



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA



**DISTRIBUCION ESPACIO TEMPORAL DE LA SEQUÍA
METEOROLÓGICA EN LA VERTIENTE DEL LAGO TITICACA**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. JOEL RENZO CASTILLO VILCA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRICOLA

PUNO – PERÚ

2024



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**DISTRIBUCION ESPACIO TEMPORAL DE
LA SEQUÍA METEOROLÓGICA EN LA VER
TIENTE DEL LAGO TITICACA**

AUTOR

JOEL RENZO CASTILLO VILCA

RECUESTO DE PALABRAS

27880 Words

RECUESTO DE CARACTERES

118234 Characters

RECUESTO DE PÁGINAS

97 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.0MB

FECHA DE ENTREGA

May 13, 2024 4:30 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

May 13, 2024 4:32 PM GMT-5

● **16% de similitud general**

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

- 16% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 4% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)


Dr. EDUARDO FLORES CONDORI
REG. C.I.P. 22367



Dr. GILBERTO VELARDE COAQUIRA
Director Unidad de Investigación
Facultad de Ingeniería Agrícola - UINA - Puno

Resumen



DEDICATORIA

La presente investigación lo dedico en primer lugar a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber permitido alcanzar esta meta tan importante de mi formación profesional para obtener un logro y anhelo más deseado.

A mi madre Margarita Vilca y a mi hija Jayz Castillo por ser mis pilares fundamentales, en mi vida y por haberme apoyado incondicionalmente, frente a las adversidades e inconvenientes que se presentaron, siento orgullo y privilegio de contar siempre con ustedes, son los mejores.

A mis hermanos Elizabeth, Anibal. Aracely y Yasly por estar siempre presentes, acompañándome, brindándome apoyo moral a lo largo de esta etapa de mi vida.

JOEL RENZO CASTILLO VILCA



AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional del Altiplano, en especial a la Facultad de Ingeniería Agrícola, por haberme permitido concluir con una etapa de mi vida, gracias por la paciencia, orientación y guiarme, por un buen sendero del desarrollo de la ingeniería y la investigación.

Al personal docente y todo el personal administrativo de la Facultad de Ingeniería Agrícola, quienes supieron impartir sus conocimientos con mucho esfuerzo, para hacer posible la preparación profesional y en especial a mi asesor, Dr, Eduardo Flores Condori, por la acertada dirección del trabajo de tesis quien estuvo guiándome durante todo el proceso de elaboración con su experiencia, profesionalismo y formar parte de otro objetivo alcanzado.

A los miembros de jurado revisor Al M.Sc. Oscar Raúl Mamani Luque, M. Sc. Moises Vilca Perez y al M.Sc. Willi Huanacuni Mamani, por todo su apoyo y sugerencias constructivas a mi persona.

Finalmente agradecer a todos mis amigas(os) por brindarme su apoyo en el desarrollo de este trabajo, por extenderme su mano en momentos difíciles.

JOEL RENZO CASTILLO VILCA



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	13
ABSTRACT.....	14
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA	17
1.2.1 Problema general.....	17
1.2.2 Problemas específicos	17
1.3. JUSTIFICACION DEL PROBLEMA.....	18
1.4.1. Hipótesis general	19
1.4.2. Hipótesis general	19
1.5. OBJETIVOS.....	20
1.5.1 Objetivo general	20
1.5.2 Objetivos específicos	20



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.	ANTECEDENTES	21
2.1.1.	Antecedente Internacional.....	21
2.1.2.	Antecedente Nacional	23
2.1.3.	Antecedente regional.....	24
2.2.	MARCO CONCEPTUAL	26
2.2.1.	Concepto de cuenca.....	26
2.2.2.	Características Físicas de la Cuenca	27
2.2.2.1.	Delimitación de la Cuenca	27
2.2.2.2.	Área de la Cuenca	28
2.2.2.3.	Forma de la Cuenca.....	28
2.2.2.4.	Coefficiente de Compacidad (índice de Gravelious).....	29
2.2.2.4.	Pendiente de la Cuenca	30
2.2.2.5.	Curva Hipsométrica	31
2.2.3.	Ciclo Hidrológico.....	32
2.2.4.	Precipitación.....	33
2.2.5.	Definición Sequias	33
2.2.5.1.	Definiciones conceptuales.....	34
2.2.5.2.	Definiciones Operacionales	34
2.2.6.	Tipos de Sequias	35
2.2.6.1.	Sequia meteorológica.....	35
2.2.6.2.	Sequia Hidrológica.....	36
2.2.6.3.	Sequia Agrícola.....	36



2.2.6.4. Sequia Socioeconómica.	37
2.2.7. Índice de sequías	38
2.2.7.1. Índice de Precipitación Estandarizado.	39
2.2.7.2. Determinación de ISP.	39

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN GENERAL DEL SISTEMA	43
3.2. UBICACIÓN HIDROGRÁFICA	43
3.3. NIVELES DEL LAGO TITICACA	44
3.4. CARACTERÍSTICAS CLIMATICAS.....	45
3.4.1. Precipitación.....	45
3.4.2. La temperatura	46
3.4.3. Humedad relativa	47
3.4.4. Presión atmosférica media	48
3.4.5. Radiación e insolación	48
3.4.6. Evaporación.....	48
3.4.7. Evapotranspiración potencial	49
3.5. CUENCA DEL LAGO TITICACA	49
3.5.1. Río Ramis.....	50
3.5.2. Río Suches.....	50
3.5.3. Río Ilave	51
3.5.4. Río Coata.....	51
3.5.5. Río Huancané	51
3.6. METODOLOGIA POR OBJETIVOS ESPECIFICOS	52



3.6.1. OE1. Analizar la tendencia de la información pluviométrica en períodos secos de las unidades hidrográficas de la vertiente del lago Titicaca	52
3.6.1.1. Prueba Kendall-Mann (no paramétrica).....	52
3.6.1.2. Método de autocorrelación (Prueba paramétrica).....	53
3.6.2. OE2. Determinar la distribución temporal de sequía meteorológica en función del índice estandarizado de precipitación pluvial.	54

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANALISIS DE LA TENDENCIA DE LAS SERIES PLUVIOMÉTRICAS	58
4.2. DETERMINACION DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIO TEMPORAL DE SEQUÍA METEOROLÓGICA	60
4.2.1. SPI de 1 mes en el altiplano de la región de Puno	61
4.2.2. SPI de 3 meses en el altiplano de la región de Puno	67
4.2.3. SPI de 6 mes en el altiplano de la región de Puno	73
4.2.4. SPI de 12 mes en el altiplano del departamento de Puno	74
4.3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	76
V. CONCLUSIONES	78
VII. RECOMENDACIONES	80
VII. BIBLIOGRAFÍA	81
ANEXOS.....	86

Área: Hidrología Aplicada

Tema: sequías meteorológicas

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 16 de mayo de 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Clasificación propuesta para tamaño de cuenca	28
Tabla 2 Pendiente en porcentaje para tipo de terrenos.....	31
Tabla 3 Escala de SPI.....	41
Tabla 4 Valores del Índice normalizado de precipitación-SPI por categorías	55
Tabla 5 Análisis de tendencia paramétrica y no paramétrica de precipitación mensual	58
Tabla 6 Resultados de SPI estación Ayaviri 01 mes anual para los años 2024 a 2040	61
Tabla 7 Resultados de SPI estación Azángaro 01 mes anual.....	63
Tabla 8 Resultados de SPI estación Cabanillas 01 mes anual	64
Tabla 9 Resultados de SPI estación Huancané 01 mes anual	65
Tabla 10 Resultados de SPI estación Ilave 01 mes anual	66
Tabla 11 Resultados de SPI estación Ayaviri 03 mes anual	68
Tabla 12 Resultados de SPI-03 estación Azángaro tres meses anual	69
Tabla 13 Resultados de SPI estación Cabanillas 03 mes anual	70
Tabla 14 Resultados de SPI estación Huancané 03 mes anual	71
Tabla 15 Resultados de SPI estación Ilave 03 mes anual,	72
Tabla 16 SPI de 6 mes en el altiplano del departamento de Puno	74
Tabla 17 SPI de 12 mes en el altiplano de la región de Puno	75



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Representación de la cuenca hidrográfica como sistema.....	26
Figura 2 Delimitación de una unidad hidrográfica.....	27
Figura 3 Forma de la unidad hidrográfica	30
Figura 4 La curva hipsométrica.....	32
Figura 5 La afectación de la sequía al lago Titicaca	34
Figura 6 La sequía como afecta a la agricultura.....	37
Figura 7 La sequía socioeconómica en la región de Puno	38
Figura 8 Vista panorámico del lago Titicaca.....	44
Figura 9 Variación del nivel del lago Titicaca	45
Figura 10 Grafico de tendencia de precipitación pluvial	59



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Tabla A 1 Datos meteorológicos estación Ayaviri de 1970- 2040	87
Tabla A 2 Datos meteorológicos estación Azángaro de 1970- 2040	88
Tabla A 3 Datos meteorológicos estación Cabanillas de 1970- 2040.....	89
Tabla A 4 Datos meteorológicos estación Huancané de 1970- 2040.....	90
Tabla A 5 Datos meteorológicos estación Ilave de 1970- 2021.....	91
Tabla A 6 Datos precipitación mensual proyectados de la estación meteorológica Ayaviri 2022 a 2040	92
Tabla A 7 Datos precipitación mensual proyectados de la estación meteorológica Azángaro 2022 a 2040	92
Tabla A 8 Datos precipitación mensual proyectados de la estación meteorológica Cabanillas 2022 a 2040	93
Tabla A 9 Datos precipitación mensual proyectados de la estación meteorológica Huancané 2022 a 2040	93
Tabla A 10 Datos precipitación mensual proyectados de la estación meteorológica Ilave 2022 a 2040	94



ACRÓNIMOS

AGC:	Agencia de Gestión de Cuencas
AAA:	Autoridades Administrativas del Agua
ALA:	Administración Local del Agua
ANA:	Autoridad Nacional del Agua
DGCRH	Dirección de Gestión de la Calidad de los Recursos Hídricos
DIGESA	Dirección General de Salud Ambiental - Ministerio de Salud
EPS	Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento
IGP	Instituto Geofísico del Perú
MINAM	Ministerio del Ambiente
MINEM	Ministerio de Energía y Minas
MINSA	Ministerio de Salud
MVCS	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
OEFA	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
PAVER	Programa de Adecuación de Vertimientos y Reuso de Agua Residual
PLANAA	Plan Nacional de Acción Ambiental
PMGRH	Proyecto de Modernización de la Gestión de los Recursos Hídricos
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
SNGA	Sistema Nacional de Gestión Ambiental
SNGRH	Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
OMM	Organización Mundial de Meteorología
ONU	Organización de las Naciones Unidas
RH	Recursos Hídricos



RESUMEN

En la vertiente del lago Titicaca, el problema de sequía es el fenómeno meteorológico que causa los mayores daños a nivel ecológico, económico y social; el objetivo: de la tesis es determinar la distribución espacio temporal de la sequía meteorológica en la vertiente del lago Titicaca; en base de los datos de precipitación media mensual de las estaciones meteorológicas: Ayaviri, Azángaro, Cabanillas, Huancané e Ilave; se ha efectuado el análisis de consistencia y prueba de bondad de ajuste de los datos de precipitaciones y luego se ha efectuado las pruebas de tendencia paramétrica (regresión lineal y autocorrelación) y no paramétrica (Mann-Kendall) en las pruebas no hay significancia estadística para ambos metros. Los resultados de SPI de las estaciones de Ayaviri para un (01)mes; en febrero 2033 (-1.78) se presentara sequia de categoría severamente seco de $P \leq 4.40\%$ y en marzo del 2033 (-2.51) de categoría extremadamente seco con $P \leq 2.30\%$; de Azángaro con sequias de categoría severamente seco 2025 (-1.50), enero 2027 (-1.54), febrero 2033 (-2.23) y 2034 (-2.17) y en marzo 2028 (-1.62) y 2033 (-2.00) y $P \leq 4.40\%$; Cabanillas se presentaran sequia de categoría severamente seco en los meses de Diciembre 2024 (-1.71), enero de 2025 (-1.73), febrero de 2034 (-1.72) y 2040 (-1.79) y en el mes de marzo 2028 (-1.71), 2034 (-1.53) y 2040 (-1.98) y sequias de categoría extremadamente seco en marzo de 2033 (-2.97) con $P \leq 2.30\%$; en la estación Huancané se presentaran sequia extremadamente seco mes de febrero de 2033 (-2.39) y 2034 (-2.25) y en el mes de marzo de 2033 (-5.08) con $P \leq 2.30\%$.y finalmente en la estación de Ilave sequia extremadamente seco febrero del 2040 (-2.55) con $P \leq 2.30\%$.

Palabras clave: Adaptación, índice de precipitación estandarizada, sequia meteorológica, vertiente del lago titicaca, vulnerabilidad



ABSTRACT

On the slopes of Lake Titicaca, the problem of drought is the meteorological phenomenon that causes the greatest damage at an ecological, economic and social level; The objective of the thesis is to determine the spatio-temporal distribution of the meteorological drought on the slope of Lake Titicaca; based on average monthly precipitation data from the meteorological stations: Ayaviri, Azángaro, Cabanillas, Huancané and Ilave; The consistency analysis and goodness-of-fit test of the precipitation data has been carried out and then the parametric (linear regression and autocorrelation) and non-parametric (Mann-Kendall) trend tests have been carried out. In the tests there is no statistical significance for both meters. The SPI results of the Ayaviri stations for one (01) month; In February 2033 (-1.78) there will be a drought in the severely dry category of $P \leq 4.40\%$ and in March 2033 (-2.51) in the extremely dry category with $P \leq 2.30\%$; of Azángaro with severely dry category droughts in 2025 (-1.50), January 2027 (-1.54), February 2033 (-2.23) and 2034 (-2.17) and in March 2028 (-1.62) and 2033 (-2.00) and $P \leq 4.40\%$; Cabanillas will experience a severely dry category drought in the months of December 2024 (-1.71), January 2025 (-1.73), February 2034 (-1.72) and 2040 (-1.79) and in the month of March 2028 (-1.71), 2034 (-1.53) and 2040 (-1.98) and extremely dry category droughts in March 2033 (-2.97) with $P \leq 2.30\%$; Extremely dry drought will occur at the Huancané station in February 2033 (-2.39) and 2034 (-2.25) and in March 2033 (-5.08) with $P \leq 2.30\%$. And finally at the Ilave station there will be drought. extremely dry February 2040 (-2.55) with $P \leq 2.30\%$.

Keywords: Adaptation, standardized precipitation index, meteorological drought, Lake Titicaca slope, vulnerability



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el altiplano de la región de Puno, la sequía es uno de los problemas con mayor impacto en el bienestar social y en particular en la seguridad alimentaria del poblador de la zona del altiplánico puneño. Es considerada por muchos como la más compleja y menos entendida de todos los peligros naturales (Hagman y otros, 1984). Así, desde una perspectiva histórica, se ha podido determinar cómo los déficits de lluvias pueden impulsar la migración de poblaciones en busca de mejores condiciones para el cultivo de alimentos y suministros de agua (Black y otros, 2011).

Adicionalmente, los períodos de escasez de lluvias aunados a otros factores climáticos, tales como los episodios de precipitaciones extremas y de viento violento o las condiciones agrícolas y de desarrollo no sostenibles, terminan degradando la tierra y, si no se controla, pueden conducir a una progresión de las tierras áridas o un aumento de la desertificación (Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2006).

En la vertiente del lago como unidad hidrográfica del Perú, se encuentra ubicado la meseta del altiplano de la región de Puno, esta región desde el punto de vista hidrológico presenta cuatro estaciones bien marcados como son: verano, otoño, invierno y primavera y la campaña agrícola generalmente se realiza en los meses de octubre del años anterior hasta el mes de abril del año siguiente, en este periodo de la campaña agrícola por diversos motivos siempre se nota la presencia de las sequias meteorológicas, hidrológicas y agrícola, muchas veces de alta intensidad y se presenta tanto en el tiempo y en el espacio; la presencia de las sequias causan daños muy severos en los cultivos de



pan llevar, la cual afecta a la economía de los pobladores del medio rural y urbano del altiplano; así también es necesario prevenir y atenuar este fenómeno de la sequía a través de una planificación respecto al calendario agrícola y utilizando variedades resistentes es decir aplicando acciones pasivos y activos.

Por otro lado, la variabilidad climática y los cambios climáticos pueden causar estragos y tener consecuencias catastróficas para la humanidad y los ecosistemas naturales existentes en el altiplano de la región de Puno. En nuestro país, los estudios indican que la agricultura probablemente se verá seriamente afectada y los rendimientos se reducirán significativamente. Por lo tanto, para evaluar la ocurrencia de sequía y comprender mejor las fluctuaciones climáticas recientes, es necesario estudiar las temperaturas de largo plazo y las series de precipitación en áreas con condiciones climáticas-hidrológicas desiguales en la sierra del Perú.

Las sequías se desarrollan durante períodos prolongados (meses, años), las condiciones climáticas pueden variar por diversos motivos que dependen de las características climáticas propias de cada región, incluido el uso del recurso agua, el cultivo y las actividades agrícolas. En lugares donde el agua es limitada o excesiva y el cambio climático es intenso, los productores enfrentan el desafío diario de producir al menos lo suficiente para sustentar a sus familias. El impacto del cambio climático está agravando la situación, lo que lleva a emplear diversas estrategias, prácticas y tecnologías para prosperar en este entorno socioambiental y biofísico. De esta manera, los productores se adaptan modificando aspectos como las fechas de siembra, la elección de variedades, el uso de plantas resistentes o tolerantes, así como la gestión del riego y de los cultivos.



1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

La sequía en la región de Puno es un desafío crítico en la planificación del uso óptimo de los recursos hídricos, ya que la ocurrencia de este fenómeno natural es impredecible en términos de tiempo y espacio. Se concluyó que la sequía es causada por cambios y anomalías climáticas que propician la falta de precipitaciones especialmente en las vertientes occidentales de los Andes a 2200 metros sobre el nivel del mar, en los valles interandinos y en la cuenca del Titicaca. 3820 metros sobre el nivel del mar. Nos referimos a estos lugares porque allí se han perdido vidas y recursos económicos; no obstante, la sequía afecta prácticamente todas las regiones climáticas, si bien las particularidades varían según cada zona.

Se recurren a diversas estrategias, prácticas y tecnologías para prosperar en este entorno socioambiental y biofísico. De esta manera, los agricultores se ajustan modificando aspectos como las fechas de siembra, la elección de variedades, el uso de plantas resistentes o tolerantes, así como la gestión del riego y de los cultivos. Las siguientes interrogantes surgen:

1.2.1 Problema general

¿Cómo es la distribución espacio temporal de la sequía meteorológica en función de elementos climático en la vertiente del lago Titicaca?

1.2.2 Problemas específicos

¿Cómo es la tendencia de la información pluviométrica en períodos secos de las unidades hidrográficas de la vertiente del lago Titicaca?



¿Cómo es el comportamiento de la distribución temporal de sequía meteorológica en función del índice estandarizado de precipitación pluvial en el altiplano de Puno?

1.3. JUSTIFICACION DEL PROBLEMA

En el altiplano de Puno, la sequía es el fenómeno meteorológico que causa los mayores daños a nivel ecológico, económico y social a nivel mundial. Es un fenómeno extremo en el que la cantidad de precipitación es nula o inferior a la media. Por otro lado el cambio climático provoca efectos adversos como la intensidad, gravedad y duración de la sequía.

La trascendencia de la investigación radica en la caracterización temporal y espacial de las sequías meteorológicas en la cuenca del Ramis, y tiene como finalidad evaluar la gravedad de este fenómeno y elaborar una propuesta de planificación agrícola que pueda ser modificada por los agricultores (INRENA, 2008).

Uno de los aspectos más críticos de una buena planificación de los recursos hídricos en la región Puno la sequía es un desafío, ya que este fenómeno natural es impredecible en términos de tiempo y ubicación. La sequía un evento causado por el cambio climático y anomalías climáticas, que provoca una falta de lluvias en las laderas occidentales de las montañas a 2.200 metros de altitud, en los valles entre los Andes y en la cuenca del lago Titicaca. 3820 metros sobre el nivel del mar. Llamamos a estos lugares porque allí se provocaron pérdidas humanas y económicas (SENAMHI, 2021).

No obstante, la sequía afecta prácticamente todas las regiones climáticas, aunque las particularidades de cada zona varían. La sequía se desarrolla durante un largo período de tiempo (meses, años) por diversas razones que dependen de las características



climáticas de cada región, incluyendo el uso del agua, el uso de la tierra y las actividades agrícolas (Ticona, 2017).

Influenciada por factores climáticos, la temperatura decrece con la altitud, a la vez que la cantidad de precipitación disminuye de norte a sur y de este a oeste. La zona de Puno tiene dos estaciones climáticas bien definidas: La temporada de verano de abril a octubre, caracterizada por días soleados, noches muy frías y sin lluvia; La temporada de lluvias en noviembre-marzo en los valles interandinos ubicados por debajo de los 3000 m sobre el nivel del mar, la precipitación media anual es inferior a 500 mm y por encima de los 3000 m sobre el nivel del mar, la precipitación media anual es superior a 700 mm (Flores y otros, 2021).

1.4. HIPOTESIS

1.4.1. Hipótesis general

La distribución espacio temporal de la sequía meteorológica está en función de la variación de los elementos climático en la vertiente del lago Titicaca

1.4.2. Hipótesis general

Las tendencias son significativas de las informaciones pluviométricas en períodos secos de las unidades hidrográficas de la vertiente del lago Titicaca

La distribución temporal de sequía meteorológica está determinada por los índices estandarizados de las precipitaciones pluviales en el altiplano de Puno.



