de los Glaciares y Ecosistemas de Montaña*. Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña Dirección de Información y Gestión del Conocimiento. Recuperado de: <https://www.inaigem.gob.pe/wp-content/uploads/2019/04/Interiores-Informe-anual-2017.pdf>
- INEI. (2019). *Producción de 11 departamentos fue mayor al crecimiento de la economía del país en el segundo trimestre de este año*. Lima: INEI. Recuperado de: <https://www.inei.gob.pe/prensa/noticias/produccion-de-11-departamentos-fue-mayor-al-crecimiento-de-la-economia-del-pais-en-el-segundo-trimestre-de-este-ano-11769/>
- INRENA. (Septiembre de 2008). “*Actualización del Balance Hídrico de la Cuenca del río Ramis*”. Obtenido de <http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/581.pdf>
- INEI, Instituto Nacional de Estadística e Informática (2018). *Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas*. Perú: Características de las viviendas particulares y los hogares. Acceso a servicios

básicos. Lima: INEI. Recuperado de https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1539/libro.pdf

- INEI, Instituto Nacional de Estadística e Informática (2016). *El Perú tiene una población de 31 millones 488 mil 625 habitantes*. Recuperado de: <https://www.inei.gov.pe/prensa/noticias/el-peru-tiene-una-poblacion-de-31-millones-488-mil-625-habitantes-9196/>
- López, M. (2016, 7 diciembre). *Perú: declaran en emergencia hídrica 37 valles de producción agrícola debido a sequías*. Noticias ambientales. <https://es.mongabay.com/2016/12/sequia-emergencia-agua-peru/>
- Martínez de Azagra Paredes, A., Mongil Manso, J., & del Río San José, J. (2003). *Pequeña guía de uso de MODIPÉ*. Clasificación. Recuperado de: <http://www.oasification.com/archivos/Peque%C3%B1a%20gu%C3%ADa%20de%20uso%20del%20modelo%20MODIP%C3%89.pdf>
- Mayo, A. (2016). Pérdida de glaciares por cambio climático en Perú. *Ambiente en América Latina - Claes*. Recuperado de: <http://ambiental.net/2016/08/perdida-de-glaciares-por-cambio-climatico-en-peru/>
- Mendieta, G. M. (Junio de 2020). *Evaluación de Impactos de la Actividades en Siembra y Cosecha de Agua, mediante Monitoreo Hidrológico*.
- MINAGRI (2016). *Rumbo a un Programa Nacional de Siembra y Cosecha de Agua: Aportes y reflexiones desde la práctica*. Lima: Ministerio de Agricultura y Riego del Perú.

- MINAGRI. (2015). *Informes de sistematización de quince experiencias de siembra y cosecha de agua en el Perú*. Recuperado de: https://docplayer.es/84426840-____Informes-de-sistematizacion-de-quince-experiencias-de-siembra-y-cosecha-de-____agua-en-el-peru.html
- MINAM. (2016) Tercera Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio.
- Molnar, P. (2011). "Calibration". Watershed Modelling, SS 2011. Institute of Environmental Engineering, Chair of Hydrology and Water Resources Management, ETH Zürich. Switzerland.
- Myneni, R. B., Homan, S., Knyazikhin, Y., Privette, J. L., Glassy, J., Tian, Y., Wang, Y., Song, X., Zhang, Y., Smith, G. R., Lotsch, A., Friedl, M., Morisette, J. T., Votava, P., Nemani, R. R., and Running, S. V. (2002). Global products of vegetation leaf area and fraction absorbed PAR from year one of MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 83(1):214-231.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2010). Usos del agua. *AQUASTAT - Sistema mundial de información de la FAO sobre el agua en la agricultura*. Recuperado de <http://www.fao.org/aquastat/es/overview/methodology/water-use>
- PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. (2014, 4 septiembre). Towards a world of cities in 2050 An outlook on waterrelated challenges. <https://www.pbl.nl/en/publications/towards-a-world-of-cities-in-2050-an-outlook-on-water-related-challenges>

- Pizarro, R., Abarza, A., Morales, C., Calderón, R., Tapia, J., García, P., & Cordova, M. (2015). Manual de diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias en zonas rurales de Chile. *Documento Técnico*, 36.
- Puno, G. R. (Octubre de 2013). *Plan de desarrollo regional concertado Puno 2021*. Obtenido de http://pelt.gob.pe/transparencia_institucional_estandar/PLANES/PLANES%20CONCERTADOS%20REGION%20PUNO/PDRC%20AL%202021.pdf
- RCR, Red de Comunicación Regional. (2019, 11 marzo). PUNO ES LA REGIÓN CON MAYOR POBLACIÓN Y PRODUCCIÓN EN GANADERÍA OVINA DEL PAÍS. RCR Peru. Recuperado de: <https://www.rcrperu.com/puno-es-la-region-con-mayor-poblacion-y-produccion-en-ganaderia-ovina-del-pais/#:%7E:text=RCR%2C%2011%20de%20marzo%202019.&text=%E2%80%99CLa%20Regi%C3%B3n%20Puno%20es%20la,son%20las%20zonas%20m%C3%A1s%20ganaderas.>
- Romero, D. (2012). Siembra y cosecha de agua en Ayacucho. *Leisa*. Pp. 32-34.
- Saeidian, A. (2013). Ab-Anbar, sustainable traditional water supply system in hot arid regions, remarkable example of Iranian vernacular architecture.
- Sanabria, Y., Marengo, J., y Valverde, M. (2009). Escenarios del Cambio Climático con Modelos Regionales sobre el Altiplano Peruano (Departamento de Puno). *Revista Peruana Geo-Atmosférica RPGA*, 134-149.
- Sánchez Martínez, M., y Carvacho Bart, L. (2011). Comparación de ecuaciones empíricas para el cálculo de la evapotranspiración de referencia en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, Chile. *Revista de*

Geografía Norte Grande, 8. Recuperado de:
<https://scielo.conicyt.cl/pdf/rgeong/n50/art10.pdf>

- Sanizadeh, S. K. (2008). Novel hydraulic structures and water management in Iran: a historical perspective. *Options Mediterraneennes*, 83, pp. 26-43.
- Santa Cruz Cárdenas, Y., Ordoñez Sánchez, P., Huamaní, U. J., & Camiloaga Jiménez, F. (2008). Cosecha de agua, una práctica ancestral : manejo sostenible de las praderas. Obtenido de http://biblioteca.clacso.edu.ar/Peru/desco/20170223015040/pdf_870.pdf
- Thompson, Edward H. (1897) The Chultuns of Labna. *Memoirs of the Peabody Museum of Archaeology and Ethnology 1*, Harvard University, Cambridge.
- Valer Barazorda, F., & Pérez Salinas, J. (2014). Las Qochas Rústicas, una alternativa en los Andes para la siembra y. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/141539192.pdf>
- Water Resources Group. (2009). *Charting Our Water Future. Economic Frameworks to Inform Decision-Making* (2030 WRG).
- WWAP, T. (2020). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020: Agua y cambio climático, datos y cifras*.
- Zapata, Renée L. (1989) Los chultunes. *Colección Científica*. México.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERU

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PRÁCTICA ANCESTRAL DE COSECHA DE AGUA, PARA EL APROVECHAMIENTO Y
ALMACENAMIENTO.**

ANEXOS

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Civil

AUTORAS:

Cuadros Quispe, Blanca Maribel

Mercado Torres, Medalit Magali

ASESOR:

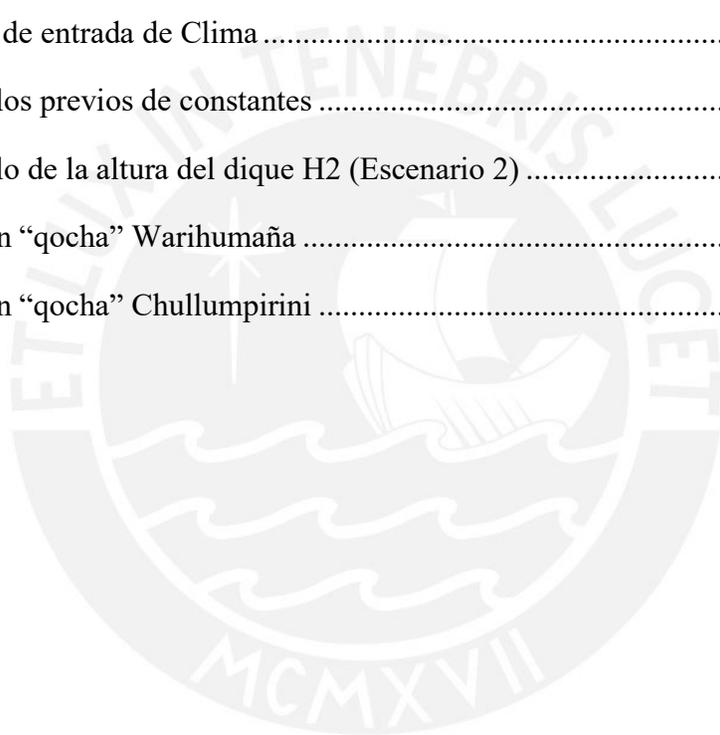
Rosas Barturen, Miluska Anthuannet

Lima, noviembre, 2021

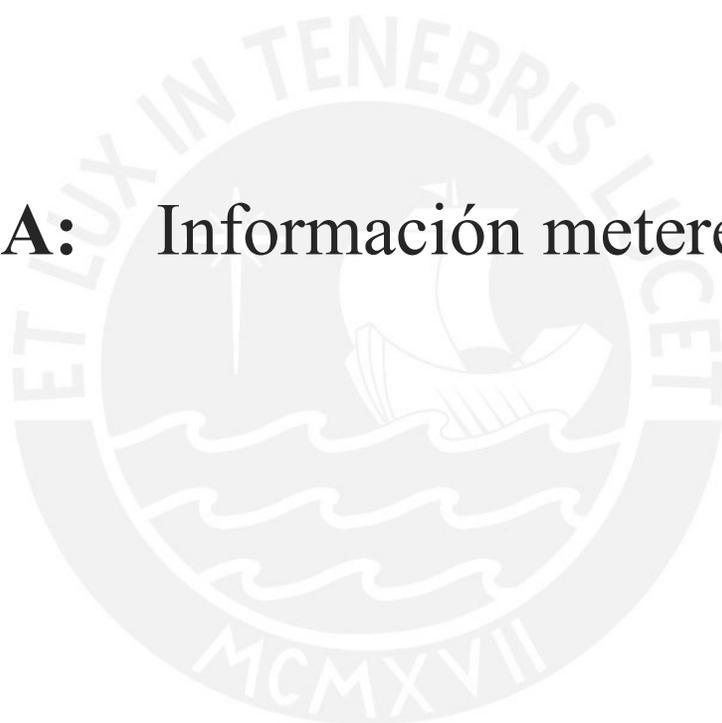
Índice General

Anexo A:	Información metereológica	1
A.1.	Precipitaciones	2
A.1.1	Precipitación en estación Ayaviri	2
A.1.2	Precipitación en estación Orurillo.....	4
A.1.3	Precipitación en estación Progreso	5
A.1.4	Precipitación en estación Azángaro.....	6
A.1.5	Precipitación en estación Pucara.....	8
A.2.	Temperaturas.....	9
A.2.1	Temperatura en estación Ayaviri.....	10
A.2.1.1	Temperatura máxima.....	10
A.2.1.2	Temperatura mínima.....	11
A.2.2	Temperatura en estación Progreso.....	13
A.2.2.1	Temperatura máxima.....	13
A.2.2.2	Temperatura mínima.....	14
A.2.3	Temperatura en estación Azángaro.....	16
A.2.3.1	Temperatura máxima.....	16
A.2.3.2	Temperatura mínima.....	17
A.2.4	Temperatura en estación Pucara	19
A.2.4.1	Temperatura máxima.....	19
A.2.4.2	Temperatura mínima.....	19
Anexo B:	Número de curva.....	21
Anexo C:	Mapa de ubicación de “qochas”.....	24
Anexo D:	Datos de entrada elaborados para la herramienta CUBHIC	26
D.1.	Microcuenca Warihumaña	27

D.1.1	Datos de entrada en Escenarios.....	27
D.1.2	Datos de entradas en Coeficientes	27
D.1.3	Datos de entradas de Clima.....	27
D.1.4	Cálculos previos de constantes	30
D.2.	Microcuenca Chullumpirini	31
D.2.1	Datos de entrada en Escenarios.....	31
D.2.2	Datos de entradas en Coeficientes	31
D.2.3	Datos de entrada de Clima	32
D.2.4	Cálculos previos de constantes	35
Anexo E:	Cálculo de la altura del dique H2 (Escenario 2)	36
E.1.	Cálculos en “qocha” Warihumaña	37
E.2.	Cálculos en “qocha” Chullumpirini	38



Anexo A: Información metereológica



A.1. Precipitaciones

Estación	Años	Cantidad de Datos Medidos	Cantidad de Datos Faltantes	% Medidos	% Faltantes
Ayaviri	1964-2018	18,294	1,795	91	9
Orurillo	1966-1992	9,424	438	96	4
Progreso	1964-2018	19,060	1,029	95	5
Azángaro	1964-2018	17,047	3,042	85	15
Pucara	1964-2018	19,415	674	97	3

A.1.1 Precipitación en estación Ayaviri

Estación: AYAVIRI					
Departamento:	PUNO	Provincia:	MELGAR	Distrito:	AYAVIRI
Latitud:	14°52'51.96"	Longitud:	70°35'34.08"	Altitud:	3928 MSNM

Año/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1964	56	70							15.5	23.6	51.5	51
1965	155.9	97	187.1	27.5	0	0	0	0	2.5	11.3	66.5	159.5
1966	65	88	74	14	21.5	0	0	0	5	62.5	76	86
1967	75	75	114.5	32.5	9.2	0	18	14.1	32	102.4	36.5	145
1968	139.7	170.7	105.5	6.5	1.3	0	10.5	5	24.8	21.3	100.9	58.8
1969	118.1	110.6	40.1	38.6	0	0	6	0.7	9	32.7	50.3	45.1
1970	130.7	64.7	101.4	62.2	27.6	0	0	0	40.8	40.5	21.3	142.4
1971	79.6	181.1	44.9	56.9	0	0	0	3.1	0	24	36.3	96.5
1972	176.8	129.5	82.4	34.2	1.2	0	3	8.6	16	24	36.8	119
1973	211.7	145.5	139	73.7	19.6	0	5.3	2	67.6	70.7	47	94.3
1974	172.1	264.9	75.6	42.6	7.3	7	0	43.9	5.4	34.2	43.5	95.9
1975	131.3	189.2	104.8	37.3	4.1	0	0	0	4.9	87.2	73.4	162.5
1976	115.4	116.4	60.8	31.1	1.8	0	0	0	20.4	2.7	0	35.7
1977	17.2	87.4	57.5	0	0	0	0	0	1.3	2.6	52.5	165.8
1978	226.1	195.6	75.2	0					27	23.9	145.8	153.2
1979	183.3	56.9	101	44.3								
1981								7.8		50.6		
1982	149.6	23.3	163	93.9	0	0	1	39.5	35	117.9	211.5	57.1
1983	43	53.2	67.8	64.5	0.4	2.1	0	0	7	17.4	29.9	79.3
1984	248.1	162.1	152.1	21	15.3	4.7	0	18.8	0	538.5	811.3	179
1985		149.9	190.1	158.1	8.2	40.5	0	0	24.3			