1.5. OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

Determinar la distribución espacio temporal de la sequía meteorológica en función de elementos climático en la vertiente del lago Titicaca

1.5.2 Objetivos específicos

Analizar la tendencia de la información pluviométrica en períodos secos de las unidades hidrográficas de la vertiente del lago Titicaca

Determinar la distribución temporal de sequía meteorológica en función del índice estandarizado de precipitación pluvial en el Altiplano de Puno.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Antecedente Internacional

A nivel internacional Diversos estudios han demostrado un aumento continuo y diario del cambio climático y la probable intensificación de fenómenos hidrometeorológicos extremos, cambios bruscos en las precipitaciones y la aparición de sequías, cuyo mayor impacto se debe al cambio climático debido al uso de invernaderos antropogénicos. gases (crecimiento demográfico, crecimiento económico, intensidad energética y mezclas de combustibles fósiles) de concentraciones crecientes que es importante comprender y comprender para no distraerse de la magnitud del problema que genera riesgos debido a la exposición humana. poblaciones y ecosistemas (TDPS, 2011).

Aunque existe interés en el tema de la sequía, pocos estudios se centran en la relación causal entre la sequía meteorológica y su impacto espaciotemporal sobre los recursos hídricos. (Van Loon & Laaha, 2015) investigó los procesos de propagación de sequías en los recursos hídricos utilizando factores climáticos y físicos en cinco cuencas fluviales europeas. (Rodríguez, 2013; Lorenzo-Lacruz y otros, 2013), investigaron la variabilidad espacial y temporal de las sequías hidrológicas y su respuesta a las sequías meteorológicas.

La gestión de los recursos hídricos para reducir los riesgos de sequía se basa en la comprensión de características futuras como la gravedad, la probabilidad de ocurrencia, la frecuencia y la duración de la sequía (Kamali y



otros, 2017), página 241). Numerosos investigadores han anticipado la ocurrencia de sequías mediante la utilización de escenarios y modelos climáticos globales para proyectar situaciones climáticas futuras. (GCM). Liu y cols. (2012) Emplearon el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) para elaborar una proyección histórica y futura de los patrones de sequía en la cuenca del Río Azul en Oklahoma. Sus hallazgos pronosticaron un incremento en los eventos de sequía para el período 2010-2099 en comparación con el pasado.

Pinazo (2016) investigó y cuantificó la sequía utilizando el método del índice de precipitación estandarizado en las estaciones Puno, Capachica, Urose, Laraqueri y Mañazo en la provincia de Puno durante 48 años (1964-2011) con base en 576 eventos analizados. Donde el 1,2% corresponde a viento extremadamente húmedo, el 3,3% a viento muy húmedo, el 10,2% a viento moderadamente húmedo, el 41,1% a viento ligeramente húmedo, el 24,1% a viento ligeramente seco, 11,8% a sequías moderadas, 5,2% a sequías severas y 3% a sequías extremas, siendo esta última la que impactó las actividades agrícolas debido a la falta de humedad en el suelo. Asimismo, se sugiere la aplicación de modelos matemáticos en el ámbito de la hidrología, que permitan resolver problemas ambientales naturales o provocados por el hombre.

Los resúmenes del Cuarto Informe de Evaluación (IPCC, 2013) del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) de 2007 muestran que durante los últimos cien años (1906-2006), las temperaturas globales han aumentado aproximadamente 0,74 °C, y 11 de cada diez dos más calientes. años ocurridos entre 1995 y 2006; el nivel del mar aumentó entre 15 - 25 cm en el siglo XXI debido al derretimiento de casquetes y capas de hielo En numerosas cordilleras, océanos y zonas polares; otros cambios a nivel regional se manifiestan



en variaciones en la salinidad de los mares, las temperaturas y el hielo ártico, así como en la frecuencia de las olas, los patrones del viento, la sequía, las precipitaciones, el calor e intensidad de los ciclones tropicales.

Según (Valverde, 2007), analizan y comparan cinco modelos globales (CCCMA, GFDL, GFDL, MIROC, GISS y HadCM3) para evaluar la capacidad de estos modelos para reproducir la precipitación climatológica observada en América del Sur durante 1970-1999. También se discute el modelo de cambio climático en la Proyección de un cambio climático cíclico. Período 2070-2099. Los resultados indican que los modelos son capaces de replicar las características fundamentales del patrón de precipitación estacional en América del Sur.

2.1.2. Antecedente Nacional

(Guerrero & Yevjevich, 1975), presenta uno de los primeros métodos de análisis de sequía hidrológica basado en la probabilidad de transición de un día húmedo a un día seco o viceversa; Sin embargo, el modelo no permite una evaluación directa de la probabilidad de un evento seco de cierta duración.

(Vega, 2018), en sus investigaciones sobre caracterización de sequías, análisis de tendencias, correlación con índices océano-atmósfera y evaluación de riesgo de sequía durante ENOS y llegó a la siguiente conclusión: 1) Se determinó que existe variabilidad espacio-temporal. La sequía en el Perú se puede representar mediante 8 definidas por el SPI en una región homogénea. De manera similar, se identificaron cuatro grandes eventos de sequía que afectaron a varias regiones del Perú: la sequía de 1992, que afectó a las regiones centro-sur del país (CVP, SVP, SVA y TVT), seguida de la sequía de 1990. , que afectó a las regiones del sur del país (CVP, SVP, SVA); La sequía de 1983 afectó a las regiones (SVP



y TVT) y la sequía de 1977 afectó principalmente a las regiones del norte del país (NVP, CVP, NAN, NVA, AVA y TVT) .Mantenido por Sanabria et al. (2019) que el Altiplano peruano (Departamento de Puno) es considerado una de las regiones más sensibles y perturbadas del cambio climático, con efectos en el sector agrícola, hidroeléctrico, minero, etc.

(Segovia, 2016), menciona que en el futuro los posibles cambios climáticos afectarían en general la vulnerabilidad y las condiciones de vida, principalmente en la agricultura, que es el principal sustento de la población.

2.1.3. Antecedente regional

Se utilizaron tres métodos para analizar la sequía en la región Puno. Métodos SPI y método de ejecución para conocer la duración, extensión y intensidad de la sequía. Utilizando el método de gestión y el método estándar de precipitación (SPI), se pueden evaluar objetivamente las características de la sequía; Estos métodos se pueden utilizar para predecir la sequía futura en una regiones específicas. Ambas técnicas son muy beneficiosas para la toma de decisiones en la administración de los recursos hídricos presentes y futuros. Mediante el enfoque de los valores extremos, es posible determinar el nivel mínimo actual. valor con probabilidad, diciendo que en un determinado tiempo de retorno se proporcionará un valor menor o igual al valor históricamente encontrado, este método también es muy útil, se debe tener cuidado al interpretarlo.

(Antunez de Mayolo, 1983), con base en un análisis de los niveles anuales del Lago Titicaca, encontró correlaciones entre el nivel mínimo del lago y la ocurrencia del Niño. Bernard Fracou-Luis Pizarro (1985) muestra que existen



correlaciones estadísticas entre la ocurrencia de El Niño en la costa del Perú y la cantidad de precipitación causada por las condiciones de sequía en los Andes tropicales y el Altiplano. Sugieren que la disminución estacional de las precipitaciones andinas puede ser consecuencia de dinámicas atmosféricas a escala continental, como el fortalecimiento del anticiclón del Atlántico Sur en momentos en que el Índice de Oscilación Sur es bajo, lo que impediría la habitual invasión de alisos en el noreste. Amazonas, dejando atrás a la cuenca del Caribe en la zona de convergencia tropical.

(Zavala, 2015), realizó un estudio, cuyos resultados se obtuvieron conclusiones y se propusieron las siguientes medidas para mitigar las sequías en la subcuenca del río Huenque: mejoramiento y ampliación de los sistemas de riego, evaluación y reordenamiento de la programación de cultivos con prácticas de secano, aprovechamiento de recursos hídricos subterráneos, forestación en las partes altas. subcuenca, Teniendo en cuenta técnicas de captación de agua, construcción de nuevos sistemas de riego e incremento de la eficiencia del riego mediante sistemas a presión.

Realizar la dirección de construcción de infraestructura de riego del gobierno regional de Puno para solucionar la ocurrencia de sequía en la zona de la subregión del río Huenque mediante la construcción de 07 represas y 09 sistemas de riego para irrigar 14,070 hectáreas. 3600 familias recibirán ayuda.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

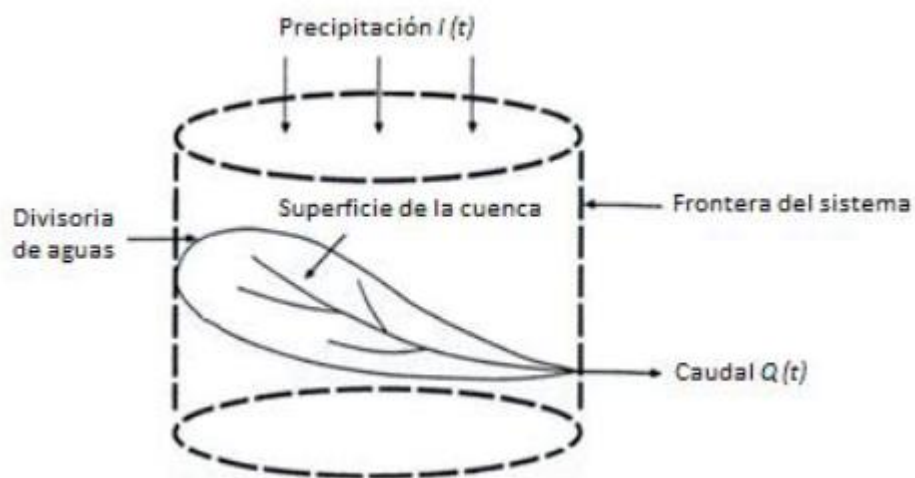
2.2.1. Concepto de cuenca

Una cuenca es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida (Mijares, 1989).

Según Viessman et al. (1977), la cuenca hidrográfica es toda el área drenada por un curso de agua o por un sistema de cursos de agua, cuyas aguas concurren a un punto de salida. En la Figura 2.1, se aprecia la cuenca hidrográfica como un sistema hidrológico. Además, según Tarbuck y Frederick (2013), cada cuenca de drenaje se divide de las adyacentes por una línea imaginaria denominada divisoria de aguas, la cual se manifiesta como una cresta bien definida y afilada en algunas regiones montañosas, pero puede ser complicada de identificar en zonas topográficamente planas.

Figura 1

Representación de la cuenca hidrográfica como sistema



Fuente: (Chow y otros, 1994)

2.2.2. Características Físicas de la Cuenca

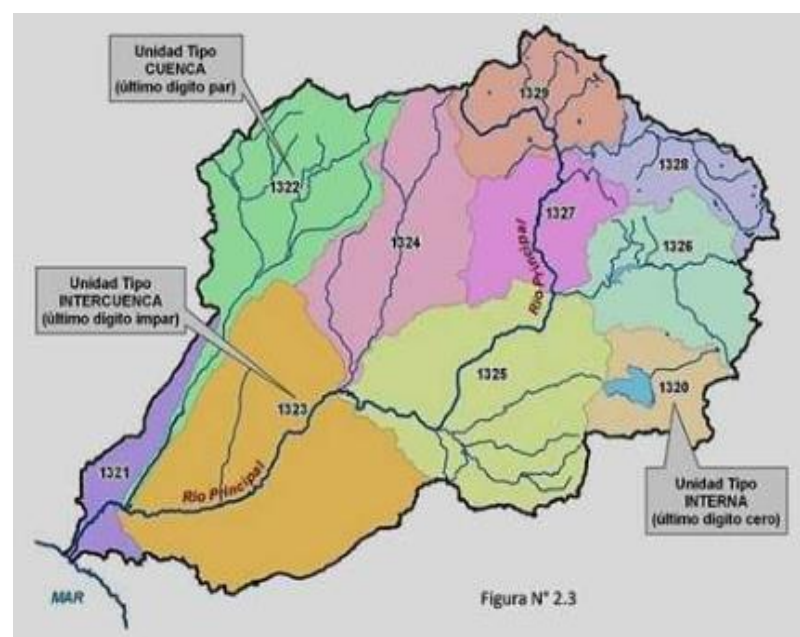
Estas propiedades están influenciadas por la morfología (configuración, relieve, sistema de drenaje, entre otros), composición del suelo, cobertura vegetal, geología, prácticas agrícolas, entre otros factores. Estos elementos físicos proporcionan la más conveniente posibilidad de conocer la variación en el espacio de los elementos del régimen hidrológico (Monsalve, 1999).

2.2.2.1. Delimitación de la Cuenca

La delimitación de una cuenca se hace sobre un plano a curvas de nivel, siguiendo las líneas del divortium acuorum o líneas de las altas cumbres, se ha delimitado la cuenca del río x correspondiente al punto P, con el fin de establecer grupos de cuencas hidrológicamente semejantes, se estudian una serie de características físicas en cada cuenca (Chereque, 1989)

Figura 2

Delimitación de una unidad hidrográfica



2.2.2.2. Área de la Cuenca

Es el área plana (proyección horizontal) incluida entre su divisoria topográfica (Monsalve 1999). Para definirla, Campos (1992) propone una clasificación basada en la superficie de la misma, tal como se describe en la siguiente tabla:

Tabla 1

Clasificación propuesta para tamaño de cuenca

EXTENSION DE LA CUENCA (KM²)	DESCRIPCIÓN
Menos de 25	uy reducida
25 a 250	equeña
250 a 500	ntermedia pequeña
500 a 2500	ntermedia grande
2500 a 5000	rande
Mas de 5000	uy grande

2.2.2.3. Forma de la Cuenca

Esta característica es importante pues se relaciona con el tiempo de concentración, el cual es el tiempo necesario, desde el inicio de la precipitación, para que toda la hoya contribuya a la sección de la corriente en estudio, o, en otras palabras, el tiempo que toma el agua desde los



limites más extremos de la hoya hasta llegar a la salida de la misma (Monsalve, 1999).

2.2.2.4. Coeficiente de Compacidad (índice de Gravelious)

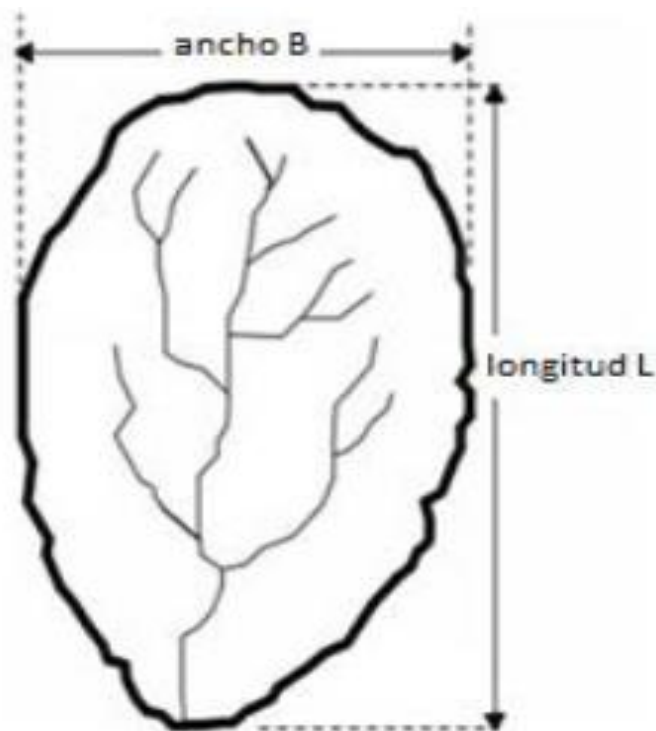
Se establece la correspondencia entre la longitud del perímetro de la cuenca (P en km) y la circunferencia de un círculo con la misma área que la cuenca (A en km²), la cual es equivalente al área de la cuenca:

$$A = \pi R^2 \rightarrow R = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$
$$K_c = \frac{P}{2\pi R} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Este factor es un valor adimensional arbitrario que no está relacionado con la forma de la cuenca, sin importar su tamaño; a medida que la cuenca se vuelve más irregular, el coeficiente de compacidad aumenta. Un coeficiente mínimo de uno se asociaría con una cuenca circular. Si los otros factores fueran iguales, la tendencia para mayores caudales, en la cuenca, será más acentuada cuando el coeficiente sea más próximo a la unidad (Mijares, 1989).

Figura 3

Forma de la unidad hidrográfica



Si F es mayor en una cuenca que en otra, es más probable que se produzcan tormentas fuertes simultáneamente en toda la cuenca. Por el contrario, si la cuenca tiene un F menor, tiene menos tendencia a concentrar las intensidades de lluvias, que una cuenca de igual área, pero con un F mayor (Vicente-Serrano y otros, 2012).

2.2.2.4. Pendiente de la Cuenca

La inclinación de la cuenca influye significativamente en la rapidez con la que se produce la escorrentía superficial, lo que a su vez impacta en el tiempo necesario para que el agua de la lluvia se concentre en los cauces fluviales que forman la red de drenaje de las cuencas. La magnitud de los picos de las avenidas y la mayor o menor oportunidad de infiltración y

susceptibilidad de erosión de los suelos dependen de la rapidez con que ocurre la escorrentía sobre los suelos de la cuenca (Mejía 2012). Para definirla, Campos (1992) propone una clasificación de la pendiente y el tipo de terreno, tal como se describe en la siguiente tabla:

Tabla 2

Pendiente en porcentaje para tipo de terrenos

PENDIENTE (%)	TIPO TERRENO
02	Plano
05	Moderadamente inclinado
10	Moderadamente accidentado
15	Muy Accidentado
25	Muy abrupto
50	Empinado
Mayor de 50	Extremadamente empinado

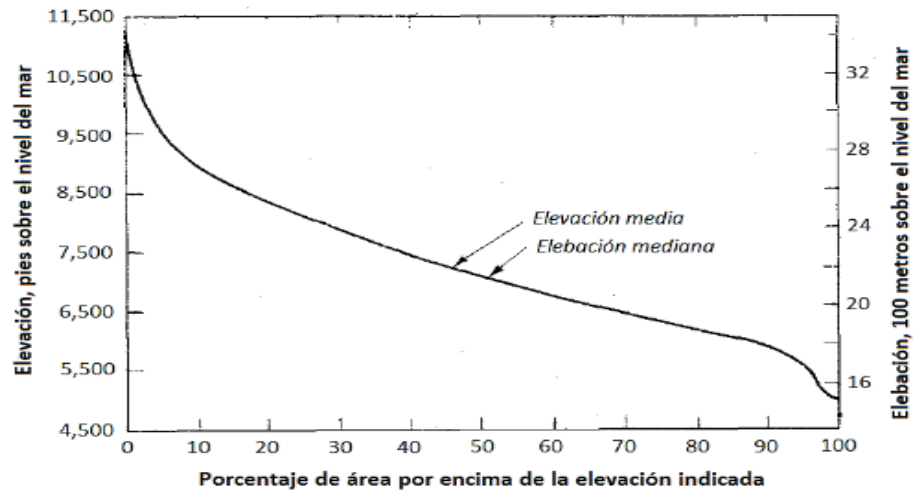
2.2.2.5. Curva Hipsométrica

Cuando uno o más aspectos relevantes en la cuenca están relacionados con la altitud, resulta beneficioso conocer la distribución altitudinal de la cuenca. Se puede crear una curva de área- altura (o curva hipsométrica) es factible elaborar esta representación midiendo el área entre las curvas de nivel y los contornos de un mapa topográfico con un planímetro, y luego graficar el área acumulada por encima o por debajo de una altitud específica, en función de dicha altura. Ver figura 2.4. En algunos casos es conveniente utilizar el porcentaje del área total en vez de

su valor absoluto, particularmente cuando se desea una comparación entre varias cuencas (Chow y otros, 1994).

Figura 4

La curva hipsométrica



2.2.3. Ciclo Hidrológico

El ciclo hidrológico es el proceso natural impulsado por la evaporación del agua de mar que asciende a la atmósfera y es transportada por el viento hacia las tierras, generando nubosidad y precipitaciones. Posteriormente, el agua retorna al océano a través de cauces terrestres y subterráneos. El ciclo hidrológico puede tratarse como un sistema cuyos componentes son precipitación, evaporación, escorrentía y otras fases del ciclo hidrológico (Chow y otros, 1994).

El movimiento perpetuo del ciclo hidrológico se debe principalmente a dos factores: primero, el sol aporta la energía necesaria para elevar el agua del suelo y evaporarla; segundo, la fuerza de gravedad, que provoca que el agua en condensación precipite y que, una vez sobre la superficie, fluya hacia las áreas más deprimidas.



2.2.4. Precipitación

El término precipitación abarca la lluvia, nieve y otros procesos mediante los cuales el agua cae sobre la superficie terrestre, tales como el granizo y la nevada. La formación de precipitación requiere la elevación de una masa de agua en la atmosfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense (Chow y otros, 1994).

Según Ledesma (2011), las nubes pueden clasificarse en calientes, si la temperatura de ellas a cualquier nivel es superior a 0 °C y en nubes frías, si en algunas zonas, aunque sea en todas, la temperatura está por debajo de 0 °C, siendo el mecanismo de precipitación diferente. En las nubes cálidas, las precipitaciones siempre son en estado líquido, mientras que en las nubes frías pueden contener cristales de hielo, más o menos hexagonales, formados por sublimación del vapor de agua, que actúan como núcleos de sublimación. Las precipitaciones serán líquidas o sólidas dependiendo de la temperatura.

2.2.5. Definición Sequías

Las sequías se distinguen por su avance gradual, lo que implica un desarrollo lento y una duración prolongada, a veces extendiéndose durante años o incluso décadas. La presencia de sequías no está condicionada por las características topográficas o geológicas de la zona. No obstante, su impacto es más significativo en regiones extensas y uniformes. Existen diferencias en variables hidrometeorológicas y socioeconómicas; Por lo tanto, la definición de sequía es muy compleja, además, existen diferentes definiciones que no están consensuadas, pero cuando es necesario definir sequía se distinguen dos definiciones: conceptual y operativa (Singh, 2010)

Figura 5

La afectación de la sequía al lago Titicaca



2.2.5.1. Definiciones conceptuales

Son descripciones de tipo enciclopédico que no incluyen límites ni puntos de referencia, por lo que se basan en la situación climática real de la región afectada. Un caso de definición conceptual es la ofrecida por la Real Academia de España (1999), que define la sequía como "tiempo seco continuo".

2.2.5.2. Definiciones Operacionales

Estas definiciones tienen como objetivo proporcionar orientación específica sobre aspectos relacionados con un evento de sequía, como el inicio, la gravedad y el final de la sequía. La pregunta más frecuente se refiere a la descripción objetiva de la sequía.



¿Cuándo comienza la sequía?; ¿Qué tan grave es la sequía?;
¿Cuándo terminará la sequía?

Así, esta definición se basa en campos de estudio hidrológico, agrícola, meteorológico y geográfico. Por tanto, la sequía suele definirse como una disminución temporal en las precipitaciones, escurrimiento o humedad del suelo; Por consiguiente, la definición operativa busca determinar el comienzo, la intensidad y la finalización del período de sequía. Las evaluaciones del impacto potencial cuentan con diversas definiciones operativas, las cuales también pueden emplearse para analizar la frecuencia, gravedad y duración de la sequía en un periodo histórico específico. Siguiendo esta línea, Wilhite y Glantz (1985) definen la sequía como un evento natural que se presenta cuando la cantidad de precipitación es significativamente inferior al promedio habitual registrado, provocando un desequilibrio hidrológico severo que afecta negativamente al suelo.

2.2.6. Tipos de Sequias

(Wilhite y Glantz, 1985), las sequías se clasifican en cuatro grupos que se detallan a continuación:

2.2.6.1. Sequia meteorológica.

(Sen, 1976), define una sequía meteorológica basada en las precipitaciones y la duración como "un período que dura más de un número específico de días con menos de una cantidad específica de lluvia". Por otro lado, Chang y Kleopa (1991) definieron la sequía meteorológica como un déficit de precipitación.



2.2.6.2. Sequia Hidrológica

La sequía hidrológica relacionada esta con la disponibilidad de agua; ocurren siempre que este recurso se reduce significativamente. Por lo tanto, se considera un flujo natural de agua o nivel freático y la escasez de los recursos hídricos en presas y lagos diseñados para proporcionar este recurso. La sequía hidrológica no está directamente relacionada con una disminución de la precipitación, por lo que ocurre durante períodos secos cuando la demanda de agua no puede satisfacerse adecuadamente como resultado de un clima seco continuo, por lo que el estudio de la sequía hidrológica es importante en áreas urbanas o zonas industriales y en las actividades agrícolas (Sirdas y Sen 2003).

2.2.6.3. Sequia Agrícola

La sequía agrícola se caracteriza por el hecho de que hay agua disponible para que las plantas se desarrollen adecuadamente. La fuente de esta humedad es la lluvia, por lo que depende de la capacidad de infiltración del suelo; esta capacidad varía según las condiciones de humedad, la pendiente, el tipo de suelo y la intensidad de las precipitaciones (Sen 1976). En consecuencia, la sequía agrícola se presenta cuando la cantidad de humedad del suelo no es adecuada para sostener los cultivos y su producción habitual; por lo tanto, la sequía agrícola también se evalúa directamente mediante el monitoreo de la humedad del suelo en las tierras agrícolas. Se utilizan índices como el de Palmer Drought Severity (Palmer, 1965)

Figura 6

La sequía como afecta a la agricultura



2.2.6.4. Sequia Socioeconómica.

La sequía socioeconómica ocurre cuando la escasez del agua alcanza un nivel que provoca perjuicios económicos o sociales a la población debido a la ausencia de precipitaciones. Es muy diferente a otros tipos de sequía; porque se trata de un proceso por la interacción entre la disponibilidad y la necesidad de bienes económicos de función de la relación entre la oferta y la demanda del agua, los productos agrícolas y la energía hidroeléctrica.

Figura 7

La sequía socioeconómica en la región de Puno



El suministro o disponibilidad de agua varía temporal y espacialmente debido a su relación directa con las precipitaciones, a diferencia de la demanda que varía debido a otros factores como el crecimiento demográfico, el desarrollo urbano, las políticas implementadas en ciertas áreas (OMM, 2006).

2.2.7. Índice de sequías

Con base en los cuatro tipos de sequía discutidos en la sección anterior, se han propuesto y ampliamente aceptado más de 150 índices de sequía para monitorear la variabilidad espacial y temporal de la escasez de agua. La utilización de estos indicadores de sequía varía según la región climática analizada, el tipo de sequía considerado y los objetivos de la investigación. Aunque estos índices se calculan en base a datos como precipitación, evaporación potencial, humedad del suelo, caudal, nivel freático, escasez de suministro, etc. (AMS 1997).



2.2.7.1. Índice de Precipitación Estandarizado.

(Mckee y otros, 1993) propusieron un índice de precipitación estandarizado (SPI) para el seguimiento y análisis de sequías meteorológicas. Este índice está determinado por la diferencia en la cantidad de lluvia promedio para un intervalo de tiempo determinado, dividido por la desviación estándar, donde tanto la media como la desviación estándar se determinan en base a la cantidad de precipitación diaria, mes o año histórico. Si la precipitación es de 12 meses o menos, debido a que no se distribuye normalmente, en la mayoría de los casos se realiza una transformación de datos, lo que da como resultado una serie estándar que es linealmente proporcional al déficit de precipitación. Determina la probabilidad, promedio y porcentaje de déficit acumulado de precipitación. Los valores del SPI señalan la probabilidad de ocurrencia independientemente del momento, lugar y clima. Por este motivo, la Organización Meteorológica Mundial lo propone como índice normalizado para el monitoreo de sequías.

2.2.7.2. Determinación de ISP.

Para caracterizar en un episodio de sequía se determinan el inicio y fin, la duración, gravedad e intensidad; estas características se pueden derivar del valor del índice de precipitación estandarizado. Luego, se calcula el SPI empleando los datos de precipitación, siguiendo los pasos descritos por McKeen et al. (1993), los cuales se explican a continuación.

Ajuste de un conjunto de datos mensuales modelados mediante una distribución gamma:



$$g(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad \text{para } x > 0$$

Donde: $\alpha > 0$ representa el parámetro de forma; $\beta > 0$ es el parámetro de escala; y $\Gamma(\alpha)$ es la función gamma.

Para adecuar los datos de precipitación a la distribución gamma, se requiere determinar los parámetros de forma y escala. Edwards (1997) sugiere utilizar las siguientes aproximaciones para calcular los parámetros de la función gamma.

Sin embargo, dado que no se define ninguna función gamma no está definida para $x = 0$, es posible que los registros de precipitación incluyan valores a cero. Luego, la probabilidad acumulada $H(x)$ se convierte en una variable aleatoria normal estándar Z con media cero y varianza uno, que representa el SPI. Otra opción es emplear la transformación aproximada propuesta por Abramowitz y Stegun (1965).

La principal ventaja de este enfoque radica en su normalización, lo que garantiza que los valores reflejen la misma probabilidad de ocurrencia sin importar el tiempo, lugar y clima. A pesar de tener intervalos categóricos idénticos, estos tienen diferentes probabilidades de suceso. En la Tabla 1 se describe la variación de probabilidad (ΔP) para cada intervalo del SPI. El cambio en la probabilidad (ΔP) para el rango del SPI de -1,0 a -1,5 es 9,2%, indicando una sequía moderada, mientras que para el ΔP del rango del SPI - 1,5 y -2,0 es del 4,4%, lo que corresponde a una sequía severa. SPI ha sido diseñado para evaluar la disminución de las

precipitaciones en diversas escalas temporales, incluyendo diaria, mensual y anual.

Tabla 3

Escala de SPI

Valores de SPI	Clasificación
Mayor o igual a 2,00	Extremadamente húmedo
Entre 1.50 y 1.99	Muy húmedo
Entre 1,00 y 1.49	Moderadamente húmedo
Entre -0.99 y 0.99	Aproximadamente normal
Entre -1,00 y -1,49	Moderadamente seco
Entre -1.50 y -1.99	Severamente seco
Menor o igual a -2.00	Extremadamente seco

Fuente: National Drought Mitigation Center (2006).

(OMM-No 1090, 2012), en su Guía del usuario del Índice normalizado de precipitación explica que una sequía se produce cuando el SPI es siempre negativo y alcance un valor igual o menos que -0.99, de manera que el fenómeno finalizará cuando el SPI se haga positivo. Así, cada episodio de sequía tiene una duración definida por su inicio y fin específicos, con una intensidad variable para cada mes durante la sequía. La clasificación de la intensidad de la sequía se determina mediante distintos valores del SPI. Por lo tanto, las sequías se manifiestan cuando el SPI es consistentemente negativo y alcanza una intensidad de -1,0 o inferior. La máxima intensidad corresponde al valor extremadamente negativo del SPI, y la severidad se calcula como la suma de los valores del SPI durante el período seco. El SPI se emplea para evaluar diversos aspectos de la sequía, como su intensidad, extensión, frecuencia, duración y cobertura regional. Los resultados son un aporte importante a la



planificación y adaptación de los sistemas de producción agrícola en la región. En este estudio, utilizamos el SPI para analizar la sequía en la cuenca hidrográfica de Huancané, este índice es especialmente adecuado por las siguientes razones: su necesidad de datos mínimos (únicamente precipitación) y su bajo requerimiento computacional, lo que lo hace comparable con otras cuencas en Perú.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN GENERAL DEL SISTEMA

La región del (TDPS, 2011) se caracteriza por una superposición de sistemas culturales y económicos, en que una amplia economía agraria de subsistencia convive con sectores agropecuarios dirigidos hacia los mercados regionales y nacionales y con una minería orientada al sector externo. En este contexto, los recursos naturales se han visto afectados de manera diferente, aunque la reducción de su consumo y productividad no siempre está incluida en los costos de producción.

3.2. UBICACIÓN HIDROGRÁFICA

La cuenca del lago Titicaca se encuentra delimitada por la división continental y la cordillera de Carabaya al norte, que separan el sistema de la cuenca de Madre de Dios. Hacia el sur, se encuentra la cadena montañosa interandina entre el río Desaguadero y el lago Titicaca en el lado boliviano. En la parte oriental, el límite natural del sistema es la cordillera Oriental o Real, donde podemos distinguir de norte a sur la región vecina de la Amazonía peruana y boliviana. Por último, al Oeste el sistema limita con la cordillera Occidental de los Andes (Aramayo, 2019)

La cuenca del Lago Titicaca está constituida por aproximadamente 13 ríos principales dispuestos en forma radial, que drenan al Lago Titicaca, el cual es considerado el más alto del mundo. Localizada en el sureste del territorio peruano, esta cuenca es cerrada o endorreica, con una forma ligeramente elipsoidal, abarcando áreas de Perú y Bolivia. Se refiere a la cuenca del Titicaca en el lado peruano. Aquí se determina la ubicación, se recopilan datos obtenidos de levantamientos previos realizado por varias

instituciones públicas y privadas y se recopilan datos hidrológicos históricos el área es de 48.910,64 km², incluyendo una parte equivalente del lago Titicaca, que representa el 3,8% del área del país. Todos los ríos de la cuenca fluyen hacia el Titicaca, a excepción del río Desaguadero, que nace en el lago y desemboca al sur del lago Poopó en Bolivia.

Figura 8

Vista panorámico del lago Titicaca



Fuente: (TDPS, 2011)

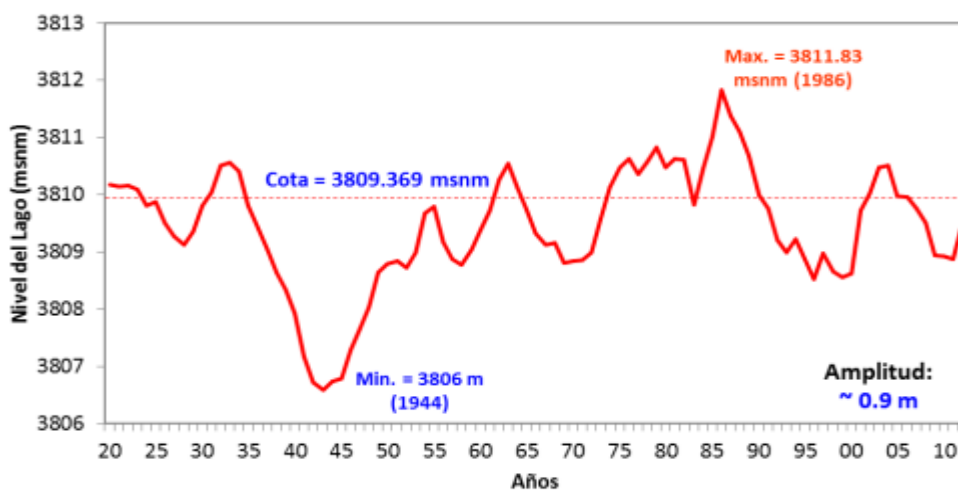
3.3. NIVELES DEL LAGO TITICACA

Registrado en datos de los niveles del Lago Titicaca en el periodo 1915 – 2009; durante el mismo intervalo, la variación del nivel alcanzó 6,37 m, con un mínimo de -3,72 m en diciembre de 1943 y un máximo de 2,65 m en abril de 1986 en relación al cero de la escala limnimétrica. Las amplitudes del ciclo anual oscilaron entre 1,80 m (1986) y 0,04 m (1983). Durante el mes, las diferencias de nivel suelen ser mayores en febrero, con una media de 0,26 m. Responden entonces a un fuerte aumento de agua debido al mayor impacto global de las lluvias y afluentes. Las diferencias en los niveles mínimos

mensuales suelen ocurrir en diciembre y abril, correspondientes a niveles mínimos y máximos anuales escalonados. El aumento es más pronunciado que la disminución, que se debe principalmente al aporte concentrado en un lapso de 5 meses, en contraste, las pérdidas por evaporación se reparten de forma más equitativa a lo largo de todo el año.

Figura 9

Variación del nivel del lago Titicaca



Fuente: (TDPS, 2011).

3.4. CARACTERISTICAS CLIMATICAS

3.4.1. Precipitación

El conjunto de la cuenca recibe una precipitación anual de 758 mm, lo que el volumen total equivale a $43.6 \times 10^9 \text{ m}^3$, con una precipitación media anual sobre el lago de 880 mm, lo que genera un volumen de agua de $7.47 \times 10^9 \text{ m}^3$ al año, resultando en un caudal de $236.7 \text{ m}^3/\text{s}$. El Lago Mayor recibe 889 mm de lluvia anualmente, mientras que el Lago Menor, con menos precipitaciones, recibe 829 mm anualmente. Estos valores se traducen los volúmenes anuales son de $6.42 \times 10^9 \text{ m}^3$ y $1.05 \times 10^9 \text{ m}^3$, respectivamente, lo que corresponde al 86% y 14%



del total de agua proveniente de la lluvia que alimenta el lago. En la parte boliviana de la cuenca, la precipitación anual es de 664 mm, con 635 mm sobre las cuencas y 753 mm sobre el lago boliviano. Asimismo, la parte peruana recibe 786 mm/año, de los cuales 762 mm/año sobre las cuencas y 964 mm/año sobre el lago peruano. (SENAMHI, 2021).

Los valores expresados en volumen son $9,01 \times 10^9 \text{ m}^3$, $6,48 \times 10^9 \text{ m}^3$, $2,54 \times 10^9 \text{ m}^3$ en Bolivia y $34,5 \times 10^9$, $29,4 \times 10^9$, $4,94 \times 10^9 \text{ m}^3$ anuales en Perú. Se aprecia que las porciones boliviana y peruana del lago reciben el 34% y 66% del total de precipitación, respectivamente y el 66% de la precipitación o del total de la superficie del agua a través de alimentación directa. Las cinco cuencas peruanas para las cuales se observó flujo tienen una precipitación promedio anual de 769 mm/año, mientras que el resto de la cuenca tiene una precipitación promedio anual de 682 mm/año. Dependiendo de las cuencas, entre el 65% y el 78% de la precipitación anual se concentra en los cuatro meses de la temporada lluviosa, mientras que sólo entre el 3% y 8% se registra durante la estación seca. Los dos períodos intermedios representan del 18 al 29 por ciento. Para toda la zona costera, los valores correspondientes son 70,5 y 25%. Estos porcentajes son los mismos en el lago y por lo tanto en toda la cuenca del Titicaca. La precipitación mensual observada en el lago varió de 300 a 450 mm según la estación, con un promedio ponderado de 353 mm en enero de 1984, un período particularmente húmedo.

3.4.2. La temperatura

La temperatura en la región está influenciada por varios factores, como la longitud geográfica (más frío al oeste que al este debido a los factores que influyen



en las temperaturas incluyen las masas de aire húmedo de la Amazonía, la altitud (donde la temperatura disminuye con la altitud) y el efecto termorregulador del lago Titicaca. En la región, el sector noreste presenta las temperaturas medias más elevadas en todas las altitudes, con 2.9 °C a 5000 msnm, seguido por el sector sureste (0.8 °C), noroeste (0.1 °C) y suroeste (-2.8 °C). Sin embargo, a altitudes por debajo de 4400 msnm, el sector noroeste exhibe temperaturas superiores al sureste. En la meseta, las temperaturas promedio anuales varían entre 8.2 °C - 9.2 °C en el norte y entre 7.9 °C y 10.7 °C en el sur. Los vientos superficiales en la región son influenciados por los patrones locales de relieve, que canalizan en áreas específicas, los vientos siguen trayectorias particulares. En la región del Lago Titicaca, se origina una circulación lago-tierra-lago a causa de las disparidades de temperatura entre el agua y la tierra. Durante el día, los vientos se desplazan desde el lago hacia las costas, pero durante la noche esta circulación se invierte debido al enfriamiento más rápido de la tierra en comparación con el lago.

3.4.3. Humedad relativa

La humedad relativa en el Sistema en general es baja, con un promedio anual del 54% en toda la región, variando la humedad relativa varía desde 42-47% en el sur hasta 62-65% en las orillas del Lago Titicaca. Durante junio a octubre, la humedad del aire generalmente es igual o menor al 50% en toda la región, mientras que en la temporada de lluvias (diciembre a marzo) puede alcanzar hasta el 70%. A lo largo del día, la humedad relativa tiende a comportarse de forma opuesta a la temperatura: disminuye a principios de la tarde y se incrementa durante la noche.



3.4.4. Presión atmosférica media

Los valores promedio de presión atmosférica son homogéneos en todo el Sistema y están determinados principalmente por la altitud. A nivel del altiplano, la presión varía entre 645 mb en Juliaca (al norte) y 656 mb al sur (en Uyuni), mientras que en Chacaltaya, en las montañas al norte de La Paz es de 536 mb. (TDPS, 2011).

3.4.5. Radiación e insolación

La radiación solar global oscila entre 462 cal/cm² día en Puno, al norte de la región, y 518 cal/cm² día en Patacamaya, al sur. No obstante, esta radiación experimenta variaciones significativas a lo largo del año. En Puno, fluctúa entre 390 en julio y 549 en noviembre, mientras que en Patacamaya varía desde 457 en junio hasta 596 en noviembre. En correspondencia directa con la radiación solar, la insolación alcanza las 3,005 horas de sol al año en Puno y 2,752 en Patacamaya, con una distribución contrastada entre verano e invierno. En Puno el número promedio de horas de sol por día cambia de 9,6 en julio a 6,0 en enero; y en Patacamaya varía entre 8,8 y 5,4 en los mismos meses (SENAMHI, 2021).

3.4.6. Evaporación

La evaporación en la región, medida por una red de 33 estaciones climatológicas con tanques de evaporación clase "A", ha sido estimada en niveles muy elevados, oscilando anualmente desde un promedio de 1,450 mm cerca y en el propio Lago Titicaca, hasta 1,900 mm en el sur del Sistema. Los balances de cloro y sodio indican que un promedio del 92% del agua que ingresa al Lago Titicaca se evapora, y que el remanente 8% es pierde a través del río desaguadero e infiltración. (SENAMHI, 2021).



3.4.7. Evapotranspiración potencial

La evapotranspiración potencial (ETP), que indica la cantidad de agua que se perdería si no hubiera escasez de agua en el suelo para el uso de la vegetación, está influenciada por la humedad en la superficie y la energía disponible. Aunque hay varios métodos para medir y calcular la ETP, en este caso se emplean los resultados obtenidos mediante la fórmula de Penman. Estos valores son cruciales para estimar el consumo de agua por los cultivos en proyectos de riego. La ETP varía entre aproximadamente 1,000 y 1,500 mm en todo el Sistema TDPS, y no parece haber una relación directa entre la ETP y la altitud. Por ejemplo, la ETP en Chacaltaya (1,315 mm) a 5,220 m de altitud es similar a la de Viacha (1,363 mm) a 3,850 m. El patrón mensual de la ETP es uniforme en todo el Sistema TDPS. El máximo se presenta en verano (noviembre-marzo) y el mínimo en invierno (mayo-agosto). (TDPS, 2011).

3.5. CUENCA DEL LAGO TITICACA

El lago Titicaca, situado a 3,810 m sobre el nivel del mar entre Perú y Bolivia, es el lago navegable más alto del mundo. Con medidas de 204 km de longitud por 65 km de ancho, cubre un área de 8,562 km², con 4,772 km² en territorio peruano y 3,790 km² en Bolivia. Alcanza su mayor profundidad de -283 m cerca de la isla Soto. Su cuenca está limitada al norte por la cordillera Real o Carabaya, al este por el Nudo de Vilcanota, y al sur por la cordillera Volcánica. Esta área pertenece al sistema TDPS destaca por su excelente irrigación debido a la presencia de numerosos ríos, siendo cinco de ellos destacados por su caudal. Los registros de los niveles del lago datan desde 1915. Aunque se considera tradicionalmente que la altitud media del lago es de 3,810 m sobre el nivel del mar, la media aritmética de los niveles medios anuales es ligeramente inferior, de



3,809.45 m sobre el nivel del mar. El nivel máximo histórico registrado fue de 3,811.83 m sobre el nivel del mar en 1986, y el mínimo absoluto fue de 3,806.48 m sobre el nivel del mar en el año 1942, los niveles del lago también presentan fluctuaciones estacionales, descendiendo durante los meses secos y recuperándose durante la época de lluvias. El nivel de alerta de sequía es 3807.00 m s. n. m. De acuerdo a los registros hasta el presente, la serie de valores del nivel del lago se presenta estacionaria (TDPS, 2011).