1986		168	163.5	110.9	16.8	0	0	2.3	24	4.4	38.9	157.1
1987	186.2	70.1	58.1	41.3	4.7	4.8	20.4	3.3	2	30.5	72.8	76.9
1988	158.9	87.9	157.1	78.6	13.7	0	0	0	15.6	46.7	2.5	87.8
1989	162.5	65.9	88.3	76.7	3.7	2.9	0.1	31.6	22.8	40	37	59.8
1990	207	111.1	36.4	34.6	3.8	33.5	0	3.5	15	87.1	67.6	72
1991	177.5	90.3	115.4	27.6	29.6	35.8	0.6	2.9	13.6	51.1	30.5	77.7
1992	120.2		44.4	28.3	0	0.4	9.8	49	1.1	54.4	61	43.8
1993	205.8	68.8	120	18.9	8	10.8	0.3	23.7	40.8	84.1	173.4	80.4
1994	113.5	81.9	144.6	69.9	4.7	0	0	0	11.6	16.7	65.5	95.9
1995	100.2	97.8	133.1	44.9	0.5	0	0	0	5.1	15.1	70.5	104.1
1996	180.4	124.1	61	19.8	6.2	0	0	4.1	5.3	24.5	61.1	101
1997	139	185.9	175	8.4	1.4	0	0	14.7			122.2	107.1
1998	106.5	81.1	93.7	57.1	0	0.5	0	1.9	0.5	55.5	96.9	65.5
1999	93.2	152.3	129.7	103.4	15.2	0	0	0	22.6	43.2	31.5	53.6
2000	136.7	224.4	108.9	5.9	6.2	1.6	4.1	7.1	2.5	119.8	8.6	64.2
2001	240.8	111.2	99.9	39	22.7	2.9	1.3	10.8	10.8	25.9	30.8	100.8
2002	162.6	189.8	67.4	62.8	21.5	3.8	12.4	11.2	21.3	106.3	84.5	95.3
2003	203.8	96.7	151	55.9	9.6	4.8	0	10	15.6	29.3	25.2	135.6
2004	260.6	151.4	86.5	40.3	3.9	0.8	4.3	13.3	53	21.9	70.9	151.8
2005	71	223.4	132.5	26.5	0.3	0	0	4.5	4.8	94.8	83	58.1
2006	186.3	65.6	105.4	45.1	0	0.6	0	2.1	2.8	79.9	78	128.9
2007	123.4	81.1	161.7	62	11.3	0	0	0.6	23.7	18.3	68.6	110.1
2008	172	121.3	58.5	9.7	1.8	0.5	0	0.4	1.9	43	44.6	176.6
2009	93.1	121.9	91.7	40.7	4.8	0	0.9	0.2	24.4	32	95	117.9
2010	193	125.3	87.9	67.3	15.3	0	0	0.8	0.4	26.1	30.3	68.4
2011	72.3	162.8	127.8	73.5	12.6	0.2	8.7	2.1	10.8	31.1	96	141.1
2012	144.8	156	172.9	73.3	7.6	0	0.5	0	2.8	16.8	54.6	190.7
2013	147.1	184.2	136.3	34	8.2	8	1	8.9	13.6	62.4	40.3	169.6
2014	139.5	125.8	78.5	13.7	0.8	0	2.5	10	32.5	91.4	52	146.3
2015	150.1	75.2	91.7	76.3	4.5	1.2	6.9	2.3	27.5	22.9	52.5	137
2016	71.5	157	43.8	78	2.6	0.3	9.1	6.6		56.3		55.9
2017	40.5	63.9	124.5	31.5	37.4	0	9.4	0	28.8	41.4	63.6	93.4
2018	104.1	136.1	117.9	28.6								

Datos obtenidos del ANA

A.1.2 Precipitación en estación Orurillo

Estación: ORURILLO					
Departamento:	PUNO	Provincia:	MELGAR	Distrito:	ORURILLO
Latitud:	14°42'56.2"	Longitud:	70°18'52.099"	Altitud:	3920 MSNM

Año/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1966								0	26	76	79	89
1967	46	105	75	29	12	0	9	13	33	54	22	131
1968	71	194	74	33	1	0	12	3	27	48	62	62
1969	138	121	22	27	0	0	3	0	5	24	67	49
1970	200	82	115	98	22	0	0	0	50	45	65	185
1971	82	162	84	70	0	3	0	4	0	31	48	60
1972	207	111	138	38	3	0	2	5	22	17	47	73
1973	157	77	120	80	2	0	4	6	48	63	42	40
1974	155	174	121	35	6	10	0	39	26	29	30	92
1975	114	98	98	25	10	0	0	0	20	53	45	104
1976	186	56	116	31	20	3	3	10	49	0	31	90
1977	114	152	205	28	4	0	0	0	37	71	183	86
1978	192	102	119	56	4	0	0	0	33	17	121	109
1979	133	50		54	1	0	0	4	12	18	65	128
1980	144	52	158	6	4	0	10	2	20	82	10	116
1981	169	102	128	66	3	4	0	14	33	45	85	125
1982	137	62	158	53	0	0	0	5	35	96	107	67
1983	103	78	65	52	7	1	0	0	12	24	38	115
1984	191	183	118	44	16	2	0	3	2	106	113	122
1985	169	120	127	165	21	20	0	0	59	13	137	266
1986	119	217	152	186	2	0	0	12	29	0	20	95
1987	116	24	19	18	1	2	27	1	0	12	62	86
1988	122	79	188	46	17	0	0	0	8	30	4	58
1989	164	90	126	23	21	7	2	16	33	9	25	53
1990	157	39	22	22	1	47	0	3	1	57	70	71
1991	146	74	50	11	15	36	0	3	8	5	35	27
1992	91	77	36	6	0	0						

Datos obtenidos del ANA

A.1.3 Precipitación en estación Progreso

Estación: PROGRESO												
Departamento:	PUNO	Provincia:	AZANGARO	Distrito:	ASILLO							
Latitud:	14°42'56.2"	Longitud:	70°18'52.099"	Altitud:	3980 MSNM							
Año/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1964	74	66.5	218	17.7	16.4			0.5	31.9	40.8	55.7	60.8
1965	150.4	130.5	116	50.7		0	0	0	20	16	78.7	121.9
1966	68.1	79.1	45.9	0.3	40.8	0	0	0	31.3	60.8	70.8	70.7
1967	66.9	81.2	127	26.1	8.9		13.3	16.9	24.9	47.5	34.4	87.9
1968	69.9	158.4	88.7	38.6	1.7	0	13.4	20.1	28.2	23.3	79.6	44.2
1969	143.2	83.5	47.6	29	0.3	1.4	10.6	0.3	23	19.6	53.8	56.4
1970	141.5	87.6	119.3	68	14	0.5	0.8	0	49.7	54.8	53.9	133.3
1971	132.6	117	64.6	32.1	5.9	0.1	0	4.3	1.2	38.9	60.1	76.7
1972	159.5	166.7	79.3	27.5	0.4	0	2.8	8.3	16.6	21	57.9	104.2
1973	162.6	100.4	104	105	9.5	0	3.7	4.3	55.2	78.9	70.4	89.6
1974	105.3	118.4	74	63.3	13	5.1	0.2	18.8	35.2	30.7	33.5	54.5
1975	112.4	88.5	121.3	27.7	9	0	0	0	13.5	52.9	43.5	91.1
1976	157.6	91.3	92	28.8	22.3	4.8	3.3	12.5	41.2	8.6	48	112.1
1977	90	112	134.6	32.2	2.7	0	0	0	21.5	50.4	97.2	79.5
1978	155	110.3	124.3	50.8	4.1	0	0	0	52.9	17.3	128.9	175.8
1979	155.2	41.3	80.6	70.2	13.8	0	5	4.6	17.2	31.3	36.1	137.9
1980	111.2	86.8	107.8	5.1	9.1	0.3	2.3	0	6.1	74.6	12.3	78.6
1981	150.1	101.1	102.6	52	1.9	0	0	13.2	32.9	65.3	72.8	108
1982	193.6	53.9	95.5	29.8	0	0	0	0.8	15.8	60	111.3	47.5
1983	81.5	59.3	73.4	27.2	6	0	0	0	0	7.8	34.3	68.4
1984	109.8	37.6										
1985							0	0	34.2	12.4	123.4	153.2
1986	132.5	151.7	182.8		10.6	0		6	38.2		41.4	101.5
1987	120.1	77.2	84.9	39.2	1.5	1	23.4	0	7.5	57.8	126.3	144.8
1988	144.8	89	154.3	61.9	17.6	0	0	0	9	17.9	10.9	65.5
1989	153.6	119.8	108.5	84.8	3.5	4.7	0	27	25	30.5	58.5	57.7
1990	143.5	75.6	36.7	33.5	0	21.6	0	5.4	19	76.6	75.2	19.8
1991	162.3	73.7	105.1	40.9	0	0	0	0	6	28.2	18.5	139.1
1992		69.6	46.1	25.1	0	0	3.2	37.2	18	29.4	79.8	78.6
1993	191.5	73	109.7	50	12	3.7	10.2	18	9.8	65	83.6	100.7
1994	132.7	110.7	102	59.2	4.8	0.5	0	3.2	18.3	51.7	74.9	112.8
1995	73.3	76.9	103.9	14.8	0	0	0	0	10.7	16.8	62.7	101.2
1996	141.4	62.9	94.6	21.4	10.8	0	1.4	3	4.6	33	62.7	125.4
1997	189.8	135.8	196.9	48	12.6	0	0	13.6	17	49	106.5	60.2

1998	100.2	72.2	52.8	17.5	0	7.7	0	1.2	2.2	103.7	88.7	32.6
1999	107.6	121	141.2	37.8	2.9	0	0	0	16.6	35.8	54.3	65.7
2000	126.9	124.9	105.1	9.6	1.4	1.2	1.6	2.4	17	108	17.6	99.6
2001	151.8	111	132.4	30.6	21.4		5.5	0	14.2	49.6	62.7	57.4
2002	117	107	91	152.6	8.8	1.8	25.4	4.4	25.6	131.6	86	134.6
2003	181.6	112.7	137	60.2	7	7.6	0.5	7	15.4	14.8	16.1	80.6
2004	240.4	160.2	61.8	50.6	7.4	0	4.8	22.8	40.6	13	53.8	118.8
2005	52.5	200.8	54.7	35.4	0.5	0	1.2	2.8	3.8	75.9	62.2	86.4
2006	146.4	46.9	63.6	51.5	0	2.1	0	3.9	37	42.9	56.2	85.1
2007	125.8	64.3	152.6	60.5	14.4	0.6	0.5	0	25.8	15.8	78	52
2008	132.9	73	52.4	4.6	6.2	0	0	0	7.6	49.6	26.5	139.8
2009	127.9	86.7	63.9	15.3	5.2	0	4.6	0.8	9.2	19.2	110.8	105.6
2010	153.8	116.6	72.6	42	8.6	0	0	2.6	0	24.8	8.6	121.2
2011	93.2	153.8	138.7	51.7	2.1	0	6.2	11	61.2	59.2	37.6	104.6
2012	141.4	159.4	109.2	25.2	9.6	0	0	0	9.8	14.4	29	172
2013	135.6	180.8	121.4	45.4	8	2.4	0.9	4.2	8.2	81.4	30.4	123.7
2014	100.6	152	102.3	19.2	1.2	0	0	13.6	56.6	51.6	26.2	134.5
2015	179.2	86	80.1	51.6	12.4	6.6	0	9.2	31.4	46	65.3	153.8
2016	90	218.6	31.4	84	2.8	1.2	10.6	14.8	11.2	53	44.4	86.4
2017	112.6	76.4	107.8	112.8	36.1	0	3.6	0.4	55.4	46.3	37.7	64.9
2018	79.2	130.2	110.3	18								

Datos obtenidos del ANA

A.1.4 Precipitación en estación Azángaro

Estación: AZANGARO					
Departamento:	PUNO	Provincia:	AZANGARO	Distrito:	AZANGARO
Latitud:	15°2'0.96"	Longitud:	70°22'22.079"	Altitud:	3863 MSNM

Año/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1963			54.9	39.8	8	0	0	1.5	45	72.5	26.5	91.5
1964	79.5	62	104.5	65	13.5	0	0	0.5	39	32	51	73.8
1965	100	82	133	27.5	0.5	0	0	2.5	18.5	18.9	55.5	122.5
1966	92.5	107	65.5	19	44.3	0	0	1.5	36.7	46.5	68.4	92.5
1967	41.7	89.5	135.5	6.9	0	0	12	23.6	35.8	41.3	8.6	124.3
1968	86.7	143	73.9	36.9	0.7	1	0	7.6	26.6	20.9	73.2	29.2
1969	120.4	68.1	36	28.8	0	1.4	12.7	1.7	19.2	16.3	32.5	51.2
1970	125.1	42.4	92.4	96.4	15.4	0	0	0	39.3	48.6	40	149.1

1971	92.2	151.7	71.2	28.1	0.5	0.6	0.3	8.7	5.8	18.1	52.7	81.2
1972	142.9	108.9	68.7	37.4	0	0	4	9.7	41.6	26.3	55.6	106.6
1973	162	99.8	112.9	93.7	22.2	0	3.4	4.9	47.7	43.7	88.3	23.5
1974	94.3	128.7	78.7	50.9	19	6.1	0	27.6	9	30	55.7	57.5
1975	97.7	88.6	108.6	33.1	7.2	14.5	0	0	15.3	77.1	56.2	104.3
1976	110.9	114.5	57.4	6.7	8.9	5.5	0.4	12.9	41.6	3.3	61	93.1
1977	67.2	113	120.2	17.5	3.4	0	0	0	43.3	51.6	91.2	61
1978	141.6	139.3	77.6	37.4	2.7	0	0	0	17.8	35.6	168.5	162.3
1979	148.4	28.7	62.2	39.6	4	0	0	0	6.5	60.9	37.1	112.7
1980	120.2	63	91.1	9	5.7	0	5.3	3.6	29.4	76	12	56.9
1981	112.5	104.9	92.3	45	5.6	4	0	26.9	27.7	65.4	36.4	101.3
1982	48.5	101.1	52.3	58.5	0	0	0	7				
1984									0.8	72.4	244.7	167
1985				169			0	0.7	14.9	20.3	178.7	113.5
1986	85	98.1				0	0	6.3	37	0		
1987		107.5	67.7	44.6	6.3	5.3	28.4					
1989									20.8	6.5	35.5	64.5
1990	165.5	77.5										
1992			46.9	17.2	0	0	8	59.8				
1993	142.8	53.8	85	82.9	16.6	4.8	1.3	9.2	24.4	68.6	125.4	125.1
1994	113.6	169.7	89.1		0.5	0	0	0	19.7	35.4	59.8	88.1
1995	62.3	77.4	98.4	4.6	0.2	0	0	0.6	5.1	33.1	90	88.4
1996	140.6	69.8	121.9	15.7	15	0.3	2	3.1	11.2	33.5	61.2	64
1997	148.9	149	142.9	30.1	7.8	0	0	13.1	32	37	134.6	99.9
1998	88.4	78	56.7	45.7	0	10.5	0	0	11	56.7	77.6	17.6
1999	97.8	67.2	136.7	46.5	9.7	1	0	0.5	30.6	68.3	32.8	22.8
2000	132	110.4	55.7	8.4	2.9	7.9	0.5	38.8	0.7	79.8	21.4	69.1
2001	195.8	94.8	168	15.9	19.9	0	4.4	8	16.6	44.6	42.5	166.7
2002	157.6	111.1	156.5	53.3	10.3	1.9	10.8	6	18	187.1	85.3	172.6
2003	148.9	95.8	101.5	67	4.7	5.7	0.6	5	7.8	24.7	50.6	118.2
2004	227.4	93.9	47.7	22.8	15.9	0	2.8	16.5	39.6	11	62.6	71.5
2005	42.5	171.8	78.5	28.6	0.3	0	0	5	19.6	59.8	34.3	77.4
2006	195.8	36.7	74.5	18	0	1.5	0	2.3	11.3	60.6	56.6	74.4
2007	97.6	54.6	162.8	82.3	12.6	0.3	0.6	0.8	60.6	17	62.9	82.4
2008	101.3	91.7	43.7	1.2	3.1	0	0	0	22.8	43.7	61.8	171.4
2009	130.2	91.3	72.8	33.2	4.4	0	0.4	0	13.5	28.9	88.6	87.9
2010	162.6	92.3	65.5	42.2	7.6	5.8	0.3	2.3	0	25.6	24.5	70.7
2011	96.7	171.4	65.8	23.4	0.3	0	5.5	3.8	67.9	43.8	34.5	73.6
2012	102.2	100.1	104.7	49.4	14.6	0	0	1.3	5.1	42.7	40.7	93.6
2013	150.3	155.6	150.6	27.2	26.3	1.6	0.3	10.6	1.5	40.4	37.9	155.3
2014	89	96.5	94.1	33.9	5.3	0	0.9	37.4	48.3	51.3	31	154.8
2015	134.4	93.2	71.1	31.5	6.7	0.6	2.9	8.3	42.2	74.3	66.7	139.7
2016	85.5	246.5	42.5	118.7	0.8	1.5		14.1	49.7	48		61.6