3.5.1. Río Ramis

Este río nace como río Carabaya en la laguna de La Rinconada, fluye paralelo a la cordillera de Carabaya en dirección noroeste hasta llegar al distrito de Potoni, donde cambia su rumbo hacia el sur. Luego de unirse con el río Ñuñoa, pasa a llamarse río Azángaro, y al confluir con el río Ayaviri, adopta el nombre de río Ramis en el distrito de Achaya. A partir de allí, gira hacia el este formando una curva hasta desembocar en el lago Titicaca en el distrito peruano de Taraco. El río Ramis tiene una longitud aproximada de 32 km y su caudal se ve incrementado por los deshielos de Quenamari y Quelcayo. La cuenca del río Ramis abarca 14700 km² (la cuenca más grande de los afluentes del Titicaca), y transporta aproximadamente 606 miles de toneladas de sedimentos al año hacia el lago, erosionando 41 km² al año (TDPS, 2011).

3.5.2. Río Suches

Este río surge en la cordillera de Carabaya o cordillera Real, específicamente en la laguna Suches. Discurre en dirección norte-sur hasta llegar a su desembocadura en el lago Titicaca, cerca de la localidad boliviana de Escoma. Su afluente principal es el río Grande, con el que se une en el distrito de Cojata.



La cuenca del río Suches abarca 2825 km², transportando un total de 64 miles de toneladas de sedimentos al año y erosionando 22,5 km² al año (TDPS, 2011).

3.5.3. Río Ilave

Este río se origina como río Huenque y atraviesa la provincia de El Collao de sur a norte. Recibe un aporte significativo después de recibir las aguas del río Aguascalientes, cambia su nombre a río Ilave. Finalmente, desemboca en el lago Titicaca por su lado sur. Su cuenca cubre un área de 7705 km², siendo la segunda más extensa entre los afluentes del lago. Anualmente, transporta aproximadamente 143 mil toneladas de sedimentos y causa erosión aproximadamente 18.5 km² de terreno anualmente.

3.5.4. Río Coata

Este río se origina en la confluencia de los ríos Lampa y Cabanillas, localizada en el distrito de Juliaca. El río Lampa tiene su fuente en los deshielos del nevado Jatun Punta, mientras que el río Cabanillas nace en la laguna Lagunillas. Finalmente, desemboca en la bahía de Puno, en el distrito de Coata.

3.5.5. Río Huancané

Igualmente denominado como río Putina en su tramo inicial, este río fluye en dirección de norte a sur, culminando su recorrido al desembocar en el extremo septentrional del lago Titicaca.

3.6. METODOLOGIA POR OBJETIVOS ESPECIFICOS

3.6.1. OE1. Analizar la tendencia de la información pluviométrica en períodos secos de las unidades hidrográficas de la vertiente del lago Titicaca

3.6.1.1. Prueba Kendall-Mann (no paramétrica)

Se empleó la prueba de tendencia de Kendall-Mann (1945), un test no paramétrico que se fundamenta en los rangos, utilizado para analizar la importancia de una tendencia. La hipótesis nula H_0 no hay tendencia, y la H_a hay una tendencia en la serie $\{X_i, i = 1, 2, \dots, n\}$ (Galvez, 2017).

El estadístico S de Tau de Kendall se define como:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i)$$

Donde X_j denota los valores de datos en secuencia, n es el número de elementos en el conjunto de datos, y:

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{si } \theta > 0 \\ 0 & \text{si } \theta = 0 \\ -1 & \text{si } \theta < 0 \end{cases}$$

Cuando n es mayor o igual a 8, La estadística S se distribuye de manera aproximada según una distribución normal con una media y varianza que se especifican de la siguiente manera:

$$E(S) = 0$$

$$V(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{m=1}^n t_m m(m-1)(2m+5)}{18}$$

Donde t_m Es la cantidad de enlaces de grado m . El test estadístico normalizado

$$Z \text{ se calcula: } Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{V(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{V(S)}} & S < 0 \end{cases}$$

El cálculo del valor de probabilidad P para la estadística S de MK en datos de muestra se puede estimar utilizando la función de distribución acumulativa normal como:

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^Z e^{-t^2/2} dt$$

3.6.1.2. Método de autocorrelación (Prueba paramétrica)

Ha sido utilizado el Método de autocorrelación en la cual el coeficiente del primer retardo de la autocorrelación:

$$r_1 = \frac{[\sum_{i=1}^{n-1} (X_i - \bar{X})(X_{i+1} - \bar{X})]}{[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2]}$$

$$E(r_1) = -1/n$$

$$\text{Var}(r_1) = (n^3 - 3n^2 + 4) / [n^2 (n^2 - 1)]$$

Si los datos de series temporales provienen de un proceso aleatorio, entonces el valor esperado y la varianza de r_1 son:

El de z se obtiene de las tablas de probabilidad normal:

$$z = |r_1 - E(r_1)| / \text{Var}(r_1)^{0.5}$$



3.6.2. OE2.Determinar la distribución temporal de sequía meteorológica en función del índice estandarizado de precipitación pluvial.

De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (2012), el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) fue desarrollado para medir la deficiencia de precipitación en diversas escalas temporales, las cuales indican el impacto de la sequía en la disponibilidad de los recursos hídricos. Las condiciones de humedad del suelo responden rápidamente a las anomalías de precipitación en un período corto, mientras que las anomalías a largo plazo impactan en las aguas subterráneas, los caudales de los ríos y el almacenamiento en embalses. Por ello, McKee y colaboradores (1993) calcularon inicialmente el SPI para escalas temporales de 3, 6, 12, 24 y 48 meses.

La determinación del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) para cualquier punto se basa en el registro histórico de precipitaciones a largo plazo durante un periodo específico. Dicho registro a largo plazo se ajusta a una distribución de probabilidades y a continuación se transforma en una distribución normal de modo que el SPI medio para la localidad y el período deseado sea cero (Edwards y McKee, 1997). Los valores positivos del SPI indican que la precipitación es mayor que la mediana, mientras que los valores negativos señalan que es menor. Dado que el SPI está normalizado, los climas húmedos y secos se pueden representar del mismo modo, por lo que también se puede hacer un seguimiento de los períodos húmedos utilizando el SPI (Organización Meteorológica Mundial, 2012).

McKee y otros (1993) utilizaron el sistema de clasificación mostrado en el cuadro de valores de SPI que figura a continuación (Tabla 1) para definir las distintas intensidades de la sequía según los distintos valores de SPI. Además, establecieron los estándares para identificar los períodos de sequía en todas las escalas de tiempo. Una sequía se considera cuando el SPI es persistentemente negativo y alcanza un nivel de -1,0 o inferior. La sequía termina cuando el SPI retorna a valores positivos. De este modo, cada evento de sequía se define por su comienzo y fin, junto con una intensidad para cada mes en que se mantiene el evento. La suma positiva del SPI para todos los meses de un episodio de sequía se puede denominar la “magnitud” de la sequía (Organización Meteorológica Mundial, 2012).

Tabla 4

Valores del Índice normalizado de precipitación-SPI por categorías

Valor de SPI	Categorías	Probabilidad (%)
$\geq +20$	Extremadamente húmedo	2.30%
1.50 a 1.90	Muy húmedo	4.40%
1.00 a 1.49	Moderadamente húmedo	9.20%
-0.99 a +0.99	Normal	68.20%
-1.00 a -1.49	Moderadamente seco	9.20%
-1.50 a -1.99	Severamente seco	4.40%
≤ -2.00	Extremadamente seco	2.30%

Fuente: Mackee, (1993)

Para la presente investigación se ha efectuado la prueba de bondad de ajuste, para lo cual consideramos que x es precipitación mensual acumulada en la escala de tiempo de la investigación (1, 3, 6, y 12 meses), la cual se ajusta a una función de densidad de probabilidad $g(x)$ como sigue:

$$g(x) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)}, x > 0 \quad \Gamma(x) = \int_0^\infty x^{\alpha-1} e^{-x} dx$$

Donde x es la precipitación acumulada, $\Gamma(x)$ es la función gamma, α y β son los parámetros de forma y escala respectivamente, los cuales pueden ser estimados en base a los estadísticos de las series de precipitación por el método máxima verosimilitud (Guttman, 1999) como:

$$\alpha = \frac{1 + \sqrt{1 + 4A/3}}{4A} \quad A = \ln(\bar{x}) + \frac{\sum \ln(x)}{n}$$

Donde n es la longitud de la serie de tiempo (meses). A continuación, la probabilidad acumulada de que la precipitación sea igual o menor que x es la escala de tiempo dada es expresada como:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx$$

Cuando $t=x/\beta$, la ecuación anterior se transforma en una función gamma incompleta:

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt$$

Esta fórmula no aborda el escenario extremo en el que la precipitación mensual acumulada $x=0$. Por lo tanto, se ajusta la ecuación anterior y se introduce la función modificada $H(x)$.

$$H(x) = q + (1 - q)G(x)$$

Donde q representa la probabilidad de $x=0$, que es la frecuencia con la que $x=0$ ocurre en todas las series observadas. Al ser transformadas en

la función de distribución normal estándar, el Índice de Precipitación Estandarizado (IPE) se expresa finalmente como:

$$SPI = \begin{cases} -\left(t - \frac{C_0 + C_1 + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right), t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{H(x)}\right)}, 0 < H(x) \leq 0.5 \\ t - \frac{C_0 + C_1 + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}, t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1 - H(x))^2}\right)}, 0.5 < H(x) \leq 1 \end{cases}$$

Las constantes son equivalentes a

$$C_0 = 2.51551, \quad C_1 = 0.80285, \quad C_2 = 0.01032, \quad d_1 = 1.43278, \quad d_2 = 0.18926 \text{ y } d_3 = 0.00130.$$

La evaluación de las sequías proyectadas se realizó de manera similar a la evaluación de las sequías observadas, considerando la estimación de la duración, intensidad, severidad y frecuencia de los eventos de sequía, utilizando las proyecciones de precipitación de los escenarios analizados en este estudio.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANALISIS DE LA TENDENCIA DE LAS SERIES PLUVIOMÉTRICAS

En este estudio de investigación, se han tomado en cuenta las estaciones meteorológicas clave, como Ayaviri, Azángaro, Huancané, Cabanillas, Ilave y Puno. Se considera el comienzo de la temporada de lluvias en el período 1970/71 a 2022/23, ha mostrado, En la mayoría de las estaciones meteorológicas de la zona de Puno, se observan tendencias positivas no significativas, lo que indica una inclinación hacia un retraso en el inicio de la temporada de lluvias, salvo por una estación situada en el extremo austral.

En contraste, estaciones ubicadas en el centro norte y este de Puno exhiben principalmente tendencias negativas que no son estadísticamente significativas, indicando un comienzo temprano de la temporada de lluvias. Aunque en algunas estaciones también se pueden observar tendencias positivas. En resumen, alrededor del 60% de las estaciones durante este período muestran una tendencia (no significativa) hacia un retraso en el inicio de la temporada de lluvias. El porcentaje de estaciones con dicho comportamiento es mayor en los últimos 30 años, aproximadamente el 80% (SENAMHI, 2021).

Tabla 5

Análisis de tendencia paramétrica y no paramétrica de precipitación mensual

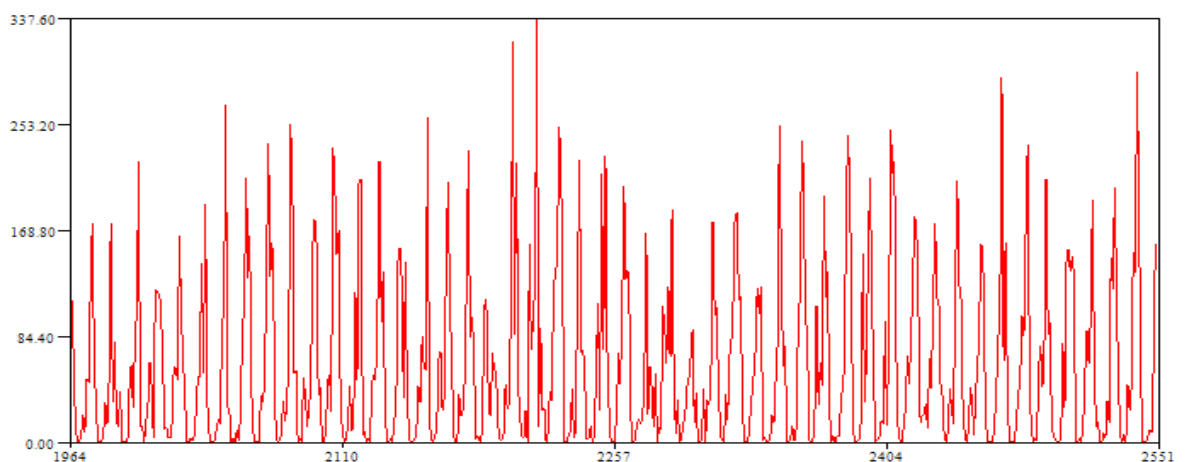
Método	P estadística	a=0.1	a=0.05	a=0.01	Sig.
Mann-Kendall	0.821	1.645	1.960	2.576	NS
Linear regresión	1.137	1.651	1.969	2.595	NS
Auto Correlación	12.456	1.645	1.960	2.576	S (0.01)

En el presente estudio se ha aplicado una prueba no paramétrica (Mann-Kendall) y dos pruebas paramétricas (regresión lineal y autocorrelación) las dos pruebas mostraron la no significancia excepto las pruebas de autocorrelación que muestra que es significativo a la probabilidad de $P \leq 0.01$, Por otro lado, consideramos la presencia de la cordillera de los Andes se extiende desde el norte de la línea ecuatorial hasta el extremo sur de Sudamérica. Sobre su posición central (15° - 22° S), a una altitud aproximada de 4000 m.s.n.m, se ubica el Altiplano, área con particulares características climáticas (Garreaud, 2003).

La zona de estudio, Puno, se sitúa en el Altiplano y limita al noreste con la selva amazónica y al suroeste con el desierto de Atacama, el más árido del mundo. Esta posición geográfica y altitudinal confiere a esta meseta características climáticas particulares. En esta región se encuentra el lago Titicaca, con una extensión de 840,000 hectáreas, que ejerce influencia en el clima de las áreas circundantes y sirve como fuente de humedad para las precipitaciones en la temporada de verano. Durante el otoño e invierno del hemisferio sur, la evaporación del agua es alta, pero las precipitaciones son escasas debido a la interacción con el aire extremadamente seco que proviene del oeste.

Figura 10

Grafico de tendencia de precipitación pluvial





4.2. DETERMINACION DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIO TEMPORAL DE SEQUÍA METEOROLÓGICA

El Índice de Precipitación Estandarizado (SPI; McKee 1993) es el número de desviaciones estándar que la precipitación acumulada se desvía del promedio climatológico. Esto sugiere que valores inferiores a -1 señalan déficits significativos, en tanto que valores superiores a +1 denotan condiciones más húmedas de lo habitual. En la región del Altiplano la precipitación se manifiesta principalmente durante los meses (diciembre a marzo) debido a la actividad convectiva intensa en relación a los Andes centrales.

Este fenómeno es parte de un proceso estacional de convección en la zona tropical del continente, alcanzando su punto máximo de intensidad y desplazamiento hacia el sur en esta época. El resto del año, cuando la actividad convectiva se ha desplazado hacia la región noroccidental del continente, los eventos de precipitación son escasos y se asocian más bien a perturbaciones frontales de origen extra tropical, que se desplazan desde el Pacífico hacia el Atlántico y que tienen un mayor impacto sobre el sector sur occidental del Altiplano (Vuille-M., 1999; Vuille & Ammann, 1997).

Sabemos que la región del altiplano de Puno posee cuatro estaciones bien marcadas como son: el verano, otoño, invierno y primavera; de los cuales nosotros conocemos que existen que el periodo del calendario agrícola coincide con el periodo hidrológico que inicia en el mes de octubre en algunas zonas hasta abril del año siguiente; y debemos tener en cuenta para el estudio de las sequías agrícolas e hidrológicas de la zona de la región del altiplano, que a continuación detallamos el estudio de SPI para diferentes tipos de periodos y a continuación se detalla (Aquise, 1987).

4.2.1. SPI de 1 mes en el altiplano de la región de Puno

Según, OMM-No 1090, (2012), manifiesta que el SPI calculado proporciona una representación más precisa de la precipitación mensual al haber sido normalizada su distribución. el SPI de 1 mes al final de noviembre compara la precipitación total de ese mes en particular con los totales de lluvia de noviembre de todos los años documentados. Debido a que el SPI de 1 mes representa las condiciones a corto plazo, su relevancia está vinculada a los modelos meteorológicos de sequía, la humedad del suelo y el impacto en los cultivos a corto plazo, especialmente durante la época de crecimiento. El SPI de 1 mes puede ser comparado con las condiciones evaluadas por el Índice de Humedad de Cultivos, que es parte de los índices del Índice de Severidad de Sequía de Palmer. En este estudio se ha tomado en cuenta el calendario agrícola, que abarca desde octubre del año anterior hasta abril del año siguiente, correspondiente al periodo de la campaña agrícola.

Tabla 6

Resultados de SPI estación Ayaviri 01 mes anual para los años 2024 a 2040

Años	Dic	Ene	Feb	Mar
2024 – 2025	-1.40	-1.19	-0.34	1.10
2025 – 2026	-1.01	-0.23	0.64	-0.63
2026 – 2027	2.09	-1.21	0.86	-0.28
2027 – 2028	0.55	0.97	-0.42	-1.74
2028 – 2029	1.54	0.15	-0.39	-1.36
2029 – 2030	-0.31	-1.06	-0.89	0.69
2030 – 2031	0.88	0.03	-0.55	0.67
2031 – 2032	-1.13	-0.41	0.57	1.28
2032 – 2033	0.98	0.90	-1.78	-2.51
2033 – 2034	-0.39	1.24	-1.38	-1.27
2034 – 2035	1.11	-0.77	-0.40	0.50
2035 – 2036	-1.27	-0.21	0.72	1.19
2036 – 2037	0.22	1.55	0.96	-0.50
2037 – 2038	0.69	0.09	0.91	0.61
2038 – 2039	-0.36	-0.82	0.29	1.09
2039 – 2040	-0.11	-1.18	2.29	-1.68



Para la interpretación de los resultados según: Mckee y otros, En 1993, se empleó el sistema de clasificación presentado en la tabla 4 para utilizar los valores del SPI y definir las diversas intensidades de sequía en función de los distintos valores del SPI. Además, se establecieron Los criterios para identificar los eventos de sequía en todas las escalas de tiempo. Estos eventos ocurren cuando el SPI es persistentemente negativo y alcanza una intensidad de $-1,0$ o menor. La sequía termina cuando el SPI alcanza valores positivos. En consecuencia, cada evento de sequía tiene una duración definida por su comienzo y fin, además de una intensidad para cada mes en que se mantiene el evento. La suma positiva del SPI para todos los meses de un episodio de sequía se puede denominar la “magnitud” de la sequía. (Mckee y otros, 1993).

Los resultados de SPI-1 (01 mes) se muestra en la tabla 7 que se refieren a la estación meteorológica de Ayaviri, donde se observa para el mes de diciembre de los años 2024, 2025, 2031 y 2035 se presentaran sequias cuyas intensidades serán de -1.40 , -1.01 , -1.13 , y -1.27 y con La probabilidad de ocurrencia es del 9.20%, indicando condiciones de sequía moderadamente seca; de igual manera para el mes de enero de los años 2025, 2027, 2030 y 2040 se presentaran sequias cuyas intensidades serán de -1.19 , -1.21 , -1.06 , y -1.18 con la probabilidad de ocurrencia es del 9.20%, con condiciones de sequía moderadamente seca; en febrero del año 2034, se anticipa una sequía con intensidades de -1.38 , también con una probabilidad de ocurrencia del 9.20% y clasificada en la categoría de sequía son moderadamente seca y asi mismo en el mismo mes se presentara en el mes de febrero sequia de categoría severamente seco con un intensidad de -1.78 ; y finalmente en el mes de marzo 22028, 2029, 2034 y 2040 con intensidades de -1.74 , -1.36 , -1.27 , y -1.68 de categoría con probabilidades de ocurrencia del 9.20%

y en el mes de marzo se presentara una sequía de categoría de severamente seco con un intensidad -2.51.

Tabla 7

Resultados de SPI estación Azángaro 01 mes anual

Años	Dic	Ene	Feb	Mar
2024 - 2025	-1.24	-1.17	0.06	1.17
2025 - 2026	-1.50	-0.19	0.72	-0.88
2026 - 2027	1.50	-1.54	1.22	-0.61
2027 - 2028	0.68	0.98	-0.87	-1.62
2028 - 2029	1.26	0.00	-0.40	-1.37
2029 - 2030	-0.18	-1.12	-0.44	0.78
2030 - 2031	0.86	-0.08	-0.52	0.77
2031 - 2032	-1.43	-0.38	0.71	1.28
2032 - 2033	1.10	0.86	-2.23	-2.00
2033 - 2034	-0.25	1.34	-2.17	-0.98
2034 - 2035	0.93	-0.96	-0.08	0.52
2035 - 2036	-1.27	-0.18	0.80	1.16
2036 - 2037	0.49	1.64	0.40	-0.65
2037 - 2038	0.90	-0.01	0.93	0.49
2038 - 2039	-0.85	-0.83	0.54	1.08
2039 - 2040	0.12	-1.27	-1.42	-1.48

Los resultados de SPI-1 (01 mes) se muestra en la tabla 8, que se refieren a la estación meteorológica ubicada en Azángaro, donde se observa para el mes de diciembre de los años 2024, 2031 y 2035 se presentaran sequias cuyas intensidades serán de -1.24, -1.43, -1.27 y con la probabilidad de ocurrencia es del 9.20%, indicando condiciones de sequía moderadamente seca; de igual manera para el mes de enero de los años 2025, 2029 y 2040 se presentaran sequias cuyas intensidades serán de -1.17, -1.12, y -1.27 con una probabilidad de ocurrencia del 9.20%, se presentan condiciones de sequía moderadamente seca; de igual manera, para el mes de febrero del año 2040 se presentara sequia cuya intensidad será de -1.42, con probabilidad de ocurrencia es de 9.20% las categorías de sequía son moderadamente seca y así mismo en el mismo mes se presentaran sequia de

categoría severamente seco con un intensidad de -2.23 y -2.17 en los años 2033 y 2034 respectivamente y finalmente en el mes de marzo 2025, 2028, 2029 y 2040 con intensidades de -1.17, -1.62, -1.37, y -1.48 de categoría moderadamente seca con una probabilidad de ocurrencia de 9.20% y en el mes de marzo se presentara una sequía de categoría de severamente seco con un intensidad -2.00 con una probabilidad de ocurrencia de 4.40%.

Tabla 8

Resultados de SPI estación Cabanillas 01 mes anual

años	Dic	Ene	Feb	Mar
2024 - 2025	-1.55	-1.73	-0.09	0.95
2025 - 2026	-1.16	-0.47	0.69	-0.40
2026 - 2027	2.06	-0.71	1.00	-0.03
2027 - 2028	0.59	1.09	-0.58	-1.71
2028 - 2029	1.55	0.45	-0.37	-1.31
2029 - 2030	-0.33	-1.31	-0.61	0.51
2030 - 2031	0.91	0.18	-0.49	0.50
2031 - 2032	-1.26	-0.71	0.65	1.23
2032 - 2033	1.04	1.10	-2.03	-2.97
2033 - 2034	-0.41	1.24	-1.72	-1.53
2034 - 2035	1.12	-0.60	-0.21	0.39
2035 - 2036	-1.43	-0.48	0.77	1.17
2036 - 2037	0.27	1.65	0.71	-0.28
2037 - 2038	0.73	0.20	0.90	0.70
2038 - 2039	-0.50	-1.07	0.43	1.02
2039 - 2040	-0.11	-1.41	-1.79	-1.98

Los resultados de SPI-1 (01 mes) se muestra en la tabla 9 que se refieren a la estación meteorológica ubicada en Cabanillas, donde se observa para el mes de diciembre de los años 2024, 2025, 2031 y 2035 se presentaran sequias cuyas intensidades serán de -1.55, -1.16, -1.26, y -1.43 y con la probabilidad de ocurrencia es del 9.20%, indicando condiciones de sequía moderadamente seca; de igual manera para el mes de enero de los años 2025, 2030, 2039 y 2040 se presentaran sequias cuyas intensidades serán de -1.75, -1.31, -1.07, y -1.41

respectivamente, con las probabilidades de ocurrencia es de 9.20% las clasificaciones de sequía son moderadamente seca; para el mes de febrero del año 2034 y 2040, se presentara sequia cuyas intensidades serán de -1.72 y -1.79 respectivamente, con probabilidades de ocurrencia es de 9.20% con categorías de moderadamente seca y así mismo mes de marzo 2028, 2029, 2033, 2034 y 2040 cuyas intensidades de -1.71, -1.31, -2.92, -1.53, y -1.98 de categoría con probabilidades de ocurrencia de 9.20% y es necesario la aclaración de que en el mes de marzo se presentara una sequía de categoría de severamente seco con un intensidad -2.51.

Tabla 9

Resultados de SPI estación Huancané 01 mes anual

Años	Dic	Ene	Feb	Mar
2024 - 2025	-1.49	-1.18	0.11	0.93
2025 - 2026	-1.05	-0.16	0.77	-0.30
2026 - 2027	2.08	-1.87	1.21	0.04
2027 - 2028	0.59	1.03	-0.73	-1.57
2028 - 2029	1.56	-0.05	-0.29	-1.10
2029 - 2030	-0.32	-1.15	-0.39	0.58
2030 - 2031	0.91	-0.08	-0.42	0.56
2031 - 2032	-1.15	-0.36	0.75	1.12
2032 - 2033	1.02	0.90	-2.39	-5.08
2033 - 2034	-0.38	1.41	-2.25	-1.29
2034 - 2035	1.13	-1.07	-0.01	0.46
2035 - 2036	-1.37	-0.12	0.84	1.06
2036 - 2037	0.27	1.70	0.53	-0.23
2037 - 2038	0.70	0.01	0.96	0.66
2038 - 2039	-0.44	-0.88	0.59	0.96
2039 - 2040	-0.11	-1.32	-1.48	-1.68

Los resultados de SPI-1 (01 mes) se muestra en la tabla 10 que se refieren a la estación meteorológica ubicada en Huancané, donde se observa para el mes de diciembre de los años 2024, 2025, 2031 y 2035 se presentaran sequias cuyas intensidades serán de -1.49, -1.05, -1.15, y -1.37 y con una probabilidad de

ocurrencia del 9.20%, se presentan condiciones de sequía moderadamente seca; de igual manera para el mes de enero del año 2025., 2027, y 2035 se presentaran sequias cuyas intensidades serán de -1.18, -1.87,y -1.07, con probabilidades de ocurrencia es de 9.20% de categorías de sequía son moderadamente seca; en el para el mes de febrero del año 2033, 2034, y 2040, se presentara sequia cuyas intensidades serán de -2.39, -2.25 y -1.48, con probabilidades de ocurrencia es de 9.20% las categorías de sequía son moderadamente seca y así mismo en el mes de marzo 2028, 2033, 2034 y 2040 con intensidades de -1.57, -5.08, -1.29, y -1.07 de categoría con probabilidades de ocurrencia es 9.20% y en el mes de marzo del año 2033 se presentara una sequía de categoría de extremadamente seco con un intensidad -5.08.

Tabla 10

Resultados de SPI estación Ilave 01 mes anual

Añosr	Dic	Jan	Feb	Mar
2024 - 2025	-1.53	-1.55	-0.33	0.94
2025 - 2026	-0.98	-0.35	0.66	-0.38
2026 - 2027	2.11	-1.64	0.87	0.03
2027 - 2028	0.52	1.08	-0.40	-1.80
2028 - 2029	1.54	0.09	-0.38	-1.55
2029 - 2030	-0.36	-1.39	-0.91	0.40
2030 - 2031	0.86	-0.05	-0.55	0.46
2031 - 2032	-1.10	-0.58	0.59	1.33
2032 - 2033	0.93	0.99	-1.87	-1.90
2033 - 2034	-0.42	1.41	-1.41	-1.79
2034 - 2035	1.11	-1.06	-0.40	0.33
2035 - 2036	-1.37	-0.33	0.74	1.29
2036 - 2037	0.18	1.77	0.98	-0.11
2037 - 2038	0.60	0.02	0.92	0.84
2038 - 2039	-0.36	-1.10	0.30	1.08
2039 - 2040	-0.18	-1.55	-2.55	-1.90

Los resultados de SPI-1 (01 mes) se muestra en la tabla 11 que se refieren a la estación meteorológica ubicada en Ilave, donde se observa para el mes de



diciembre de los años 2024, 2031 y 2035 se presentaran sequias cuyas intensidades serán de -1.53, -1.10, y -1.37 y con probabilidades de ocurrencia es de 9.20% las categorías de sequía son moderadamente seca; así mismo para el mes de enero en los años 2025, 2030, 2039 y 2040 se presentaran sequias cuyas intensidades serán de -1.55, -1.39, -1.10, y -1.55 con probabilidades de ocurrencia es de 9.20% las categorías de sequía son moderadamente seca; en el para el mes de febrero del año 2033, 2034 y 2040, se presentara sequia cuyas intensidades serán de -1.38, con probabilidades de ocurrencia es de 9.20% las categorías de sequía son moderadamente seca y así mismo en el mismo mes se presentara en el mes de febrero sequia de categoría severamente seco con un intensidad de -1.87, -1.41, y -2.55; y finalmente en el mes de marzo 2028, 2029, 2033, 2034 y 2040 con intensidades de -1.80, -1.55, -1.90, -1.79 y -1.90 de categoría severamente seco con probabilidades de ocurrencia de 9.20% .

4.2.2. SPI de 3 meses en el altiplano de la región de Puno

El SPI de 3 meses compara la precipitación acumulada durante un período específico de 3 meses, el SPI de 3 meses compara la precipitación total de ese mismo período de 3 meses con los totales de precipitación de ese mismo período de 3 meses en todos los años del registro histórico. En resumen, un SPI de 3 meses al final de febrero contrasta la precipitación total de diciembre, enero y febrero de un año en particular con los totales de precipitación de esos mismos meses de todos los años en el registro para esa ubicación. Cada año adicional al agregar un año adicional a los datos del período de registro, se reutilizan los valores de todos los años en el análisis.

Tabla 11*Resultados de SPI estación Ayaviri 03 mes anual*

Year	1	2	3	4
2024 - 2025	-0.94	-0.36	0.58	0.03
2025 - 2026	-0.98	-0.15	0.42	0.39
2026 - 2027	0.42	-0.35	1.24	0.45
2027 - 2028	1.10	-0.31	-0.24	0.47
2028 - 2029	1.14	-0.82	0.59	1.62
2029 - 2030	-0.58	-0.84	1.22	0.77
2030 - 2031	0.89	-0.07	0.15	0.18
2031 - 2032	-0.27	0.64	0.78	0.17
2032 - 2033	1.25	-1.16	-1.69	-0.32
2033 - 2034	0.23	-0.38	-0.11	0.39
2034 - 2035	0.73	-0.56	-0.03	1.04
2035 - 2036	-1.60	0.77	1.54	-0.24
2036 - 2037	1.24	1.26	-1.72	-0.85
2037 - 2038	0.29	0.75	-0.30	0.29
2038 - 2039	-2.30	0.15	0.04	-0.04
2039 - 2040	-0.34	-2.89	1.29	-0.32

Los valores no solo pueden variar, sino que lo harán al contrastar el año actual con todos los años previos en el historial de observaciones de manera histórica y estadística, el SPI de 3 meses refleja las condiciones de humedad a corto y mediano plazo, proporcionando una evaluación estacional de la precipitación. En zonas agrícolas importantes, un SPI de 3 meses podría ser más útil para destacar las condiciones de humedad que el índice de Palmer, que tiene una respuesta más gradual, o que otros índices hidrológicos actuales. Un SPI de 3 meses al concluir en agosto en la región del Corn Belt (Estados Unidos) revelaría las pautas de precipitación durante las fases críticas de reproducción y llenado de granos para el maíz y la soja. De igual manera, un SPI de 3 meses a finales de mayo ofrecería una evaluación de las condiciones de humedad del suelo al comienzo de la temporada de crecimiento.

Tabla 12

Resultados de SPI-03 estación Azángaro tres meses anual

Year	1	2	3	4
2024 - 2025	-0.67	-0.09	0.35	0.01
2025 - 2026	-1.38	-0.22	0.74	0.00
2026 - 2027	0.30	-0.48	1.50	0.31
2027 - 2028	0.89	-0.62	0.44	0.44
2028 - 2029	0.79	-1.07	0.94	1.72
2029 - 2030	-0.47	-0.63	1.32	0.71
2030 - 2031	0.73	-0.05	0.08	0.00
2031 - 2032	-0.64	0.83	0.63	0.17
2032 - 2033	1.28	-1.50	-1.55	-0.36
2033 - 2034	0.16	-0.60	0.02	0.43
2034 - 2035	0.50	-0.50	-0.16	1.02
2035 - 2036	-1.33	0.93	1.33	-0.10
2036 - 2037	1.09	1.03	-2.19	-0.65
2037 - 2038	0.77	0.71	-0.71	0.36
2038 - 2039	-2.24	0.35	-0.38	-0.22
2039 - 2040	0.12	-2.71	1.97	-0.37

En la Tabla muestra el resultados de SPI-03 de la estación meteorológica ubicada en Ayaviri de tres meses anual, para poder tomar en cuenta en este caso se va ha considerar los dos primeros meses y la misma que coincide con la campaña agrícola en nuestra región del altiplano de Puno, en la tabla se observa de los meses de octubre , noviembre y diciembre del año 2035 se presentara una sequía de categoría severamente seco con una intensidad de -1.60 y la probabilidad de ocurrencia será de 4.40% y durante los meses de octubre, noviembre y diciembre se presentara una sequía de categoría extremadamente seco con un intensidad de -2.30 con una probabilidad de ocurrencia de 2.30%. y en los meses de enero, febrero y marzo también se ha estimado la presencia de la sequía de categoría moderadamente seco con una probabilidad de ocurrencia de 9.20% y finalmente en los meses de enero, febrero y marzo se ha determinado la presencia de la sequía de categoría extremadamente seco con una intensidad de -2.89 y la probabilidad de ocurrencia será de 2.30% (Mckee y otros, 1993).

En la Tabla 13 se nota que durante los meses de octubre, noviembre y diciembre del año 2025 se determinó sequía de categoría severamente seca con una intensidad de -1.18 y con una probabilidad de ocurrencia de 4.40% y así mismo en los meses indicados se determinó la ocurrencia de sequías de categoría moderadamente seca con una intensidad -1.33 esto ocurre en el año 2035 y se obtuvieron también en ellos meses indicados del año 2038 una sequía de categoría extremadamente seca con una intensidad de -2.24.

Tabla 13

Resultados de SPI estación Cabanillas 03 mes anual

Años	1	2	3	4
2024 - 2025	-1.06	-0.47	0.52	-0.04
2025 - 2026	-1.17	-0.13	0.49	0.13
2026 - 2027	0.70	0.13	1.27	0.31
2027 - 2028	1.03	-0.30	-0.13	0.32
2028 - 2029	1.19	-0.55	0.58	1.67
2029 - 2030	-0.55	-0.88	1.16	0.75
2030 - 2031	0.90	-0.05	0.13	0.04
2031 - 2032	-0.52	0.53	0.79	0.16
2032 - 2033	1.27	-1.11	-1.87	-0.40
2033 - 2034	0.11	-0.58	-0.20	0.24
2034 - 2035	0.77	-0.39	-0.03	1.05
2035 - 2036	-1.64	0.65	1.47	-0.27
2036 - 2037	1.11	1.19	-2.18	-1.10
2037 - 2038	0.46	0.82	-0.21	0.28
2038 - 2039	-1.81	0.13	0.08	-0.16
2039 - 2040	-0.26	-2.82	1.30	-0.41

Los resultados de SPI-03 de la estación meteorológica de Cabanilla de tres meses anual, para poder tomar en cuenta, los meses que coincide con la campaña agrícola en nuestra región del altiplano de Puno, en la tabla 14, se observa en los meses de octubre, noviembre y diciembre de los años 2024, 2025, 2035 y 2039 se presentara una sequía de categoría moderadamente seco con una intensidad de -1.60, -1.17, -1.64 y -1.81 y cuya probabilidad de ocurrencia será de

9.20% y los meses de enero , febrero y marzo de los años 2033, y 2040 se presentaran sequias de categorías de moderadamente seco y extremadamente seco con intensidades de -1.11 y -2.82 respectivamente (Mckee y otros, 1993).

Es necesario tener la aclaración referente a los otros meses del año que no corresponden a la campaña agrícola en el altiplano del departamento de Puno.

Tabla 14

Resultados de SPI estación Huancané 03 mes anual

Años	Oct-Nov-Dic	2	3	4
2024 - 2025	-1.08	0.00	0.78	0.17
2025 - 2026	-1.36	0.00	0.53	-0.42
2026 - 2027	1.16	-0.21	1.35	0.46
2027 - 2028	0.90	-0.62	-0.30	0.69
2028 - 2029	1.26	-1.01	0.63	1.51
2029 - 2030	-0.54	-0.58	1.22	0.72
2030 - 2031	0.90	-0.07	0.12	-0.17
2031 - 2032	-0.86	0.89	0.88	0.01
2032 - 2033	1.35	-1.65	-1.59	-0.44
2033 - 2034	-0.05	-0.73	-0.10	0.61
2034 - 2035	0.82	-0.43	-0.04	0.83
2035 - 2036	-1.52	0.99	1.73	-0.17
2036 - 2037	0.94	1.03	-1.90	-0.63
2037 - 2038	0.74	0.82	-0.20	0.46
2038 - 2039	-1.57	0.43	0.35	-0.44
2039 - 2040	-0.07	-2.81	1.11	-0.49

En la Tabla 15 muestra el resultados de SPI-03 de la estación meteorológica ubicada en Huancané, durante los meses de octubre, noviembre y diciembre de los años 2024, 2025, 2035 y 2038 se obtuvieron índices que indican la presencia de sequias de categoría moderadamente seco , cuyas intensidades serán -1.08, -1.36, -1.52 y -1.57 y con probabilidades de ocurrencia de 9.20% y para meses de enero, febrero y marzo se han determinado sequias de categoría severamente seco cuyas intensidades serán de -1.01 y -1.65 corresponden a los

años 2029 y 2033 y finalmente se ha determinado sequía de categoría de extremadamente seco con una intensidad de -2.81 la misma que ocurrirá en el año de 2040.

Es necesario tener la aclaración referente a los otros meses del año que no corresponden a la campaña agrícola en el altiplano del departamento de Puno, estos meses corresponderían a las épocas como de las estaciones de otoño e invierno.

Tabla 15

Resultados de SPI estación Ilave 03 mes anual,

Años	1	2	3	4
2024 - 2025	-1.09	-0.47	0.71	-0.19
2025 - 2026	-1.45	-0.08	0.68	0.37
2026 - 2027	1.05	-0.29	1.33	0.31
2027 - 2028	0.92	-0.40	-0.02	0.19
2028 - 2029	1.19	-0.96	0.83	1.78
2029 - 2030	-0.60	-1.07	0.99	0.78
2030 - 2031	0.87	-0.20	0.01	0.13
2031 - 2032	-0.85	0.68	0.67	0.16
2032 - 2033	1.34	-1.28	-2.19	-0.41
2033 - 2034	-0.02	-0.57	0.17	0.20
2034 - 2035	0.77	-0.70	-0.13	1.12
2035 - 2036	-1.65	0.84	1.67	-0.27
2036 - 2037	1.00	1.40	-2.14	-1.20
2037 - 2038	0.71	0.85	-0.13	0.18
2038 - 2039	-1.78	0.15	0.36	-0.09
2039 - 2040	-0.10	-3.70	0.90	-0.45

En la Tabla 16 muestra el resultados de SPI-03 de la estación meteorológica de Ilave de tres meses corresponden octubre, noviembre y diciembre de los años 2024 y 2025 se estimaron sequías de categoría moderadamente seco con intensidades de -1.08 y -1.36 con una probabilidad de ocurrencia de 9.20% , sin embargo en meses de enero, febrero y marzo de los años



2029 y 2033 se presentaron sequías de categoría moderadamente seco con intensidades de -1.01 y -1.65 con probabilidades de ocurrencia 9.20%, y se ha determinado la sequía de categoría extremadamente seca en el año 2040 con una intensidad de -2.82.

4.2.3. SPI de 6 mes en el altiplano de la región de Puno

El SPI de 6 meses compara la cantidad total de precipitación acumulada durante ese intervalo con el mismo período de 6 meses en el historial de registros. Por ejemplo, un SPI de 6 meses al final de septiembre contrasta la precipitación total de abril a septiembre con todos los totales anteriores para ese mismo período. Este indicador revela las tendencias de precipitación a medio plazo y estacionales, siendo más sensible a las condiciones en esta escala que el Índice de Palmer. Un SPI de 6 meses puede ser útil para visualizar la precipitación en distintas estaciones. Por ejemplo, un SPI de 6 meses al final de marzo podría indicar la cantidad de lluvia durante el período crítico de la estación húmeda, que abarca de octubre a marzo en ciertas zonas mediterráneas. Los datos derivados de un SPI de 6 meses también pueden proporcionar información sobre caudales de ríos y niveles de almacenamiento inusuales, dependiendo de la región y la época del año.

Tabla 16

SPI de 6 mes en el altiplano del departamento de Puno

Estación	Ayaviri		Azángaro		Cabanillas		Huancané		Ilave	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
2024 - 2025	-0.93	0.42	-0.78	0.18	-0.98	0.30	-0.68	0.58	-0.93	0.42
2025 - 2026	-0.78	0.42	-1.44	0.52	-0.73	0.34	-0.82	0.13	-0.78	0.42
2026 - 2027	-0.07	1.08	-0.13	1.34	0.43	1.10	0.52	1.15	-0.07	1.08
2027 - 2028	0.45	-0.03	0.43	0.45	0.31	-0.06	0.03	0.13	0.45	-0.03
2028 - 2029	0.13	1.09	0.06	1.50	0.23	1.19	0.01	1.21	0.13	1.09
2029 - 2030	-1.12	1.17	-1.00	1.32	-1.06	1.17	-0.89	1.17	-1.12	1.17
2030 - 2031	0.47	0.13	0.60	-0.05	0.41	0.00	0.44	-0.09	0.47	0.13
2031 - 2032	0.29	0.62	-0.09	0.49	0.12	0.62	0.26	0.59	0.29	0.62
2032 - 2033	-0.01	-1.61	0.41	-1.38	-0.08	-1.59	-0.34	-1.41	-0.01	-1.61
2033 - 2034	-0.22	0.02	-0.35	0.12	-0.46	-0.16	-0.71	0.20	-0.22	0.02
2034 - 2035	0.00	0.39	0.07	0.34	0.08	0.42	0.12	0.37	0.00	0.39
2035 - 2036	-0.24	1.15	-0.51	1.04	-0.20	1.11	0.06	1.25	-0.24	1.15
2036 - 2037	1.73	-1.99	1.65	-2.04	1.48	-2.11	1.36	-1.92	1.73	-1.99
2037 - 2038	0.71	-0.16	1.11	-0.42	0.84	-0.15	1.07	0.04	0.71	-0.16
2038 - 2039	-1.10	-0.04	-1.50	-0.53	-0.74	-0.13	-0.51	-0.03	-1.10	-0.04
2039 - 2040	-2.45	0.93	-1.67	1.61	-2.29	0.91	-2.22	0.60	-2.45	0.93

4.2.4. SPI de 12 mes en el altiplano del departamento de Puno

El SPI en estas escalas temporales revela los patrones de precipitación a largo plazo. Un SPI de 12 meses implica comparar la precipitación de 12 meses consecutivos con la registrada en esos mismos 12 meses consecutivos en todos los años anteriores con datos disponibles. Dado que estas escalas temporales representan la acumulación de períodos más cortos que pueden variar por encima o por debajo de lo normal, el SPI a largo plazo tiende a rondar el cero, a menos que haya una tendencia húmeda o seca evidente. Los SPI en estas escalas temporales suelen estar relacionados con caudales de ríos, niveles de embalses y incluso niveles de aguas subterráneas a largo plazo. En ciertas ubicaciones, el SPI

de 12 meses está estrechamente relacionado con el Índice de Palmer, y ambos índices pueden indicar condiciones similares de 12 mes en el altiplano.