2017	93.2	41.6	119.2	35.4	34.2	0.4	7.3	0	62.8	33.4	26.2	42.6
2018	105	102.6	149.3	24.2								

Datos obtenidos del ANA

A.1.5 Precipitación en estación Pucara

Estación: PUCARA												
Departamento:	PUNO	Provincia:	LAMPA	Distrito:	PUCARA							
Latitud:	15°2'44.4"	Longitud:	70°21'59.9"	Altitud:	3900 MSNM							
Año/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1963										49.4	77.7	130.6
1964	50.4	61.2	155.2	45	8.7	0	0	2.5	31.8		40.1	
1965	146.7	68.9	151.9	45.6				0	9.2	96.8	53.1	220.1
1966	64	148.5	143.9	2.3	22	0	0	0	0.1	87.4	62.2	91.7
1967	61.5	126.9	216.6	0.9	18.3	0	7.4	7.4	21.8	90.8	36.2	205.2
1968	188	218.6	87.6	19.8	10.1	0	8.5	19.3	17.5	54	129.2	113.9
1969	120.7	91.8	13.8	49.6	0	0	2.9	0	13.8	9.8	43	84.7
1970	131	56.2	130.7	86.4	0	0	0	0	32.4	10.3	35.6	229.2
1971	175.2	239	66.2	56.6	1.2	0	0	7.4	1.4	34	56	87.8
1972	188.8	101.9	74.5	44.3	0	0	0	2.9	39.6	23.9	39.6	88.3
1973	173.2	151.9	204	79.7	0	0	5.1	9.8	46.3	62.1	47.9	50.7
1974	210.4	118.6	90.2	50.7	4.6	7.3	5.2	53.6	22.9	51.4	24.7	78.2
1975	162.2	184.6	117.9	16.3	20.8	4.9	0	1.3	32.5	93.6	51.6	115
1976	200.5	177.4	99.5	30.9	7.4	0	3.3	5.6	79.2	1.8	32.2	113.7
1977	127	211.4	175.7	38.1	1.6	0	1.6	0	34.8	66.4	82.2	85.7
1978	232.7	180.7	144.2	89.8	9.2	0	0	0	17.3	66.2	162.7	229.3
1979	185.1	64.3	119.3	45.6	11.7	0	0.2	0	8.4	80.1	106.9	152.7
1980	127.5	93.8	128.7	12.5	9.6	0	7.1	3.1	27.5	85.8	28.7	53.5
1981	184.6	145.6	126.5	125	8.4	2.5	0	13.8	34.3	87.1	70.3	109
1982	156	81.8	126.5	59.1	0	0	3.1	33.6	51.3	120.2	110.9	69.1
1983	56.3	94.7	33.1	53.5	10.5	7.3	1.9	0	24.4	42.5	32.3	92.9
1984	346.6	262.7	117.1	18.7	5.4	6.7	9.3	13.6	2.2	159.8	148.6	188
1985	185.4	162	71.6	171.5	16.2	14.3	0	1.7	47.1	30	221.9	192.4
1986	147.9	181.3	210.6	81.1	12.6	0	3.3	11.3	61.5	7.6	51.5	120.1
1987	177.5	76.7	65.8	57.3	6.2	11.4	28.7	9.9	4.9	32.1	99.4	77.5
1988	143.5	113.7	176.8	107.3	18.9	0	0	0	9.9	52.3	7.2	128.4
1989	134.4	81.2	110.1	62.8	5.9	3.4	1.3	16.4	13.5	48.2	29.9	107
1990	152.3	129.8	83.4	48.6	10.6	52.3	0	5.7	22.1	98.4	94.3	83.9

1991	147.3	120.6	157.2	43.7	28.7	54.2	5.6	9.1	18	48.2	43.5	65.4
1992	215.5	94.8	61.5	27.1	0.6	10.8	0	35.2	6.9	29.6	43.9	151.1
1993	184.8	35.5	135.1	91.5	8.3	0.5	0	12.5	26.6	78.7	73	147.4
1994	157.7	199.7	113.2	58.6	0	0	0	0		25.9	65.4	90.1
1995	98.2	76.9	78.9	9.3	2.6	0	0.3	0.5	7.7	17.8	94.3	105.5
1996	158.7	81.8	122.6	38.6	22.1	0	0.5	4.4	15.7	43.4	50.4	93.1
1997	160.3	126.3	166.5	21.3	2.7	0	0	13.4	23.3	59	142.1	118
1998	86.1	118.4	108.6	41.9	0	8.6	0	1.5	2.7	71.4	51.9	29.6
1999	83.8	111.6	147.7	73.6	10.6	0	1	6.8	22.3	78.1	24.5	46.2
2000	126.9	143.3	107.9	11.7	4.2	4.1	0.1	29	0.3	106.6	35.6	105.7
2001	302.9	117.9	224.9	33.6	18.1	1.8	4.8	9.9	5	35.2	29.8	108.3
2002	144.7	197.8	113.3	59.2	28.1	3.9	20.9	21.5	31.4	137.3	72.5	183.2
2003	197.1	93.6	126.9	16.6	24.6	6.8	0	8.8	26.2	44.8	54	137.7
2004	302.7	227.4	104.1	55.2	6.9	4	8.2	26.5	48	7.5	64.9	138.5
2005	64.4	164.8	123.3	37.7	0	0	0	14.7	6.2	103.2	73.4	112
2006	236.1	94.8	124.6	30.8	1.8	0.2	0	0.6	5	47.2	68.1	97.2
2007	70.6	62.3	194.6	105.9	23.3	0	3.5	0	37.4	27	63.3	65.3
2008	173.4	81.1	59.4	7.1	3.9	0	0	0.9	24.2	51.4	63.5	165.2
2009	70.2	98.4	130	20	0	0	0	0.1	6.9	42.7	105.1	137.7
2010	198.1	138.7	65.2	38.8	6.6	0	0	0.2	1.2	36.9	27.9	121.3
2011	74.3	172.9	74.6	33.7	17.7	0.2	6.6	1.6	33	44.4	24.1	136.3
2012	125	176.1	117.2	65.4	0	0	0	4.6	6.2	12.2	31.4	177.3
2013	122.8	135.6	174.7	17.8	30.3	7.7	0.4	15.6	7.8	58.3	29.9	231.6
2014	115	119.1	75.3	49.5	1	0	6.4	29.8	42.8	70.1	54.6	131.6
2015	133.3	105.1	60.9	78.1	4.3	0.6	6.6	6.4	27.2	48.8	87.4	114.2
2016	56.6	141.2										90.4
2017	76.2	115.2	103.4	50	39.2	0	11.8	0	63.7	51.8	76.6	72.6
2018	149.8	183	140.4	43.4								

Datos obtenidos del ANA

A.2. Temperaturas

Estación	Años	Temperatura máxima				Temperatura mínima			
		Cantidad de Datos Medidos	Cantidad de Datos Faltantes	% medidos	% falta	Cantidad de Datos Medidos	Cantidad de Datos Faltantes	% medidos	% falta
Ayaviri	1964-2018	18,378	1,711	91	9	18,392	1,697	92	8
Progreso	1964-2018	19,206	882	96	4	19,207	881	96	4
Azángaro	1963-2018	17,279	3,175	84	16	17,170	3,284	84	16
Pucara	1993-2018	8,029	1,467	85	15	8,035	1,461	85	15

A.2.1 Temperatura en estación Ayaviri

A.2.1.1 *Temperatura máxima*

Año/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1964	16.4	15.5	14.9	15.6	14.4	14.8	14.5	16.4	16.0	16.5	15.6	14.3
1965	13.8	14.4	14.5	14.8	15.6	14.5	14.9	16.6	16.9	19.5	18.5	16.4
1966	18.5	16.4	16.7	17.4	14.9	16.4	16.5	17.4	17.8	17.2	17.3	16.3
1967	17.6	14.7	14.6	16.4	16.3	16.0	14.9	15.4	16.4	15.8	18.0	14.3
1968	14.6	14.0	14.4	15.4	15.0	15.0	13.0	15.3	16.2	17.2	15.2	16.0
1969	14.4	14.6	16.4	16.1	16.3	15.0	14.6	15.9	16.0	18.5	18.4	16.4
1970	14.9	15.1	14.6	15.0	15.4	15.1	14.8	16.2	15.8	17.1	17.7	14.3
1971	14.4	12.7	14.6	15.3	14.9	14.7	14.1	15.5	17.2	15.9	16.1	14.7
1972	13.7	12.9	14.7	15.7	15.3	13.9	15.3	15.0	16.1	17.7	16.8	15.5
1973	14.9	15.1	14.3	15.0	14.6	14.0	13.4	15.3	14.2	15.8	16.3	14.9
1974	12.9	13.3	14.1	14.5	15.0	14.1	15.4	13.8	15.8	16.5	17.7	16.5
1975	13.8	14.0	14.1	15.2	14.0	14.1	14.8	16.8	16.9	16.3	16.8	14.6
1976	13.3	14.8	15.2	15.1	14.2	13.7	14.8	14.6	14.1	18.1	18.0	16.0
1977	16.8	14.5	14.5	16.0	14.6	14.3	15.0	16.7	16.1	16.9	15.5	15.7
1978	13.9	15.4	14.9	15.2	14.8	14.7	14.3	15.8	15.4	16.7	15.0	15.0
1979	13.4	15.7	14.9	15.1	14.9	15.5	14.6	15.1	17.6	16.5	16.9	14.9
1980	16.0	15.6	14.7	15.4	15.5	15.8	14.4	15.8	15.8	15.4	17.2	16.4
1981	13.9	13.6	14.9	15.0	15.6	15.2	15.9	14.4	14.7	15.5	16.7	15.3
1982	14.4	14.6	15.7	16.0	16.2	15.7	12.9	13.2	12.6	13.5	13.3	15.5
1983	15.9	15.2	15.9	15.4	15.2	14.5	14.4	15.1	16.1	15.5	16.6	15.1
1984	12.4	13.1										
1985							15.0	14.6	16.0	17.1	15.5	15.6
1986	14.5	14.1	14.5		14.4	15.9		15.7	15.7		17.7	16.2
1987	14.6	16.6	16.3	16.7	16.5	15.4	15.1	17.3	18.2	17.9	16.7	17.1
1988	14.9	16.8	15.4	15.3	15.6	15.5	15.9	17.7	18.3	18.3	18.7	16.4
1989	15.1	14.8	15.1	15.5	15.3	14.9	14.6	14.9	16.6	18.1	17.0	17.4
1990	16.0	16.1	16.5	16.5	17.3	14.6	16.0	16.8	17.3	17.0	16.5	16.6
1991	16.3	16.1	16.1	15.7	17.5	15.6	15.3	16.7	17.1	18.7	18.1	18.1
1992		17.1	17.1	17.9	18.5	16.1	15.3	14.4	17.5	16.8	16.8	15.3
1993	13.8	16.0	14.9	15.6	15.9	15.1	15.5	15.5	16.6	16.6	16.1	15.9
1994	14.9	14.9	15.0	14.7	15.4	14.3	14.7	16.0	16.6	16.7	16.1	15.6
1995	15.5	16.0	14.4	15.6	15.8	14.8	14.7	16.4	16.0	17.3	15.4	13.1
1996	13.0	15.0	16.2	16.2	16.1	15.4	15.6	16.2	17.4	18.5	16.6	16.0
1997	15.1	14.7	14.6	15.0	15.5	15.6	16.2	15.3	17.3	18.5	17.5	18.6
1998	18.1	18.4	18.5	18.3	17.8	15.6	16.6	17.8	18.5	17.5	17.3	17.1
1999	16.7	15.0	14.9	15.2	15.6	15.4	15.2	16.6	16.7	16.7	18.0	16.7
2000	14.9	14.7	14.8	16.7	17.2	15.6	14.8	16.6	18.0	16.0	18.8	15.3

2001	14.2	14.7	15.0	15.8	15.6	15.2	14.9	15.9	17.8	18.2	18.4	17.5
2002	16.7	14.9	15.9	15.4	15.8	15.8	13.7	16.2	17.2	17.2	17.5	16.7
2003	16.3	16.1	15.4	16.2	16.1	15.4	16.1	16.1	16.6	18.0	18.4	17.6
2004	15.0	15.8	16.5	16.2	16.3	15.1	15.3	15.4	16.6	17.8	18.2	17.3
2005	16.3	15.8	17.0	17.1	16.9	16.3	16.3	16.6	17.4	16.6	17.1	16.4
2006	15.0	16.8	16.5	16.3	16.4	15.9	16.0	17.0	17.6	17.3	16.7	17.0
2007	17.1	16.6	15.3	16.1	16.3	16.4	15.7	17.8	16.2	17.3	17.0	16.5
2008	14.6	15.7	15.5	16.7	15.9	16.6	15.9	16.8	17.5	17.1	18.0	15.8
2009	15.8	15.7	16.6	16.5	16.6	16.1	16.0	17.1	18.3	18.9	17.6	17.2
2010	16.1	17.1	16.8	17.4	17.3	17.7	17.3	17.9	18.9	18.6	19.0	16.2
2011	16.2	15.1	15.6	16.5	16.7	16.3	15.7	17.2	16.4	17.1	18.6	16.5
2012	16.0	14.7	16.0	15.9	16.2	15.9	15.9	17.3	17.7	18.0	17.9	16.1
2013	15.7	15.5	16.7	17.2	16.7	15.4	15.9	16.4	17.8	17.4	18.7	16.2
2014	16.2	16.8	17.3	17.1	17.3	17.7	16.1	16.2	16.5	17.4	18.8	17.3
2015	15.4	16.0	16.3	15.7	16.6	17.2	16.5	17.2	18.1	17.9	18.9	17.2

Datos obtenidos del ANA

A.2.1.2 *Temperatura mínima*

Año/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1964	7.8	8.1								-2.7	-1.9	0.0
1965	-0.1	3.7	3.1	-1.1	-7.4	-8.2	-7.6	-6.3	-3.2	-2.5	-0.6	1.9
1966	1.6	3.2	1.4	-3.3	-4.7	-9.5	-11.0	-7.7	-5.2	1.1	1.5	2.1
1967	1.8	1.7	2.8	-1.2	-4.0	-8.8	-8.1	-6.6	-1.1	-1.0	-1.0	1.1
1968	2.8	3.4	2.5	-2.0	-6.0	-10.8	-10.2	-7.4	-5.0	-1.0	2.4	2.2
1969	3.4	3.7	3.0	1.2	-4.7	-7.6	-7.8	-8.7	-2.6	-1.0	1.0	2.6
1970	3.6	4.2	3.2	2.2	-3.1	-5.5	-7.1	-6.1	-1.6	-1.2	-0.1	3.6
1971	3.3	3.4	2.4	-0.2	-4.9	-4.4	-8.7	-5.5	-3.9	-1.0	0.9	3.0
1972	2.2	2.0	2.2	0.5	-4.5	-9.2	-7.2	-4.0	-1.0	-0.2	2.6	2.8
1973	3.9	3.4	2.9	2.9	-2.1	-9.0	-7.0	-6.2	0.6	2.7	2.7	2.6
1974	3.0	3.4	3.5	2.2	-4.7	-5.9	-6.5	-4.1	-1.7	1.3	1.1	2.4
1975	2.4	2.3	2.8	2.0	1.3	-3.3	-12.1	-6.5	-0.8	0.5	1.6	2.7
1976	2.7	2.2	2.9	0.9	-1.7	-9.6	-8.5	-7.2	-2.9	0.9	0.2	2.2
1977	2.3	1.9	2.5	0.4	-4.4	-10.7	-7.2	-6.1	-0.9	0.5	1.2	2.0
1978	2.2	2.1	2.7	2.2					-0.6	0.0	3.1	3.9
1979	3.4	3.2	3.5	0.6								
1981							-6.6	-3.6		1.8		
1982	4.4	3.3	4.3	0.8	-5.4	-7.3	-7.0	-4.7	-1.3	0.9	3.7	3.4
1983	4.1	4.0	2.6	2.4	-1.7	-5.0	-5.3	-2.6	-0.6	1.1	1.3	2.8

1984	3.7	4.4	4.6	1.3	-1.9	-3.8	-6.1	-3.0	-3.3	2.8	4.0	2.8
1985	3.2	4.5	3.7	3.7	-0.5	-1.5	-7.6	-4.5	0.8			
1986		3.2	3.0	1.9	-3.8	-4.6	-8.2	-5.0	-0.7	0.0	1.4	3.9
1987	4.7	2.4	1.3	0.0	-3.5	-5.5	-7.1	-5.9	-2.9	-0.1	3.2	2.7
1988	4.0	2.6	4.1	2.1	-2.4	-8.0	-8.2	-7.6	-1.9	-0.4	0.1	2.2
1989	2.7	2.2	2.4	1.1	-4.3	-5.9	-7.8	-4.4	-2.2	0.0	-0.1	1.3
1990	2.6	0.9	0.4	-1.3	-4.7	-5.1	-7.5	-6.4	-3.4	0.6	2.4	1.3
1991	1.8	1.1	2.2	-0.8	-5.7	-7.9	-9.5	-7.1	-1.9	-1.0	0.4	1.8
1992	2.7	2.5	1.4	-1.4	-5.0	-5.5	-7.5	-4.8	-3.0	-0.3	1.0	2.2
1993	2.5	2.0	2.5	0.9	-3.3	-8.3	-6.2	-5.3	-1.3	1.2	2.6	3.3
1994	2.8	3.2	1.8	2.0	-3.4	-8.4	-8.1	-7.2	-1.4	-0.7	2.1	3.2
1995	3.4	2.9	3.9	-0.4	-5.6	-8.0	-7.4	-6.1	-1.8	-0.1	1.7	1.5
1996	3.0	3.4	2.4	0.8	-3.3	-8.0	-8.1	-4.0	-3.3	-0.6	1.9	3.0
1997	3.8	3.1	2.4	-1.3	-4.6	-9.0	-7.6	-3.3	-0.7	0.8	2.4	3.6
1998	5.0	5.0	3.7	1.1	-5.4	-4.7	-6.9	-3.3	-1.9	1.2	1.7	2.6
1999	4.0	4.7	4.6	2.1	-1.5	-7.0	-5.7	-3.3	-1.2	1.9	0.3	2.6
2000	4.3	3.3	3.0	0.4	-3.4	-5.0	-4.9	-3.1	-2.1	1.1	0.6	2.4
2001	3.7	4.3	4.1	1.4	-2.1	-4.5	-5.8	-5.0	0.1	1.9	2.6	3.6
2002	3.9	5.1	3.9	2.5	-1.0	-3.5	-3.9	-3.1	0.2	3.8	2.9	4.6
2003	5.2	4.4	4.2	1.9	-2.2	-6.9	-6.1	-3.4	-1.0	0.0	1.7	4.0
2004	5.0	4.4	3.5	1.5	-4.7	-6.7	-6.3	-3.6	0.0	1.5	2.5	3.6
2005	3.9	4.2	2.7	0.9	-4.9	-8.9	-5.4	-5.9	-0.5	2.6	2.8	2.9
2006	4.0	4.0	3.8	1.6	-5.8	-5.0	-7.7	-2.6	-2.0	2.1	3.2	4.2
2007	4.8	4.3	3.7	2.1	-1.9	-5.8	-4.3	-3.7	1.3	1.1	1.4	2.4
2008	4.8	3.3	2.1	-0.8	-6.6	-6.4	-7.8	-5.5	-3.0	1.7	2.3	3.7
2009	4.3	4.6	3.0	0.0	-2.3	-8.4	-5.4	-6.9	-0.1	0.6	3.8	4.2
2010	4.7	4.8	3.6	1.6	-2.1	-3.8	-7.1	-5.2	-1.1	1.6	1.3	3.4
2011	3.8	4.4	3.4	1.2	-2.9	-6.8	-4.9	-4.5	-0.2	1.1	2.1	2.4
2012	3.6	3.6	2.5	1.2	-4.0	-6.4	-7.7	-7.5	-2.9	0.3	2.1	3.8
2013	3.4	3.8	2.9	-1.3	-1.9	-5.1	-4.8	-4.4	-3.8	1.9	1.1	3.7
2014	2.8	2.3	1.6	0.0	-3.4	-6.0	-5.2	-3.6	1.9	1.1	1.4	2.7
2015	3.5	4.0	4.1	3.3	-1.7	-5.3	-6.3	-4.5	-0.5	0.1	2.4	3.0
2016	3.2	5.1	2.1	1.1	-5.1	-7.0	-6.3	-3.5	-1.9	2.3		3.8
2017	4.3	3.8	4.0	2.5	0.3	-5.2	-5.9	-4.7	1.1	0.3	2.6	3.5
2018	4.0	4.5	4.0	-1.0								

Datos obtenidos del ANA

A.2.2 Temperatura en estación Progreso

A.2.2.1 *Temperatura máxima*

Año/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1964	16.4	15.5	14.9	15.6	14.4	14.8	14.5	16.4	16.0	16.5	15.6	14.3
1965	13.8	14.4	14.5	14.8	15.6	14.5	14.9	16.6	16.9	19.5	18.5	16.4
1966	18.5	16.4	16.7	17.4	14.9	16.4	16.5	17.4	17.8	17.2	17.3	16.3
1967	17.6	14.7	14.6	16.4	16.3	16.0	14.9	15.4	16.4	15.8	18.0	14.3
1968	14.6	14.0	14.4	15.4	15.0	15.0	13.0	15.3	16.2	17.2	15.2	16.0
1969	14.4	14.6	16.4	16.1	16.3	15.0	14.6	15.9	16.0	18.5	18.4	16.4
1970	14.9	15.1	14.6	15.0	15.4	15.1	14.8	16.2	15.8	17.1	17.7	14.3
1971	14.4	12.7	14.6	15.3	14.9	14.7	14.1	15.5	17.2	15.9	16.1	14.7
1972	13.7	12.9	14.7	15.7	15.3	13.9	15.3	15.0	16.1	17.7	16.8	15.5
1973	14.9	15.1	14.3	15.0	14.6	14.0	13.4	15.3	14.2	15.8	16.3	14.9
1974	12.9	13.3	14.1	14.5	15.0	14.1	15.4	13.8	15.8	16.5	17.7	16.5
1975	13.8	14.0	14.1	15.2	14.0	14.1	14.8	16.8	16.9	16.3	16.8	14.6
1976	13.3	14.8	15.2	15.1	14.2	13.7	14.8	14.6	14.1	18.1	18.0	16.0
1977	16.8	14.5	14.5	16.0	14.6	14.3	15.0	16.7	16.1	16.9	15.5	15.7
1978	13.9	15.4	14.9	15.2	14.8	14.7	14.3	15.8	15.4	16.7	15.0	15.0
1979	13.4	15.7	14.9	15.1	14.9	15.5	14.6	15.1	17.6	16.5	16.9	14.9
1980	16.0	15.6	14.7	15.4	15.5	15.8	14.4	15.8	15.8	15.4	17.2	16.4
1981	13.9	13.6	14.9	15.0	15.6	15.2	15.9	14.4	14.7	15.5	16.7	15.3
1982	14.4	14.6	15.7	16.0	16.2	15.7	12.9	13.2	12.6	13.5	13.3	15.5
1983	15.9	15.2	15.9	15.4	15.2	14.5	14.4	15.1	16.1	15.5	16.6	15.1
1984	12.4	13.1										
1985							15.0	14.6	16.0	17.1	15.5	15.6
1986	14.5	14.1	14.5		14.4	15.9		15.7	15.7		17.7	16.2
1987	14.6	16.6	16.3	16.7	16.5	15.4	15.1	17.3	18.2	17.9	16.7	17.1
1988	14.9	16.8	15.4	15.3	15.6	15.5	15.9	17.7	18.3	18.3	18.7	16.4
1989	15.1	14.8	15.1	15.5	15.3	14.9	14.6	14.9	16.6	18.1	17.0	17.4
1990	16.0	16.1	16.5	16.5	17.3	14.6	16.0	16.8	17.3	17.0	16.5	16.6
1991	16.3	16.1	16.1	15.7	17.5	15.6	15.3	16.7	17.1	18.7	18.1	18.1
1992		17.1	17.1	17.9	18.5	16.1	15.3	14.4	17.5	16.8	16.8	15.3
1993	13.8	16.0	14.9	15.6	15.9	15.1	15.5	15.5	16.6	16.6	16.1	15.9
1994	14.9	14.9	15.0	14.7	15.4	14.3	14.7	16.0	16.6	16.7	16.1	15.6
1995	15.5	16.0	14.4	15.6	15.8	14.8	14.7	16.4	16.0	17.3	15.4	13.1
1996	13.0	15.0	16.2	16.2	16.1	15.4	15.6	16.2	17.4	18.5	16.6	16.0
1997	15.1	14.7	14.6	15.0	15.5	15.6	16.2	15.3	17.3	18.5	17.5	18.6
1998	18.1	18.4	18.5	18.3	17.8	15.6	16.6	17.8	18.5	17.5	17.3	17.1
1999	16.7	15.0	14.9	15.2	15.6	15.4	15.2	16.6	16.7	16.7	18.0	16.7
2000	14.9	14.7	14.8	16.7	17.2	15.6	14.8	16.6	18.0	16.0	18.8	15.3

1985								-2.88	1.38	2.19	1.83	-1.14	1.83
1986	4.03	4.13	3.83		-2.16	-2.91		-0.90	1.44		2.44	3.64	
1987	5.17	4.24	3.61	2.39	0.09	-1.82	-2.65	-0.17	1.02	3.02	4.75	4.34	
1988	4.69	4.13	5.01	3.62	0.46	-3.53	-3.72	-2.47	0.79	2.15	2.51	2.88	
1989	3.10	3.26	2.62	1.45	-1.74	-2.87	-4.59	-2.62	0.50	0.49	0.69	1.46	
1990	3.15	1.76	1.07	0.97	-1.47	-2.66	-3.72	-3.83	-1.65	1.08	2.00	1.10	
1991	1.68	1.62	2.81	1.52	-1.78	-4.95	-4.33	-3.82	-0.93	1.18	1.53	2.23	
1992		2.76	2.23	0.69	-1.94	-2.41	-3.22	-0.89	0.36	2.25	2.93	4.00	
1993	3.72	3.74	3.59	2.59	0.18	-3.89	-2.07	-1.71	1.61	2.83	3.65	4.72	
1994	4.30	4.58	3.39	3.28	-0.38	-3.47	-3.17	-2.85	1.42	1.90	4.28	4.90	
1995	4.77	4.17	4.83	2.43	-2.10	-3.17	-2.61	-2.48	0.63	2.43	3.33	3.43	
1996	4.58	4.29	3.78	2.70	0.75	-2.84	-3.15	-0.17	0.84	2.51	3.43	4.24	
1997	4.45	4.17	3.74	1.09	-0.69	-3.63	-2.18	0.33	1.89	2.98	3.59	4.85	
1998	5.45	5.74	4.99	3.35	-1.12	-0.62	-2.02	0.24	0.43	2.94	3.32	3.78	
1999	4.32	4.42	4.41	2.96	1.00	-2.58	-1.94	-0.87	1.25	2.52	2.52	3.64	
2000	4.41	4.17	3.40	1.65	-0.19	-1.66	-2.25	-0.23	0.82	2.19	2.43	3.11	
2001	4.40	4.26	3.79	1.85	-0.34	-3.76	-5.74	-5.75	0.47	2.81	3.62	4.05	
2002	3.74	4.65	4.04	3.10	0.84	-0.37	-4.50	-3.44	0.69	3.22	3.41	4.59	
2003	5.14	5.25	4.89	2.79	1.22	-4.42	-4.65	-3.30	0.13	1.16	2.47	4.19	
2004	4.46	4.48	3.85	2.69	-3.61	-5.23	-5.05	-3.81	-0.05	2.73	3.23	2.88	
2005	3.89	3.84	3.08	0.89	-4.99	-7.04	-5.35	-5.07	-1.45	2.01	2.92	3.64	
2006	2.95	3.66	2.46	-0.19	-6.03	-5.85	-7.19	-2.24	0.34	1.75	3.69	4.15	
2007	4.63	4.09	3.68	1.45	-2.50	-5.79	-6.15	-3.42	0.75	1.45	1.73	2.36	
2008	3.59	1.17	0.23	-1.85	-6.11	-4.72	-6.68	-2.32	-1.38	3.76	3.48	4.04	
2009	4.45	4.98	3.88	1.23	-2.83	-6.87	-4.78	-5.73	1.53	2.26	4.98	4.90	
2010	4.86	5.26	4.91	2.80	-0.74	-3.77	-5.63	-4.38	-0.40	2.46	3.12	4.78	
2011	4.75	5.18	4.81	3.24	-3.61	-6.02	-5.33	-4.39	0.61	1.15	3.94	4.50	
2012	4.60	4.52	4.10	3.61	-4.41	-5.07	-6.26	-5.69	-1.63	3.72	4.80	5.46	
2013	4.75	5.30	4.99	-0.45	-1.07	-4.41	-5.20	-4.02	-2.59	3.05	3.54	4.80	
2014	4.85	4.13	3.62	2.75	-3.03	-4.51	-4.89	-3.25	1.95	2.30	3.67	4.77	
2015	4.18	4.87	4.50	4.29	1.67	-0.33	-1.41	-0.14	2.70	2.91	4.65	4.29	
2016	5.07	5.74	4.91	3.46	0.40	-1.61	-1.00	-0.10	1.07	3.50	2.64	4.31	
2017	4.54	4.64	4.55	4.15	2.85	-0.43	-1.13	-0.07	2.83	2.37	3.89	4.51	
2018	4.41	5.00	5.03	1.99									