Tabla 17

SPI de 12 mes en el altiplano de la región de Puno

Años	Ayaviri	Azángaro	Cabanillas	Huancané	Ilave
2024 – 2025	-0.72	-0.73	-0.83	-0.36	-0.71
2025 – 2026	-0.59	-1.14	-0.60	-0.70	-0.59
2026 – 2027	0.36	0.50	0.72	0.90	0.37
2027 – 2028	0.33	0.52	0.21	0.01	0.33
2028 – 2029	0.54	0.77	0.59	0.53	0.54
2029 – 2030	-0.46	-0.26	-0.52	-0.19	-0.46
2030 – 2031	0.40	0.46	0.32	0.27	0.40
2031 – 2032	0.44	0.06	0.26	0.40	0.44
2032 – 2033	-0.52	-0.14	-0.50	-0.80	-0.52
2033 – 2034	-0.26	-0.36	-0.53	-0.57	-0.26
2034 – 2035	0.08	0.13	0.15	0.19	0.08
2035 – 2036	0.25	-0.01	0.18	0.59	0.25
2036 – 2037	1.10	0.97	0.95	0.64	1.10
2037 – 2038	0.52	0.82	0.68	0.86	0.52
2038 – 2039	-1.08	-1.57	-0.77	-0.51	-1.08
2039 – 2040	-1.69	-0.61	-1.66	-1.54	-1.68

Los resultados de SPI -12, para 12 meses del año demuestra que en meses de octubre del año anterior a setiembre del año siguiente de los años 2039-2039 se observa sequía de categoría moderadamente seco con una intensidad de -1.08 con probabilidad de ocurrencia de 9.20% y durante el período del año 2039 al 2040 se evidencia una sequía de intensidad severa con una probabilidad de ocurrencia de 4.40% esto corresponde a la estación meteorológica de Ayaviri y para la estación meteorológica ubicada en Azángaro se observa para el año 2025 a 2026 sequía e categoría moderadamente seco cuya intensidad es -1.14 con la probabilidad de ocurrencia de 9.20% estos valores corresponden a la estación meteorológica ubicada en Azángaro; y para la estación meteorológica de



Cabanillas para el año 2038 a 2039 se determinó la ocurrencia de sequía cuya categoría será de severamente seca y con un intensidad de -1.57 cuya probabilidad de ocurrencia es de 4.40%; y para las estaciones meteorológicas de Cabanillas, Huancané e Ilave se determinó la presencia de sequías de categorías severamente seco para los años de 2039 a 2040 cuyas intensidades serán de -1.66, -1.54 y -1.58 con la probabilidad de ocurrencia de severamente seco.

4.3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La severidad de la sequía se evaluó como el déficit de precipitación, y se cuantificó utilizando el Índice Estándarizado de Precipitación (SPI) según su probabilidad de ocurrencia para escalas temporales de un mes (01), tres meses (03) y seis meses (06). Se identificó que las estaciones meteorológicas de Ayaviri, Azángaro, Cabanillas, Huancané e Ilave, ubicadas en la vertiente del Lago Titicaca de Puno presentaron peligro de sequía categorizado como alto y muy alto, ocupando un área total del 71% de dicha región (Aramayo, 2019).

La vulnerabilidad de sequía varía espacialmente a causa de las diferencias en los sectores sociales, económicos y físicos de una zona, por lo que se han seleccionado siete indicadores más relevantes que caracteriza a la región andina de Puno, como la ganadería, agricultura en secano, densidad poblacional, Índice de Desarrollo Humano (Aramayo, 2019). Para los especialistas en la sequía, el SPI (McKee y otros, 1993, 1995) es un potente y flexible índice sencillo de calcular; de hecho, el único parámetro necesario para su cálculo es la precipitación. Además, es igualmente útil para examinar tanto los períodos y ciclos de humedad como los de sequía.

El proceso de cálculo del SPI, utilizando un enfoque dinámico, implica una serie de etapas que inician con la generación de datos climáticos a una escala detallada de una



malla fina. El componente utilizado para determinar el SPI se basa en el registro histórico de precipitaciones a largo plazo para un período determinado, este registro se ajusta previamente a una distribución de probabilidades. Posteriormente, se transforma en una distribución normal, de modo que el SPI medio para la región y el período deseado sea cero (Edwards y McKee, 1997). Los valores positivos de SPI indican que la precipitación es mayor que la mediana, y los valores negativos, que es menor (MA-SENAMHI, 2021).

Diversos autores examinan los beneficios y limitaciones de ambas distribuciones en diferentes áreas geográficas, sin que exista una distribución única recomendada para calcular el SPI. Algunos trabajos recomiendan la distribución Pearson III, por (Blain, 2011), para San Pablo (Brasil), (Wu y otros, 2007) y (Guttman, 1999) para Estados Unidos y (Kurmar y otros, 2009) para India. La primera etapa en el proceso de calcular el SPI implica determinar los totales acumulados de precipitación para el mes/año y la escala temporal seleccionada. Posteriormente, se aplica un ajuste de una distribución teórica a los totales de cada mes dentro del periodo de análisis. Para realizar este ajuste se excluyen los valores de precipitación iguales a 0 (Husak y otros, 2007).



V. CONCLUSIONES

En el análisis de tendencia se ha aplicaron la prueba no paramétrica (Mann-Kendall) y las pruebas paramétricas (regresión lineal y auto correlación) las cuales mostraron que no hay significancia estadística y excepto la prueba de auto correlación que muestra la significancia estadística es decir a la probabilidad de $P \leq 0.01$, es necesario destacar que el incremento de las lluvias intensas y las inundaciones relacionadas persistirá a medida que las temperaturas globales sigan aumentando. Este elemento climático cuya variación no es notorio con respecto a la variación climática y calentamiento global del global en el altiplano del departamento de Puno.

En la estación meteorológica de Ayaviri para un (01) mes anual de la tabla 7 muestra en diciembre de los años 2024 (-1.40), 2025 (-1.10), 2031 (-1.13) y 2035 (-1.27), en enero de los años 2025(-1.19), 2027 (-1.21), 2030 (-1.06) y 2040 (-1-18); en febrero de los años 2033(-1.78) y 2034 (-1.38 ; en marzo de los años 2028 (-1.74), 2029 (-1.36), y 2034 (-1.27); se presentaran sequias de categoría severamente seco con una probabilidad de ocurrencia de 4.40% en los años 2033 (-178) del mes de febrero y final se observa una sequía de categoría extremadamente seco en el mes de marzo del año de 2033 (-2.51) con un probabilidad de ocurrencia de 2.30%; Para la estación meteorológica de Azángaro para un (01) mes anual de la tabla 08, muestra en el mes de diciembre de los años 2025 (-1.24),2031 (1.43) y 2035(-1.27); para el mes de enero 2025(-1.17), 2030(-1.12) y del 2040 (-1.27); y en el mes de marzo el año 2025 (-1.17), 2029 (-1.37), y 2040 (-1.48) se muestra sequia de categoría moderadamente seco con probabilidad de ocurrencia de 9.20% y para el mismo mes se muestra una de sequía de categoría severamente seco en el año 2025 (-1.50), y 2027 (-1.54) con una probabilidad de ocurrencia de 4.40%; y finalmente en el año 2033(-2.23), 2034 (-2.17) y en el mes de marzo del año 2033 (-2.00), se presentara



sequia extremadamente seca con una probabilidad de ocurrencia de 2.30%; En la estación meteorológica de Cabanillas para un (01) mes anual de la tabla 09, muestra en el mes de diciembre de los años 2025 (-1.16), 2031 (1.26) y 2035(-1.43); en el enero de los años 2030 (-1.31), 2039 (-1.07), 2040 (-1.41); y mes de marzo el año 2029 (-1.31) estos son sequia de 4.40% as de categoría moderadamente seco con una probabilidad de ocurrencia de 9.20%; las sequias de categoría severamente seco corresponden al mes de enero de 2025 (-1.55), mes de febrero 2034 (-1.72) y 2040 (-1.79) el mes de marzo 2028 (-1.71), 2034 (-1.53) y el año 2040 (-1.98) estos últimos son sequias de categoría severamente seco con una probabilidad de ocurrencia de 4.40%; En la estación meteorológica de Huancané para un (01) mes anual de la tabla 10, muestra en el mes de diciembre de los años 2024 (-1.49), 2031 (-1.15) y 2035(-1.37), mes de enero de los años 2025 (-1.18), 2035 (-1.07), y mes de marzo del año 2034 (-1.29) estas son de categoría moderadamente seco con una probabilidad de ocurrencia de 9.20%; las sequias de categoria severamente seco se presentaran en los meses de enero del año 2027 (-1.87), mes de marzo del año 2028 (-1.57) y marzo del año de 1940 (-1.68) y finalmente es necesario presentar las sequias de categoria extremadamente seco en los meses de febrero del año 2033 (-2.39) y marzo del 2033 (-5.08) las probabilidades de ocurrencia son de 2.30%; Para la estación meteorológica de Ilave para un (01) mes anual de la tabla 10, muestra en el mes de diciembre de los años 2031 (-1.10) y 2035 (1.37) en el mes de enero 2030 (-1.39), 2039 (-1.10), en el mes de febrero en el año 2034 (-1.41) y en el mes de marzo 2029 (-1.55) con probabilidad de ocurrencia de 9.20%. y las sequias de categoría severamente seco se presentaran en los años de 2033 (-1.87) en el mes de febrero y 2034 (-1.41) en el mes de febrero; y las sequias de categoría extremadamente seco se presentaran en el año 2040 (-2.55) con un probabilidad de ocurrencia de 2.30%.



VII. RECOMENDACIONES

Analizar la tendencia de la información pluviométrica durante periodos de sequía de las unidades hidrográficas de la vertiente del lago Titicaca

Determinar la distribución temporal de sequía meteorológica en función del índice estandarizado de precipitación pluvial en el altiplano del departamento de Puno.

Caracterizar la sequía meteorológica en función de la distribución de precipitación pluvial y la evapotranspiración potencial en la vertiente del lago Titicaca.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antunez de Mayolo. (1983). Será posible pronosticar las variaciones de nivel del lago titicaca. In: Bol. de la Soc. Geogr. de Lima, T CIII , pp 26-34.
- Aquise, J. E. (1987). Meteorología Generla y Agrícola. Puno Peru: Universidad nacional del Altiplano Facultad de Ciencias Agrarias.
- Aramayo, A. W. (2019). Distribucion Espacial del Riesgo de Sequia en la Region andina de Puno. Lima Peru: Universidad Nacional Agraria la Molina Maestria en Recursos Hidricos.
- Black, R., Bennett, S., Thomas, S., & Beddington, J. (2011). Migration as adaptation. Nature, 478. <https://doi.org/10.1038/478477a>, 447–449.
- Blain, G. C. (2011). Standardized precipitation index based on Pearson type III distribution. Revista Brasileira de Meteorologia, 26, 167-180.
- Chereque, M. W. (1989). Hidrologia para estudiantes de Ingenieria Civil. Pontificia Universidad catolica del Peru Lima.
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). Applied Hydrology. McGraw-Hill. 582 p. International Edition.
- Flores, C. E. (2017). Metodologia de Investigacion. Puno: UNAP.
- Flores, Q. E., Flores, C. E., Quiñones, C. J., & Flores, Q. M. (2021). Statistical Modeling of Reference Evapotranspiration for Areas of the Peruvian Altiplano with Lack of Insolation Data. International Journal of Scientific Engineering and Science, 5(10), 20–24. <http://ijses.com/wp-content/uploads/2021/10/27-IJSES-V5N10.pdf>, 20-24.
- Flores, Q. E., Silva, D. C., & Flores, C. E. (2015). Modelacion de la Evapotranspiracion Potencial en el Altiplano de Puno. Ciencia y Desarrollo, 20. 83-90 / ISSN 23048891.



- Galvez, A. P. (2017). Caracterizacion de la sequias Historicas y Proyectadas Bajo Escenarios de Cambio Climatico en la Cuenca del Rio Mantaro. Lima Peru: Universidad Nacional Agraria la Molina, Maestria en Recursos Hidricos.
- Guerrero, V. P., & Yevjevich. (1975). analysis of Drought Caracteriscas by the theory of run. Hydrology paper N° 80, Colorado State University Fort Collins, Colorado, U.S.A.
- Guttman, N. B. (1999). Accepting the Standardized Precipitation Index: a calculation algorithm. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 35(2), 311-322.
- Hagman, G., Wijkman, A., Bendz, M., & Beer, H. (1984). Prevention Better than Cure: Report on Human and Natural Disasters in the Third World. Swedish Red Cross.
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A., Aldaya, M., & Mekonnen, M. (2011). The water footprint assessment manual: setting the global standard. London: 1st Edition. UK: Earthscan. 224p.
- INRENA. (2008). Actualización del Balance Hídrico de la Cuenca del rio Ramis. Ayaviri Melgar Puno: Ministerio de Agricultura Instituto Nacional de Recursos Naturales Intendencia de Recursos Hídricos Administración Técnica del Distrito de Riego Ramis .
- Husak, G. J., Michaelsen, J., & Funk, C. (2007). Use of the gamma distribution to represent monthly rainfall in Africa for drought monitoring applications. International Journal of Climatology, 27(7), 935-944.
- INRENA. (2008). Actualización del Balance Hídrico de la Cuenca del rio Ramis. Ayaviri Melgar Puno: Ministerio de Agricultura Instituto Nacional de Recursos Naturales Intendencia de Recursos Hídricos Administración Técnica del Distrito de Riego Ramis .



IPCC. (2013). Climate Change 2013.

Kamali, F., Hussain, F., & Cinar, Y. (2017).

An experimental and numerical analysis of WAG

and SWAG displacements for CO₂. EOR and storage. SPEJ. 22.

Kurmar, N. M., Murthy, C. S., Sessa Sai, M. R., & Roy, P. S. (2009). On the use of Standardized Precipitation Index (SPI).

Lorenzo-Lacruz, J., Vicente-Serrano, S. M., Gonzales-Hidalgo, J. C., Lopez-moreno, J. I., & Cortesi, N. (2013). Hydrological drought response to meteorological drought in the Iberian Peninsula. *Clim Res*, 58(2), , 117-131.

MA-SENAMHI. (2021). Pronostico de sequias Meteorologicas para el departamento de Puno. Proyecto Pachayatiña/Pachayachay. SENAMHI - HELVETAS - PREDES.

Mckee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *AMS 8th Conf. Appl. Climatol*, 179–184. doi:citeulikearticle-id:10490403.

Mijares, F. J. (1989). *Fundamentos de hidrología de superficie*. Limusa.

Monsalve, G. (1999). *Hidrologia en la Ingenieria*. Bogota, Colombia : Escuela Colombiana en la Ingenieria.

OMM. (2006). *Vigilancia y alerta temprana de la sequía, Información meteorologica y climatica para el desarrollo agricola sostenible*.

OMM-No 1090. (2012). *Índice normalizado de precipitación: Guía del usuario*. CH-1211 Ginebra 2, Suiza: Organizacion Meteorologica Mundial: Tiempo-Clima- Agua METEOTERM, base terminológica de la OMM, está disponible en la página web: <http://www.wmo>.

Palmer, W. C. (1965). *Meteorological Drought*. U.S. Weather Bur. Res, Pap. No. 45.



- Rodriguez, N. L. (2013). El estudio de la sequía hidrológica en el Mediterráneo español: propuesta de aplicación del índice estandarizado de sequía pluviométrica a las aportaciones hídricas. España: Tesis: Doctoral dissertation, Universidad de Sevilla.
- Segovia. (2016). “Precipitación estimada y sequía meteorológica futura en la cuenca del Río Grande utilizando el modelo de circulación global MRI”.
- Sen. (1976). Los desastres relacionados con el agua, como sequías, inundaciones, huracanes, tifones y tsunamis, causan daños terribles a la vida humana y a la propiedad, mucho más que los daños causados por los terremotos.
- SENAMHI. (2021). Caracterizacion de sequias Meteorologicas en el departamento de Puno (Correa K., V. Castro, A. Rodriguez, F. Cubas,. SENAMHI - HELVETAS - PREDES: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Proyecto Pachayatiña/Pachayachay.
- Singh, M. y. (2010). variables hidrometeorológicas y socioeconómicas.
- TDPS, T.-D. P.-S. (2011). Perspectivas del Medio Ambiente. Impreso en Colombia por Panamericana Formas e Impresos, S.A.: Publicado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).
- Ticona, A. A. (2017). Determinacion de las frecuencias de sequias en la sub cuenca del rio huenque con fines de planeamiento de los recursos hidricos para uso en actividades agropecuarias . Puno Peru: Universidad Nacional del Altiplano Puno Facultad de ingenieria Agricola Tesis.
- Valverde. (2007). Modelos Globales.
- Van Loon, A. F., & Laaha, G. (2015). Hydrological drought severity explained by climate and catchment characteristics. *Journal of Hydrology*, 526, 3-14.



- Vega, J. F. (2018). Variabilidad Espacio-temporal de la sequia en el Peru y el Peligro Asociado al fenomino del Niño. Lima Peru: Universidad Nacional Agraria la Molina Maestria en Recursos Hidricos.
- Vicente-Serrano, S. M., Lopez-Moreno, J. I., Begueria, S., Lorenzo-Lacruz, J., Azurin-Molina, C., & Moran-Tejeda, E. (2012). Accurate Computation of a Streamflow Drought Index. *J. Hydrol. Eng.* 17, 318–332, doi:10.1061/(ASCE)HE.19435584.0000433.
- Vuille, M., & Ammann, C. (1997). Regional snowfall pattern in the high, arid Andes. *Climatic Change*, 36, 413-423. <https://doi.org/10.1023/A:1005330802974>.
- Vuille-M. (1999). Atmospheric circulation over the Bolivian Altiplano during dry and wet periods and extreme. *International Journal of Climatology*, 19(14), . [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(19991130\)19:14<1579::AID-JOC441>3.0.CO;2-N](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(19991130)19:14<1579::AID-JOC441>3.0.CO;2-N), 1579 - 1600.
- Wu, H., Svoboda, M. D., Hayes, M. J., Wilhite, D. A., & Wen, F. (2007). Appropriate application of the standardized precipitation index in arid locations and dry seasons. *International Journal of Climatology*, 27(1), 65-79.
- Zavala. (2015). Determinacion de las frecuencias de sequias en la sub cuenca del río Huenque con fines de planeamiento de los recursos hídricos para uso en actividades agropecuarias. Puno Peru: Universidad Nacional del Altiplano de Puno.