Datos obtenidos del ANA

A.2.3 Temperatura en estación Azángaro

A.2.3.1 *Temperatura máxima*

Año/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1963			15.4	15.3	15.9	15.8	15.2	17.2	15.7	16.8	17.9	16.4
1964	16.9	16.1	15.6	16.1	14.8	15.5	14.9	16.8	16.6	17.1	15.7	15.1
1965	14.5	15.3	15.0	15.8	16.2	15.0	15.0	16.5	16.8	19.4	18.2	16.1
1966	17.3	16.1	16.1	16.9	14.6	15.5	16.1	17.0	17.8	17.5	17.4	16.5
1967	17.6	15.3	14.6	16.3	15.7	15.8	14.3	14.9	16.2	16.3	18.5	14.8
1968	14.6	14.4	14.3	15.3	14.8	15.3	13.9	15.5	16.5	17.6	15.5	
1969		15.6	16.5	17.5	17.2	16.0	15.1	16.1	16.9	18.5	18.4	17.0
1970	15.3	15.6	15.3	15.0	15.7	15.6	15.2	16.7	16.4	17.8	18.4	15.4
1971	15.2	13.6	15.5	15.5	15.1	15.1	14.8	16.2	17.8	16.8	17.0	15.4
1972	13.9	14.0	14.9	16.3	15.7	15.0	16.2	15.5	16.6	18.0	18.2	16.7
1973	15.5	16.3	15.9	16.4	15.7	15.0	14.6	16.0	15.3	17.1	17.1	16.1
1974	13.8	14.1	14.8	14.6	15.4	14.8	15.1	13.5	16.4	17.3	18.0	16.5
1975	14.3	14.1	14.7	16.1	15.0	14.5	14.5	16.4	17.0	16.0	17.3	14.6
1976	13.6	14.4	15.7	16.0	14.9	14.4	15.3	15.2	14.5	17.8	17.9	17.0
1977	17.2	15.6	15.3	16.6	15.3	15.3	16.5	17.3	16.6	17.5	16.2	16.2
1978	14.8	16.0	15.5	15.8	15.7	15.8	15.2	16.4	16.5	17.2	15.7	15.8
1979	14.8	16.3	15.9	16.2	15.8	16.1	16.0	15.7	15.9	16.6	16.4	16.2
1980	16.5	16.4	15.5	16.4	15.5	17.1	16.7	16.4	16.0	16.5	17.8	16.7
1981	14.8	14.2	14.3	15.0	16.4	15.1	15.5	14.1	14.2	16.4	16.6	16.1
1982	15.7	14.8	12.0	11.3	12.9	13.6	17.8	14.7				
1984									15.3	17.1	15.9	16.5
1985		15.3	15.3	14.5			13.7	14.4	15.7	15.0	14.5	14.6
1986	15.3	14.8				16.0	15.2	15.7	16.1	16.0		
1987		16.9	16.6	16.8	16.4	15.7	15.6					
1989									19.0	18.1	17.3	16.7
1990	15.2	15.4										
1992			18.2	17.5	17.4	15.8	15.8	14.3				
1993	14.6	15.6	15.1	16.1	16.3	15.8	16.1	15.9	16.9	17.1	16.5	16.7
1994	15.8	15.6	15.5		15.5	14.9	15.8	17.0	17.1	17.9	17.5	16.6
1995	16.6	16.4	15.2	16.7	17.3	15.8	16.6	18.1	18.1	19.0	18.3	16.1
1996	16.4	15.6	16.6	16.5	16.2	15.7	15.6	16.6	17.8	18.7	16.8	16.5
1997	15.1	14.6	14.8	15.2	15.8	15.8	16.5	15.8	17.8	18.5	17.4	18.8
1998	18.2	18.7	18.8	18.5	18.0	16.5	17.0	18.2	19.2	18.1	17.8	18.0
1999	16.6	15.1	15.1	15.8	15.9	15.8	15.7	16.9	17.0	16.4	18.1	18.3
2000	15.6	15.0	15.6	17.2	17.7	15.9	15.6	17.4	18.9	16.7	19.4	15.9
2001	14.1	14.9	14.7	15.8	15.4	15.2	15.0	15.7	17.8	17.8	18.9	17.3
2002	15.8	15.0	15.7	15.6	16.1	15.7	13.8	16.3	17.3	16.6	17.3	17.0

2003	15.9	16.5	15.7	16.4	16.2	15.8	16.2	16.5	17.7	19.3	19.3	19.0
2004	15.3	16.3	17.1	17.0	16.6	15.1	15.6	16.3	17.7	19.7	19.8	19.2
2005	17.9	17.0	17.5	17.6	17.5	16.6	17.1	17.5	18.2	18.0	18.5	18.5
2006	15.5	17.3	17.1	16.9	16.8	16.3	16.6	17.7	18.5	18.9	18.3	18.4
2007	17.7	17.3	16.0	16.8	16.4	16.9	16.0	18.5	17.2	18.9	18.4	17.8
2008	15.7	17.2	16.2	17.5	16.5	16.9	16.6	18.1	19.1	18.5	20.0	16.5
2009	16.4	16.1	16.7	16.8	17.0	16.6	16.4	18.2	19.3	20.4	19.4	17.7
2010	17.1	17.4	17.8	18.1	17.9	18.4	17.8	19.1	20.1	19.7	20.7	18.0
2011	17.7	15.3	16.0	17.0	17.2	16.8	16.2	18.1	17.4	18.0	19.6	16.8
2012	15.5	14.6	15.7	15.5	16.3	16.0	16.3	17.5	18.1	19.1	18.9	16.3
2013	15.9	15.6	16.6	17.0	17.1	15.5	16.5	16.8	18.7	18.4	18.9	16.3
2014	15.8	16.4	17.2	17.0	17.0	17.7	16.2	16.6	17.1	17.6	18.9	17.4
2015	14.9	15.9	16.1	15.3	16.2	17.1	16.6	17.4	18.9	18.4	19.4	17.7
2016	17.9	17.2	18.9	17.2	17.4	16.9		17.8	18.4	17.6		18.4
2017	16.7	17.6	16.0	16.7	16.4	16.8	17.2	18.2	17.4	18.5	19.6	18.1
2018	16.3	15.9	16.0	16.8								

Datos obtenidos del ANA

A.2.3.2 *Temperatura mínima*

Año/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1963			4.3	2.9	0.4	-5.4	-6.2	-3.5	2.4	3.2	3.0	4.7
1964	4.4	5.0	4.2	3.0	-0.4	-5.4	-6.1	-2.4	-0.6	1.6	1.6	3.4
1965	3.8	4.4	3.7	2.4	-1.7	-5.7	-4.5	-3.1	0.8	2.1	3.9	5.0
1966	4.6	5.1	3.5	-0.1	-0.7	-4.7	-5.4	-2.2	-0.5	3.8	3.9	4.6
1967	3.8	4.1	4.4	1.2	-0.2	-3.6	-3.4	-1.2	1.9	2.9	2.5	3.8
1968	4.2	5.0	3.7	1.8	-2.2	-4.9	-4.7	-1.3	0.2	3.0	3.8	
1969		5.0	3.8	2.5	-1.5	-5.1	-4.2	-4.9	0.2	2.1	3.4	4.0
1970	5.1	5.1	3.9	3.2	-0.3	-2.4	-4.0	-2.5	1.0	1.5	2.6	4.8
1971	5.2	5.7	5.1	3.8	-2.2	-3.5	-5.9	-3.0	-1.1	0.8	1.9	4.0
1972	4.3	4.1	4.1	2.7	-2.1	-5.5	-4.6	-2.0	0.8	2.7	4.3	4.8
1973	6.0	5.7	5.1	3.9	0.3	-4.2	-3.9	-1.5	2.0	3.8	3.8	3.5
1974	4.6	5.1	3.9	2.8	-1.3	-3.5	-4.2	-1.6	0.2	2.8	2.0	4.4
1975	3.7	5.0	3.9	2.5	0.1	-2.5	-6.5	-4.0	0.7	2.2	3.0	4.5
1976	4.4	3.9	3.9	0.9	-1.9	-4.3	-5.3	-3.3	1.1	0.4	2.2	4.0
1977	4.5	4.2	4.5	1.3	-2.1	-5.1	-4.4	-4.7	0.8	0.8	4.6	4.1
1978	5.6	5.2	3.8	3.2	-2.1	-3.9	-5.1	-3.9	-0.8	1.5	3.4	4.1
1979	4.4	4.7	3.4	2.3	-2.1	-3.4	-2.4	-2.9	-1.2	2.5	2.4	4.0
1980	4.1	4.5	4.1	1.3	-3.1	-5.1	-3.7	-2.1	-0.8	3.7	0.9	3.1
1981	5.5	5.3	4.3	2.3	-0.4	-5.2	-4.7	-2.2	-0.8	2.9	4.8	4.8
1982	5.4	3.6	1.9	-2.1	-6.1	-5.4	-2.9	-3.9				

1984									-0.5	6.3	6.5	5.9	
1985		4.3	4.4	3.7				-6.0	-4.5	0.1	1.7	2.7	3.8
1986	4.1	3.7					-6.4	-4.5	-4.3	0.2	3.6		
1987		5.1	5.3	3.1	-1.9	-2.3	-5.2						
1989										0.7	1.5		
1990	5.2	4.8											
1992			3.0	0.5	-3.3	-3.8	-3.1	-2.9					
1993	4.0	3.6	4.1	2.9	-0.7	-5.5	-3.9	-3.6	0.7	2.8	3.9	5.3	
1994	5.0	5.1	3.8		-0.7	-5.4	-5.4	-4.6	0.6	1.6	4.4	5.0	
1995	5.0	4.2	5.0	2.1	-2.6	-5.0	-4.6	-3.5	0.0	1.9	3.3	4.0	
1996	4.7	5.0	4.2	2.9	-0.2	-5.2	-5.8	-1.7	-0.9	2.2	3.3	4.8	
1997	5.3	5.2	4.7	1.8	-1.4	-5.6	-4.5	-0.9	0.9	3.5	4.3	5.6	
1998	6.3	6.6	5.3	3.6	-2.8	-2.3	-4.3	-1.8	-1.0	2.8	3.3	4.0	
1999	5.5	5.6	5.5	3.5	-0.3	-4.4	-4.0	-2.2	0.8	3.0	2.3	4.0	
2000	5.2	5.1	4.3	1.4	-1.3	-3.5	-4.3	-1.1	-0.1	2.8	2.7	3.9	
2001	5.2	5.5	5.0	2.6	-0.2	-3.2	-3.6	-3.7	0.9	2.5	3.5	3.8	
2002	4.2	6.1	5.3	3.5	-0.1	-2.6	-3.3	-2.1	0.9	2.9	3.9	4.8	
2003	5.0	5.3	4.9	2.5	-1.2	-6.5	-5.7	-3.6	-0.8	0.3	2.0	3.8	
2004	5.1	4.8	3.7	2.0	-3.9	-5.2	-5.5	-2.4	1.1	2.8	3.9	4.0	
2005	4.8	5.3	4.2	2.5	-2.7	-6.2	-4.4	-4.1	0.2	3.6	3.6	4.2	
2006	4.8	5.2	4.6	2.4	-3.8	-3.7	-6.4	-1.4	-0.2	2.6	4.4	4.6	
2007	5.3	5.3	5.1	3.8	0.6	-3.5	-3.5	-2.6	2.4	2.0	2.2	3.6	
2008	5.1	3.5	2.7	0.6	-4.3	-5.4	-6.6	-3.6	-1.0	3.4	3.5	4.7	
2009	5.0	4.9	3.9	1.7	-1.3	-6.8	-4.6	-5.5	0.3	2.5	5.1	5.5	
2010	5.6	6.1	4.5	2.4	-0.5	-3.1	-5.4	-3.9	-0.6	2.4	2.4	4.3	
2011	4.4	5.2	4.4	1.8	-2.5	-4.5	-3.6	-2.4	1.4	2.4	3.7	4.1	
2012	4.8	4.2	3.3	2.4	-2.9	-4.5	-5.0	-4.7	-1.2	2.1	3.0	4.3	
2013	5.1	5.7	4.8	1.0	0.4	-2.8	-3.4	-3.1	-2.0	2.9	2.9	4.8	
2014	4.4	4.1	3.4	2.5	-2.2	-4.5	-3.2	-1.1	2.6	2.3	2.6	4.4	
2015	4.5	4.0	3.6	2.9	-0.9	-4.0	-4.7	-2.8	1.5	1.5	3.7	3.2	
2016	3.8	4.7	2.5	3.1	-1.7	-4.4		-2.6	-0.9	3.1		4.4	
2017	4.6	4.4	4.8	3.8	2.2	-2.3	-4.0	-2.8	2.6	1.9	3.5	4.9	
2018	5.1	5.6	5.2	1.7									

Datos obtenidos del ANA

A.2.4 Temperatura en estación Pucara

A.2.4.1 *Temperatura máxima*

Año/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1993										14.6		
1994	15.6	14.8	15.0	14.5	15.5	14.9	15.8	16.8		17.5	17.0	16.5
1995	16.6	16.5	15.4	17.1	17.4	16.1	17.2	18.5	17.9	19.4	18.3	16.8
1996	15.6	15.8	16.4	16.3	16.6	15.7	15.7	16.9	17.4	18.3	17.5	17.2
1997	15.3	14.5	14.7	15.1	15.9	16.3	16.7	15.9	18.2	18.8	17.7	18.9
1998	18.2	18.7	18.3	18.6	18.3	16.7	17.3	18.6	19.4	18.8	18.3	18.6
1999	17.4	15.0	14.8	15.5	16.0	15.8	15.7	16.9	17.4	16.8	18.5	18.5
2000	15.6	14.6	15.3	16.9	17.5	15.8	15.4					
2002		14.9	15.3	15.5	15.9	15.9	14.0	16.7	17.3	16.9	17.7	16.8
2003	16.1	16.3	15.4	16.3	16.4	15.6	16.4	16.2	17.1	18.8	19.2	18.5
2004	16.1	17.7	18.8	19.0	18.1	16.2	16.6	16.7	18.4	20.4	19.8	18.5
2005	17.4	16.1	17.6	17.8	17.5	16.4	16.5	17.1	17.8	17.8	17.9	17.4
2006	15.0	17.2	17.1	16.5	16.6	15.9	16.0	17.4	18.2	18.6	17.8	18.1
2007	17.7	17.3	15.7	16.4	16.5	16.8	15.7	18.2	17.3	18.6	18.3	17.6
2008	15.2	16.6	16.2	17.9	16.6	16.5	16.2	17.7	19.0	18.3	19.8	16.3
2009	16.4	16.2	16.3	16.8	16.7	16.2	15.9	17.5	18.9	19.6	18.9	18.0
2010	16.6	17.2	17.8	18.3	17.5	18.0	17.4	18.4	19.6	19.6	20.1	17.6
2011	17.4	15.0	15.7	16.8	16.8	16.2	15.8	17.6	17.5	18.4	19.7	17.0
2012	15.6	14.6	15.6	15.7	16.4	16.0	16.2	17.5	18.3	19.9	19.7	16.9
2013	16.0	15.7	16.8	17.1	16.8	15.4	16.0	16.9	18.6	18.6	19.9	16.5
2014	16.0	16.7	17.5	17.5	17.2	18.0	16.2	16.5	17.2	18.2	19.5	18.2
2015	15.5	16.2	16.9	15.8	16.5	17.3	16.6	17.2	18.9	19.2	19.8	18.3
2016	18.6	17.8										19.0
2017	17.1	18.4	16.3	17.0	16.4	16.8	17.4	18.5	17.8	19.0	19.6	17.8
2018	16.6	16.4	16.0	17.0								

Datos obtenidos del ANA

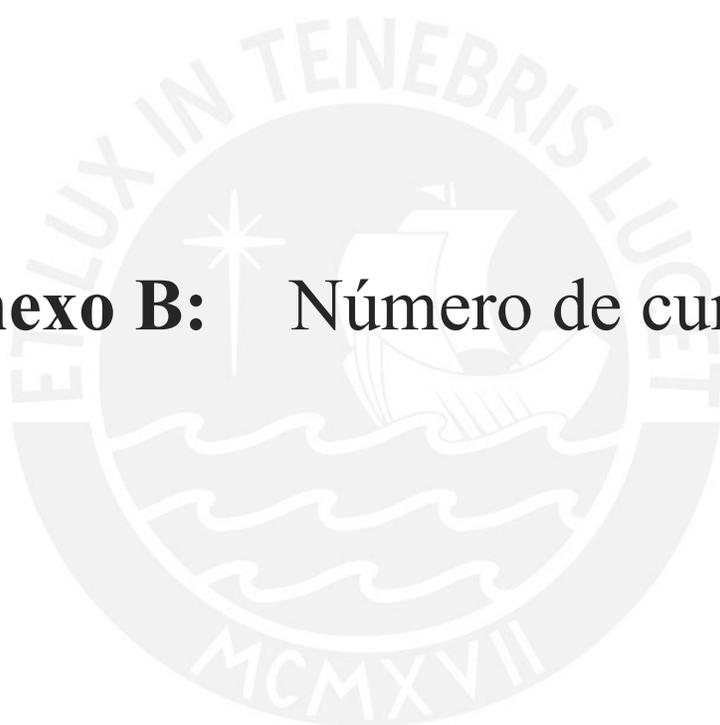
A.2.4.2 *Temperatura mínima*

Año/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1993										2.7		
1994	4.9	4.9	2.0	1.6	-3.1	-8.6	-8.2	-7.1		-0.7	2.4	3.3
1995	3.8	2.5	3.8	-1.6	-6.8	-9.2	-9.0	-7.5	-2.8	-1.4	1.9	1.9
1996	3.6	3.7	2.2	-0.4	-4.6	-9.7	-9.9	-5.2	-4.7	-0.8	0.9	2.8
1997	4.2	3.8	3.3	-1.1	-5.1	-	-9.3	-4.4	-2.0	0.1	2.5	3.2

1998	5.5	5.4	3.9	0.4	-7.8	-6.3	-8.9	-5.6	-4.3	0.3	0.7	1.5
1999	3.4	4.0	3.8	1.4	-4.2	-9.3	-7.9	-6.0	-3.0	0.7	-1.2	2.4
2000	4.5	4.2	2.8	-1.6	-4.9	-8.0	-9.1					
2002		5.8	4.2	2.3	-2.6	-6.0	-7.4	-5.4	-3.0	-0.8	-1.1	-0.3
2003	0.4	0.7	0.4	-1.1	-4.2	-10.0	-9.1	-8.3	-4.0	-3.0	-1.0	0.6
2004	3.7	5.7	6.0	4.4	-3.5	-5.1	-4.7	-1.7	1.4	3.3	3.3	4.3
2005	4.7	5.1	3.8	2.2	-4.5	-8.9	-6.3	-6.5	-1.3	2.9	2.9	4.1
2006	4.5	4.4	4.4	2.0	-5.6	-5.5	-8.4	-2.8	-1.6	1.7	3.8	4.1
2007	4.8	5.1	4.6	3.3	-0.8	-5.4	-4.7	-4.4	2.0	1.0	1.2	3.3
2008	5.3	3.5	2.5	-0.7	-5.8	-6.5	-8.0	-5.9	-2.7	2.5	2.9	4.4
2009	4.4	4.4	3.1	0.5	-3.3	-8.6	-5.8	-7.2	0.2	0.6	4.6	4.8
2010	5.6	5.8	4.3	1.2	-2.3	-4.8	-7.9	-5.6	-2.2	1.9	1.1	4.3
2011	4.3	5.4	4.6	1.2	-2.7	-6.3	-5.6	-4.3	0.3	1.3	2.4	3.9
2012	4.8	4.5	3.3	2.9	-3.9	-5.8	-7.1	-6.3	-1.5	1.6	2.9	5.8
2013	5.3	5.3	4.2	0.2	-1.6	-4.5	-4.5	-4.3	-3.2	1.4	2.4	4.5
2014	4.5	4.0	2.8	2.1	-3.0	-5.9	-5.4	-3.1	1.9	1.5	1.9	3.9
2015	4.4	4.2	4.2	3.4	-0.9	-5.0	-6.8	-4.7	-0.4	0.8	3.6	4.0
2016	4.1	6.3										3.8
2017	4.7	4.1	4.6	2.6	0.4	-4.5	-5.9	-5.1	1.5	0.2	2.8	4.0
2018	4.8	5.3	4.5	-0.4								

Datos obtenidos del ANA

Anexo B: Número de curva.



TIPO DE VEGETACIÓN	TRATAMIENTO	CONDICIÓN	TIPO DE SUELO			
		HIDROLÓGICA	A	B	C	D
Barbecho	Desnudo	-	77	86	91	94
	CR	Pobre	76	85	90	93
	CR	Buena	74	83	88	90
	R	Pobre	72	81	88	91
	R	Buena	67	78	85	89
	R + CR	Pobre	71	80	87	90
	R + CR	Buena	64	75	82	85
	C	Pobre	70	79	84	88
	C	Buena	65	75	82	86
	C + CR	Pobre	69	78	83	87
Cultivos alineados	C + CR	Buena	64	74	81	85
	C + T	Pobre	66	74	80	82
	C + T	Buena	62	71	78	81
	C + T + CR	Pobre	65	73	79	81
	C + T + CR	Buena	61	70	77	80
	R	Pobre	65	76	84	88
	R	Buena	63	75	83	87
	R + CR	Pobre	64	75	83	86
	R + CR	Buena	60	72	80	84
	C	Pobre	63	74	82	85
Cultivos no alineados, o con surcos pequeños o mal definidos	C	Buena	61	73	81	84
	C + CR	Pobre	62	73	81	84
	C + CR	Buena	60	72	80	83
	C + T	Pobre	61	72	79	82
	C + T	Buena	59	70	78	81
	C + T + CR	Pobre	60	71	78	81
	C + T + CR	Buena	58	69	77	80
	R	Pobre	66	77	85	89
	R	Buena	58	72	81	85
	C	Pobre	64	75	83	85
Cultivos densos de leguminosas o prados en alternancia	C	Buena	55	69	78	83
	C + T	Pobre	63	73	80	83
	C + T	Buena	51	67	76	80
	-	Pobres	68	79	86	89
Pastizales o pastos naturales	-	Regulares	49	69	79	84
	-	Buenas	39	61	74	80
	C	Pobres	47	67	81	88
	C	Regulares	25	59	75	83
Pastizales	C	Buenas	6	35	70	79
	-	-	30	58	71	78
Prados permanentes	-	Pobres	48	67	77	83
	-	Regulares	35	56	70	77
Matorral-herbazal, siendo el matorral preponderante	-	Buenas	≤ 30	48	65	73
	-	Pobres	57	73	82	86
Combinación de arbolado y herbazal, cultivos agrícolas leñosos	-	Regulares	43	65	76	82
	-	Buenas	32	58	72	79
	-	Pobres	45	66	77	83
Montes con pastos (aprovechamientos silvopastorales)	-	Regulares	36	60	73	79
	-	Buenas	25	55	70	77
	-	I Muy pobre	56	75	86	91
	-	II Pobre	46	68	78	84
Bosques	-	III Regular	36	60	70	76
	-	IV Buena	26	52	63	69

	-	V Muy buena	15	44	54	61
Caseríos	-	-	59	74	82	86
Caminos en tierra	-	-	72	82	87	89
Caminos en firme	-	-	74	84	90	92

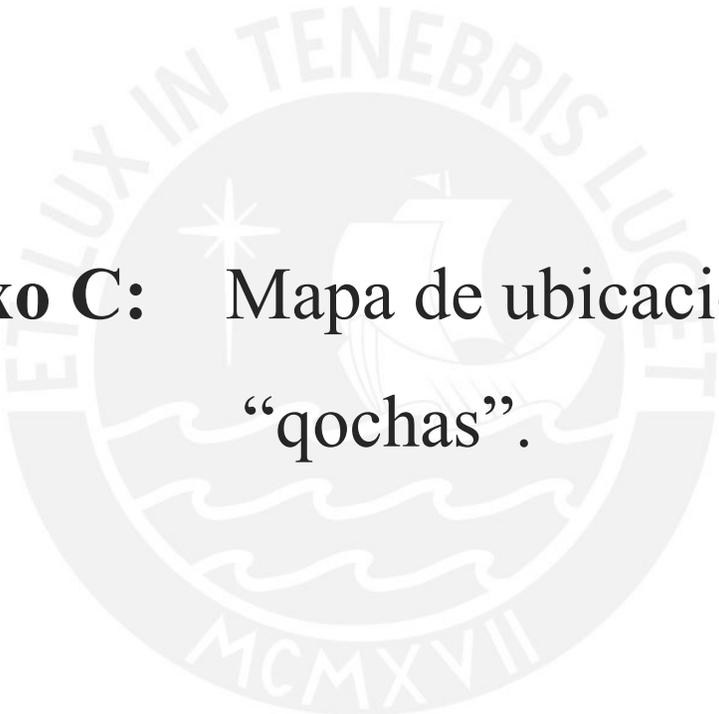
Datos obtenidos de A. Martínez de Azagra, J. Mongil & J. del Río (2003)

Donde:

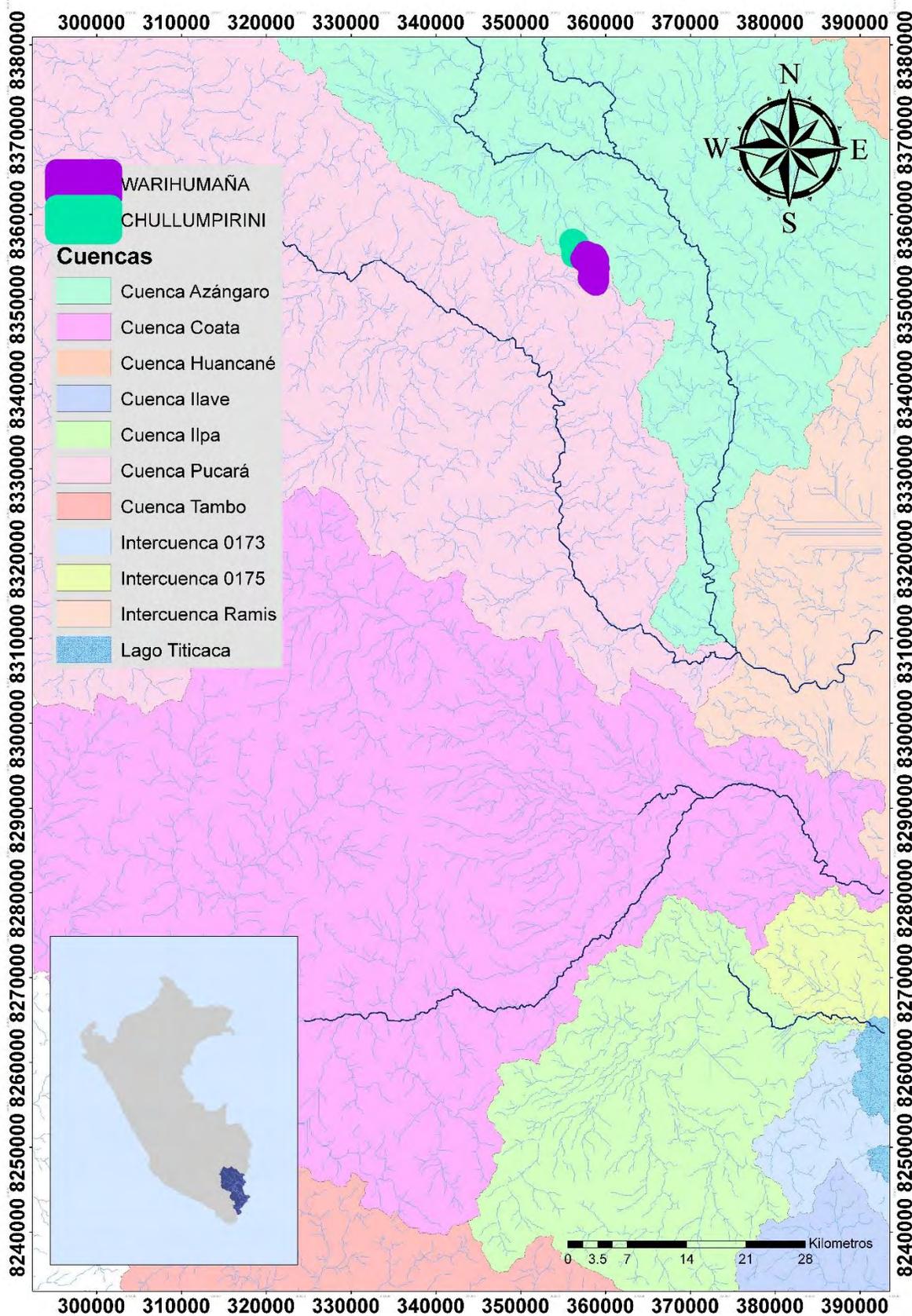
CR = Cubierta de residuos; R = Labores en línea recta; C = Labores en curvas de nivel;

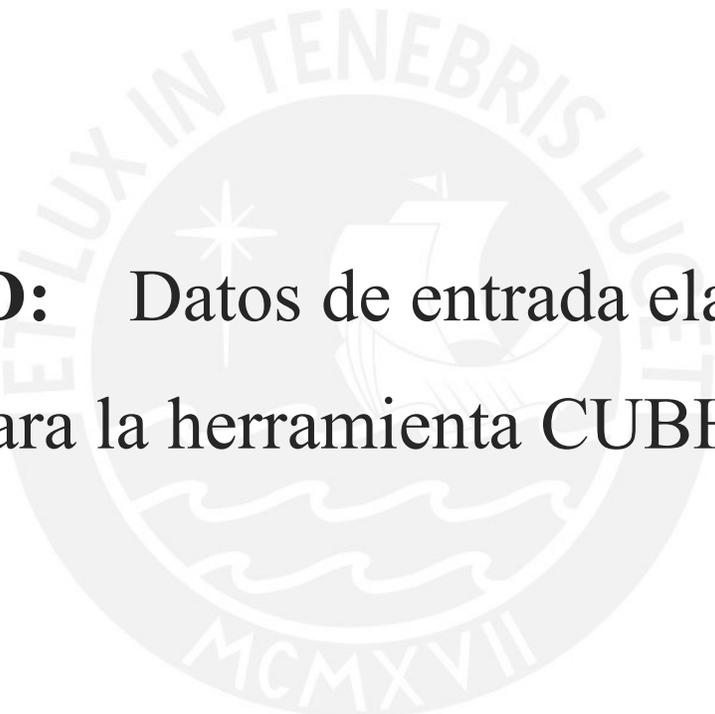
T = Terrazas





Anexo C: Mapa de ubicación de
“qochas”.





Anexo D: Datos de entrada elaborados
para la herramienta CUBHIC

D.1. Microcuenca Warihumaña

D.1.1 Datos de entrada en Escenarios

Entradas	Línea base	Escenario 1	Escenario 2
Número de curva (sin unidades)	86	86	86
Índice de área foliar LAI (m ² /m ²)	1.5	1.5	1.5
Albedo (fracción)	0.18	0.18	0.18
Región o área de contribución (ha)	369.3	326.82	326.82
Área de la Qocha (m ²)	0	424780.61	424780.61
Máxima altura de la Qocha (m)	0	1.7	2.4

D.1.2 Datos de entradas en Coeficientes

Datos de entrada del sitio			
Altitud (m)	4088		
Latitud (grados)	-14		
Datos del suelo		Rango	
Capacidad de campo (mm/mm)	0.36	0 - 1	
Punto de marchitez (mm/mm)	0.22	0 - 1	
Qochas			
Ksat (mm/día)	31.2	0.305 - 305	
Altura inicial (m)	0		
Coeficientes del modelo		Rango	Default
Altura de suelo (mm)	300	75 - 1000	150
Coeficiente C (sin unidades)	0.47	0.1-0.8	0.3

D.1.3 Datos de entradas de Clima

Día	T. máx (C)	T. mín (C)	Precipitación (mm)	Día	T. máx (C)	T. mín (C)	Precipitación (mm)	Día	T. máx (C)	T. mín (C)	Precipitación (mm)
1	15.14	4.21	4.70	123	16.46	0.46	0.75	245	16.96	-0.53	0.31
2	15.41	4.17	4.77	124	16.30	-0.90	0.50	246	17.11	-0.81	0.69
3	15.59	4.42	4.55	125	16.36	-0.69	0.14	247	16.81	-1.05	0.33
4	15.38	4.25	5.83	126	16.25	-0.98	0.40	248	16.85	-0.85	0.73
5	15.67	4.32	4.47	127	16.14	-1.16	0.34	249	17.23	-0.38	0.51
6	16.18	4.23	5.15	128	16.28	-0.95	0.32	250	17.46	-0.72	0.26
7	15.95	3.90	4.93	129	16.44	-0.79	0.57	251	17.04	-1.19	0.38