ANEXOS



Tabla A 1

Datos meteorológicos estación Ayaviri de 1970- 2040

AÑOS	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
1970-71	10.0	20.3	142.4	78.1	180.3	13.9	56.9	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	505.0
1971-72	24.0	27.3	107.5	165.3	108.5	82.4	34.2	1.2	0.0	3.0	8.6	17.3	579.3
1972-73	22.7	36.8	130.8	201.4	150.5	134.0	76.6	15.2	0.0	5.3	2.0	72.6	847.9
1973-74	65.7	57.0	87.8	178.6	263.5	67.0	42.6	7.3	7.0	0.0	43.9	5.4	825.8
1974-75	34.2	43.5	95.9	133.1	187.4	104.7	37.3	4.1	0.0	0.0	0.0	4.9	645.1
1975-76	87.2	73.4	172.3	125.3	103.2	54.3	31.1	1.8	0.0	0.0	0.0	20.4	669.0
1976-77	2.7	0.0	33.1	17.2	87.4	57.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	199.2
1977-78	0.0	52.5	118.0	226.1	192.8	75.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.0	691.6
1978-79	23.9	145.3	153.2	183.3	56.9	101.0	44.3	2.0	0.0	0.0	1.0	22.0	732.9
1979-80	32.0	50.0	77.0	193.0	173.1	96.0	31.0	3.0	0.0	0.0	0.0	6.0	661.2
1980-81	70.0	93.0	8.0	182.0	132.0	93.0	29.0	3.0	0.0	0.0	39.5	3.0	652.5
1981-82	26.0	68.0	49.0	149.6	23.3	163.0	93.9	0.0	0.0	0.0	39.5	35.0	647.3
1982-83	117.9	211.5	57.1	43.0	53.2	67.8	63.5	0.4	2.1	0.0	0.0	7.0	623.5
1983-84	17.4	43.4	79.3	43.0	53.2	67.8	63.5	0.4	2.1	0.0	0.0	7.0	377.1
1984-85	17.4	43.4	79.3	142.0	149.9	190.1	158.1	8.2	40.5	0.0	0.0	24.6	853.5
1985-86	40.0	62.0	37.0	171.0	172.3	159.7	110.4	16.8	0.0	0.0	2.3	24.0	795.5
1986-87	4.4	38.9	163.1	180.2	70.1	58.1	41.3	4.7	4.8	20.4	3.3	2.0	591.3
1987-88	30.5	72.8	76.9	158.9	87.9	157.1	78.6	13.7	0.0	0.0	0.0	15.6	692.0
1988-89	46.7	2.5	91.8	158.5	75.7	99.0	56.2	3.7	2.9	0.1	31.6	22.8	591.5
1989-90	47.6	37.0	76.6	190.2	111.1	38.6	32.4	3.8	33.5	0.0	3.5	4.1	578.4
1990-91	87.1	71.7	81.9	163.5	95.9	109.8	27.6	29.6	35.8	0.6	2.9	13.6	720.0
1991-92	51.1	33.2	85.4	109.8	79.5	45.3	27.4	0.0	10.2	0.0	49.0	1.1	492.0
1992-93	54.4	61.0	43.8	206.6	68.0	120.0	26.6	0.3	10.8	0.3	23.7	40.8	656.3
1993-94	89.1	175.0	78.8	113.5	81.9	144.6	69.9	4.7	0.0	0.0	7.5	4.1	769.1
1994-95	16.7	65.5	99.8	96.3	98.4	132.5	44.9	0.5	0.0	0.0	0.0	5.1	559.7
1995-96	15.1	70.5	104.1	181.6	123.6	61.0	19.8	6.2	0.0	0.0	4.1	5.3	591.3
1996-97	21.1	61.1	101.0	139.0	194.9	174.1	8.4	1.4	0.0	0.0	14.7	2.9	718.6
1997-98	37.7	135.8	107.4	106.5	90.1	115.2	26.6	0.0	0.5	0.0	1.9	0.5	622.2
1998-99	54.3	96.9	66.0	92.8	156.3	129.7	111.6	7.0	0.0	0.0	0.0	22.6	737.2
1999-00	43.2	31.5	54.9	136.8	224.6	108.6	5.9	6.2	1.6	4.1	7.1	2.5	627.0
2000-01	119.8	8.6	76.9	228.1	111.2	99.9	39.0	22.7	2.9	1.3	10.8	11.3	732.5
2001-02	34.8	21.4	100.8	162.6	191.4	68.0	60.6	21.5	5.2	12.4	11.2	21.3	711.2
2002-03	106.3	87.9	94.7	201.0	103.2	163.2	42.7	9.6	0.0	0.0	10.5	15.1	834.2
2003-04	29.3	25.2	135.6	260.6	151.4	86.6	40.2	3.9	0.8	4.3	15.4	50.9	804.2
2004-05	24.5	68.7	153.0	70.6	224.9	130.2	26.3	0.3	0.0	0.0	4.5	4.8	707.8
2005-06	94.8	83.0	67.0	177.5	65.9	105.6	44.5	0.0	0.6	0.0	2.1	2.8	643.8
2006-07	80.5	78.5	144.3	110.8	77.9	162.4	61.3	11.2	0.0	0.0	0.6	23.7	751.2
2007-08	18.3	68.6	112.6	172.7	121.6	58.3	8.9	1.8	0.5	0.0	0.4	1.9	565.6
2008-09	43.0	44.6	177.9	91.8	123.8	89.8	40.7	4.8	0.0	0.9	0.2	25.2	642.7
2009-10	32.0	94.4	118.7	192.5	125.2	87.9	67.2	15.2	0.0	0.0	0.8	0.4	734.3
2010-11	26.0	30.3	69.8	71.6	164.1	132.7	66.6	12.6	1.4	7.5	1.0	10.0	593.6
2011-12	52.0	45.0	49.0	140.0	134.0	100.0	46.0	2.0	0.0	0.0	2.0	17.0	587.0
2012-13	33.0	45.0	32.0	156.0	97.0	75.0	54.0	7.0	0.0	0.0	0.0	9.0	508.0
2013-14	50.0	73.0	83.0	97.0	126.0	73.0	14.0	3.0	0.0	0.0	0.0	6.0	525.0
2014-15	61.0	68.0	95.0	133.0	91.0	154.0	74.0	3.0	0.0	0.0	1.0	7.0	687.0
2015-16	35.0	95.0	86.0	136.6	147.2	112.9	82.3	10.2	13.8	0.0	0.0	21.6	740.6
2016-17	36.7	45.7	29.1	178.3	72.9	101.0	49.3	3.5	5.6	7.2	18.4	14.6	562.4
2017-18	43.0	43.9	138.0	101.8	132.2	81.9	12.3	0.0	16.5	3.8	11.6	45.1	630.1
2018-19	8.3	91.9	159.4	150.9	179.0	67.2	52.0	0.0	0.0	0.0	4.2	51.2	764.1
2019-20	80.6	106.9	71.5	233.6	208.4	117.6	52.5	1.6	0.0	3.5	30.1	4.1	910.4
2020-21	44.3	77.7	121.0	118.1	163.3	108.3	38.2	0.0	5.8	0.7	3.2	12.6	693.3
2021-22	20.1	90.3	116.6	136.8	110.3	89.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	563.3

Tabla A 2

Datos meteorológicos estación Azángaro de 1970- 2040

AÑOS	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
1970-71	50.4	38.2	152	91.5	190	30.3	28.1	0.5	0.6	0.3	8.7	5.8	597
1971-72	18.1	55.8	80.1	141	109	68.7	37.4	0	0	4	9.7	41.6	565
1972-73	26.3	55.6	107	162	99.8	113	93.7	22.2	0	3.4	4.9	47.7	735
1973-74	43.7	88.3	23.8	98	125	64.4	34.9	19	6.1	2	27.6	9	542
1974-75	30	55.7	59.2	96	88.6	109	33.1	7.2	14.5	0	0	20.7	514
1975-76	71.7	57.5	110	116	103	57.4	6.7	8.9	5.5	0.4	13.3	41.2	591
1976-77	3.3	61	96.1	64.2	113	120	17.5	3.4	0	0	0	43.3	522
1977-78	51.6	91.2	61	142	139	77.6	37.4	2.7	0	0	0	17.7	620
1978-79	35.6	169	165	146	28.7	62.2	39.6	4	0	0	0	6.5	656
1979-80	60.9	37.1	113	120	64.2	91.1	9	5.7	0	5.3	3.6	29.4	539
1980-81	77.9	10.1	56.9	113	104	92.3	45	5.6	4	0	26.9	27.7	563
1981-82	65.4	36.4	101	101	101	38.8	58.5	3	0	1	7	37	550
1982-83	28.5	88	39.1	119	83	86	39	1	0	0	7	28	519
1983-84	46	69	74	112	82	92	35	3	0	0	0	0.8	514
1984-85	78.3	239	167	27.5	65.1	47.8	168	42	0	0	0.7	14.9	850
1985-86	20.3	179	114	84.5	92	57.7	21	2	0	0	0	6.3	577
1986-87	37	4.2	11	125	108	67.7	44.6	6.3	5.3	28.4	15	12	464
1987-88	49	25	35	140	78	78	25	5	0	0	2	12	449
1988-89	47	61	85	104	91	60	28	2	0	1	6	17	502
1989-90	28	34	41	136	106	96	15	4	0	0	1	14	475
1990-91	40	22	22	156	89	108	30	1	3	1	2	24	498
1991-92	22	44	40	119	152	49.7	14.4	0	8	0	59.8	26	535
1992-93	21	27	12	143	54.5	84.3	87.9	11.6	4.8	1.3	9.2	24.4	481
1993-94	68.6	125	127	112	169	89.1	48.2	0.5	0	0	6.3	13.4	760
1994-95	35.4	59.8	88.1	62.3	78	97.8	4.6	0.2	0	0	0.6	5.1	432
1995-96	33.1	90	88.4	143	67.9	122	15.7	15	0.3	2	3.1	11.2	591
1996-97	35.2	59.5	64	150	151	139	30.1	7.8	0	0	13.1	32.1	683
1997-98	36.9	135	101	95	71.4	77.2	24.6	0	10.5	0	0	11	562
1998-99	58	76.3	17.6	99.8	68	135	52	3.5	1	0	0.5	30.6	542
1999-00	69.3	31.8	23.2	132	114	51.3	8.4	2.9	7.9	0.5	38.8	0.7	481
2000-01	79.8	25.6	65.3	195	94.8	168	15.9	19.9	0	4.4	8	16.6	694
2001-02	44.9	42.5	167	157	116	155	49.1	10.3	1.9	10.8	9	15	779
2002-03	187	87.1	171	150	95.3	109	58.9	4.7	5.7	0.6	5	7.8	882
2003-04	32.9	42.4	118	227	93.9	47.7	22.8	15.9	1	2.8	16.5	39.6	661
2004-05	11	62.6	71.5	42.5	172	78.5	28.6	0.3	0	0	5	19.6	491
2005-06	59.8	34.3	84.5	189	36.7	75.3	17.2	0.2	1.3	0	2.3	11.3	512
2006-07	60.6	60.6	71.1	97	54.5	165	80.6	12.5	0.3	0.6	0.8	60.6	664
2007-08	17.1	62.8	85.3	98.4	91.9	43.7	1	3.1	1	0	0	22.8	426
2008-09	44	61.5	172	130	91.9	72.2	33.2	4.4	0	0.4	0	14.2	623
2009-10	28.2	91.1	85.4	163	95.1	63.1	41.8	7.6	1	0.3	2.3	0	578
2010-11	25.6	24.5	70.7	96.7	176	60.9	23.4	0.3	0	5.5	18	17	519
2011-12	44	88	29	98	100	85	18	1	1	1	5	13	482
2012-13	63	44	27	120	86	102	42	5	0	0	0	18	507
2013-14	34	61	47	157	105	99	29	1	1	0	0	15	548
2014-15	51	42	66	131	93	104	16	3	0	0	3	31	540
2015-16	28	32	66	118	117	91.3	71.4	14.3	5	0.5	0	28.3	572
2016-17	33.1	45	2.7	150	57	91.2	40.7	4.3	2.9	8.1	19.7	21.1	476
2017-18	42.9	41	115	87.7	116	67.4	6.4	0	7.5	5.1	12.4	49.3	550
2018-19	11	108	168	121	137	52.9	52.2	1.2	0.2	0	3.3	55.2	698
2019-20	56.5	96.4	71.7	187	136	92.3	38.4	1.5	0	3.4	28.4	10.8	722
2020-21	50.1	80.5	115	99.9	133	85.3	26	0	3.7	1.2	3.4	19.9	618
2021-22	23.2	104	121	113	93.1	76.5	1	1	0.6	0	0	9	541
2022-23	35.9	39.9	24.9	136	63.4	90.4	2	1	4.2	0.8	0	24.7	420

Tabla A 3
Datos meteorológicos estación Cabanillas de 1970- 2040

AÑOS	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
1970-71	24.8	11.9	124	91.5	218	29.1	15.2	11	0	0	4	0	530
1971-72	11.8	56.8	87	225	85.9	182	36.3	6.2	0	0	0.6	32	723
1972-73	32.2	33.8	92.9	199	129	125	85	12.4	0	2.1	1.3	46.1	759
1973-74	12.9	24	93.3	241	232	76.5	53.6	0	0	0	53.2	27.6	814
1974-75	20.5	48.1	87.4	134	194	107	22.1	23.5	0	0	0	13.1	650
1975-76	34.1	17	213	165	136	131	18.4	2	1.9	1.3	3.9	41.8	765
1976-77	4.3	9.7	65.1	70.3	167	173	28.5	0	0	0	0	23.1	541
1977-78	33.4	119	168	268	156	118	37.3	0	0	0	0	5.9	904
1978-79	14.2	72.5	161	204	125	71.9	52	3.9	0	0.6	1.2	3.1	709
1979-80	33.9	42.4	123	60.8	84.7	168	8.1	4.9	0	1.8	32.7	38.6	599
1980-81	51.7	57	46.3	125	149	161	47.9	0	0	1	22.2	10	671
1981-82	18.6	36.7	36.6	104	116	112	37.5	7	1	2.5	6.5	48.2	527
1982-83	90.5	35.5	23	26	32	17.5	8.1	6	2.8	0	3	9	253
1983-84	15	30.5	69	213	237	126	33.5	21.4	0	3	9	7.5	765
1984-85	41.5	89.4	71.5	116	181	95.5	96.7	6	22	0	3	30.5	752
1985-86	38	100	143	131	234	169	95.7	1.3	0	11	1.5	26	950
1986-87	6.5	31.4	135	159	79.1	54.6	9.7	0	0.9	7.6	1.5	9	494
1987-88	27.7	112	69.6	274	93.2	155	67.2	17.4	0	0	0	21.9	838
1988-89	56	0	143	195	52.8	91.8	88.4	0	1.4	0	4.8	6	639
1989-90	3.3	40	53.6	173	23.4	49.2	13.5	2.4	34.3	0	9.8	1	403
1990-91	113	130	102	106	144	115	70.1	5.8	35.6	0	0	6.3	828
1991-92	13.8	27.4	59.6	107	75.1	28.5	8.5	0	2.7	2.2	31.1	0	356
1992-93	47.5	27.2	64.9	147	67.8	96.3	69.5	3	0	0	26.3	9.5	559
1993-94	113	83	117	134	105	162	110	0	0	0	0	6.5	832
1994-95	14.3	51.2	98	126	70.6	100	5	0	0	0	0.2	16.6	482
1995-96	9.9	32.8	55.3	206	103	56.4	37.7	1.9	0	2	17.6	10.3	533
1996-97	14.3	57.8	166	159	243	160	75.1	3.7	0	0	22.4	46.5	947
1997-98	38	103	88.4	152	168	110	16.9	0	0	0	6.3	0	684
1998-99	47.7	61.6	42.7	95	117	112	104	5.4	0	1.8	1.8	21.9	612
1999-00	104	3	95.3	135	222	133	31.7	0.6	0	0	6.9	15.8	747
2000-01	118	13.5	110	274	225	78.2	63.9	11.5	0.8	0.4	52.6	36.9	985
2001-02	71.3	21.6	16.7	93.7	167	161	126	28.7	6.2	16	22.9	8.8	739
2002-03	116	78	105	217	92.5	117	22.1	10.8	2.6	0	0.9	16.9	779
2003-04	14	68.1	136	193	100	81.6	34.2	0.5	0.5	7.7	18.4	12.8	667
2004-05	2.9	27.4	58.2	75.3	266	84	49.7	0	0	0	0.5	5.8	570
2005-06	30.6	70.6	79.9	230	107	141	49.9	0	0.7	0	2.8	44.2	758
2006-07	38	60.2	69	68.1	105	169	67.5	2.4	0	0.8	0	75.4	655
2007-08	40.6	97.6	83.9	272	74.5	65.1	6.3	0	0.2	0	0.6	1.8	642
2008-09	34.9	70.1	154	88.8	120	111	24.6	0	0	1.6	0.5	1.4	607
2009-10	28.4	153	91.2	148	125	66.7	28.4	9.6	0	0.5	4	2.4	657
2010-11	21.2	35.8	183	76.1	183	134	41.3	1.7	0	5.1	4	3	688
2011-12	45	41	51	153	179	152	61	1	0	0	1	10	694
2012-13	19	75	76	150	141	119	39	0	0	0	2	3	624
2013-14	14	20	73	122	111	96	34	1	0	0	2	14	487
2014-15	11	26	58	111	124	95	42	1	0	0	2	12	482
2015-16	25	62	39	128	166	124	83	7.7	10.6	0.2	0	24.3	671
2016-17	28.3	38.8	19.1	173	74.3	98.3	44.8	2.4	5.1	5.6	21.5	19.4	531
2017-18	35.3	35.5	142	111	155	91.7	10.7	0.4	15.5	3.1	13.1	52	665
2018-19	0	90.8	170	175	199	83.9	54.9	0	0	0	3.5	57.5	834
2019-20	72	85.2	71	250	218	137	53.9	0.3	0	2.9	31.7	8.8	931
2020-21	37.1	67.6	125	126	188	123	38	0	6.4	0.8	3.3	14.9	730
2021-22	11.8	86.2	121	147	124	94.1	0	0	0	0	0	0	585

Tabla A 4

Datos meteorológicos estación Huancané de 1970- 2040

AÑOS	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
1971-72	31.2	46.4	46.5	170	79	50	13.5	0	0	6.5	7.5	43	493
1972-73	26.3	61.5	167	152	63.2	164	69.5	9	0	0	8.5	74.8	795
1973-74	36.4	12.9	56.5	190	136	51	36	0	3	0	24.9	18	565
1974-75	35.5	47.5	62.5	127	210	104	18.4	6	0	0	0	10.6	621
1975-76	61.5	26.2	155	66	58	9.7	0	21.5	4.5	1.8	26.6	33.1	464
1976-77	51.8	61.1	97.6	31.6	151	94.6	0	2.8	0	1.9	3.2	55.6	551
1977-78	42	96	91	121	237	144	65.4	0.1	7.7	6.8	0.1	34	845
1978-79	28.5	131	195	192	99.5	43.1	70.5	1.6	0	2.8	9.2	4.2	778
1979-80	78.2	56.5	108	118	125	133	31.3	7.1	0.2	5.7	9.8	74.7	748
1980-81	91.2	26.3	85.1	326	104	115	83	14.7	0.1	0	21.8	33.6	900
1981-82	106	45.8	145	175	35.2	113	58	1.2	1.2	0	4.2	50.4	735
1982-83	30.2	126	48.2	102	48.4	24.4	37.2	13.8	1	0	2.7	31.1	466
1983-84	43	35.8	84.8	200	167	125	38.8	14.2	9.6	0	17.8	1.4	737
1984-85	68.2	118	76.4	169	66	108	166	17	17.4	0	3.4	104	913
1985-86	28.8	183	164	183	148	151	67.6	9.2	0	9	20.3	72.6	1038
1986-87	17.6	85	115	191	20.1	77.5	28.2	23.2	10.2	18.2	14.4	5.4	606
1987-88	72.4	78.5	57	227	77.9	270	123	48.6	0	0	0	8.8	964
1988-89	48.4	5.1	93.3	156	120	112	58.8	1.9	7	1.1	14.7	15.2	634
1989-90	21.9	67.3	83.6	122	55.6	49.4	21.2	12.8	44.9	0	35.9	25.6	540
1990-91	52.1	98.1	98.6	123	138	138	9	20.1	51.1	1	0.7	29.4	759
1991-92	14.1	46.1	148	132	75.4	46.9	6.4	0	9.7	9	72.1	13.7	574
1992-93	66.4	45.2	140	127	47.9	111	58.1	11.5	2.1	0	10.6	19.1	639
1993-94	56.5	90.6	144	101	115	151	39.5	14	1.8	0	0	11.8	724
1994-95	39.1	64.6	133	133	124	79.7	13.7	1.2	0	0.8	1.2	17	608
1995-96	14.7	69.5	67.2	201	80.8	71.1	17.2	2.3	0	7.6	3.5	13.1	548
1996-97	9.8	70	177	172	111	183	83.4	15.5	0	0	15.8	40.6	879
1997-98	41.1	85	51.7	109	69.4	87.5	52.9	0	5.7	0	0.5	4.2	507
1998-99	65.2	142	35.6	88.8	65.9	152	72.4	14.7	0.5	2.1	1.7	45.7	686
1999-00	61.7	46.2	41.2	85.2	55.9	114	7.1	12.1	7.3	0.5	21.4	10.5	463
2000-01	97.8	14.7	114	205	142	160	13.8	21.7	3.5	6.2	10.9	9.1	798
2001-02	92	63.3	124	90.9	176	152	102	21.1	4.8	23.5	6.1	37.3	892
2002-03	140	85.8	117	217	108	131	46.3	3	11	1.1	3	22.4	885
2003-04	67.6	40.8	106	196	147	54.1	42.8	6.1	11.8	8.3	32.8	21.1	734
2004-05	34	51.3	91.9	109	149	96.6	16.6	0.5	0	0	5.2	28	582
2005-06	75.5	31.5	94.2	224	31.1	76.7	39.3	0.5	1.5	0	3.8	23.1	602
2006-07	55.9	51.3	113	138	97.4	123	64	5.2	0	2.2	0.7	83.1	734
2007-08	7.6	58.1	119	134	76.6	61.8	5.1	8.7	0	0	0	5.5	477
2008-09	48.5	32.7	212	80.1	113	42.9	9.3	0.5	0	3.2	0	12.6	555
2009-10	13.1	58.8	100	156	113	38.8	21.2	24.6	0	0	0	0.6	526
2010-11	47.3	0.7	119	68.8	151	110	16	10.5	0	5.6	9.8	29	568
2011-12	48.2	63.8	108	114	114	83	15	13	0	1	4	40	604
2012-13	61	49	26	131	115	66	20	3	4	3	6	28	512
2013-14	47	51	24	138	107	89	16	1	0	3	10	14	500
2014-15	44	59	35	123	117	79	28	1	0	2	1	15	504
2015-16	39	69	37	143	136	115	78.8	16.3	15.6	1.2	0.7	42.4	694
2016-17	39.2	50.9	24.2	188	51	90	39	5.3	8	10.6	24.1	26.8	557
2017-18	48.1	44.9	158	94.6	134	80	3.2	0.1	21.4	6.4	15.2	77.6	683
2018-19	5.4	114	183	143	166	68.1	44.7	0	0	0	4.6	89.2	817
2019-20	65.9	86.1	77.9	239	168	125	50.1	2.2	0	5.7	33.4	7.5	861
2020-21	53.7	75.8	137	114	159	113	33.9	0	9.4	2.3	4.9	27.1	730
2021-22	28.4	103	132	134	102	83.7	0	0	0	0.1	0	10.8	593
2022-23	38.8	46.5	52.9	166	59.6	91.3	0	9.1	12	1.7	0	38.8	516