8	16.17	4.29	2.65	130	16.49	-1.41	0.44	252	16.94	-0.45	0.67
9	15.70	4.51	4.44	131	16.61	-1.13	0.26	253	17.15	-0.29	0.87
10	15.33	4.59	4.43	132	16.61	-1.04	0.09	254	17.14	0.04	0.82
11	15.45	4.54	6.54	133	16.39	-1.13	0.48	255	17.66	0.54	0.63
12	15.65	4.47	4.55	134	16.14	-1.22	0.22	256	17.17	1.09	0.14
13	15.43	4.01	3.69	135	16.04	-1.65	0.27	257	17.09	0.71	0.25
14	15.45	4.15	3.28	136	16.14	-1.66	0.04	258	17.30	1.23	0.58
15	15.23	4.23	4.30	137	15.88	-1.90	0.20	259	17.25	0.60	0.54
16	14.78	4.41	5.85	138	15.92	-1.55	0.23	260	17.21	0.59	0.54
17	14.91	4.07	5.95	139	16.46	-1.56	0.04	261	17.51	0.70	0.66
18	15.47	4.24	4.39	140	16.12	-2.57	0.14	262	17.38	0.71	0.90
19	15.23	4.60	5.93	141	16.28	-2.00	0.11	263	17.06	1.60	0.64
20	15.08	4.06	4.51	142	16.41	-1.89	0.24	264	17.44	0.81	0.65
21	15.02	4.37	5.22	143	16.38	-1.82	0.04	265	17.50	1.30	0.44
22	14.94	4.38	5.99	144	16.67	-1.51	0.09	266	17.64	1.28	0.50
23	14.86	4.62	4.02	145	16.24	-2.55	0.11	267	17.60	1.53	0.70
24	15.20	4.84	4.10	146	16.33	-2.53	0.04	268	17.35	1.29	0.67
25	14.75	4.55	4.32	147	16.56	-2.77	0.18	269	17.36	1.46	0.95
26	15.49	4.47	6.11	148	16.46	-2.59	0.14	270	16.88	0.90	1.26
27	15.15	4.64	6.28	149	16.12	-2.76	0.02	271	17.29	1.57	0.88
28	15.66	4.62	4.18	150	16.36	-3.18	0.11	272	16.86	2.00	1.42
29	15.23	4.08	5.42	151	16.14	-3.21	0.27	273	17.47	1.65	0.82
30	14.90	4.06	4.65	152	15.91	-3.22	0.62	274	17.60	1.16	0.29
31	15.61	4.23	3.44	153	16.24	-2.71	0.27	275	17.49	0.90	0.86
32	15.43	4.47	2.47	154	16.14	-3.18	0.18	276	17.55	1.49	1.00
33	16.01	4.21	2.64	155	16.15	-3.23	0.16	277	17.99	1.78	0.85
34	15.99	4.46	2.72	156	16.26	-3.61	0.26	278	18.00	1.82	1.34
35	15.45	3.91	4.70	157	16.23	-3.34	0.05	279	17.71	2.73	1.19
36	15.91	3.98	4.15	158	16.22	-2.98	0.12	280	17.52	1.74	1.74
37	15.81	4.25	2.93	159	15.84	-3.14	0.43	281	17.21	1.88	2.69
38	16.12	4.27	4.61	160	15.77	-3.22	0.66	282	17.18	1.88	2.82
39	16.00	4.28	3.85	161	15.93	-3.05	0.65	283	17.44	2.59	2.40
40	16.08	4.57	4.03	162	15.76	-3.96	0.17	284	16.94	2.46	1.26
41	15.52	4.24	5.20	163	15.82	-3.25	0.14	285	17.53	2.01	1.94
42	15.59	3.95	5.92	164	15.73	-3.49	0.02	286	17.06	2.19	1.20
43	15.63	4.29	4.00	165	15.51	-3.99	0.00	287	17.42	2.13	1.07
44	16.24	4.52	4.39	166	15.70	-4.06	0.12	288	17.27	1.58	1.70
45	15.58	4.58	4.49	167	15.58	-3.94	0.02	289	17.93	2.43	1.34
46	14.78	4.23	4.87	168	15.45	-3.92	0.03	290	17.44	2.97	1.34
47	15.44	3.92	3.16	169	15.54	-2.86	0.01	291	17.90	2.47	0.96
48	14.89	4.35	4.13	170	15.54	-3.15	0.06	292	18.01	2.46	2.24
49	15.31	4.20	3.21	171	15.76	-4.36	0.22	293	17.81	3.23	1.56
50	15.24	4.03	4.91	172	15.85	-4.54	0.02	294	17.34	2.35	2.37
51	14.60	4.08	6.48	173	15.94	-4.17	0.02	295	17.68	2.41	2.16

52	15.72	4.22	5.13	174	15.67	-3.93	0.06	296	17.78	2.57	1.88
53	15.65	4.37	3.74	175	15.04	-3.87	0.23	297	17.55	2.74	1.66
54	15.90	4.17	3.08	176	15.54	-3.56	0.10	298	17.66	2.48	1.76
55	15.76	4.26	3.96	177	15.41	-3.38	0.06	299	17.49	2.52	2.19
56	16.01	4.13	3.77	178	15.46	-4.21	0.07	300	16.87	3.03	2.87
57	15.81	4.06	3.28	179	15.49	-4.14	0.00	301	17.61	3.19	1.59
58	15.67	4.15	3.93	180	15.47	-4.05	0.05	302	17.90	3.01	1.55
59	15.75	4.08	4.68	181	15.52	-4.17	0.04	303	17.48	2.83	2.79
60	15.97	4.14	3.36	182	15.33	-3.70	0.31	304	17.33	2.61	2.79
61	15.73	4.38	3.86	183	14.39	-4.08	0.44	305	17.33	3.39	1.28
62	15.64	4.36	2.66	184	14.39	-3.86	0.42	306	17.23	3.06	2.32
63	15.83	4.15	4.27	185	15.06	-3.91	0.24	307	17.44	3.13	2.63
64	16.07	3.45	4.48	186	15.31	-3.83	0.03	308	17.74	2.64	1.67
65	16.06	4.31	4.38	187	15.35	-4.37	0.02	309	17.52	3.10	1.70
66	15.71	3.89	4.11	188	15.04	-4.43	0.11	310	17.59	3.15	2.75
67	15.35	3.89	4.50	189	15.28	-4.24	0.00	311	17.63	2.84	1.99
68	15.97	3.74	3.78	190	15.56	-4.18	0.02	312	17.72	2.64	2.44
69	15.45	3.74	3.39	191	15.46	-3.85	0.23	313	17.32	2.89	3.02
70	16.08	3.98	3.67	192	14.95	-4.21	0.19	314	17.56	2.66	2.77
71	15.59	4.06	5.14	193	15.53	-4.16	0.14	315	17.76	2.76	1.94
72	15.90	3.78	3.91	194	15.79	-4.43	0.03	316	17.67	3.03	1.88
73	15.86	3.91	3.86	195	15.89	-4.17	0.08	317	17.37	2.96	1.99
74	15.56	3.49	3.15	196	15.35	-4.16	0.08	318	17.30	2.74	2.34
75	15.51	3.46	3.54	197	15.62	-4.41	0.10	319	17.51	3.23	2.16
76	15.79	3.41	2.38	198	15.44	-3.96	0.07	320	17.53	3.00	2.47
77	16.01	3.36	1.78	199	15.60	-4.37	0.00	321	17.37	2.50	3.41
78	15.68	3.49	3.75	200	14.99	-3.94	0.01	322	17.56	3.19	2.93
79	16.10	3.39	4.23	201	15.33	-3.86	0.05	323	17.76	2.54	2.84
80	15.85	3.61	3.20	202	16.03	-4.32	0.04	324	17.49	2.95	2.77
81	16.01	3.62	4.04	203	15.98	-4.17	0.01	325	17.21	3.13	3.74
82	15.69	3.57	2.27	204	16.24	-4.40	0.03	326	17.13	2.94	3.82
83	16.07	3.52	2.41	205	16.28	-3.81	0.01	327	17.27	3.08	3.90
84	15.99	3.62	2.32	206	15.93	-3.88	0.03	328	17.50	3.56	1.23
85	16.24	2.94	2.97	207	16.14	-3.55	0.03	329	17.44	3.57	1.60
86	15.88	2.91	3.08	208	15.88	-4.13	0.03	330	17.92	3.18	2.26
87	16.26	2.88	2.73	209	15.78	-3.41	0.03	331	17.91	3.53	2.30
88	16.12	3.29	3.92	210	16.04	-3.81	0.00	332	17.60	3.20	2.23
89	15.79	3.78	3.03	211	15.99	-3.29	0.00	333	17.80	3.28	1.80
90	15.96	3.94	3.31	212	16.51	-3.85	0.00	334	17.19	3.61	3.19
91	15.88	3.23	2.77	213	16.56	-3.14	0.00	335	17.39	4.01	1.67
92	15.89	3.84	2.41	214	16.47	-3.19	0.00	336	17.34	3.83	2.45
93	16.39	3.58	2.06	215	16.83	-2.86	0.00	337	17.24	3.37	3.23
94	16.41	3.21	3.04	216	16.81	-2.66	0.14	338	16.75	3.08	2.81
95	16.38	3.36	2.02	217	16.65	-2.90	0.03	339	16.89	3.38	1.88

96	16.48	3.14	2.79	218	16.94	-3.42	0.06	340	17.46	3.83	2.19
97	16.34	3.14	2.38	219	15.81	-2.75	0.43	341	17.28	3.41	3.24
98	16.78	2.76	1.52	220	16.07	-3.08	0.16	342	16.68	3.26	2.22
99	16.10	2.83	2.29	221	15.66	-2.89	0.19	343	16.35	3.94	3.22
100	16.29	2.18	1.54	222	16.24	-3.10	0.11	344	16.32	3.32	3.50
101	15.94	2.84	1.70	223	15.70	-2.85	0.17	345	16.57	3.83	3.47
102	16.64	2.28	1.28	224	15.90	-2.93	0.77	346	16.41	3.84	2.85
103	16.30	1.88	2.07	225	16.09	-2.87	0.55	347	16.46	3.40	3.85
104	16.33	1.91	1.19	226	16.50	-3.24	0.18	348	17.10	3.12	2.26
105	16.28	2.47	0.82	227	16.34	-3.45	0.28	349	17.03	3.48	2.99
106	15.90	2.61	1.77	228	16.61	-2.90	0.11	350	16.07	4.13	4.88
107	16.17	2.18	1.36	229	16.24	-2.51	0.03	351	16.54	3.70	3.26
108	16.16	1.98	1.05	230	16.03	-1.82	0.43	352	17.14	3.98	3.13
109	16.47	1.13	2.53	231	16.19	-1.84	0.50	353	16.67	3.75	3.50
110	16.38	1.12	0.89	232	15.93	-2.16	0.42	354	16.88	3.81	2.82
111	16.00	1.09	1.03	233	16.18	-1.69	1.33	355	16.42	4.29	3.39
112	15.47	1.78	1.19	234	16.70	-1.88	0.22	356	16.31	3.83	4.10
113	16.18	1.06	0.72	235	16.71	-2.06	0.05	357	16.85	3.78	6.29
114	16.39	1.65	1.04	236	16.57	-1.78	0.55	358	15.93	3.78	5.42
115	16.16	0.97	1.31	237	16.96	-1.60	0.47	359	15.24	4.09	3.88
116	16.79	0.86	0.89	238	16.71	-2.07	0.09	360	15.67	4.50	2.83
117	16.53	0.83	0.75	239	16.68	-1.69	0.09	361	16.31	3.84	4.53
118	16.72	0.14	0.99	240	16.63	-1.95	0.12	362	15.97	4.40	5.24
119	16.46	0.77	0.62	241	16.56	-1.33	0.34	363	15.53	3.90	5.31
120	16.54	1.15	1.12	242	16.99	-1.87	0.24	364	15.76	4.01	4.58
121	16.52	0.64	0.68	243	16.69	-1.03	0.29	365	15.58	4.25	4.00
122	16.48	0.76	0.91	244	16.92	-0.48	0.55				

D.1.4 Cálculos previos de constantes

ET			
Presión atmosférica	63.29743		
a	-13.4201		
b	-11.1649		
d	29.0898		
ET			
c	0.47		
Capacidad de campo (mm)	108		
Punto de marchitez (mm)	66		
Escenario	IT1	IT2	IT3
Veg			

LAIr	0.591661	0.591661	0.5916606
S	41.34884	41.34884	55.756098
Albedo	0.18	0.18	0.18
Qocha			
VS	0	13253.16	13253.155
Max Vol	0	240709	141593.54

D.2. Microcuenca Chullumpirini

D.2.1 Datos de entrada en Escenarios

Entradas	Línea base	Escenario 1	Escenario 2
Número de curva (sin unidades)	86	86	86
Índice de área foliar LAI (m²/m²)	1.5	1.5	1.5
Albedo (fracción)	0.18	0.18	0.18
Región o área de contribución (ha)	100.3	81.54	81.54
Área de la Qocha (m²)	0	187596.69	187596.69
Máxima altura de la Qocha (m)	0	1.2	1.9

D.2.2 Datos de entradas en Coeficientes

Datos de entrada del sitio			
Altitud (m)	4080		
Latitud (grados)	-14		
Datos del suelo		Rango	
Capacidad de campo (mm/mm)	0.36	0 - 1	
Punto de marchitez (mm/mm)	0.22	0 - 1	
Qochas			
Ksat (mm/día)	31.2	0.305 - 305	
Altura inicial (m)	0		
Coefficientes del modelo		Rango	Default
Altura de suelo (mm)	300	75 - 1000	150
Coefficiente C (sin unidades)	0.47	0.1-0.8	0.3

D.2.3 Datos de entrada de Clima

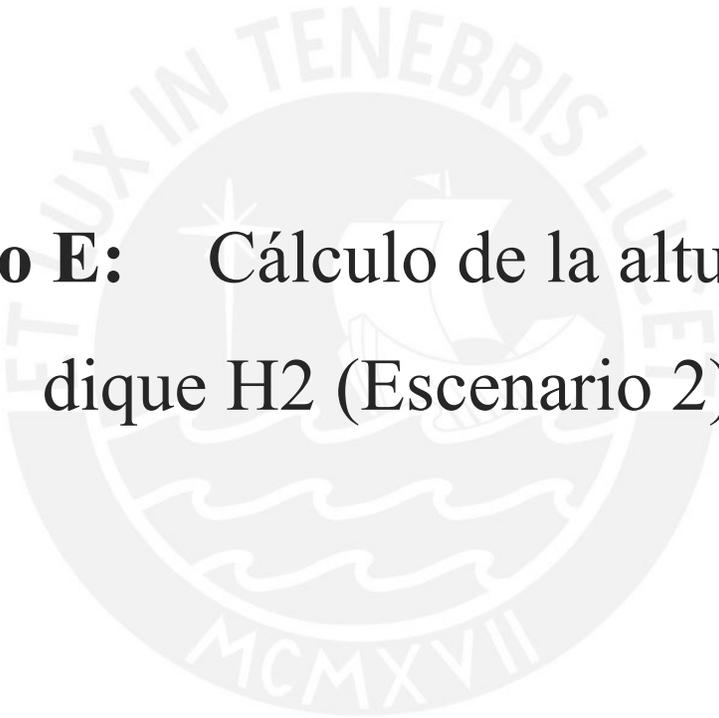
Día	T. máx (C)	T. mín (C)	Precipitación (mm)	Día	T. máx (C)	T. mín (C)	Precipitación (mm)	Día	T. máx (C)	T. mín (C)	Precipitación (mm)
1	15.14	4.21	4.75	123	16.46	0.46	0.73	245	16.96	-0.53	0.31
2	15.41	4.17	4.74	124	16.30	-0.90	0.51	246	17.11	-0.81	0.67
3	15.59	4.42	4.62	125	16.36	-0.69	0.14	247	16.81	-1.05	0.31
4	15.38	4.25	5.90	126	16.25	-0.98	0.40	248	16.85	-0.85	0.73
5	15.67	4.32	4.48	127	16.14	-1.16	0.34	249	17.23	-0.38	0.51
6	16.18	4.23	5.08	128	16.28	-0.95	0.32	250	17.46	-0.72	0.26
7	15.95	3.90	4.97	129	16.44	-0.79	0.57	251	17.04	-1.19	0.37
8	16.17	4.29	2.68	130	16.49	-1.41	0.44	252	16.94	-0.45	0.65
9	15.70	4.51	4.46	131	16.61	-1.13	0.25	253	17.15	-0.29	0.85
10	15.33	4.59	4.43	132	16.61	-1.04	0.09	254	17.14	0.04	0.83
11	15.45	4.54	6.52	133	16.39	-1.13	0.48	255	17.66	0.54	0.61
12	15.65	4.47	4.55	134	16.14	-1.22	0.22	256	17.17	1.09	0.14
13	15.43	4.01	3.72	135	16.04	-1.65	0.27	257	17.09	0.71	0.24
14	15.45	4.15	3.27	136	16.14	-1.66	0.04	258	17.30	1.23	0.57
15	15.23	4.23	4.28	137	15.88	-1.90	0.20	259	17.25	0.60	0.57
16	14.78	4.41	5.82	138	15.92	-1.55	0.23	260	17.21	0.59	0.55
17	14.91	4.07	5.95	139	16.46	-1.56	0.04	261	17.51	0.70	0.64
18	15.47	4.24	4.37	140	16.12	-2.57	0.14	262	17.38	0.71	0.90
19	15.23	4.60	5.85	141	16.28	-2.00	0.12	263	17.06	1.60	0.64
20	15.08	4.06	4.50	142	16.41	-1.89	0.24	264	17.44	0.81	0.66
21	15.02	4.37	5.19	143	16.38	-1.82	0.04	265	17.50	1.30	0.43
22	14.94	4.38	5.99	144	16.67	-1.51	0.08	266	17.64	1.28	0.50
23	14.86	4.62	4.07	145	16.24	-2.55	0.10	267	17.60	1.53	0.72
24	15.20	4.84	4.11	146	16.33	-2.53	0.04	268	17.35	1.29	0.65
25	14.75	4.55	4.33	147	16.56	-2.77	0.18	269	17.36	1.46	0.95
26	15.49	4.47	6.17	148	16.46	-2.59	0.14	270	16.88	0.90	1.26
27	15.15	4.64	6.24	149	16.12	-2.76	0.01	271	17.29	1.57	0.86
28	15.66	4.62	4.18	150	16.36	-3.18	0.11	272	16.86	2.00	1.41
29	15.23	4.08	5.39	151	16.14	-3.21	0.26	273	17.47	1.65	0.81
30	14.90	4.06	4.61	152	15.91	-3.22	0.59	274	17.60	1.16	0.28
31	15.61	4.23	3.48	153	16.24	-2.71	0.26	275	17.49	0.90	0.86
32	15.43	4.47	2.45	154	16.14	-3.18	0.18	276	17.55	1.49	0.98
33	16.01	4.21	2.66	155	16.15	-3.23	0.17	277	17.99	1.78	0.86
34	15.99	4.46	2.74	156	16.26	-3.61	0.27	278	18.00	1.82	1.32
35	15.45	3.91	4.68	157	16.23	-3.34	0.05	279	17.71	2.73	1.20
36	15.91	3.98	4.14	158	16.22	-2.98	0.12	280	17.52	1.74	1.72
37	15.81	4.25	2.95	159	15.84	-3.14	0.41	281	17.21	1.88	2.65
38	16.12	4.27	4.63	160	15.77	-3.22	0.64	282	17.18	1.88	2.76
39	16.00	4.28	3.87	161	15.93	-3.05	0.64	283	17.44	2.59	2.40
40	16.08	4.57	4.02	162	15.76	-3.96	0.17	284	16.94	2.46	1.28

41	15.52	4.24	5.19	163	15.82	-3.25	0.14	285	17.53	2.01	2.00
42	15.59	3.95	5.93	164	15.73	-3.49	0.02	286	17.06	2.19	1.19
43	15.63	4.29	4.06	165	15.51	-3.99	0.00	287	17.42	2.13	1.07
44	16.24	4.52	4.38	166	15.70	-4.06	0.11	288	17.27	1.58	1.72
45	15.58	4.58	4.49	167	15.58	-3.94	0.02	289	17.93	2.43	1.31
46	14.78	4.23	4.94	168	15.45	-3.92	0.03	290	17.44	2.97	1.38
47	15.44	3.92	3.19	169	15.54	-2.86	0.01	291	17.90	2.47	0.99
48	14.89	4.35	4.13	170	15.54	-3.15	0.06	292	18.01	2.46	2.30
49	15.31	4.20	3.23	171	15.76	-4.36	0.22	293	17.81	3.23	1.55
50	15.24	4.03	4.91	172	15.85	-4.54	0.01	294	17.34	2.35	2.31
51	14.60	4.08	6.50	173	15.94	-4.17	0.02	295	17.68	2.41	2.22
52	15.72	4.22	5.19	174	15.67	-3.93	0.07	296	17.78	2.57	1.92
53	15.65	4.37	3.74	175	15.04	-3.87	0.22	297	17.55	2.74	1.66
54	15.90	4.17	3.08	176	15.54	-3.56	0.10	298	17.66	2.48	1.75
55	15.76	4.26	3.95	177	15.41	-3.38	0.06	299	17.49	2.52	2.19
56	16.01	4.13	3.73	178	15.46	-4.21	0.07	300	16.87	3.03	2.92
57	15.81	4.06	3.28	179	15.49	-4.14	0.00	301	17.61	3.19	1.61
58	15.67	4.15	3.92	180	15.47	-4.05	0.06	302	17.90	3.01	1.57
59	15.75	4.08	4.66	181	15.52	-4.17	0.04	303	17.48	2.83	2.77
60	15.97	4.14	3.38	182	15.33	-3.70	0.31	304	17.33	2.61	2.84
61	15.73	4.38	3.88	183	14.39	-4.08	0.43	305	17.33	3.39	1.28
62	15.64	4.36	2.73	184	14.39	-3.86	0.42	306	17.23	3.06	2.31
63	15.83	4.15	4.30	185	15.06	-3.91	0.24	307	17.44	3.13	2.67
64	16.07	3.45	4.44	186	15.31	-3.83	0.04	308	17.74	2.64	1.66
65	16.06	4.31	4.37	187	15.35	-4.37	0.02	309	17.52	3.10	1.72
66	15.71	3.89	4.11	188	15.04	-4.43	0.11	310	17.59	3.15	2.78
67	15.35	3.89	4.48	189	15.28	-4.24	0.00	311	17.63	2.84	2.02
68	15.97	3.74	3.80	190	15.56	-4.18	0.02	312	17.72	2.64	2.43
69	15.45	3.74	3.40	191	15.46	-3.85	0.23	313	17.32	2.89	3.12
70	16.08	3.98	3.63	192	14.95	-4.21	0.18	314	17.56	2.66	2.81
71	15.59	4.06	5.12	193	15.53	-4.16	0.14	315	17.76	2.76	1.94
72	15.90	3.78	3.88	194	15.79	-4.43	0.03	316	17.67	3.03	1.82
73	15.86	3.91	3.83	195	15.89	-4.17	0.08	317	17.37	2.96	2.00
74	15.56	3.49	3.13	196	15.35	-4.16	0.08	318	17.30	2.74	2.38
75	15.51	3.46	3.54	197	15.62	-4.41	0.10	319	17.51	3.23	2.16
76	15.79	3.41	2.39	198	15.44	-3.96	0.07	320	17.53	3.00	2.44
77	16.01	3.36	1.77	199	15.60	-4.37	0.00	321	17.37	2.50	3.41
78	15.68	3.49	3.71	200	14.99	-3.94	0.01	322	17.56	3.19	2.95
79	16.10	3.39	4.29	201	15.33	-3.86	0.06	323	17.76	2.54	2.80
80	15.85	3.61	3.19	202	16.03	-4.32	0.04	324	17.49	2.95	2.74
81	16.01	3.62	4.02	203	15.98	-4.17	0.01	325	17.21	3.13	3.63
82	15.69	3.57	2.29	204	16.24	-4.40	0.03	326	17.13	2.94	3.85
83	16.07	3.52	2.46	205	16.28	-3.81	0.02	327	17.27	3.08	3.96
84	15.99	3.62	2.31	206	15.93	-3.88	0.03	328	17.50	3.56	1.22

85	16.24	2.94	2.95	207	16.14	-3.55	0.03	329	17.44	3.57	1.60
86	15.88	2.91	3.07	208	15.88	-4.13	0.03	330	17.92	3.18	2.23
87	16.26	2.88	2.70	209	15.78	-3.41	0.03	331	17.91	3.53	2.28
88	16.12	3.29	4.01	210	16.04	-3.81	0.00	332	17.60	3.20	2.21
89	15.79	3.78	3.05	211	15.99	-3.29	0.00	333	17.80	3.28	1.75
90	15.96	3.94	3.30	212	16.51	-3.85	0.00	334	17.19	3.61	3.23
91	15.88	3.23	2.78	213	16.56	-3.14	0.00	335	17.39	4.01	1.66
92	15.89	3.84	2.41	214	16.47	-3.19	0.00	336	17.34	3.83	2.40
93	16.39	3.58	2.07	215	16.83	-2.86	0.00	337	17.24	3.37	3.21
94	16.41	3.21	3.03	216	16.81	-2.66	0.14	338	16.75	3.08	2.80
95	16.38	3.36	2.02	217	16.65	-2.90	0.03	339	16.89	3.38	1.86
96	16.48	3.14	2.79	218	16.94	-3.42	0.07	340	17.46	3.83	2.19
97	16.34	3.14	2.38	219	15.81	-2.75	0.44	341	17.28	3.41	3.27
98	16.78	2.76	1.54	220	16.07	-3.08	0.16	342	16.68	3.26	2.28
99	16.10	2.83	2.27	221	15.66	-2.89	0.19	343	16.35	3.94	3.27
100	16.29	2.18	1.54	222	16.24	-3.10	0.11	344	16.32	3.32	3.46
101	15.94	2.84	1.73	223	15.70	-2.85	0.17	345	16.57	3.83	3.43
102	16.64	2.28	1.29	224	15.90	-2.93	0.76	346	16.41	3.84	2.85
103	16.30	1.88	2.04	225	16.09	-2.87	0.54	347	16.46	3.40	3.91
104	16.33	1.91	1.20	226	16.50	-3.24	0.17	348	17.10	3.12	2.30
105	16.28	2.47	0.84	227	16.34	-3.45	0.26	349	17.03	3.48	3.00
106	15.90	2.61	1.80	228	16.61	-2.90	0.11	350	16.07	4.13	4.88
107	16.17	2.18	1.38	229	16.24	-2.51	0.03	351	16.54	3.70	3.24
108	16.16	1.98	1.05	230	16.03	-1.82	0.43	352	17.14	3.98	3.13
109	16.47	1.13	2.52	231	16.19	-1.84	0.50	353	16.67	3.75	3.51
110	16.38	1.12	0.89	232	15.93	-2.16	0.42	354	16.88	3.81	2.81
111	16.00	1.09	1.04	233	16.18	-1.69	1.30	355	16.42	4.29	3.40
112	15.47	1.78	1.20	234	16.70	-1.88	0.22	356	16.31	3.83	4.13
113	16.18	1.06	0.72	235	16.71	-2.06	0.05	357	16.85	3.78	6.23
114	16.39	1.65	1.04	236	16.57	-1.78	0.54	358	15.93	3.78	5.37
115	16.16	0.97	1.33	237	16.96	-1.60	0.48	359	15.24	4.09	3.88
116	16.79	0.86	0.91	238	16.71	-2.07	0.09	360	15.67	4.50	2.82
117	16.53	0.83	0.76	239	16.68	-1.69	0.09	361	16.31	3.84	4.52
118	16.72	0.14	1.00	240	16.63	-1.95	0.12	362	15.97	4.40	5.32
119	16.46	0.77	0.62	241	16.56	-1.33	0.33	363	15.53	3.90	5.27
120	16.54	1.15	1.10	242	16.99	-1.87	0.25	364	15.76	4.01	4.60
121	16.52	0.64	0.68	243	16.69	-1.03	0.30	365	15.58	4.25	3.83
122	16.48	0.76	0.88	244	16.92	-0.48	0.54				

D.2.4 Cálculos previos de constantes

ET			
Presión atmosférica	63.35404		
a	-13.4201		
b	-11.1649		
d	29.0898		
ET			
c	0.47		
Capacidad de campo (mm)	108		
Punto de marchitez (mm)	66		
Escenario	IT1	IT2	IT3
Veg			
LAIr	0.591661	0.591661	0.5916606
S	41.34884	41.34884	41.348837
Albedo	0.18	0.18	0.18
Qocha			
VS	0	5853.017	5853.0167
Max Vol	0	75038.68	78165.288



Anexo E: Cálculo de la altura del
dique H2 (Escenario 2)

E.1. Cálculos en “qocha” Warihumaña

DATOS DE PARA DIQUE EN "QOCHA" WARIHUMAÑA

Línea de excavación máxima: 4,094.59 m.s.n.m.

Cota del terreno: 4,094.59 m.s.n.m.

Profundidad de cimentación: $d = 1\text{m}$ contar con suelo estable

NAMO: 4,096.39 m.s.n.m.

NAME: 4,097.09 m.s.n.m.

FETCH: 1.138 km

ALTURA DE LA OLA POR VIENTO

Altura de ola por viento: Formula empírica de STEVENSON

$$H_0 = 0.76 + 0.34(F)^{1/2} - 0.26(F)^{1/4} \dots(\text{m})$$

Dónde: **F**: fetch en Km

$$F = 1.138 \text{ km}$$

$$H_0 = 0.76 + 0.34(1.138)^{1/2} - 0.26(1.138)^{1/4}$$

$$H_0 = 0.85 \text{ m}$$

BORDE LIBRE

Borde libre mínimo, procedimiento combinado de Knapen:

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

Dónde: H_0 : altura de la ola según Stevenson

$$Vg (\text{m/s}) : \text{velocidad ola según Gaillard} = 1.52 + 2 H_0$$

$$H_0 = 0.854 \text{ m}$$

$$Vg = 3.228 \text{ m/s}$$

$$Bl (\text{min}) = 1.172 \text{ m}$$

También podemos emplear la siguiente tabla:

Fetch	Borde Libre	
	Normal(m)	Mínimo(m)
<1.6	1.2	0.9
1.6	1.5	1.2
4	1.8	1.5
8	2.4	1.8
16	3	2.1

Entonces concluimos que el borde libre mínimo (BL) es de 0.9m

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.

$$\mathbf{N.Corona = N.A.M.E. + L.B}$$

$$\mathbf{N.Corona = 4,097.99 \text{ msnm}}$$

ALTURA DEL DIQUE: (H)

H= cota de la corona – cota de Terreno

$$\mathbf{H = 4,097.99 - 4,095.59 = 2.40}$$

$$\mathbf{H = 2.40 \text{ m}}$$

E.2. Cálculos en “qocha” Chullumpirini

DATOS DE PARA DIQUE EN "QOCHA" CHULLUMPIRINI

Línea de excavación máxima: 4,086.79 m.s.n.m.

Cota del terreno: 4,087.79 m.s.n.m.

Profundidad de cimentación: d =1m contar con suelo estable

NAMO: 4,088.29 m.s.n.m.

NAME: 4,088.79 m.s.n.m.

FETCH: 0.666 km

ALTURA DE LA OLA POR VIENTO

Altura de ola por viento: Formula empírica de STEVENSON

$$\mathbf{H_0 = 0.76 + 0.34(F)^{1/2} - 0.26(F)^{1/4} \dots(m)}$$

Donde: **F:** fetch en Km

$$\mathbf{F = 0.666 \text{ km}}$$

$$\mathbf{H_0 = 0.76 + 0.34(0.666)^{1/2} - 0.26(0.666)^{1/4}}$$

$$\mathbf{H_0 = 0.80 \text{ m}}$$

BORDE LIBRE

Borde libre mínimo, procedimiento combinado de Knapen:

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

Dónde: $\mathbf{H_0}$: altura de la ola según Stevenson

$\mathbf{Vg (m/s)}$: velocidad ola según Gaillard = $1.52 + 2 H_0$

$$\mathbf{H_0 = 0.803 m}$$

$$\mathbf{Vg = 3.125 m/s}$$

$$\mathbf{Bl (min) = 1.100 m}$$

También podemos emplear la siguiente tabla:

Fetch	Borde Libre	
	Normal(m)	Mínimo(m)
<1.6	1.2	0.9
1.6	1.5	1.2
4	1.8	1.5
8	2.4	1.8
16	3	2.1

Entonces concluimos que el borde libre mínimo (BL) es de 0.9m

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.

$$\mathbf{N.Corona = N.A.M.E. + L.B}$$

$$\mathbf{N.Corona = 4,089.69 \text{ msnm}}$$

ALTURA DEL DIQUE: (H)

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

$$\mathbf{H = 4,089.69 - 4,087.79 = 1.90}$$

$$\mathbf{H = 1.90 m}$$