Tabla A 5
Datos meteorológicos estación Ilave de 1970- 2021

AÑOS	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
1970-71	25.9	24.9	120.5	117.8	217.3	42.5	47.2	1.8	10.1	0.1	20.3	0.0	628.4
1971-72	18.4	72.2	110.5	227.2	120.2	85.9	21.7	0.0	0.0	6.4	4.5	27.7	694.7
1972-73	15.7	28.6	122.4	269.3	146.8	163.9	83.5	12.2	0.0	9.9	20.1	40.6	913.0
1973-74	29.1	23.4	47.9	211.0	288.8	60.0	49.0	0.0	4.0	0.0	107.1	10.0	830.3
1974-75	35.0	15.0	66.0	162.0	191.1	150.0	23.0	37.0	27.0	0.0	10.0	41.0	757.1
1975-76	62.0	9.0	202.0	241.0	150.0	101.0	25.0	11.8	3.0	1.0	47.0	68.0	920.8
1976-77	4.0	6.0	78.0	87.0	156.0	232.0	4.0	1.3	0.0	15.6	2.8	58.4	645.1
1977-78	39.4	104.8	76.9	211.0	128.7	81.4	23.0	0.0	0.0	5.1	11.4	28.6	710.3
1978-79	7.9	124.5	11.0	205.0	156.0	125.0	34.0	2.0	1.0	1.0	4.0	9.0	680.4
1979-80	18.0	40.0	131.0	165.0	107.0	88.0	32.0	4.0	1.0	2.0	2.0	27.0	617.0
1980-81	14.0	62.0	114.0	139.0	114.0	84.0	40.0	4.0	1.0	1.0	3.0	24.0	600.0
1981-82	32.0	39.0	76.0	165.0	91.0	87.0	24.0	1.0	2.0	3.0	5.0	9.0	534.0
1982-83	24.0	28.0	111.0	202.0	166.0	69.0	36.0	1.0	0.0	2.0	4.0	18.0	661.0
1983-84	15.0	73.0	132.0	242.4	284.1	179.8	28.5	16.6	9.2	3.0	12.6	1.0	997.2
1984-85	94.4	73.9	45.8	134.4	287.6	144.8	69.8	29.2	23.0	0.0	11.4	65.2	979.5
1985-86	49.4	196.6	181.0	162.3	261.1	194.3	111.3	5.8	0.0	3.4	4.3	20.3	####
1986-87	13.9	45.5	133.7	227.6	80.1	69.5	29.5	1.1	7.3	19.1	4.8	20.2	652.3
1987-88	46.1	89.3	18.0	158.7	53.3	169.8	101.3	13.7	0.4	2.0	0.0	19.8	672.4
1988-89	36.5	9.0	71.4	214.8	113.2	142.0	91.3	0.3	3.6	7.8	9.6	30.6	730.1
1989-90	14.2	18.1	50.9	151.2	39.1	59.5	48.9	25.0	67.7	0.0	15.5	7.4	497.5
1990-91	65.9	101.1	127.8	74.2	75.2	115.1	50.6	20.0	43.4	6.4	4.0	14.2	697.9
1991-92	45.5	17.3	63.4	151.9	88.8	29.7	8.2	0.0	1.6	1.4	55.5	2.4	465.7
1992-93	38.8	57.8	45.1	191.7	36.7	125.3	65.3	1.5	1.0	0.0	45.3	20.0	628.5
1993-94	23.8	55.3	94.2	129.4	126.7	100.2	58.1	14.8	0.0	0.0	0.0	5.2	607.7
1994-95	10.8	39.5	117.1	112.9	80.2	138.3	14.6	5.7	1.4	0.0	4.2	9.6	534.3
1995-96	11.2	47.5	113.4	245.6	141.1	34.3	31.5	2.0	0.0	7.2	30.5	12.0	676.3
1996-97	9.5	83.2	86.3	288.0	190.8	124.7	60.7	1.4	0.0	0.0	61.7	96.1	####
1997-98	27.1	91.7	50.2	97.3	112.6	54.7	59.9	0.0	13.0	0.0	0.1	4.6	511.2
1998-99	41.0	47.1	41.1	107.1	153.8	223.4	89.7	14.9	0.6	1.5	3.9	21.0	745.1
1999-00	123.3	17.9	62.3	269.9	161.1	135.6	14.4	4.9	4.4	9.3	6.4	3.2	812.7
2000-01	51.5	1.0	109.8	298.9	231.8	162.2	44.1	2.5	0.1	15.0	23.9	12.2	953.0
2001-02	58.0	33.8	106.9	108.2	242.7	228.5	156.8	20.9	19.8	43.6	15.2	10.7	####
2002-03	69.8	80.7	108.0	168.1	78.9	172.0	14.5	24.3	0.5	0.0	10.3	52.2	779.3
2003-04	14.1	17.9	89.3	286.1	132.5	52.6	19.4	10.2	1.6	22.1	38.3	15.9	700.0
2004-05	2.0	22.4	63.2	125.1	142.5	78.7	23.6	8.3	0.0	0.0	0.0	26.2	492.0
2005-06	58.7	55.7	88.5	335.4	80.1	138.3	30.8	3.2	3.0	0.0	8.9	27.7	830.3
2006-07	25.6	99.6	81.1	92.9	61.8	212.4	66.2	2.5	2.1	7.8	5.2	41.5	698.7
2007-08	27.5	30.6	87.1	245.1	94.7	68.5	17.0	1.8	1.4	7.2	3.2	1.4	585.5
2008-09	53.7	0.6	146.2	105.1	126.7	81.7	57.5	0.0	0.0	8.2	0.0	40.5	620.2
2009-10	35.2	158.0	57.4	212.9	117.5	64.4	42.0	37.2	0.0	0.0	8.7	1.2	734.5
2010-11	39.0	7.8	125.9	170.0	180.0	103.0	25.0	29.0	4.0	1.0	0.0	23.1	707.8
2011-12	22.6	16.0	128.9	115.0	248.4	179.6	43.5	0.0	1.2	0.0	4.2	12.4	771.8
2012-13	7.5	46.3	252.6	142.4	152.1	39.3	13.4	33.7	18.3	7.2	6.5	2.5	721.8
2013-14	46.0	19.1	173.6	210.4	77.7	36.0	18.6	5.2	0.0	3.3	29.2	120.5	739.6
2014-15	33.2	15.6	83.5	201.0	84.0	84.0	29.0	3.0	17.0	3.0	1.0	10.0	564.3
2015-16	17.0	34.0	108.0	166.8	172.3	136.6	80.6	13.6	20.1	2.1	0.6	35.4	787.1
2016-17	25.1	31.3	24.5	223.0	77.6	92.9	41.2	5.2	8.5	13.9	35.4	26.3	604.9
2017-18	31.8	26.5	149.5	118.6	152.5	90.4	11.2	2.1	23.3	9.2	22.8	76.1	714.0
2018-19	0.0	97.1	167.0	184.2	212.9	89.1	53.2	0.0	0.0	0.0	9.3	85.2	898.0
2019-20	49.0	80.8	69.6	296.7	251.4	166.3	58.6	1.7	0.0	6.4	57.0	10.3	####
2020-21	36.0	64.9	126.7	140.8	192.5	136.6	40.0	0.0	7.7	2.9	7.4	20.9	776.4
2021-22	15.3	90.5	119.0	165.9	124.9	91.6	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	608.1
2022-23	24.8	25.9	51.9	197.8	80.7	94.1	0.0	11.9	15.5	2.5	0.0	23.9	529.0

Tabla A 6

Datos precipitación mensual proyectados de la estación meteorológica Ayaviri 2022 a 2040

AÑOS	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
2022-23	26.868	36.608	52.834	159.8	75.538	101.16	0	3.9355	9.0768	0.2237	0	16.438	482.5
2023-24	88.696	121.91	141.71	119.54	51.915	75.806	16.1	1.7648	2.3168	2.282	0	0.4229	622.5
2024-25	32.588	62.35	41.175	80.246	96.874	147.23	55.177	13.795	3.8333	1.1203	0	18.586	553
2025-26	46.097	35.928	52.099	123.5	148.91	69.515	45.037	14.117	6.6996	0	26.702	0	568.6
2026-27	12.119	1.7379	213.56	79.606	162.46	82.448	80.01	14.204	12.596	0	2.4618	25.583	686.8
2027-28	76.45	93.595	114.93	196.25	93.14	38.606	26.833	14.094	0	0	0	28.562	682.5
2028-29	57.594	56.963	173.84	144.27	94.32	47.768	40.638	17.255	15.107	10.036	24.567	28.083	710.5
2029-30	19.992	61.119	76.127	85.543	73.853	125.42	91.275	6.4822	7.6067	0.6889	11.323	23.917	583.4
2030-31	56.45	76.514	133.11	137.42	87.459	124.17	50.187	4.5937	0	0	13.609	8.9122	692.5
2031-32	74.777	53.49	48.643	114.12	144.67	157.65	78.195	3.012	0.9939	2.8742	12.822	6.6507	697.9
2032-33	60.769	99.126	138.8	191.24	45.365	23.885	0	0	3.6587	0	7.9965	6.1138	577
2033-34	65.403	74.414	72.942	215.71	56.83	50.115	14.386	10.932	19.935	2.6704	0	24.145	607.5
2034-35	48.046	57.442	146.47	97.474	94.146	115.75	42.328	2.2839	3.3206	4.385	21.515	17.398	650.6
2035-36	9.8164	48.248	44.684	124.33	153.7	152.08	86.982	16.083	21.628	1.9846	4.8209	8.5417	673
2036-37	92.461	106.01	98.824	239.51	168.9	74.123	1.3643	0	0	6.2916	0	1.6125	789.1
2037-38	8.3734	86.275	122.36	140.64	165.5	121.51	33.206	1.7759	3.9362	3.9465	1.3878	19.415	708.4
2038-39	0	0	74.077	95.303	128.24	146.37	36.481	14.003	0	4.8901	13.678	0	513.1
2039-40	17.266	70.553	84.274	80.759	32.997	39.83	101.06	8.8122	0	8.4815	5.6771	0	449.71

Tabla A 7

Datos precipitación mensual proyectados de la estación meteorológica Azángaro 2022 a 2040

AÑOS	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
2023-24	82.3	113	153	98.8	58.1	71.4	12.8	0.4	2	2.7	0	9.3	604
2024-25	40.8	67.5	25.7	77.5	96.2	121	33.3	14.6	0.9	1.4	0	25.7	505
2025-26	43.1	30.2	20	109	121	57	44.3	17.5	1.9	0	22.8	4.1	471
2026-27	25.2	5.7	176	67.6	142	63.8	77.3	20	4	0	1	31.8	615
2027-28	66.8	84.5	111	157	67.6	41.3	34.5	17.3	0	0	0	35.6	616
2028-29	47.7	49.3	156	116	81	46.3	46.3	21.7	4.6	11.6	26.5	33.2	641
2029-30	14.9	69.2	62.8	79.1	79.9	107	77.7	10.3	3.2	1.2	10.7	29.9	545
2030-31	49.8	72.8	125	113	77.6	106	34.8	4.6	0.3	0	10.8	16	611
2031-32	74.6	39.9	21.3	102	120	126	54.4	3.7	1.3	3.2	12.8	14	574
2032-33	63.2	98.6	143	152	37	34.5	4	0	3.2	0	7.2	13.7	556
2033-34	67.6	68.1	59.7	174	38.1	54.7	18.5	12.1	7.2	3.9	0	31.5	536
2034-35	41.5	53.9	130	83.7	91.5	97.3	28.7	1.6	2.3	5	21.3	23.5	580
2035-36	11.6	59.1	25.1	110	124	121	65.2	19.8	7.1	3.2	5.7	16.2	568
2036-37	90.5	93.8	99.1	190	108	62.7	0	0	0	6.5	0	10.3	661
2037-38	18.4	105	127	116	129	96.1	17.1	0	2.6	4.6	3.1	26.3	646
2038-39	12	20	36.6	87.6	114	118	13.7	13.2	0	5.2	14.3	3.6	426
2039-40	30.2	83.5	77.8	74.8	53.6	44.1	113	17.7	0	8.8	8.5	3.4	515

Tabla A 8

Datos precipitación mensual proyectados de la estación meteorológica Cabanillas 2022 a 2040

AÑOS	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
2023-24	80.8	97.5	152	134	60.9	71	10.6	2.5	2.7	2	0	0.5	614
2024-25	24.7	56	33.9	61.2	120	151	50.8	13.1	1.2	1.2	0	20.9	534
2025-26	37.9	26.9	44.3	114	171	81.7	46.2	14.1	3.6	0	25.4	0	565
2026-27	4.5	3.7	225	103	194	98.1	83.2	12.2	8.7	0	0.6	28.7	761
2027-28	68.4	73.8	119	217	93.6	39	25.1	15.2	0	0	0	29.7	681
2028-29	48.9	43.8	183	170	104	49.8	39.6	17.8	10.2	7.7	29	35.2	740
2029-30	11.7	58.3	73.4	76.2	92.4	125	88.4	3.1	6.1	0.8	11.6	28.3	576
2030-31	48.4	63	139	152	98	125	45.7	3.5	0	0	12	11.6	698
2031-32	67.4	35.9	41.5	103	168	169	76.6	0.2	1.1	2.4	14	9.6	688
2032-33	53.4	83.5	147	217	40.2	16.1	0	0	5.2	0	7.7	8.2	578
2033-34	57.9	58.6	70.5	229	48.9	43.6	9.5	12.5	15.9	2.3	0	25.6	574
2034-35	39.5	46.9	153	108	113	119	38.6	1.5	3.4	3.5	23.4	22.6	672
2035-36	1.6	48.8	37	114	176	165	86.4	13.7	16.1	1.8	5.5	10.7	676
2036-37	85.3	81.4	102	264	172	86.6	0.4	0.2	0	4.9	0	2.5	799
2037-38	0.2	85.6	128	153	186	136	32.1	1.6	4	3.2	2.9	22.5	755
2038-39	0	13.7	66.8	86.1	152	156	32.8	14.5	0	4	15.8	0	542
2039-40	9.7	68.2	83.3	72.7	46.9	32.9	101	5.1	0	6.6	9.2	0	435

Tabla A 9

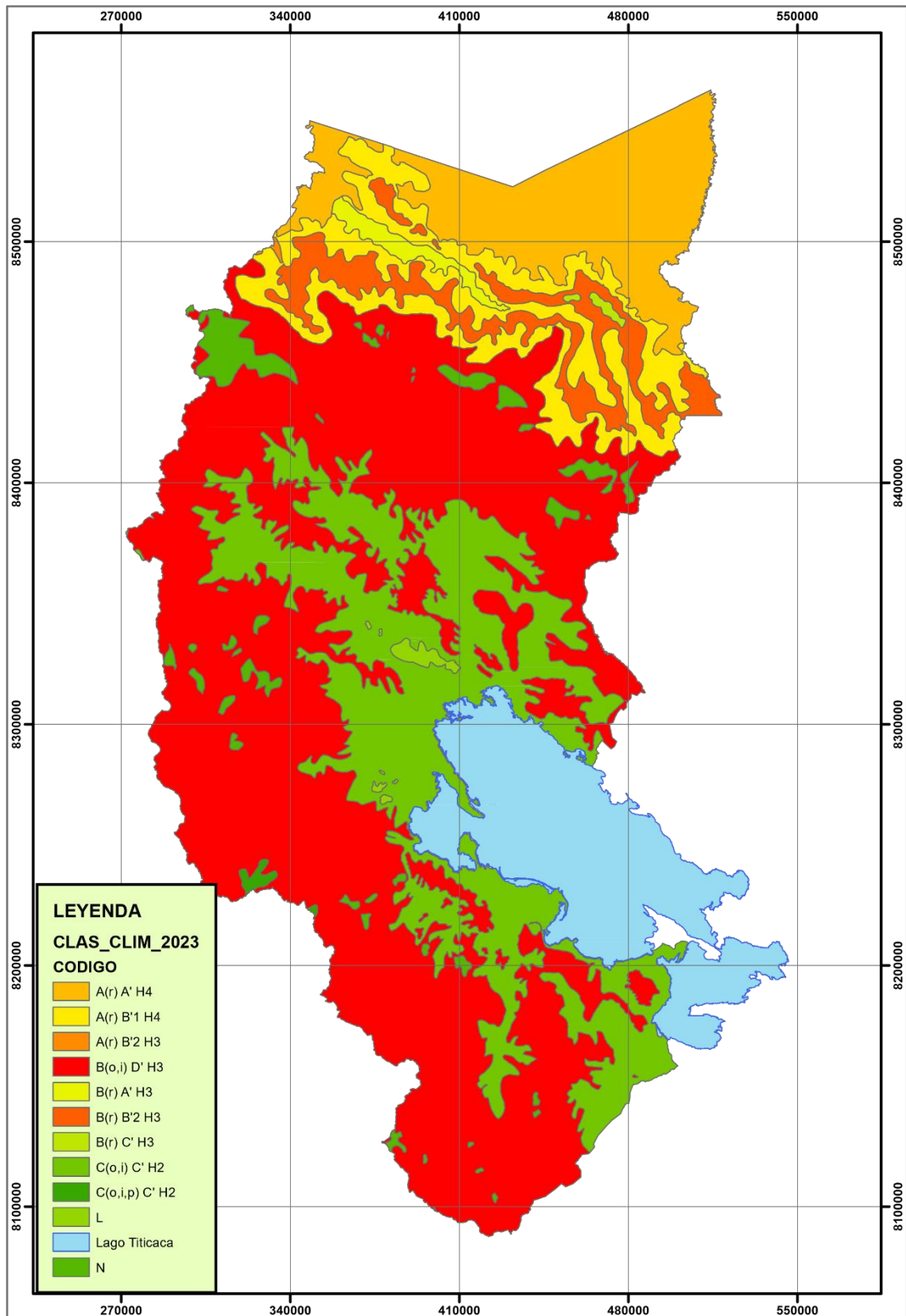
Datos precipitación mensual proyectados de la estación meteorológica Huancané 2022 a 2040

AÑOS	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
2023-24	85.9	93.5	165	112	50.4	61.7	2.1	3.7	4.7	4.3	0	9.6	592.7
2024-25	43.8	67.8	39.1	84.8	104	149	52.2	24.5	3.5	2.8	0	38.1	609.5
2025-26	48.5	35.8	52.5	128	142	67.4	36.4	25.2	6.7	0	25.8	0	568.7
2026-27	28.4	21.1	249	62	172	85.8	75.3	23.7	13.3	0	1.3	48.4	780.0
2027-28	72.4	74	131	195	67	22.7	10.7	25.7	0	0	0	57.8	656.5
2028-29	54.1	50.1	202	134	85	35.3	26.7	30.9	15.5	14.4	32.1	47.1	727.2
2029-30	22.8	75.8	81.5	85.8	80.8	121	86.2	8.9	9.4	2.3	13	43.6	631.2
2030-31	55.9	69.1	153	132	79.6	120	43.5	7.5	0.1	0	12.5	19.1	691.5
2031-32	77.9	35.2	49.3	119	141	165	79	3.6	2.8	5	15.8	15.4	709.0
2032-33	66.5	87	160	187	22.4	0.1	0	0	7.7	0.8	8.9	15.7	556.0
2033-34	70.6	60.6	79.1	221	24.9	29.8	0	20.5	22.6	5	0	49.9	583.8
2034-35	47.6	55.8	168	89	98.4	113	35.6	3.7	5.7	7	25.4	30.8	680.1
2035-36	18	68.7	42.6	130	147	160	87.9	27.2	23.1	4.1	7.4	20.2	735.8
2036-37	93.2	75.3	112	242	128	70.8	0	0	0	9.3	1.6	10.6	742.4
2037-38	22.3	105	138	137	155	127	29.7	3.5	6.6	6.4	5.1	38.4	773.8
2038-39	0	50.7	76.4	96.4	131	151	34.2	25.9	0	7.6	17.9	0	591.4
2039-40	33.1	84.2	91.6	79.8	42.5	20.4	86.2	12	0	12.2	12.2	0	474.2

Tabla A 10

Datos precipitación mensual proyectados de la estación meteorológica Ilave 2022 a 2040

AÑOS	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	TOTAL
2023-24	66.5	95.1	149	142	49.9	51.9	6.4	5.6	4.9	5.3	0	0	577
2024-25	28.7	52.8	36.3	91.1	107	162	50.9	22.8	9	3.5	0	30.1	595
2025-26	33.2	15.8	52.4	149	174	80.7	43.6	24.4	13.4	0	50.8	0	638
2026-27	13.9	0	238	87.7	191	103	78.7	20.9	19.8	0	6.1	42.4	801
2027-28	54	68	120	246	104	19.4	19.4	26.2	4.4	0	0	44.5	706
2028-29	39	34.5	190	175	104	31.6	33	30.4	25.7	19.8	46.8	49.5	780
2029-30	10	56.7	75.7	97.7	77.8	125	82.1	6	10.3	3	22.4	40.8	607
2030-31	39.2	57.6	142	167	95.6	129	44.3	7	0	0	26.6	16.2	723
2031-32	57.8	23	48.4	137	169	194	78.1	1.4	1	6.1	25.2	12.3	753
2032-33	47.9	82	146	239	42.2	0	0	0	5.8	0.8	16.3	10.8	591
2033-34	51.6	51.4	73.5	273	57.3	20.6	4.4	21.9	31.3	7.6	0	37.5	630
2034-35	33.1	39.6	158	113	104	120	37.2	3.8	5.3	9	41.2	31.3	695
2035-36	5.7	46.8	40.4	150	180	190	87.1	23.5	32.1	6.6	10.4	14.4	788
2036-37	71.5	75.2	102	304	201	94.6	4.3	1.9	0	11.2	0	1.8	867
2037-38	9.9	91.5	125	171	196	155	36	3.9	6.4	8.3	4.1	32	839
2038-39	0	11.9	75.9	111	148	173	36.2	25.1	4.3	9.6	26.7	0	621
2039-40	18.4	69.4	83.8	91.1	25.5	0	84	9.1	0	15	12	0	408





DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Joel Renzo Castillo Vilca
identificado con DNI 45914087 en mi condición de egresado de:

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

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
" DISTRIBUCION ESPACIO TEMPORAL DE LA SEQUIA
METEOROLÓGICA EN LA VERTIENTE DEL LAGO TITICACA "

Es un tema original.

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

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

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

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

Puno 13 de Mayo del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



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

Por el presente documento, Yo Joel Renzo Castillo Vilca,
identificado con DNI 45914087 en mi condición de egresado de:

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

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

“ DISTRIBUCION ESPACIO TEMPORAL DE LA SEQUIA
METEOROLOGICA EN LA VERTIENTE DEL LAGO TITICACA ”

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

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

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

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

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

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

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

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 13 de Mayo del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella