



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



**ANÁLISIS DE SEQUÍA METEOROLÓGICA A TRAVES DEL
MODELO AUTORREGRESIVO DE PROMEDIO MOVIL EN LA
CORDILLERA ORIENTAL DEL ALTIPLANO DE PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. WILDER CONDORI RAMIREZ

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRICOLA

PUNO – PERÚ

2023



NOMBRE DEL TRABAJO

**ANÁLISIS DE SEQUÍA METEOROLÓGICA
A TRAVES DEL MODELO AUTORREGRESI
VO DE PROMEDIO MOVIL EN LA CORDIL
LERA ORIENTAL DEL ALTIPLANO DE PU
NO**

AUTOR

WILDER CONDORI RAMIREZ

RECUENTO DE PALABRAS

22970 Words

RECUENTO DE CARACTERES

118245 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

104 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.0MB

FECHA DE ENTREGA

Sep 29, 2023 11:01 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Sep 29, 2023 11:03 AM GMT-5

● **18% de similitud general**

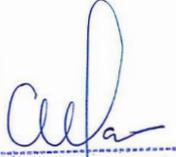
El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base c

- 18% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossr

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)


MSc. Percy Arturo Ginez Choque
DIRECTOR DE ESCUELA
INGENIERIA AGRICOLA - UNAP
ASESOR



Ph. D. Isidro Alberto Hualpa
DIRECTOR UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA

Resumen



DEDICATORIA

A **Dios** Por darme la oportunidad de vivir cada día, por estar presente en cada momento de mi vida, por guiarme en el camino porque él siempre estuvo en mis momentos más difíciles, por haber puesto en mi camino a aquellas personas maravillosas que han sido mi soporte.

A mis queridos padres, **Raúl** y **Juana**, quienes con su sacrificada e invaluable labor hicieron posible que alcance la concretización de mi deseo de ser profesional.

A mis hermanos **Adilmer** y **Waldir**, por su apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento.

Wilder Condori Ramirez



AGRADECIMIENTO

A Dios por darme el privilegio de vivir, por darme la sabiduría y la inteligencia, caminar conforme a su voluntad es algo maravilloso, ya que sus planes son perfectos.

A la Universidad Nacional del Altiplano y a todos los docentes de la Facultad de Ingeniería Agrícola quienes me brindaron la oportunidad de realizar mis estudios de pregrado.

A mi director M.Sc. Percy Arturo Ginez Choque, principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

A los miembros del jurado: Dr. José Antonio Mamani Gómez, M.Sc. Edgardo Sebastián Guerra Bueno y Dr. Efraín Lujano Laura, por sus apoyos en el presente trabajo de tesis.

A mi familia por el apoyo y amor incondicional que me dieron en cada momento de mi vida y en esta etapa, por la confianza, y por inculcarme con sus sabios consejos para ser una buena persona en la vida.

Por ultimo agradecer a todas aquellas personas que hicieron posible su colaboración, con sus frases de aliento y su espíritu de colaboración, principalmente a todos aquellos que creyeron en mi.

Wilder Condori Ramirez



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ACRONIMOS	
RESUMEN	15
ABSTRACT.....	16
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA	18
1.2.1. Problema general.....	19
1.2.2. Problemas específicos	19
1.3. JUSTIFICACION DEL PROBLEMA.....	20
1.4. HIPÓTESIS.....	22
1.4.1. Hipótesis general.....	22
1.4.2. Hipótesis específicas	22
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.....	23
1.5.1. Objetivo general	23
1.5.2. Objetivos específicos	23



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES.....	24
2.1.1. Antecedente Internacional.....	24
2.1.2. Antecedente Nacional	26
2.1.3. Antecedente regional.....	28
2.2. MARCO CONCEPTUAL.....	29
2.2.1. El ciclo hidrológico.....	29
2.2.2. Cuenca hidrográfica	31
2.2.3. Precipitación.....	32
2.2.4. Sequías	33
2.2.5. Definición de sequías	33
2.2.6. Tipos de Sequías	36
2.2.7. Sequía meteorológica o climatológica	36
2.2.8. Sequía edáfica o agrícola	36
2.2.9. Sequía hidrológica.....	37
2.2.10. Sequía socioeconómica	37
2.3. ÍNDICES DE SEQUÍAS.....	37
2.3.1. Índice de Severidad de Sequías de Palmer (PDSI)	38
2.3.2. Índice de Precipitación Estandarizado (SPI).....	39
2.3.3. Índice de Reconocimiento de Sequía (RDI)	40
2.3.4. Caracterización de las sequías.....	41
2.3.4.1. Duración.....	42
2.3.4.2. Intensidad	42
2.3.4.3. Severidad.....	42



2.3.4.4. Frecuencia	42
2.4. CLIMA Y SISTEMA CLIMÁTICO.....	43
2.4.1. El fenómeno físico del efecto invernadero	43
2.4.2. Cambio Climático	44
2.4.3. Cambios observados en el sistema climático.....	44
2.4.4. Impulsores del cambio climático	46
2.5. CAMBIO CLIMÁTICO Y SEQUÍAS.....	47
CAPÍTULO III	
MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS CUENCAS.....	49
3.2. DEMOGRAFÍA	49
3.3. HIDROLOGÍA.....	50
3.4. INFORMACIÓN CLIMÁTICA Y ECOLÓGICA.....	51
3.5. INFORMACIÓN GEOLÓGICA Y DE SUELOS	51
3.6. METODOLOGIA POR OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	51
3.6.1. Análisis de tendencia paramétrica de la serie histórica de precipitación pluvial.....	52
3.6.1.1. Prueba Mann-Kendall (no paramétrica).....	52
3.6.1.2. Método de autocorrelación (Prueba paramétrica)	53
3.6.2. Determinación de sequías meteorológicas utilizando el índice de precipitación estandarizado	54
3.6.3. Caracterización de las sequias meteorológicas mediante el modelo autorregresivo de media móvil (ARIMA).....	57
3.6.3.1. Modelo ARIMA (p, d, q) (P, D, Q) s	57
3.6.3.2. Aplicación de la metodología del modelo.....	59



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS DE TENDENCIA DE LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN DE ESTACIONES AYAVIRI Y HUANCANE	64
4.1.1. Análisis de doble masa.....	64
4.1.2. Análisis de tendencia por métodos paramétricos y no paramétricos	65
4.2. SEQUÍAS METEOROLÓGICAS MODERADAS A EXTREMADAMENTE SECAS BASADO EN SU INTENSIDAD Y SEVERIDAD EN BASE SPI	66
4.2.1. Valores del Índice normalizado de precipitación de períodos SPI de 1 mes	67
4.2.1.1. Valores del Índice normalizado de precipitación de períodos SPI de 1 mes para la estación meteorológica de Ayaviri.....	67
4.2.1.2. Valores del Índice normalizado de precipitación de períodos SPI de 1 mes para la estación meteorológica de Huancané	68
4.2.2. Valores del Índice normalizado de precipitación de períodos SPI de 3 meses	70
4.2.3. Valores del Índice normalizado de precipitación de períodos SPI de 6 meses	73
4.3. LA CARACTERIZACIÓN TEMPORAL DE LAS SEQUIAS MEDIANTE EL MODELO ARIMA	75
4.3.1. Aplicación del modelo ARIMA(p,d,q) estación meteorológica Ayaviri ..	75
4.3.2. Aplicación del modelo ARIMA(p,d,q) estación meteorológica Huancane	79
4.4. DISCUSION DE LOS RESULTADOS.....	84
V. CONCLUSIONES.....	86



VI. RECOMENDACIONES	88
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
ANEXOS.....	96

Área: Hidrología Aplicada

Tema: Pronostico de heladas meteorológicas

FECHA DE SUSTENTACION: 04 de octubre de 2023



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Valores del Índice normalizado de precipitación - SPI por categorías	55
Tabla 2. Análisis de tendencias de datos de precipitación paramétricas y no paramétricas	66
Tabla 3. Estimacion de Modelos ARIMA para el pronostico de sequias de la Estación Meteorológica Ayaviri	76
Tabla 4. Autocorrelograma y correlograma parcial de los residuos del modelo de ARIMA de la estacion Meteorologica de Huancane	81



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Proceso del ciclo hidrológico del agua.....	30
Figura 2. Representación geográfica de la cuenca hidrográfica	31
Figura 3. Representación de la precipitación pluvial.....	32
Figura 4. Representación de los efectos de sequía agronómica.....	33
Figura 5. Efectos del cambio climático en algunas zonas húmedas	45
Figura 6. Ubicación de las cuencas de Ayaviri y Huancane.....	50
Figura 7. Grafico de doble masa de precipitaciones de las estaciones Ayaviri y Huancane	64
Figura 8. Sequias de moderadas a extremadas (SPI-1) de datos (1966-2022) para la estación Meteorológica de Ayaviri.....	67
Figura 9. Sequias de moderadas a extremadas (SPI-1) de datos (1966-2022) para la estación Meteorológica de Huancane.....	68
Figura 10. Sequias medaradas a extremas (SPI-3) para los datos (1966-2022)de la estación meteorológica de Ayaviri	70
Figura 11. Sequias medaradas a extremas (SPI-3) para los datos (1966-2022)de la estación meteorológica de Ayaviri	71
Figura 12. Sequias moderadas a extremas (SPI-6) para los datos (1966-2022) para la estación meteorológica de Ayaviri	73
Figura 13. Sequias moderadas a extremas (SPI-6) para los datos (1966-2022) para la estación meteorológica de Huancane	74
Figura 14. Informacion de Akaike de 20 modelos de ARIMA de la estacion Ayaviri	77
Figura 15. Correlograma de los residuales del modelo ARIMA (4,4)(2,1) estación Ayaviri.....	78



Figura 16. Proyeccion al 2040 de SPI Ayaviri	79
Figura 17. Informacion de Akaike de 20 modelos de ARIMA de la Estacion Huancane	82
Figura 18. Correlograma de los residuales del modelo ARIMA (4,4)(2,1) estación Huancane	83
Figura 19. Proyeccion al 2040 de SPI Huancane.....	84



ÍNDICE DE ACRONIMOS

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
PCM	Presidencia del Consejo de Ministros
PLANAA	Plan Nacional de Acción Ambiental
PMGRH	Proyecto de Modernización de la Gestión de los Recursos Hídricos
P y ENRH	Política y Estrategia Nacional de 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

La sequía es un fenómeno natural impredecible que tiende a extenderse de manera irregular a través del tiempo y del espacio, y sus efectos son, con frecuencia, desastrosos. En el presente trabajo de investigaciones se ha planteado como objetivo efectuar la caracterización de las sequías meteorológicas utilizando los modelos de autorregresivo integrada de media móvil (ARIMA) y el índice normalizado de precipitación (SPI) se ha realizado en el ámbito de la cordillera oriental del altiplano; para lo cual se aplicaron las pruebas de tendencia no-paramétrica como: Mann-Kendall y Spearman's Rho, obteniendo resultados no significativos (NS) a las probabilidades de $\alpha = 0.10$, $\alpha = 0.05$ y $\alpha = 0.01$; se identificaron años con sequía meteorológica para la estación Ayaviri se obtuvo de (SPI-1) para enero 1971 (-1.21) y octubre de 2018 (-1.49), moderadamente secas, noviembre de 1976 (-1.93) y diciembre de 2016 (-1.94), severamente secos, enero 1983 (-2.35), extremadamente seco; para la estación de Huancané se obtuvo de (SPI-1) para octubre 1986 (-1.31) y febrero 1992 (-1.32), moderadamente secas, febrero 1982 (-1.79) y octubre 2009 (-1.63), severamente secas, noviembre 1988 (-2.78), extremadamente secas, y el modelo ARIMA se utilizó el (AIC) con un valor de 9.719 esto debido a Akaike (1974) y (SC), cuyo valor es de 9.839 debido a Schwarz (1978) que indican que el mejor modelo estadísticamente significativo, los estadísticos de AIC y SC, para la estación meteorológica de Ayaviri se ha identificado como ARIMA (4, 0, 3) o ARIMA (1,0, 2). Para la estación meteorológica de Huancané se ha identificado como ARIMA (4, 0, 4) o ARIMA (2,0, 1), es el mejor para representar el pronóstico de la escasez de la precipitación pluvial de la zona oriental de la región de Puno, ya que estos modelos son modelos estables.

Palabras clave: modelos de autorregresivo integrada de media móvil, el índice estandarizado de precipitación, cordillera oriental de Puno.



ABSTRACT

Drought is an unpredictable natural phenomenon that tends to spread unevenly through time and space, and its effects are often disastrous. In this research work, the objective has been to carry out the characterization of meteorological droughts using the autoregressive integrated moving average (ARIMA) models and the normalized precipitation index (SPI). It has been carried out in the area of the eastern mountain range of the plateau; for which non-parametric trend tests were applied such as: Mann-Kendall and Spearman's Rho, obtaining non-significant results (NS) at the probabilities of $\alpha = 0.10$, $\alpha = 0.05$ and $\alpha = 0.01$; Years with meteorological drought were identified for the Ayaviri station, obtained from (SPI-1) for January 1971 (-1.21) and October 2018 (-1.49), moderately dry, November 1976 (-1.93) and December 2016 (-1.94), severely dry, January 1983 (-2.35), extremely dry; for the Huancané station it was obtained from (SPI-1) for October 1986 (-1.31) and February 1992 (-1.32), moderately dry, February 1982 (-1.79) and October 2009 (-1.63), severely dry, November 1988 (-2.78), extremely dry, and the ARIMA model was used (AIC) with a value of 9.719 due to Akaike (1974) and (SC), whose value is 9.839 due to Schwarz (1978) which indicate that the best statistically significant model, the AIC and SC statistics, for the Ayaviri meteorological station has been identified as ARIMA (4, 0, 3) or ARIMA (1.0, 2). For the Huancané meteorological station, it has been identified as ARIMA (4, 0, 4) or ARIMA (2.0, 1), which is the best to represent the forecast of the scarcity of rainfall in the eastern area of the region of Puno, since these models are stable models.

Keywords: integrated moving average autoregressive models, standardized precipitation index, eastern mountain range of Puno.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la cordillera oriental de la región de Puno, las investigaciones sobre la variabilidad climática son importantes para el diseño y manejo integral de los sistemas de recursos hídricos. Los sistemas de recursos hídricos han sido planeados y son operados sobre el supuesto de que las características climáticas deben ser similares a las observadas más de 30 años de observación. Las sequías son consecuencia de las alternativas y anomalías del clima lo que motiva el déficit de precipitaciones pluviales especialmente en las vertientes del lago Titicaca. La sequía ha amenazado la existencia humana desde la antigüedad. A menudo fue la causa de migraciones masivas, hambrunas, guerras e incluso cambió el curso de la propia historia.. Hoy en día, la sequía sigue afectando a la población mundial de diferentes maneras, y se considera como el fenómeno natural que afecta a más personas que cualquier otro desastre natural en el planeta (Aramayo, 2019).

La sequía es un problema importante en zonas donde la actividad económica es altamente dependiente de los recursos hídricos, como es el caso de nuestro país. La principal causa de la sequía es la insuficiencia de precipitaciones en una zona concreta, lo que se denomina sequía meteorológica. Este déficit de agua se propaga a través del ciclo hidrológico y da lugar a otras clases de sequía; por lo que, el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), basado solo en las precipitaciones, resulta un buen indicador para evaluar las sequías por su buena relación con los impactos hidrológicos, agrícolas y ecológicos (Vicente-Serrano, y otros, 2012).



La sequía en el altiplano, constituye uno de los aspectos más críticos para planificar el uso óptimo de los recursos hídricos, debido a que no se conoce ni en el tiempo ni en el espacio la ocurrencia de este fenómeno natural. Se deduce que las sequías son consecuencias de las alteraciones y anomalías del clima lo que motiva el déficit de precipitaciones pluviales especialmente es las vertientes andinas occidentales a 2200 m.s.n.m., en los valles interandinos y en la cuenca del Lago Titicaca 3820 m.s.n.m., nos referimos a estos lugares porque allí se ha producido pérdida de vidas humanas y económicas (Ticona, 2017).

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

El fenómeno de La sequía es uno de los desastres naturales más devastadores, ya que paraliza la producción de alimentos, agota los pastizales, altera los mercados y, en casos extremos, mata a personas y animales; este fenómeno ocurre en los pisos ecológicos en el altiplano, pero sus características varían perceptiblemente de un piso ecológico a otra, es un fenómeno temporal y espacial. La sequía no presenta epicentro ni trayectorias definidas, sino que tiende a extenderse de manera irregular a través del tiempo y del espacio, provocando que el agua disponible sea insuficiente para satisfacer las distintas necesidades humanas y de los ecosistemas, considerándose como uno de los fenómenos naturales que afecta a más personas en el mundo (Ortega, Velasco, Guitron, Arreguin, & Lopez, 2014).

El problema de la sequía en la región Puno es uno de los temas más críticos a la hora de planificar el uso óptimo de los recursos hídricos, debido a que se desconoce en el tiempo y el espacio la ocurrencia de este fenómeno natural. Se especula que la sequía es el resultado del cambio climático y las irregularidades que provocan precipitaciones insuficientes, especialmente en las laderas occidentales de los Andes a 2.200 metros, los valles andinos y el lago Titicaca a 3.820 metros. Mencionamos estos lugares por la



pérdida de vidas humanas y económicas, pero la sequía está presente en casi todas las zonas climáticas, aunque las características de cada región son diferentes. Las sequías se desarrollan en un periodo largo de tiempo (Meses, Años) por diferentes causas que dependen de las características climáticas propias de cada región, inclusive del uso del agua, del uso del suelo y de las actividades agrícolas que se desarrollan (Ticona, 2017).

En regiones con recursos hídricos limitados o excesivos y altos niveles de cambio climático, los productores enfrentan desafíos diarios de producción para al menos mantener los medios de vida de sus hogares; El cambio climático está empeorando esta situación. Utilizan una variedad de estrategias, prácticas y técnicas para sobrevivir en este entorno social y biofísico. Por ello, los productores se adaptan ajustando fechas de siembra, utilizando variedades con diferentes ciclos, utilizando cultivos resistentes o tolerantes, riego y manejo del cultivo, etc. Para ello se plantea las siguientes interrogantes:

1.2.1. Problema general

¿De que manera influye la variación de los elementos climáticos en la presencia de las sequias meteorológicas en la cordillera oriental de la region de Puno?

1.2.2. Problemas específicos

¿De qué manera influye la variacion de precipitación pluviales y las temperaturas en la presencia de sequias meteorológicas en la cordillera oriental de la region de Puno?

¿Cómo influye la variabilidad climática en la caracterización temporal de las sequias meteorológicas en la cordillera oriental de la region de Puno? .

¿De qué manera la variabilidad climática en la planificación del calendario agrícola para los principales cultivos en la cordillera oriental de la region de Puno?



1.3. JUSTIFICACION DEL PROBLEMA

Las sequías en el altiplano peruano son un fenómeno recurrente de relativa complejidad, que ha sido una problemática de la civilización a través de la historia. Afecta ambientalmente hábitats naturales, ecosistemas y así también a los sectores económicos y sociales de la población. La gran variedad de sectores que son afectados por las sequías, así como el amplio rango de demandas de los recursos agua y suelo, hacen que sea muy complicado realizar una única definición de sequía. Sin embargo, existe un consenso en definir a las sequías como una condición de insuficiencia de la cantidad de recursos hídricos, causados por un déficit de precipitaciones sobre un determinado periodo de tiempo (Aramayo, 2019).

Las sequías pueden tener consecuencias dramáticas y consecuencias sociales, económicas y ambientales, especialmente en regiones áridas y semiáridas como partes del Perú (Salas, Hidrología de Zonas Áridas y Semiáridas, 2000). Estos impactos son más severos en la medida en que se está menos preparado para afrontarlas, ante ello es necesario lograr una mejor comprensión de las sequías meteorológicas, es decir conocer la probabilidad de ocurrencia en distintos niveles de severidad y duración (Wilhite D. , 2000). En el altiplano, la actividad más importante es la agropecuaria en seco y la producción agrícola depende de las aguas provenientes de las precipitaciones pluviales, donde el calendario agrícola coincide con el año hidrológico inicia a mediados del mes de septiembre a marzo, por tal razón es necesario realizar estudios de sequía en la época de campaña agrícola; para la presente investigación se ha evaluado la presencia de sequías meteorológicas, por el índice de precipitación estandarizada (SPI); para lo cual se ha considerado dos unidades hidrológicas (Ayaviri y Huancané).

En el altiplano de la región de Puno, la influencia de la Cordillera de los Andes, la Corriente de Humboldt y el anticiclón Pacífico Sur, determinan las características



climáticas de las distintas regiones geográficas (Gilford et.al 1992). En el Perú, las zonas costeras son extremadamente secas, con menos de 40 mm de precipitaciones en el sur y el centro; Las precipitaciones en el extremo norte oscilan entre 50 y 200 mm. En la región Sierra, la latitud, altitud, presencia de vientos locales y el efecto pantalla de la cordillera dan lugar a diferentes condiciones climáticas; el sistema meteorológico dominante del clima en la región sierra y selva es el anticiclón del Atlántico Sur, el cual a través de los vientos alisios asociados directa o indirectamente (reciclado), advecta grandes cantidades de humedad hacia la cuenca amazónica peruana (Gilford, 1992).

Para las personas que viven en zonas rurales que sufren sequías, la falta de cantidad y calidad del agua puede ser la amenaza más difícil de mitigar y amenazar los ecosistemas. Es precisamente por esta razón que resulta difícil proporcionarle un enfoque genérico que contemple todos los aspectos y satisfaga todas las expectativas, por lo que la sequía responde más bien a una particularidad del clima y del medio ambiente, lo que la convierte en un fenómeno con carácter relativo y elusivo (Velasco, Ochoa, & Gutierrez, 2005). En general, las sequías intensas aun con pequeñas o medianas duraciones pueden tener fuertes impactos en la agricultura, mientras sequías de mediana intensidad con largas duraciones pueden tener serios efectos en la provisión de agua (Ge, Apurv, & Cai, 2016); así, las proyecciones globales presentan indicios de una intensificación de las sequías, incremento en la duración y aumento de las áreas bajo sequías a nivel mundial (Dai, Increasing drought under global warming in observations and models, 2012; Trenberth, y otros, 2014).

Por el efecto de los factores climáticos, La temperatura disminuye al aumentar la altitud, mientras que las precipitaciones disminuyen de norte a sur y de este a oeste. La región Puno tiene dos estaciones climáticas muy claras: i) verano de abril a octubre, caracterizado por días soleados y noches muy frías y sin lluvia; (ii) la temporada de lluvias



de noviembre a marzo a una altitud de 3.000 m, la precipitación media anual en los valles andinos por debajo de los 3.000 metros es inferior a 500 milímetros, y la precipitación media anual en zonas por encima de los 3.000 metros sobre el nivel del mar es de más de 700 milímetros.

1.4. HIPÓTESIS

1.4.1. Hipótesis general

Las variabilidades de los elementos climáticos influyen directamente en la presencia de las sequías meteorológicas en el altiplano de la región de Puno.

1.4.2. Hipótesis específicas

Las tendencias de las series históricas de los elementos climáticos son positivas.

Las sequías meteorológicas moderadas a extremadamente secas se basan de acuerdo a su intensidad y severidad, se identifica mediante el modelo autorregresivo de promedio móvil en las localidades de la cordillera oriental del altiplano de la región de Puno.

La caracterización temporal de las sequías meteorológicas está determinado por la ausencia de precipitaciones pluviales en el altiplano de la región de Puno.



1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.5.1. Objetivo general

Caracterizar temporalmente las sequías meteorológicas utilizando el modelo autorregresivo de media móvil en la cordillera oriental del altiplano de la región de Puno.

1.5.2. Objetivos específicos

Evaluar mediante los análisis de tendencia paramétrica y no paramétrica los datos de la serie histórica de temperatura y precipitación pluvial de las estaciones meteorológica de la cordillera oriental del altiplano.

Identificar años con sequías meteorológicas moderadas a extremadamente secas basado en su intensidad y severidad, utilizando el índice de precipitación estandarizado, en el periodo 1966-2022.

Realizar la caracterización temporal de las sequias meteorológicas utilizando el modelo autorregresivo de media móvil en la cordillera oriental del altiplano de Puno.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Antecedente Internacional

La sequía es un desastre natural potencial causado por precipitaciones inferiores a lo normal. Si este fenómeno continúa durante una temporada o más, las precipitaciones serán insuficientes para satisfacer las necesidades sociales y ambientales. La sequía debe verse como una condición relativa, no absoluta. También hay muchas formas diferentes de monitorear la sequía. Debido a la magnitud del impacto de la sequía, es de naturaleza regional y cada región tiene características climáticas específicas. La sequía en las Grandes Llanuras de América del Norte difiere de las sequías en el noreste de Brasil, el sur de África, Europa occidental, el este de Australia o las llanuras del norte de China. La cantidad, la estacionalidad y la forma de precipitación en cada uno de esos lugares varían enormemente. (OMM-No 1090, 2012)

La OMM (2012), indican que la temperatura, el viento y la humedad relativa son también factores importantes para la caracterización de las sequías. El seguimiento de las sequías debe ser específico para cada aplicación, ya que el impacto de la sequía varía de un sector a otro. La sequía significa cosas diferentes para diferentes usuarios, ya sean administradores de agua, productores agrícolas, operadores hidroeléctricos o biólogos de vida silvestre. Además, incluso dentro de cada sector, la sequía se entiende desde diferentes perspectivas, ya que su impacto puede ser muy diferente. Generalmente, las sequías se dividen en sequías



meteorológicas, sequías agrícolas y sequías hidrológicas según sus tipos, que difieren en intensidad, duración y extensión espacial. Múltiples estudios han permitido identificar las causas de la presencia continua y cada día de la ampliación en los rangos de variabilidad climática y la probable intensificación de fenómenos hidrometeorológicos extremos, cambios drásticos en los regímenes de lluvias y la ocurrencia de sequías, cuyo efecto significativo es debido al cambio climático, provocado por el incremento de las concentraciones de gases de efecto invernadero de origen antropogénico (crecimiento de la población, el crecimiento económico, la intensidad energética y las mezclas de combustibles fósiles) que se utilizan y cuya comprensión y entendimiento es importante para no restarle interés a la dimensión del problema que trae como consecuencia riesgos al exponer a las poblaciones humanas y al ecosistema.

(McKee, MacKee, Doesken, & Kleist, 1993), introduce un índice alternativo al popular PSDI en Colorado, Estado Unidos, al cual se le denominó índice de precipitación estandarizada (SPI). En él, los registros históricos de precipitación total mensual para grupos mensuales y estacionales se ajustan a una función de distribución de probabilidad gamma incompleta y luego se normalizan utilizando una función normal inversa (llamada función gaussiana). En los últimos años el SPI a tomado gran popularidad a nivel mundial puesto que solo requiere disponer de series pluviométricas anuales largas y confiables.

(Navarro, 2002), evaluó las secuencias secas de larga duración en las islas Baleares de España, empleando el Índice Estandarizado de Sequía Pluviométrica (IESP), obtenido de la diferencia entre cada registro y el valor de la mediana de cada uno de los meses del año.



(Salas, y otros, 2005), caracterizan la severidad y el riesgo de sequía en el río Poudre, en Colorado (Estados Unidos), siguiendo una metodología análoga a la empleada en el análisis de crecientes. Comenzaron con 119 años de registros de escorrentía anual, completaron los datos sintetizando los datos generados por modelos estocásticos a corto plazo y luego determinaron los períodos de retorno y el riesgo de sequía. Además, utilizaron algoritmos matemáticos para determinar la distribución de los eventos de sequía en función de los períodos de retorno.

2.1.2. Antecedente Nacional

(Curi, 2017), en su trabajo de investigación se evaluó aplicando el método de Umbrales a la serie estandarizada del caudal mensual, estos Umbrales invariables en el tiempo y el espacio se fijaron en Percentil (20) o -0.84 en la escala del IQE para definir los eventos Moderadamente Secos y Percentil (5) o -1.65 en la escala del IQE para definir los eventos Extremadamente Secos. Llegando como conclusiones: 1) Los datos hidrométricos recopilados, analizados mediante diferentes pruebas estadísticas, redujo las incertidumbres inherentes al proceso de recolección. Los supuestos básicos de toda variable hidroclimática (Homogeneidad y Estacionariedad), permitió elaborar una base hidrométrica (caudal mensual) de calidad, con una cobertura espacial y temporal lo suficientemente amplia para caracterizar los eventos de sequías hidrológica, ocurridos históricamente en la Vertiente peruana del Pacífico; 2) El diagrama de boxplot, obtenido de los valores estandarizados de cada una de las seis distribuciones evaluadas, permitió identificar la robustez de tres Distribuciones de Probabilidad (DP), que aproximan a los valores estadísticamente esperados de toda variables estandarizada (media = 0 y desviación estándar =1), estas tres DP son: Valor Extremo Generalizado (GEV), Log Normal (LN3) y Logistic



Generalizado (GLO), sin embargo las dos primeras distribuciones (GEV y LN3) tienden a subestimar y sobrestimar los valores estadísticamente esperados de la variable estandarizada (IQE); y 3) La distribución seleccionada (Logistic Generalizado), forma un índice estandarizado capaz de caracterizar las sequías hidrológicas ocurridas en la Vertiente peruana del Pacífico. Sin embargo el comportamiento hídrico de un río o conjunto de ríos no puede ser descrito por una sola DP dada la marcada estacionalidad del recurso hídrico (avenida y estiaje), siendo estos comportamientos descritos por diferentes DP.

(Vega, 2018), en su trabajo de investigación se realizó la caracterización de las sequías, análisis de tendencias, correlación con índices océano-atmosféricos y evaluación del peligro de sequía durante el ENSO y ha llegado a las siguiente conclusión: 1) Se determinó que la variabilidad espacio-temporal de las sequías en el Perú se puede representar mediante las 8 regiones homogéneas definidas en función del SPI. Asimismo, se identificaron los cuatro eventos de sequía más importantes, que afectaron varias de las regiones identificadas para el Perú: la sequía de 1992, que afectó las regiones del centro al 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, que afectó a las regiones (SVP y TVT) y la de 1977, que afectó a las regiones localizadas mayoritariamente al norte del país (NVP, CVP, NAN, NVA, AVA y TVT).

(Guerrero & Yevjevich, 1975), presenta uno de las primeras metodologías para el análisis de sequía hidrológicas, basada en la probabilidad de transición de un día húmedo a un día seco o viceversa; no obstante, el modelo no permite estimar en forma directa la probabilidad de ocurrencia de un evento seco dada una duración determinada.



2.1.3. Antecedente regional

(Zavala, 2015), realizó la investigación se obtuvo como resultados con las conclusiones a fin de mitigar la presencia de sequías en la sub cuenca del río Huenque se propone las siguientes medidas: Mejoramiento y ampliación de los sistemas de riego, evaluar y reestructurar la cédula de cultivos, donde practican la agricultura en secano, explotar los recursos de agua subterránea, forestación en las partes altas de la sub cuenca, considerar las técnicas de cosecha de agua, construir nuevos sistemas de riego y aumentar la eficiencia de riego con sistemas presurizados. Realizar la gestión al Gobierno Regional Puno para la construcción de infraestructura de riego para solucionar la presencia de sequías en el ámbito de la sub cuenca del río Huenque, a través de la construcción de 07 presas y 09 sistemas de riego para irrigar 14,070 hectáreas que beneficiara a 3,600 familias.

(Antunez de Mayolo, 1983), en base a un análisis de los niveles anuales del Lago Titicaca encontró relaciones entre los niveles mínimos del lago y la ocurrencia de Niños. Bernard Fracou – Luis Pizarro (1985), indican que hay relaciones estadísticas entre las apariciones del Niño a lo largo de la costa peruana y una pluviometría deficitaria susceptible de producir condiciones de sequía en los Altos Andes Tropicales y el Altiplano. Hacen referencia a que el debilitamiento estacional de las lluvias en los Andes podría ser la consecuencia de dinámicas atmosféricas a escala continental, como el reforzamiento del anticiclón sud Atlántico en periodos de bajo valor del índice de oscilación del sur, que impediría la invasión normal de los alisos del noreste hacia la Amazonía, provocando que la zona de convergencia intertropical se mantenga en la cuenca del Caribe.



Quispe (2007) citado por Ticona, (2017), realizó un análisis espacial y temporal de las sequías en la cuenca del río Ramis, empleando el método de Índice de Precipitación Estandarizada, y concluye que se ha detectado tres eventos de sequías temporales más notorias, llegando a valores de SPI-3, que según la escala de índice de precipitación estandarizada; los mismos que tienen una calificación de sequías extremas.

Cusacani (2009) citado por (Ticona, 2017) determina y caracteriza las sequías extremas a nivel de microcuencas mediante la metodología del Run en la cuenca del río Ilave, y concluye que existen eventos de sequías temporales notorias, llegando a valores de -1.13 a -2.36, que según la escala de precipitación estandarizada; tienen una calificación de sequías extremas.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. El ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico es el proceso por el cual el agua circula en la Tierra. Es uno de los ciclos biogeoquímicos más importantes en el que el agua sufre movimientos y transformaciones físicas (bajo la influencia de factores como el frío y el calor) y pasa por tres estados de la materia: líquido, sólido y gaseoso. Por ciclo hidrológico nos referimos a la circulación constante del agua en sus formas sólida, líquida y vapor. El agua se evapora de los océanos, lagos, ríos, suelos y seres vivos bajo la influencia de la radiación solar. Así es como el agua entra a la atmósfera. El viento esparce vapor de agua por la Tierra. A medida que el agua se enfría, vuelve a ser líquida y eventualmente termina en los océanos, ríos y tierra en forma de precipitación (lluvia, nieve o granizo). Una parte de esta agua se infiltra y se convierte nuevamente en agua freática (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

La ciencia del agua se ocupa de las aguas terrestres: su distribución y circulación, sus propiedades físicas y químicas, su interacción con el medio ambiente y los organismos (especialmente los humanos). Se puede considerar que la hidrología abarca todas las ciencias del agua. De forma más rigurosa, se puede definir como el estudio del ciclo hidrológico. El cuál es el enfoque de la hidrología. No tiene principio ni fin y sus procesos ocurren en forma continua: el agua se evapora desde los océanos y de la superficie terrestre para volver a la atmósfera; el vapor de agua se transporta y se eleva hasta que condensa y precipita sobre la superficie terrestre o los océanos (Mijares, 1989).

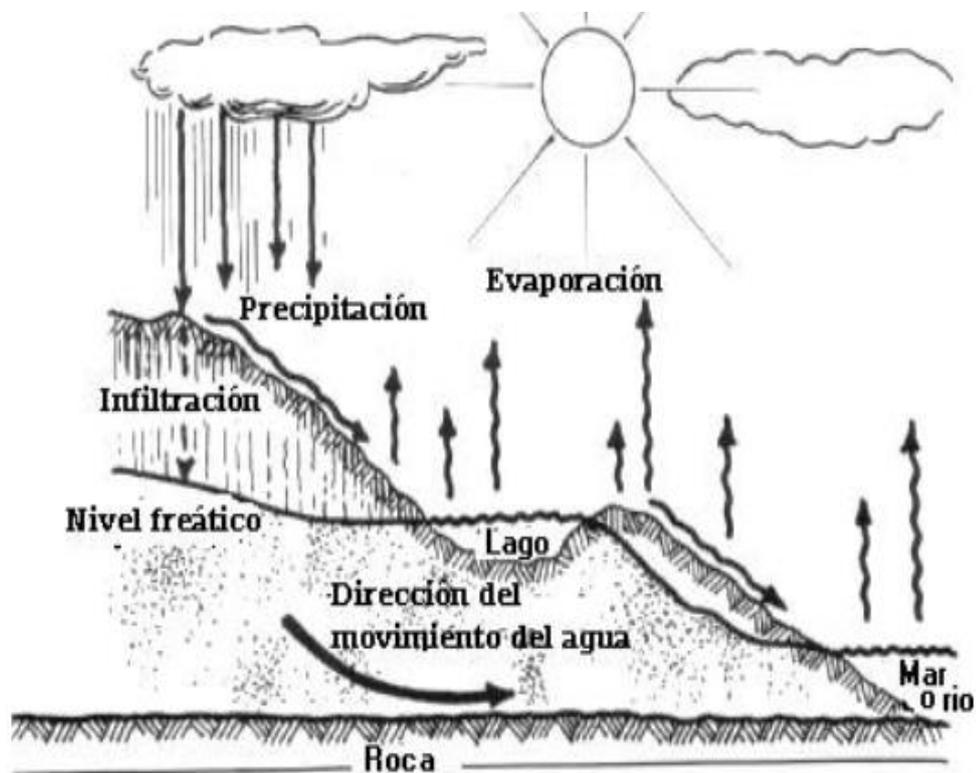


Figura 1. Proceso del ciclo hidrológico del agua

Fuente: Fattorelli & Fernandez (2011).

La precipitación puede ser interceptada por la vegetación, convertirse en flujo de agua superficial en la tierra, penetrar en el suelo, desaparecer de la tierra a través del flujo de agua subterránea y ser transportada a los ríos como escorrentía superficial. El agua infiltrada puede percolar profundamente para recargar el agua

subterránea de donde emerge en manantiales o se desliza hacia ríos para formar la escorrentía superficial y finalmente fluye hacia el mar o se evapora y por tal dándose una retroalimentación del ciclo (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

2.2.2. Cuenca hidrográfica

Es un espacio geográfico cuyos aportes de agua son alimentados exclusivamente por precipitaciones que caen en el interior y el excedente de agua o en materia sólida transportadas por el agua forman, en un punto espacial único, una desembocadura, una estación de aforo, o un punto arbitrario (Llamas, 1993).

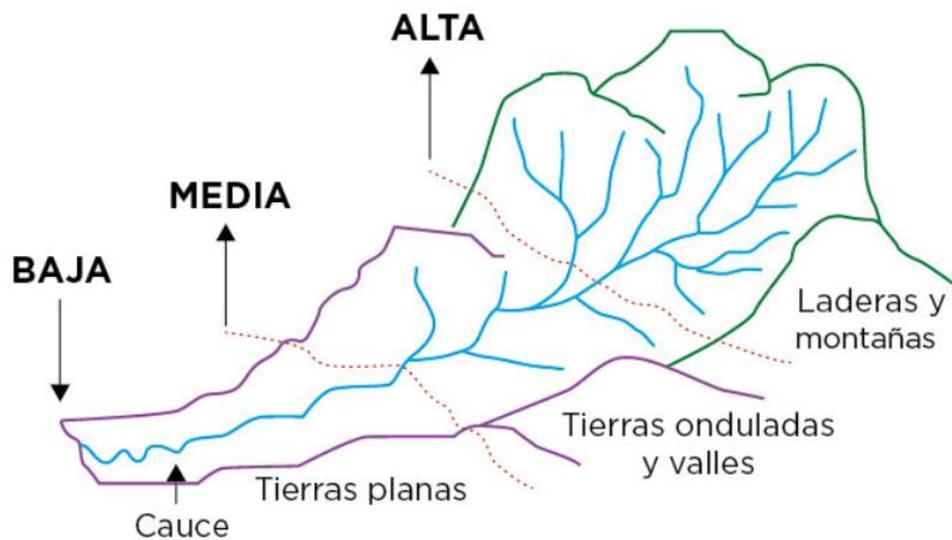


Figura 2. Representación geográfica de la cuenca hidrográfica

Fuente: Chow et al. (1994).

Es una unidad hidrológica descrita como una unidad física biológica y también como una unidad sociopolítica para la planificación y gestión de los recursos naturales. Dentro de una cuenca se pueden dividir subcuencas o microcuencas. Las líneas divisorias que separan las subcuencas se denominan aguas secundarias. Las cuencas pueden sub dividirse en tres zonas de funcionamiento hídrico principales: Zona de cabecera; Zona de captación - transporte; y Zona de emisión (Chow, Maidment, & Mays, 1994). Para definir

mejor las cuencas, se clasifican por el tipo de agua circulante. Por lo tanto, se considera cuenca hidrológica una unidad topográfica que considera únicamente aguas superficiales, mientras que cuenca hidrológica se considera un concepto más integral que incluye tanto aguas superficiales como subterráneas.

2.2.3. Precipitación

Se conoce como precipitación a la cantidad de agua que cae a la superficie terrestre y proviene de la humedad atmosférica, ya sea en estado líquido (llovizna y lluvia) o en estado sólido (escarcha, nieve, granizo). La precipitación es uno de los procesos meteorológicos más importantes para la Hidrología, y junto a la evaporación constituyen la forma mediante la cual la atmósfera interactúa con el agua superficial en el ciclo hidrológico (Mijares, 1989).



Figura 3. Representación de la precipitación pluvial

Fuente: Mijares (1989).

2.2.4. Sequías

La sequía es considerada uno de los fenómenos medioambientales que más afectan al desarrollo del ser humano y de todas las formas posibles de vida, la sequía puede ser descrita como la ausencia de riego o de agua en la tierra o superficie durante un largo período de tiempo (Tarazona, 2016).

2.2.5. Definición de sequías

Debido a la complejidad del fenómeno de la sequía, actualmente no existe una definición generalmente aceptada, existiendo más de 150 definiciones de sequía dependiendo de la disciplina científica que analiza este fenómeno.



Figura 4. Representación de los efectos de sequía agronómica

Fuente: OMM (2006).

Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM), la sequía es la desviación acumulativa de las condiciones de lluvia normales o esperadas (es decir, un promedio estadístico o de largo plazo). Este déficit de precipitación puede sobrevenir en poco tiempo o tardar meses en manifestarse a través de la



disminución del caudal de los ríos, de los niveles de los embalses o de la altura de las aguas subterráneas (OMM, 2006).

También es importante diferenciar entre definiciones conceptuales y operacionales de sequía (Wilhite & Glantz, 1985). Se desarrollaron definiciones de conceptos para la comprensión de la sequía global y el desarrollo de políticas. Una definición operativa de sequía (por ejemplo, agrícola o hidrológica) define objetivamente los criterios de ocurrencia de sequía y la compensación y severidad para aplicaciones específicas. La sequía es un fenómeno natural que se extiende de forma irregular en el tiempo y el espacio. Se caracteriza por un desarrollo temporal lento y una amplia cobertura espacial. Su ocurrencia no causará el colapso de la infraestructura ni fallas catastróficas. Sin embargo, puede condicionar las operaciones de los sistemas de recursos hídricos imponiendo muchas veces condiciones más exigentes que las de diseño con graves consecuencias económicas y sociales (Fernandez, 1997).

Los efectos de la sequía a menudo se acumulan durante un largo período de tiempo, incluso años después de que el evento haya terminado, lo que dificulta determinar con precisión el comienzo y el final del evento. En comparación con los efectos de otros desastres naturales, los efectos de la sequía no son devastadores y ocurren en grandes áreas, lo que dificulta cuantificar su impacto. La sequía es un fenómeno natural que ocurre cuando las lluvias han sido considerablemente inferiores a los niveles normales registrados, causando un agudo desequilibrio hídrico que perjudica los sistemas de producción (ONU, 1994).

La Organización Meteorológica Mundial define la sequía como un periodo de tiempo con condiciones meteorológicas anormalmente secas, suficientemente



prolongado como para que la falta de precipitación cause un grave desequilibrio hidrológico (OMM, 1992). (Wilhite & Glantz, 1985), basados en la recopilación de más de 150 definiciones, categorizan las sequías en cuatro grupos según la disciplina científica con la que se analiza: meteorológicas, hidrológicas, agrícolas, y socioeconómicas.

Por otro lado. (Subrahmanyam, 1967), distingue seis tipos de sequía: meteorológica, climática, atmosférica, agrícola, hidrológica y de gestión hídrica. (Salas, J., 1986) considera que las definiciones existentes se agrupan en tres categorías fundamentales: Aquella en la cual la sequía es definida como una cantidad absoluta de humedad (lluvia, escorrentía, humedad del suelo) por debajo de un umbral (por ejemplo, 20 días consecutivos sin llover). La sequía ocurre cuando las variables de humedad se desvían en un cierto porcentaje de los valores normales o promedio (por ejemplo, la escorrentía es inferior al 60% del promedio). Definición de sequía, que ocurre cuando los cambios en la humedad son insuficientes para satisfacer las necesidades humanas.

En referencia al grado de déficit de humedad. (Yevjevich, 1967) sugirió el uso de la siguiente terminología: Escasez: diferencia entre la demanda de agua y el agua suministrada, frecuentemente de carácter temporal, la cual suele generar pequeñas consecuencias económicas y cierta inconformidad en los usuarios. Déficit: falta de agua en un lugar dado, durante un intervalo de tiempo dado, con consecuencias relativamente moderadas. Sequía: déficit de agua de duración prolongada, gran área de cobertura y con grandes impactos sobre la región. (Paredes, Millano, & Guevara, 2008).



2.2.6. Tipos de Sequías

Las sequías tienen su origen dentro del ciclo hidrológico con una deficiencia de la cantidad de precipitación, el cual provoca de forma directa una disminución de la presencia de agua en todos los estados del ciclo hidrológico Wilhite y Glantz (1985). Factores como las altas temperaturas, los fuertes vientos, la baja humedad relativa y la alta radiación solar, las propiedades del suelo y la cubierta vegetal pueden contribuir a una precipitación insuficiente. Todos ellos se caracterizan por una mayor evaporación y transpiración, lo que aumenta la pérdida de agua de la superficie terrestre y durante el ciclo hidrológico.

2.2.7. Sequía meteorológica o climatológica

En relación con la disminución de la precipitación, se estima comparando la cantidad de precipitación durante el período de análisis con indicadores estadísticos de series temporales, generalmente el promedio. Existen diversas definiciones de la sequía meteorológica que han sido desarrolladas para regiones específicas, debido a que las variaciones en los regímenes de precipitación tienen una fuerte influencia de las características climáticas de cada región (OMM, 2006).

2.2.8. Sequía edáfica o agrícola

Esto se manifiesta como una falta de agua en el suelo disponible para las plantas y a menudo se evalúa en relación con los daños a la producción agrícola. Determinar los umbrales de sequía es difícil, incluso para la misma región, porque cada cultivo utiliza diferentes cantidades de agua y varía en diferentes etapas de crecimiento del cultivo. Este tipo de sequía depende no sólo de las condiciones meteorológicas, sino también de las características biológicas del cultivo y de las



características del suelo. Entonces no significa que haya una sequía meteorológica. La sequía en la agricultura no ocurre cuando la humedad del suelo durante una sequía meteorológica es suficiente para sustentar el crecimiento de un cultivo en particular.

2.2.9. Sequía hidrológica

Esto se debe a deficiencias en el flujo o volumen y almacenamiento de aguas superficiales y subterráneas. Existe un desfase entre el inicio de la sequía hidrológica y la sequía meteorológica o agrícola, ya que ese desfase es necesario para que las anomalías de las precipitaciones se propaguen a los diferentes componentes del ciclo hidrológico. A diferencia de las sequías agrícolas, que ocurren poco después del inicio de la sequía meteorológica, las sequías hidrológicas pueden durar meses o años desde el inicio de la sequía meteorológica, dependiendo de la región; La sequía hidrológica no se manifestará si las lluvias se repiten nuevamente en un corto período de tiempo. La capacidad de gestión de los recursos hídricos influye sobre la sequía hidrológica, debido a que el déficit no solo depende de la disponibilidad del recurso hídrico superficial o subterráneo, sino también de la forma de uso del agua (Gálvez, 2017).

2.2.10. Sequía socioeconómica

Esto ocurre cuando la disponibilidad de agua se reduce hasta el punto de causar daños económicos o sociales a los residentes en áreas afectadas por precipitaciones insuficientes.

2.3. ÍNDICES DE SEQUÍAS

Un índice de sequía proporciona un cuadro completo para el análisis de la sequía y la toma de decisiones que es más fácil de usar en comparación con los datos brutos de



los indicadores (Hayes, 2006). Se han desarrollado más de 150 índices de sequía (Niemeyer, 2008) y recientemente se han propuesto índices adicionales (Vasiliades, Loukas, & Liberis, 2011).

Operacionalmente, el uso de un índice para la caracterización de la sequía sirve para los propósitos siguientes: Detección de sequías y monitoreo en tiempo real (Niemeyer, 2008).

Declaración del comienzo y final de un período de sequía (Tsakiris, Pangalou, & Vangelis, 2007). Permitir a los gestores de sequía declarar los niveles de sequía y proponer medidas de respuesta a la sequía; Evaluación de la sequía (Niemeyer, 2008). Representar el concepto de sequía en una región (Tsakiris, Pangalou, & Vangelis, 2007); Correlación con impactos cuantitativos de sequía sobre escalas variables de geografía y tiempo; y Facilitar la comunicación de las condiciones de sequía entre las diversas entidades interesadas.

A nivel global, los dos índices más frecuentemente utilizados son: el Índice de Severidad de Sequías de Palmer (PDSI por sus siglas en inglés; (Palmer, 1965)) y el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI por sus siglas en inglés; (Mckee, Doesken, & Kleist, 1993)). Sin embargo, un índice más reciente denominado como Índice de Reconocimiento de Sequía o Reconnaissance Drought Index en inglés (RDI por sus siglas en inglés; (Tsakiris, Pangalou, & Vangelis, 2007)), es actualmente aplicado en numerosos estudios. Por ello, a continuación, detallaremos las características de estos tres principales índices, incluyendo las ventajas y desventajas de su aplicación.

2.3.1. Índice de Severidad de Sequías de Palmer (PDSI)

Palmer (1965) introdujo por primera vez el Índice de Severidad de Sequías de Palmer (PDSI) en los Estados Unidos. El objetivo del PDSI era proporcionar



mediciones de las condiciones de humedad que fueron estandarizadas para que las comparaciones utilizando los valores del índice tuvieran un significado comparable en todos los lugares y tiempos (Palmer, 1965).

PDSI responde a un clima anormalmente seco o anormalmente húmedo. El PDSI se calcula a partir de datos de precipitación y temperatura y del contenido de humedad disponible del suelo. A partir de los parámetros de entrada anteriores, se pueden determinar todos los términos básicos de la ecuación del balance hídrico, incluyendo evapotranspiración, recarga del suelo, escorrentía y pérdida de humedad de la capa superficial (Hayes, 2006).

A pesar de su uso generalizado, el PDSI tiene muchas limitaciones (Hayes, 2006). Las limitaciones incluyen suposiciones arbitrarias asociadas con el modelo de balance hídrico utilizado en los cálculos del PDSI. Por ejemplo, no existe un método generalmente aceptado para calcular la evapotranspiración potencial. Aunque la técnica de (Thornthwaite, 1948) tiene amplia aceptación, pero todavía se considera una aproximación. Además, el método del PDSI es más adecuado para la caracterización de sequías agrícolas, ya que el modelo se centra en la humedad del suelo. Los valores del PDSI no son comparables entre diversas regiones climatológicas (Wells, Goddard, & Hayes, 2004).

2.3.2. Índice de Precipitación Estandarizado (SPI)

El SPI, indica que los índices de sequías meteorológicos más conocidos y ampliamente utilizados. El SPI fue creado por (Mckee, Doesken, & Kleist, 1993), en la Universidad del Estado de Colorado para cuantificar el déficit de precipitación para múltiples escalas de tiempo (1, 3, 6, 12, 24 y 48 meses en valores acumulados móviles).



El SPI se ajusta a una distribución normal, por lo que puede ser usado para monitorear tanto los periodos húmedos como los periodos secos (Tsakiris, Pangalou, & Vangelis, 2007). El SPI ha sido extensamente utilizado porque puede ser calculado para una variedad de escalas temporales de manera relativamente sencilla. Esta versatilidad le permite al SPI ser usado indistintamente para monitorear las provisiones de agua a corto plazo, como es el caso de la humedad del suelo, la cual es importante para la producción agrícola y los recursos hídricos a largo plazo, tales como el agua subterránea, el caudal y los niveles de lagos y reservorios (Mckee, Doesken, & Kleist, 1993).

Además, el SPI sólo requiere datos de precipitación, que generalmente están disponibles en la mayoría de los países. Como este método se incorpora a la estandarización del índice mismo, el índice también se puede aplicar de manera consistente en todas las jurisdicciones. Además, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) recomienda el uso del SPI para determinar las sequías meteorológicas y para complementar los índices de sequías meteorológicas locales (Hayes, 2006).

2.3.3. Índice de Reconocimiento de Sequía (RDI)

Tsakiris and Vangelis (2005) Se observa que, dado que la sequía meteorológica se manifiesta como un déficit hídrico, la atención puede centrarse en el balance hídrico (entrada - precipitación y salida - evaporación potencial). Teniendo esto en cuenta, se propone un nuevo índice de caracterización de sequía denominado Índice de Identificación de Sequía (RDI). El RDI se basa en la relación entre precipitación y evapotranspiración potencial. Algunas de las ventajas del índice RDI son: este índice se puede calcular para cualquier periodo de tiempo (1, 2, 3 meses, etc.), este índice puede ser asociado eficazmente con la



sequía y es sensible a los eventos de sequías (Tsakiris, Pangalou, & Vangelis, 2007).

Una de las limitaciones del índice es que se calcula en todas las escalas temporales a partir del inicio de cada año. En una escala de tiempo más pequeña, el RDI no puede identificar todos los eventos de sequía que pueden ocurrir durante el año (p. ej. Clases de 3 meses y 6 meses). Se pueden obtener resultados muy significativos si el período de análisis coincide con la temporada de crecimiento de los principales cultivos en el área de estudio u otros períodos relacionados con las fases de crecimiento de cultivos sensibles. Entonces, el RDI puede asociarse con éxito a la pérdida esperada en la producción de cultivos de secano, que a su vez está vinculada al peligro previsto en el sector agrícola debido a la ocurrencia de la sequía (Tsakiris, Pangalou, & Vangelis, 2007).

En la práctica, el RDI se comporta de manera similar al SPI, por lo que la interpretación de los resultados y los umbrales para determinar la magnitud de las sequías son similares para ambos casos.

2.3.4. Caracterización de las sequías

La sequía es generalmente analizada utilizando series de tiempo de diferentes variables y escalas de tiempo que puede variar desde meses a años (Mishra and Singh, 2011) en base a un enfoque de umbral. Para el análisis de las características de las sequías en base al SPI se identificaron los eventos de sequía como los periodos de tiempo consecutivos con valores del SPI que se sitúan por debajo de un cierto nivel de umbral.

El nivel de umbral considerado por la OMM para definir sequías es de - 1 (OMM, 2012), equivalente al 25% de la probabilidad acumulada basado en el



ajuste a una distribución normal estándar del SPI. Los niveles de umbral también nos permiten caracterizar los eventos de sequía en función de los siguientes atributos: duración, intensidad, severidad y frecuencia (probabilidad):

2.3.4.1. Duración

La duración de un evento de sequía se define como el número de meses consecutivos e intermitentes en los que se registra un evento de sequía durante un período de tiempo relativamente largo. Dependiendo de la región, la duración de la sequía puede variar desde una semana hasta varios años. Debido a la naturaleza dinámica de la sequía, una región puede experimentar estaciones secas y húmedas al mismo tiempo, teniendo en cuenta múltiples escalas de tiempo.

2.3.4.2. Intensidad

Es un parámetro muy común utilizado para caracterizar la sequía, algunos autores lo calculan como un valor entre la duración de la sequía y la intensidad promedio, en otros casos se define como el valor máximo del déficit, es decir, que ocurre durante un evento de sequía llamado intensidad máxima.

2.3.4.3. Severidad

Este término hace referencia al déficit acumulado de agua (precipitación) por debajo de cierto umbral durante un periodo de sequía; el cual se cuantifica mediante la acumulación de la sucesión negativa de los déficits de precipitación en un evento de sequía.

2.3.4.4. Frecuencia

Es la probabilidad de ocurrencia de sequía o de una determinada intensidad de sequía (Moderada, Severa o Extrema) en un periodo de tiempo.

2.4. CLIMA Y SISTEMA CLIMÁTICO

En el sentido más amplio, el clima es el estado medio de los componentes del sistema climático: atmósfera, hidrosfera, criosfera, litosfera y biosfera, así como la interacción entre ellos. Cuando estos factores cambian, ya sea a través de procesos naturales o provocados por el hombre, pueden causar que la Tierra se caliente o se enfríe porque cambian la proporción de energía solar absorbida o devuelta al espacio. Utilizando este enfoque sistémico, podemos decir que los cambios en el clima de la Tierra están impulsados por su dinámica interna, así como por fuerzas externas como las erupciones volcánicas, la variabilidad solar y fuerzas humanas como los cambios en la composición atmosférica y el uso de la tierra.

El componente más importante del sistema climático es sin duda la atmósfera (capa gaseosa que rodea al planeta), pues esta determina el presupuesto energético que define el clima global, por lo que resulta importante conocer su composición y estructura (GCCIP, 1997). La atmósfera está compuesta aproximadamente por un 79% de nitrógeno, 20% de oxígeno y 1% de otros gases. Dentro del 1% de los “otros gases”, la atmósfera contiene diferentes proporciones de los mismos, y entre ellos se encuentran los Gases de Efecto Invernadero (GEI). Los principales GEI son: vapor de agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O), metano (CH_4) y el ozono (O_3).

2.4.1. El fenómeno físico del efecto invernadero

Los GEI absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes (IPCC, 2007). Esto significa que la radiación infrarroja es absorbida por las moléculas de gases de efecto invernadero y reemitida en todas direcciones. El efecto resultante es un calentamiento de la atmósfera terrestre y de la atmósfera inferior, un fenómeno natural conocido como "efecto invernadero",



que regula el rango de temperatura confortable que hace posible la vida en nuestro planeta. El efecto invernadero es un fenómeno natural e importante. Sin el efecto invernadero, la Tierra sería una piedra fría en el espacio y nos resultaría difícil imaginar la vida tal como la conocemos en la Tierra.

2.4.2. Cambio Climático

El cambio climático se refiere a cualquier cambio significativo en las medidas del clima (tales como temperatura, precipitación o viento, etc.) que duran por un período prolongado de tres décadas o más. De acuerdo al Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC, 2007) por sus siglas en inglés el cambio climático se define como la variación del estado del clima en su valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropogénicos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo (IPCC, 2013).

2.4.3. Cambios observados en el sistema climático

De acuerdo al Quinto Informe de Evaluación (AR5 por sus siglas en inglés) del (IPCC, 2013), las evidencias observadas muestran que el cambio climático se manifiesta en aumentos de la temperatura atmosférica y oceánica, disminución de los volúmenes de nieve y hielo, incremento del nivel del mar, cambios en los patrones de precipitaciones y modificaciones de los eventos climáticos extremos. Así, se tiene:



Figura 5. Efectos del cambio climático en algunas zonas húmedas

Fuente: IPCC (2013).

Entre 1850 y 2012, la temperatura media global (temperatura promedio de la superficie terrestre y marina) aumentó linealmente en $0,85\text{ }^{\circ}\text{C}$ [$0,65\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $1,06\text{ }^{\circ}\text{C}$]. Las últimas tres décadas (1983-2012) han sido las más calurosas jamás registradas. La capa de hielo de Groenlandia y la Antártida ha perdido masa, los glaciares se han retirado y la cantidad de hielo en el Ártico ha disminuido significativamente. Entre 1901 y 2010, el nivel del mar aumentó una media de $0,19$ metros [$0,17$ a $0,21$]. El aumento del nivel del mar se ha acelerado en los últimos dos siglos.

Como resultado, el nivel medio mundial del mar aumentó $1,7$ mm por año entre 1901 y 2010 y $3,2$ mm por año entre 1993 y 2010. Desde 1950, la cantidad de lluvias intensas probablemente ha aumentado en más zonas de las que ha disminuido. La confianza en las tendencias mundiales de la sequía y la actividad



ciclónica sigue siendo baja, aunque existen diferencias entre regiones. Por ejemplo, la frecuencia e intensidad de los ciclones tropicales más severos en el Atlántico Norte pueden haber aumentado desde 1970.

2.4.4. Impulsores del cambio climático

El cambio climático es el resultado de un desequilibrio en el equilibrio energético de la Tierra causado por procesos y factores naturales y provocados por el hombre. Estos desequilibrios se cuantifican mediante el forzamiento radiativo (FR) y el forzamiento radiativo efectivo (EFR). El primero es medir el cambio neto en el balance energético del sistema Tierra debido a perturbaciones externas. El segundo es la capacidad de adaptarse rápidamente a las perturbaciones. Ambos se expresan en vatios por metro cuadrado (W/m^2). Si FR o FRE es positivo (negativo), se produce calentamiento (enfriamiento). Los valores de FR y FRE son muy similares para las emisiones de gases de efecto invernadero, mientras que son muy diferentes para los aerosoles antropogénicos.

Según el AR5, la RF antropogénica total en 2011 en relación con 1750 fue de $2,29 W/m^2$; esto resultó en un beneficio energético neto para el sistema climático. Además, la HR antropogénica total en 2011 fue un 43% superior a lo previsto en el Cuarto Informe de Evaluación de 2005. Este aumento se debe a un aumento a largo plazo en la concentración de la mayoría de los gases de efecto invernadero. Los efectos más positivos de los FR en los cambios de concentración son los gases de efecto invernadero mezclados uniformemente, como CO_2 , CH_4 , N_2O y halógenos (concentración de $2,83 W/m^2$ en 2011). Entre ellos, el factor que más contribuye a la FR es el aumento de la concentración de CO_2 en la atmósfera después de 1750 ($1,82 W/m^2$).



Por otro lado, los factores que afectan negativamente a las FR son las emisiones de aerosoles y su interacción con las nubes y la radiación; sin embargo, sus estimaciones están sujetas a una mayor incertidumbre. Finalmente, la contribución de la FR natural (procedente de la radiación solar y la actividad volcánica) a la FR neta de la era industrial es muy baja en comparación con los factores antropogénicos..

2.5. CAMBIO CLIMÁTICO Y SEQUÍAS

Esta sección presenta una breve revisión de los cambios históricos en sequías globales. A pesar de que los resultados de tendencias de sequías a largo plazo son complejos y no existe patrones emergentes y coherentes de sequía (IPCC, 2013); se ha notado variaciones espacio temporales de sequía a escala regional (Easterling, Evans, Groisman, Karl, & Kunkel, 2000). Durante los últimos 500 – 1000 años, América del Norte, Oeste de África (Shanahan, y otros, 2009), y el Este de Asia han experimentado periodos secos por varios años hasta múltiples décadas (Dai, A., 2011).

Las áreas muy secas a nivel global han disminuido en 7% en el periodo 1950 – 1972, pero estos han aumentado en el orden de 12 – 30% desde la década de 1970, particularmente a inicios de 1980 con disminución de la precipitación inducida por El Niño Oscilación del Sur (ENOS) y calentamiento global (Dai, A., 2011) y (Dai, Trenberth, & Qian, A Global Dataset of Palmer Drought Severity Index for 1870–2002: Relationship with Soil Moisture and Effects of Surface Warming, 2004).

En relación a la variabilidad espacio - temporal de las sequías a nivel global, se encontraron dos estudios que reportaron diferentes tendencias. Así, Sheffield et al. (2012) encontraron pequeños cambios en la sequía global (1950-2008), y que los aumentos previamente informados fueron sobreestimados y mientras que Dai (2012) reportó



tendencia significativa al incremento de las sequías en determinadas regiones del globo,
además de un incremento del porcentaje de áreas con sequías a nivel global.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS CUENCAS

La presente investigación se ha efectuado utilizando las estaciones meteorológicas que se encuentra dentro de las cuencas de los ríos de Ramis y Huancane, es necesario indicar que la cuenca del río Ramis se encuentra políticamente está inmerso en la región Puno, dentro de la cuenca podemos encontrar a las provincias de Melgar y Azángaro y parte de las provincias de Sandía con los distritos de Cuyo Cuyo. Lampa con los distritos de Ocuwiri, Pucará, Nicasio y Calapuja. Huancane con los distritos de Taraco. San Román con parte del distrito de Juliaca. San Antonio de Putina con los distritos de Ananea y la provincia de Carabaya con los distritos de Ajoyani y Crucero. Geográficamente se ubica entre las coordenadas 271,888 (71°07'4,7") Este a 454,337 (69°25'26,4") Oeste y de los 8'290,627 (15°27'33,7") Sur a los 8'445,589 (14°03'26,6") Norte, entre los 3,802 msnm que es la desembocadura al lago y hasta los 5,750 msnm en el nevado Ananea Chico (ANA, 2019).

Hidrográficamente pertenece a la cuenca del lago Titicaca y limita por el norte con la cuenca del río Inambari, por el sur con la cuenca del río Coata, por el este con las cuencas de Huancane y Suches y por el oeste con la cuenca del río Vilcanota (ANA, 2019).

3.2. DEMOGRAFÍA

La población total en las provincias de Azángaro, Carabaya, Huancane, Lampa, Melgar, San Antonio de Putina, San Román y Sandía estimadas en el último censo

Nacional de 1993 es de 437,506 habitantes y la población proyectada total de dichas provincias para el año 2004 llegaría a ser de 547,246 habitantes. (ANA, 2019).

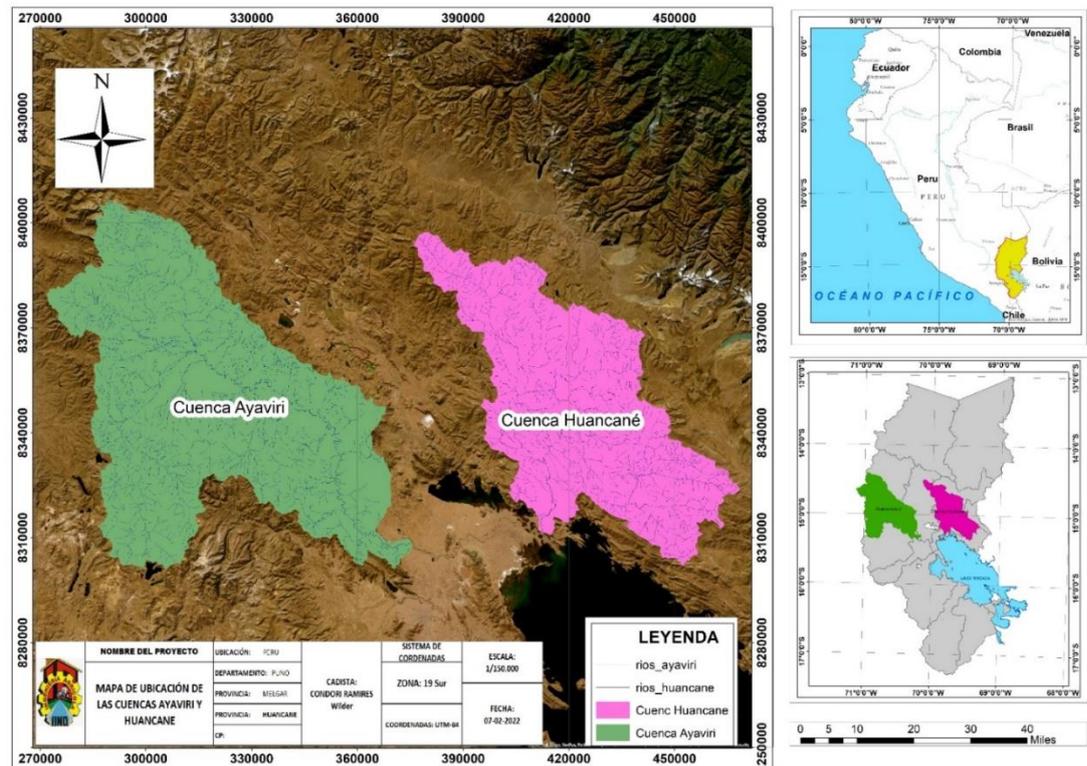


Figura 6. Ubicación de las cuencas de Ayaviri y Huancane.

La densidad poblacional varía de 22,4 hab./km² para la provincia de Melgar a 48,4 hab./km² para la provincia de Huancane. Este intervalo define el área de estudio como un área de densidad media, que corresponde a áreas basadas en actividades agrícolas para el desarrollo. Es claro que las provincias con mayor densidad están dominadas por actividades comerciales como San Román, Asangaro, Huancane y Melgar.

3.3. HIDROLOGÍA

La precipitación total media anual en la cuenca del Ramis es de 715 mm, que se distribuye de manera desigual a lo largo del año, registrándose las mayores precipitaciones entre noviembre y abril. El caudal medio anual del río Ramis según la



estación hidrométrica de Puente Ramis es de 71.44 m³/s, variando de 148 m³/s en el mes de marzo a 6.4 m³/s para el mes de setiembre. (Aramayo, 2019).

3.4. INFORMACIÓN CLIMÁTICA Y ECOLÓGICA

En la sierra de la provincia de Puno las condiciones climáticas (lluvias calientes) son de gran importancia porque causan serios problemas, principalmente en forma de sequía y heladas. El clima general corresponde al tipo semi seco y frío, con estaciones de otoño e invierno carentes de lluvias y sin cambio térmico invernal definido, sin embargo, es posible establecer cuatro variantes climáticas que, si bien no se diferencian grandemente, adquieren una gran importancia dentro del patrón climático en general (TDPS, 2011).

3.5. INFORMACIÓN GEOLÓGICA Y DE SUELOS

La geología regional contiene una amplia variedad de rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas con edades desde primitivas hasta relativamente recientes. Los afloramientos que ocupan mayor superficie pertenecen al Cenozoico y están dispuestos en orden descendente en unidades correspondientes al Mesozoico y Paleozoico.

3.6. METODOLOGIA POR OBJETIVOS ESPECIFICOS

La investigación es de **tipo correlacional y descriptivo** esta basado en las variables dependientes es la sequia expresada en base de índice estándar de precipitación la cual se genera con los datos de la precipitación medias mensuales obtenidos de las estaciones meteorológicas ubicadas en la zona de las cordilleras orientales los mismos que están ubicadas en las unidades hidrológicas de Ramis y Huancae.

3.6.1. Análisis de tendencia paramétrica de la serie histórica de precipitación pluvial

3.6.1.1. Prueba Mann-Kendall (no paramétrica)

Se utilizó la prueba de tendencia de Mann-Kendall (1945), fue utilizada para la prueba no paramétrica basada en el rango para evaluar 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 son los valores de datos secuenciales, n es la longitud del conjunto de datos, y:

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

Para $n \geq 8$, la estadística S es aproximadamente normal distribuido con la media y la varianza 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 el número de vínculos de grado m . La prueba estadística estandarizada Z 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 valor de probabilidad P de la estadística S de Mann-Kendall para datos de la muestra se puede estimar usando 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:

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

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

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

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

El z se obtiene de las tablas de probabilidad normal:

$$Z = |r_1 - E(r_1)|/Var(r_1)^{0.5}$$

3.6.2. Determinación de sequías meteorológicas utilizando el índice de precipitación estandarizado

Según, la Organización Meteorológica Mundial, (2012), el SPI se concibió para cuantificar el déficit de precipitación para varias escalas temporales, las cuales reflejan el impacto de la sequía en la disponibilidad de los diferentes recursos hídricos. Las condiciones de humedad del suelo responden a anomalías de precipitación en una escala relativamente corta. Las anomalías de precipitación a largo plazo quedan reflejadas en las aguas subterráneas, los caudales fluviales y el almacenamiento en reservorios. Por ese motivo, McKee y otros (1993) calcularon originalmente el SPI para escalas temporales de 1,3, 6, 12, 24 y 48 meses.

El cálculo del SPI para cualquier localidad se basa en el registro de precipitaciones a largo plazo para un período deseado. 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 de SPI indican que la precipitación es mayor que la mediana, y los valores negativos, 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. También definieron los criterios para los episodios de sequía en todas las escalas

temporales. Los episodios de sequía tienen lugar siempre que el SPI sea continuamente negativo y alcance una intensidad inferior. El episodio finaliza cuando el SPI alcanza valores positivos. Por consiguiente, todos los episodios de sequía tienen una duración definida por su comienzo y su final, y una intensidad para cada mes en el que continúa el episodio. 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 1. Valores del Índice normalizado de precipitación - SPI por categorías

Valor de SPI	Categorías	Probabilidad (%)
$\geq +2.00$	Extremadamente húmedo	2.30%
1.50 a 1.99	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 y 6 meses), la cual se ajusta a una función de densidad de probabilidad $g(x)$ como sigue:

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

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:

$$\alpha = \frac{1 + \sqrt{1 + 4A/3}}{4A}$$

$$A = \ln(\bar{x}) + \frac{\sum \ln(x)}{n}$$

Donde n es la longitud de la serie de tiempo (meses). Luego la probabilidad acumulada de precipitación x es la escala de tiempo dada es expresada como:

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

Si $t = x/\beta$, 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 ecuación no considera la situación extrema donde la precipitación mensual acumulada $x = 0$. Como resultado, la ecuación anterior es modificada como $H(x)$:

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

Donde q es la probabilidad de $x = 0$, es decir, la frecuencia de ocurrencia de $x = 0$ en todas las series observadas. Cuando son transformadas en la función de distribución estandarizada normal, finalmente el IPE se expresa como:

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

Donde las constantes equivalentes a:

$$C_0 = 2.515517, C_1 = 0.802853, C_2 = 0.010328, d_1 = 1.432788, d_2 = 0.189269 \text{ y } d_3 = 0.001308.$$

La caracterización de las sequías proyectadas se realiza de la misma manera que la caracterización de las sequías observadas, teniendo en cuenta estimaciones de la duración, intensidad, severidad y frecuencia de los eventos de sequía basadas en la precipitación proyectada para los escenarios considerados en este documento.

3.6.3. Caracterización de las sequías meteorológicas mediante el modelo autorregresivo de media móvil (ARIMA)

3.6.3.1. Modelo ARIMA (p, d, q) (P, D, Q) s

Desde el punto de vista estocástico o moderno se analizan las series temporales los cuales usan métodos más complejos, por ello su aplicación requiere series más largas. Y según Box y Jenkins (1970), han logrado desarrollar modelos estadísticos para series temporales que consideran la dependencia existente entre los datos, esto es, cada observación en un momento dado es modelado en función de los valores anteriores. Se basan en un modelo explícito para los análisis, estos modelos son conocidos con el nombre de ARIMA, que proviene de sus tres componentes (Auto Regressive Integrated Moving Average)

El modelo ARIMA permite describir un valor como una función lineal de datos anteriores y errores debidos al azar, además, es capaz de incorporar un componente cíclico o estacional. Es necesario que contenga todos los elementos requeridos para describir este fenómeno. Box y Jenkins recomiendan como mínimo 50 observaciones en la serie temporal (Box & Jenkins, 1970). Pasos a seguir para el análisis de datos:

Recopilación de datos: Se recomiendan cincuenta (50) o más datos y, si se trata de una serie mensual, se recomienda una serie de datos de seis a diez años.



Representación gráfica: determinación de la estacionalidad. Un gráfico de esta serie sería muy útil. A veces se utilizan la media y la desviación estándar de cada subperíodo para determinar la variación estacional de una serie.

Transformación de orden previa: Aunque la variación del orden no es estacionaria, se requiere una transformación logarítmica. Sin embargo, las transformaciones logarítmicas son comunes incluso en enlaces donde la distribución es relativamente constante en el tiempo. Una práctica común es verificar con las series y logaritmos originales y verificar los resultados.

Eliminación de la tendencia: La presencia o ausencia de una tendencia muestra la observación del gráfico de secuencia. Se ajustará una tendencia lineal por primeras diferencias, que será el caso más común. En la práctica, las tendencias no lineales a menudo conducen al uso de como máximo dos diferencias.

Identificación del modelo: Consiste en una secuencia de procesos autorregresivos y de media móvil para determinar el tipo de modelo más apropiado, es decir. Ingredientes tradicionales y de temporada. Técnicamente, la decisión se basa en funciones de autocorrelación fraccionada (FAC) regular y estacional y de autocorrelación parcial (FAC parcial). Tanto en la parte normal como en la estacional, normalmente se elige entre los procesos más simples AR(1), AR(2), MA(1), MA(2) y ARMA(1,1). En caso de duda, se pueden seleccionar varios modelos alternativos y luego evaluarlos y compararlos para definir finalmente el modelo aceptado.

Estimación de coeficientes del modelo: Una vez identificado el modelo, se estiman sus parámetros. Dado que se trata de un proceso de cálculo iterativo, se pueden sugerir valores iniciales. Pruebas de Validez del Modelo: Utilice una

variedad de procedimientos para evaluar el modelo inicialmente seleccionado: pruebas de significancia paramétrica, covarianzas entre estimadores, coeficientes de correlación, sumas de cuadrados de error, etc.

Análisis de errores detallado: la evaluación final tendrá en cuenta las diferencias históricas entre los valores reales y las estimaciones del modelo. Es necesario comprobar su comportamiento no sistemático y analizar posibles errores especialmente significativos. Selección del modelo: según los resultados de los pasos anteriores, decida qué modelo utilizar.

Predicción: El modelo seleccionado se utilizará como fórmula inicial de predicción (Box & Jenkins, 1970).

3.6.3.2. Aplicación de la metodología del modelo

a) Modelos Autorregresivos AR (p)

Según Box & Jenkins, (1970), indican que un modelo autorregresivo AR describe una clase particular de proceso en que las observaciones en un momento dadoson predecibles a partir de las observaciones previas del proceso más un término de error. El caso más simple es el ARIMA (1,0,0) o AR (1) o de primer orden, cuya expresión matemática es:

$$AR(1) \equiv X_t = \phi_1 X_{t-1} + a_t$$

El proceso autorregresivo de orden p, representado por ARIMA(p,0,0) o simplemente por AR(p):

$$AR(p) \equiv X_t = \phi_1 X_{t-1} + \phi_2 X_{t-2} + \dots + \phi_p X_{t-p} + a_t$$

Que puede ponerse, mediante el operador de cambio retroactivo B, en la forma:



$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p) X_t = a_t$$

$$B^k(X_t) = X_{t-k}$$

Un proceso autorregresivo AR(p) es estacionario si las raíces del polinomio en B dado por:

$$(1\phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)$$

Caen fuera del círculo unidad. Esta condición es equivalente a que las raíces de la ecuación:

$$X^p - \phi_1 X^{p-1} - \phi_2 X^{p-2} - \dots - \phi_{p-1} X - \phi_p = 0$$

Sean todas inferiores a uno en modulo. Un proceso autorregresivo siempre es invertible.

b) Modelo de medias móviles MA(q)

Las series temporales estacionarias se describen mediante modelos MA de media móvil. donde el valor actual se puede predecir a partir del componente aleatorio del momento actual y, en menor medida, de pulsos aleatorios anteriores. El modelo ARIMA (0,0,1) también se denota como MA(1) y se obtiene mediante la expresión:

$$X_t = a_t - v_1 a_{t-1}$$

El proceso de medias móviles de orden q, representado por ARIMA (0,0,q) o también por MA(q), viene dado por la expresión:

$$X_t = a_t - v_1 a_{t-1} - v_2 a_{t-2} - \dots - v_q a_{t-q}$$

Que puede ponerse, mediante el operador de cambio retroactivo B, en la forma:



$$X_t = (1 - v_1B - v_2B^2 - \dots - v_qB^q)a_t$$

Un proceso de medias móviles es siempre estacionario. Un proceso de medias móviles MA(q) es invertible si las raíces del polinomio en B definido por:

$$(1 - v_1B - v_2B^2 - \dots - v_qB^q)$$

Caen fuera del círculo unidad. esta condición es equivalente a que las raíces de la ecuación:

$$X^q - \phi_1X^{q-1} - \phi_2X^{q-2} - \dots - \phi_{q-1}X - \phi_q = 0$$

Sean todas inferiores a uno en modulo.

c) Modelos ARMA (p, q)

Una extensión natural de los modelos AR(p) y MA(q) es un tipo de modelos que incluyen tanto términos autorregresivos como de medias móviles y se definen como ARIMA (p, 0, q). Se representan por la ecuación:

$$X_t = \phi_1X_{t-1} + \phi_2X_{t-2} + \dots + \phi_pX_{t-p} + a_t - v_1a_{t-1} - v_2a_{t-2} - \dots - v_qa_{t-q}$$

Que puede ponerse de la forma:

$$X_t - \phi_1X_{t-1} + \phi_2X_{t-2} + \dots + \phi_pX_{t-p} = a_t - v_1a_{t-1} - v_2a_{t-2} - \dots - v_qa_{t-q}$$

Es decir:

$$X_t (1 - \phi_1B - \phi_2B^2 - \dots - \phi_pB^p) = a_t(1 - v_1B - v_2B^2 - \dots - v_qB^q)$$

El proceso ARMA(p,q) es estacionario si lo es su componente autorregresiva, yes invertible si lo es su componente de medias móviles.

Un modelo ARMA(p,q) es estacionario si las raíces del polinomio definido por:

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)$$

caen fuera del círculo unidad. Esta condición es equivalente a que las raíces de la ecuación:

$$X^p - \phi_1 X^{p-1} - \phi_2 X^{p-2} - \dots - \phi_{p-1} X - \phi_p = 0$$

Sean todas inferiores a uno en modulo.

Un modelo ARMA(p,q) es invertible si las raíces del polinomio en B definidomediante

$$(1 - v_1 B - v_2 B^2 - \dots - v_p B^p)$$

Caen fuera del círculo unidad. Esta condición es equivalente a que las raíces de la ecuación:

$$X^q - \phi_1 X^{q-1} - \phi_2 X^{q-2} - \dots - \phi_{q-1} X - \phi_q = 0.$$

Sean todas inferiores a uno en modulo.

d) Modelos ARIMA (p, d, q)

Un modelo ARIMA (0, d, 0) es una serie temporal que se convierte en ruido blanco (proceso puramente aleatorio) después de ser diferenciada d veces.

En modelo (0, d,0) se expresa mediante:

$$(1 - B)^d X_t = a_t$$

El modelo general ARIMA (p, d, q) denominado proceso autorregresivo integrado de medias móviles de orden p, d, q, toma la expresión:

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)(1 - B)^d X_t = (1 - v_1 B - v_2 B^2 - \dots - v_p B^q) a_t$$

El modelo ARIMA (p, d, q) nos permite describir la secuencia de observaciones diferenciando d con el tiempo para obtener posibles fuentes no estacionales. Esta fórmula se puede aplicar a cualquier modelo. Si el componente p, d, q es igual a 0, elimine el término correspondiente de la fórmula general. Un patrón cíclico o estacional es un patrón caracterizado por fluctuaciones periódicas, también conocido como estacionalidad. Los cambios económicos a veces se superponen con tendencias de largo plazo. Las series con tendencias de largo plazo y cambios cíclicos se pueden representar mediante el modelo ARIMA (p, d, q) (P, D, Q). El primer paréntesis (p, d, q) se refiere a la tendencia secular o parte regular de la serie y el segundo paréntesis (P, D, Q) se refiere a las variaciones estacionales, o parte cíclica de la serie temporal (Box & Jenkins, 1970).

En este sentido, se adjuntan algunas expresiones del modelo:

$$ARIMA (0,1,1) (0,0,1)_{12}: (1 - B)X_t = (1 - v_1 B^{12})(1 - \delta_{12} B^{12})$$

$$ARIMA (0,1,1) (0,1,1)_{12}: (1 - B)(1 - B^{12})X_t = (1 - v_1 B^{12})(1 - \delta_{12} B^{12})$$

$$ARIMA (2,1,0) (1,0,0)_{12} = (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^{12})(1 - \Omega_1 B^{12})(1 - B)X_T =$$

$$a_t ARIMA (1,1,1)(2,1,1)_{12}: (1 - \phi_1 B)(1 - \Omega_1 B^{12} - \Omega_2 B^{24})(1 - B^{12})(1 - B)X_t = (1 - v_1 B)(1 - \delta_{12} B^{12})a_t$$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS DE TENDENCIA DE LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN DE ESTACIONES AYAVIRI Y HUANCANE

4.1.1. Análisis de doble masa

El método de doble masa considera que, en una zona meteorológica homogénea, los valores de precipitación que ocurren en diferentes puntos de esa zona en períodos anuales o estacionales, guardan una relación de proporcionalidad que puede representarse gráficamente.

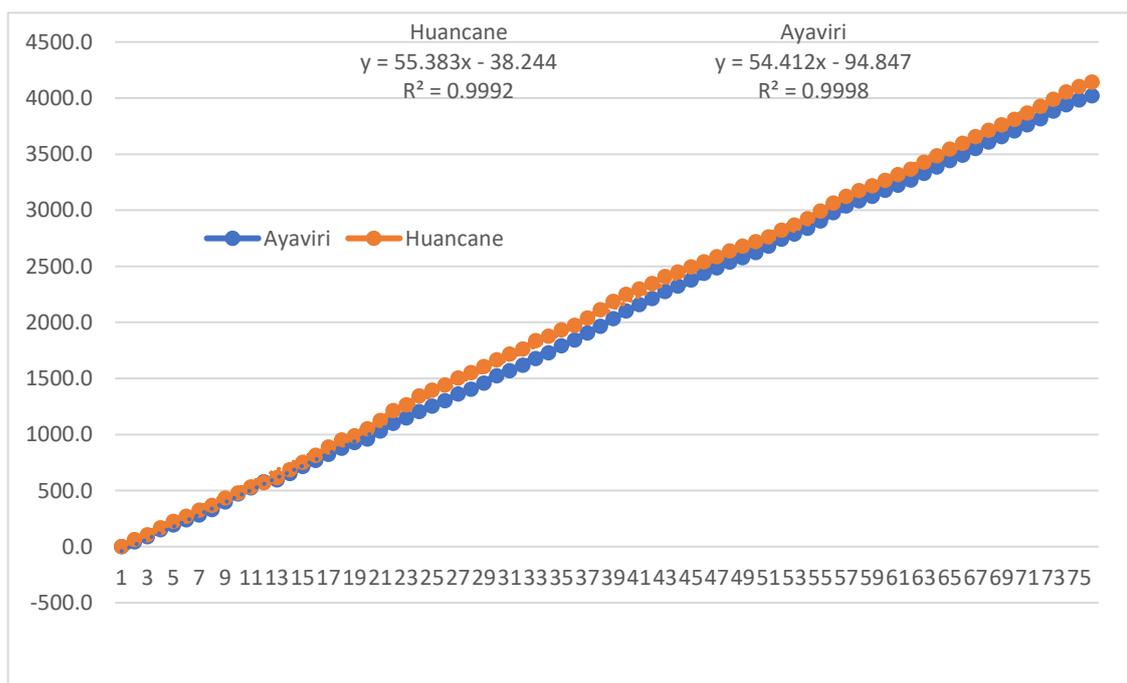


Figura 7. Grafico de doble masa de precipitaciones de las estaciones Ayaviri y Huancane

Esta representación implica identificar las ubicaciones que queremos verificar para obtener valores de precipitación anual. Luego debe haber instalaciones cercanas con registros anuales fiables, las que llamamos estaciones



base, cuyas series de datos anuales deben coincidir con los datos del sitio que se está probando. Para el presente estudio se ha considerado las estaciones meteorológicas de Ayaviri y Huancané los mismos que están ubicadas en las cuencas de Ramis y Huancané y estas cuencas están ubicadas en la zona oriental de la hoya del Titicaca.

De acuerdo a la figura 7, de doble masa muestra que no presenta quiebres y /o desviaciones de las precipitaciones acumuladas para las dos estaciones de Ayaviri y Huancané es decir que los valores de la serie histórico son consistentes. El periodo analizado corresponde a 56 años de información mensual desde 1966 hasta 2022. Se puede observar que la información de lluvia se ajusta bien a la ecuación lineal, lo que indica que la información está suficientemente medida en ambos lugares.

Se ha efectuado el análisis de consistencia de los datos de precipitación a fin de detectar, corregir y eliminar errores sistemáticos para que los datos sean homogéneo, consistente y confiables; para lo cual se ha utilizado el análisis de doble masa. La serie en estudio no presentan cambios en la media, la Figura 7, demuestra una relación estable de proporcionalidad entre las estaciones de Ayaviri y Huancané.

4.1.2. Análisis de tendencia por métodos paramétricos y no paramétricos

Hay muchos estudios científicos, pero la diversidad de tipos de clima que se encuentran en la Tierra hace que sea casi imposible utilizar el mismo umbral de déficit de precipitación para dos lugares diferentes. Como resultado, se han creado muchas definiciones de sequía, lo que dificulta comparar la intensidad entre áreas geográficas y cuantificar los eventos de sequía utilizando herramientas adaptadas a las necesidades de cada tipo de clima.

Para el presente estudio se ha realizado el análisis de tendencias de precipitaciones se aplicaron las pruebas no-paramétrica de Mann-Kendall y Spearman's Rho y los paramétricos regresión lineal y autocorrelación Las series pluviométricas analizadas tienen fechas temporales de 1966 - 2022, de 56 años de series histórica y estos métodos han mostrado como resultados no significativos (NS) a las probabilidades de $\alpha = 0.10$, $\alpha = 0.05$ y $\alpha = 0.01$ en las dos estaciones: Ayaviri y Huancané, tal como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Análisis de tendencias de datos de precipitación paramétricas y no paramétricas

Método	Probabilidad estadística			Estación		Estación	
	$\alpha=0.10$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$	Ayaviri	Sig.	Huancané	Sig.
Mann-Kendall	1.645	1.96	2.576	0.6780	NS	-0.899	NS
Spearman's Rho	1.645	1.96	2.576	0.7930	NS	-0.825	NS

Fuente: Solución con Trend.

La precipitación varía gradualmente de una región a otra, por consiguiente, la distribución de lluvia determina en gran magnitud el potencial climático de una región para la agricultura (FAO, 1978).

4.2. SEQUÍAS METEOROLÓGICAS MODERADAS A EXTREMADAMENTE SECAS BASADO EN SU INTENSIDAD Y SEVERIDAD EN BASE SPI

En las dos estaciones meteorológicas de Ayaviri y Huancané, ubicadas en la cordillera oriental del altiplano peruano, se determinó el SPI, para intervalos acumulados de los meses (1, 3 y 6). Además, en promedio se observa en el SPI – 1 mes, con mayor intensidad y duración los meses con sequías extremas respecto a los meses normales. (Organización Meteorológica Mundial, 2012).

4.2.1. Valores del Índice normalizado de precipitación de períodos SPI de 1 mes

Para el SPI de 01 mes la cual muestra los porcentajes de precipitación normal para un período de 30 días. De hecho, el SPI derivado es una representación más exacta de una precipitación mensual puesto que la distribución se ha normalizado. La interpretación del SPI de 01 mes puede ser errónea a menos que se entienda la climatología (Organización Meteorológica Mundial, 2012).

4.2.1.1. Valores del Índice normalizado de precipitación de períodos SPI de 1 mes para la estación meteorológica de Ayaviri

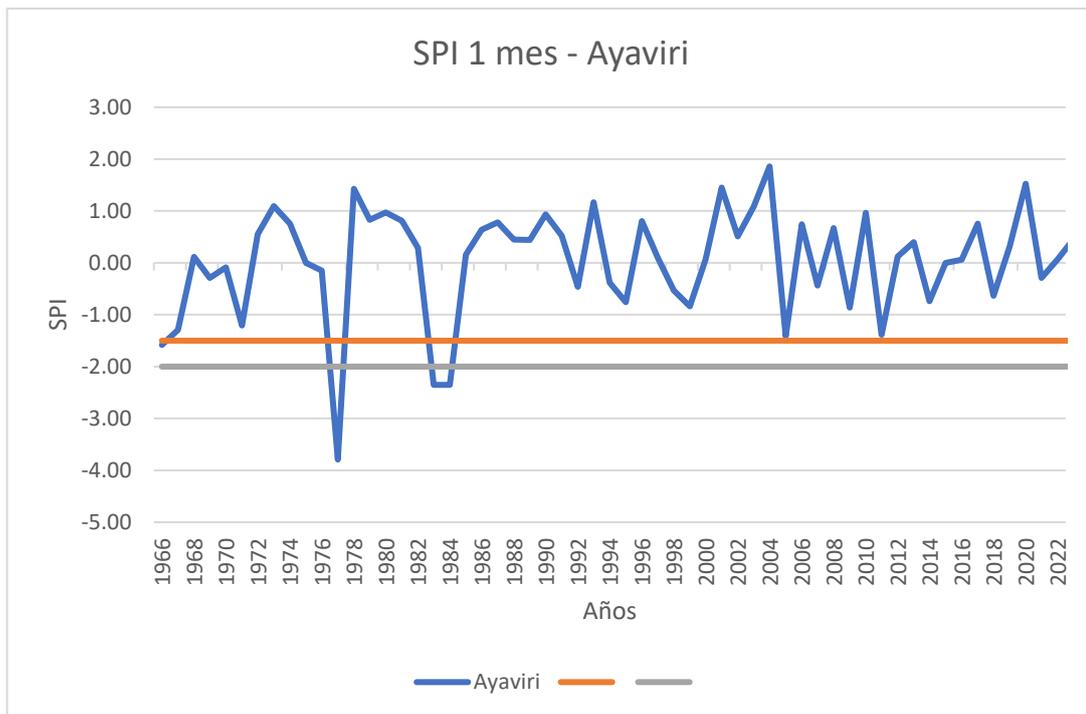


Figura 8. Sequías de moderadas a extremadas (SPI-1) de datos (1966-2022) para la estación Meteorológica de Ayaviri.

De acuerdo a la figura 8, se observa un pronóstico de sequías moderadamente, severamente y extremadamente secas esta evaluación se ha hecho considerando la época de campaña agrícola de la zona de estudios, es decir desde el mes de octubre del año anterior al mes de marzo del año siguiente y

haciendo un pronóstico desde el año 2066 hasta el año 2022 y en cuyo resultado fueron en el mes de diciembre del 1969 (-1.18), mes de enero de 1971 (-1.21), mes de marzo de 1976 (-1.11), mes de febrero de 1979 (-1.38), mes de diciembre de 2011 (-1.12) y mes de octubre de 2018 (-1.49), en estas fechas indicadas se presentaron moderadamente secas con una probabilidad de ocurrencia de 9.20%, en el mes de noviembre de 1976 (-1.93), en el mes de febrero de 1983 (-1.50), en el mes de octubre de 1986 (-1.77), en el mes de marzo de 1990 (-1.73), en el mes noviembre de 2000 (-1.80) y en el mes de diciembre de 2016 (-1.94), en estas fechas indicadas se presentaron severamente secas con una probabilidad de ocurrencia de 4.40%, en el mes de marzo de 1971 (-3.29), en el mes enero de 1977 (-3.79), en el mes de diciembre de 1980 (-3.57) y en el mes enero de 1983 (-2.35), en estas fechas se presentaron extremadamente secas con una probabilidad de ocurrencia de 2.30%.

4.2.1.2. Valores del Índice normalizado de precipitación de períodos SPI de 1 mes para la estación meteorológica de Huancané

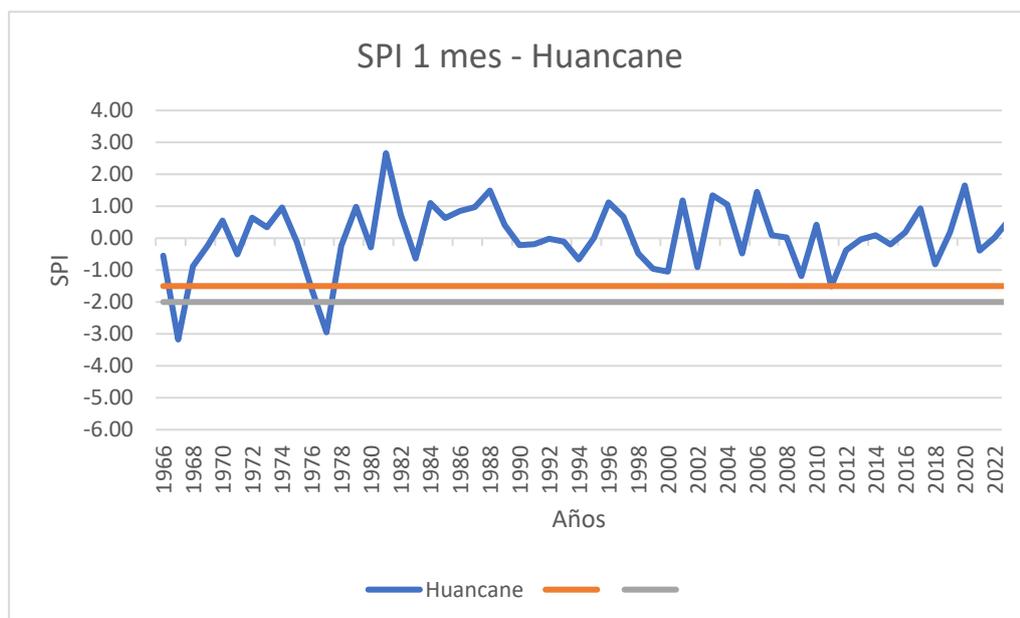


Figura 9. Sequías de moderadas a extremadas (SPI-1) de datos (1966-2022) para la estación Meteorológica de Huancane.



De acuerdo a la figura 9, se observa un pronóstico de sequías moderadamente, severamente y extremadamente secas esta evaluación se ha hecho considerando la época de campaña agrícola de la zona de estudios, es decir desde el mes de octubre del año anterior al mes de marzo del año siguiente y haciendo un pronóstico desde el año 2066 hasta el año 2022 y en cuyo resultado fueron en el mes de diciembre del 1969 (-1.45), mes de noviembre de 1980 (-1.09), mes de marzo de 1982 (-1.19), mes de octubre de 1986 (-1.31) y mes de febrero de 1992 (-1.32), en estas fechas indicadas se presentaron moderadamente secas con una probabilidad de ocurrencia de 9.20%, en el mes de octubre de 1969 (-1.61), en el mes de noviembre de 1973 (-1.91), en el mes de febrero de 1982 (-1.79), en el mes de octubre de 1991 (-1.56), en el mes diciembre de 1998 (-1.63), en el mes de febrero de 2006 (-1.97) y en el mes de octubre de 2009 (-1.63), en estas fechas indicadas se presentaron severamente secas con una probabilidad de ocurrencia de 4.40%, en el mes de enero de 1967 (-3.17), en el mes enero de 1977 (-2.95), en el mes de febrero de 1987 (-2.55), en el mes de noviembre de 1988 (-2.78), en el mes de octubre de 2007 (-2.02) en el mes de diciembre de 2013 (-2.15) y en el mes octubre de 2018 (-2.14), en estas fechas se presentaron extremadamente secas con una probabilidad de ocurrencia de 2.30%.

4.2.2. Valores del Índice normalizado de precipitación de períodos SPI de 3 meses

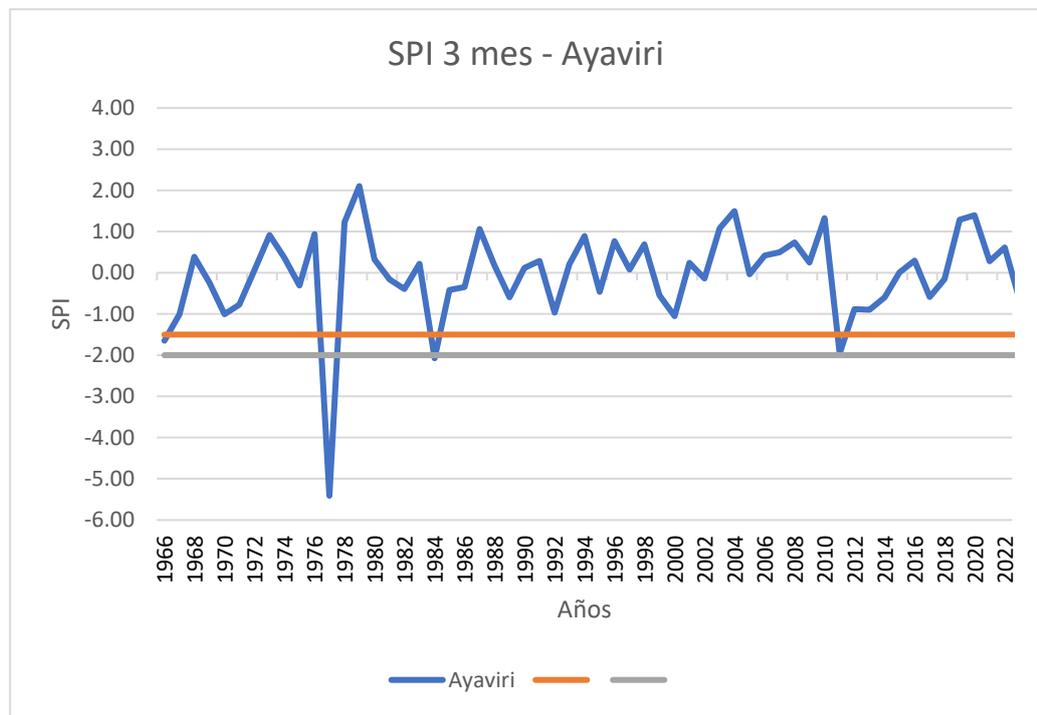


Figura 10. Sequías medaradas a extremas (SPI-3) para los datos (1966-2022)de la estación meteorológica de Ayaviri

Los valores del índice normalizado de precipitación de períodos SPI de 3 meses se observa en la figura 11, se han obtenido trimestralmente para cada estación meteorológica de Ayaviri para efectos de calculo se ha procedido con datos considerados desde 1966 hasta el año 2022 un total de 56 años, es decir se calculado tomando encuesta la época de siembra (campaña agrícola) y los reultados que se obtuvieron fueron trimestrales que acontinuacion se da la explicación, en la estación meteorológica Ayaviri en el mes de febrero del 1967 (-1.44), mes de octubre de 1971 (-1.22), mes de octubre de 1983 (-1.36), mes de octubre de 1994 (-1.16), mes de diciembre de 2010 (-1.18) y en el mes de diciembre de 2016 (-1.48), en estas fechas indicadas se presentaron moderadamente secas con una probabilidad de ocurrencia de 9.20%, en el mes de

febrero de 1982 (-1.66), en el mes de marzo de 1992 (-1.53), en el mes de octubre de 1995 (-1.60) y en el mes de diciembre de 2012 (-1.51), en estas fechas indicadas se presentaron severamente secas con una probabilidad de ocurrencia de 4.40%, en el mes de diciembre de 1976 (-3.82), en el mes octubre de 1977 (-4.17), en el mes de febrero de 1983 (-2.86) y en el mes de enero de 1984 (-2.08), en estas fechas se presentaron extremadamente secas con una probabilidad de ocurrencia de 2.30%.

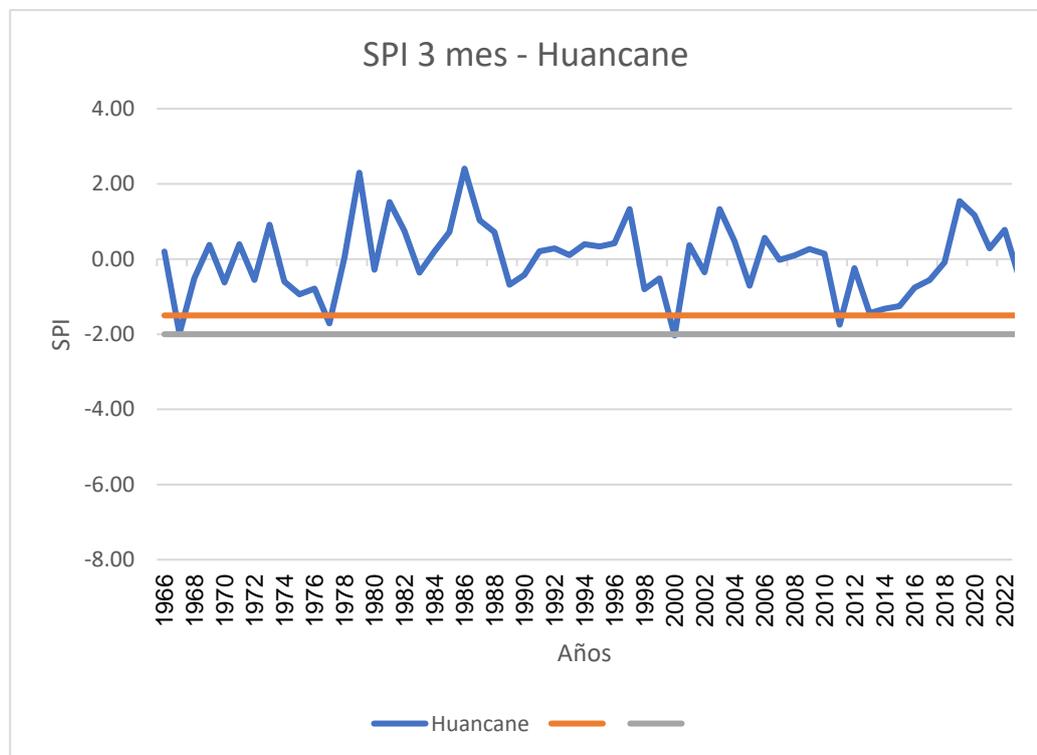


Figura 11. Sequias medaradas a extremas (SPI-3) para los datos (1966-2022)de la estación meteorológica de Ayaviri

Los valores del índice normalizado de precipitación de periodos SPI de 3 meses se observa en la figura 11, se han obtenido trimestralmente para cada estación meteorológica de Huancane para efectos de calculo se ha procedido con datos considerados desde 1966 hasta el año 2022 un total de 56 años, es decir se calculado tomando encuesta la época de siembra (campaña agrícola) y los



reultados que se obtuvieron fueron trimestrales que acontinuacion se da la explicación, en la estación meteorológica Huancane, en el mes de diciembre del 1974 (-1.13), mes de diciembre de 1988 (-1.11), mes de marzo de 1990 (-1.43), mes de noviembre de 1991 (-1.19), mes de octubre de 1994 (-1.12), en el mes de noviembre de 2008 (-1.27), ene el mes de diciembre de 2012 (-1.32) y en el mes de enero de 2015 (-1.25) en estas fechas indicadas se presentaron moderadamente secas con una probabilidad de ocurrencia de 9.20%, en el mes de enero de 1967 (-1.99), en el mes de octubre de 1969 (-1.74), en el mes de diciembre de 1971 (-1.58), en el mes de febrero de 1998 (-1.59), en el mes de enero de 2011 (-1.74) y en el mes de diciembre de 2013 (-1.62), en estas fechas indicadas se presentaron severamente secas con una probabilidad de ocurrencia de 4.40%, en el mes de febrero de 1967 (-2.36), en el mes diciembre de 1973 (-2.00), en el mes de marzo de 1976 (-3.08), en el mes de febrero de 1983 (-2.11), en el mes de noviembre de 1988 (-2.08), en el mes de octubre de 1996 (-2.35) y en el mes de noviembre del 2010 (-2.63), en estas fechas se presentaron extremadamente secas con una probabilidad de ocurrencia de 2.30%.

4.2.3. Valores del Índice normalizado de precipitación de períodos SPI de 6 meses

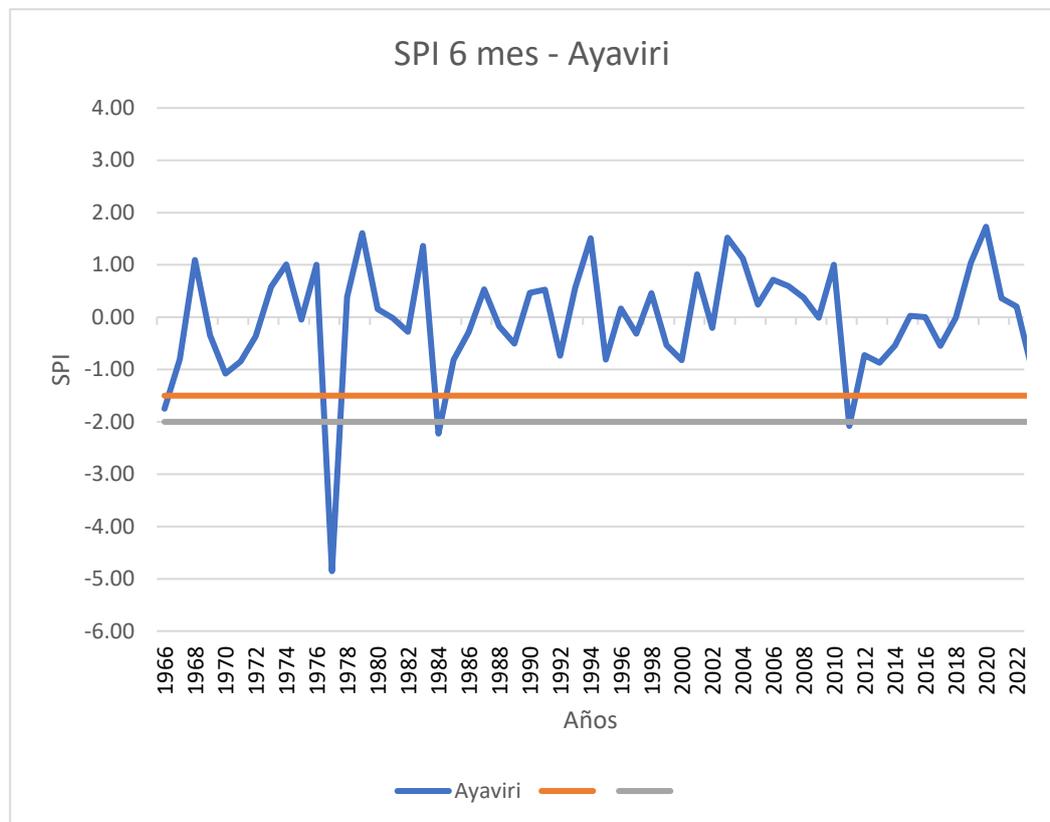


Figura 12. Sequías moderadas a extremas (SPI-6) para los datos (1966-2022) para la estación meteorológica de Ayaviri

Los valores obtenidos en la figura 12, como quiera que el estudio se refiere a la campaña agrícola en este tema nos interesa la interpretación de los cálculos primer semestre para la estación en estudio; en el mes de febrero del 1967 (-1.11), mes de diciembre de 1969 (-1.16), mes de marzo de 1971 (-1.17), mes de noviembre de 1983 (-1.17), mes de diciembre de 1984 (-1.12), en el mes de diciembre de 2016 (-1.37) y en el mes de noviembre de 2022 (-1.34); en estas fechas indicadas se presentaron moderadamente secas con una probabilidad de ocurrencia de 9.20%, en el mes de noviembre de 1971 (-1.60), en el mes de octubre de 1976 (-1.63), en el mes de febrero de 1982 (-1.67), en el mes de octubre de 1983 (-1.52), en el mes de marzo de 1992 (-1.64), en el mes de noviembre de

2010 (-1.51) y en le mes de diciembre de 2022 (-1.70), en estas fechas indicadas se presentaron severamente secas con una probabilidad de ocurrencia de 4.40%, en el mes de enero de 1977 (-4.86), en el mes de marzo de 1984 (-2.96) y en el mes enero de 2011 (-2.08), en estas fechas se presentaron extremadamente secas con una probabilidad de ocurrencia de 2.30%.

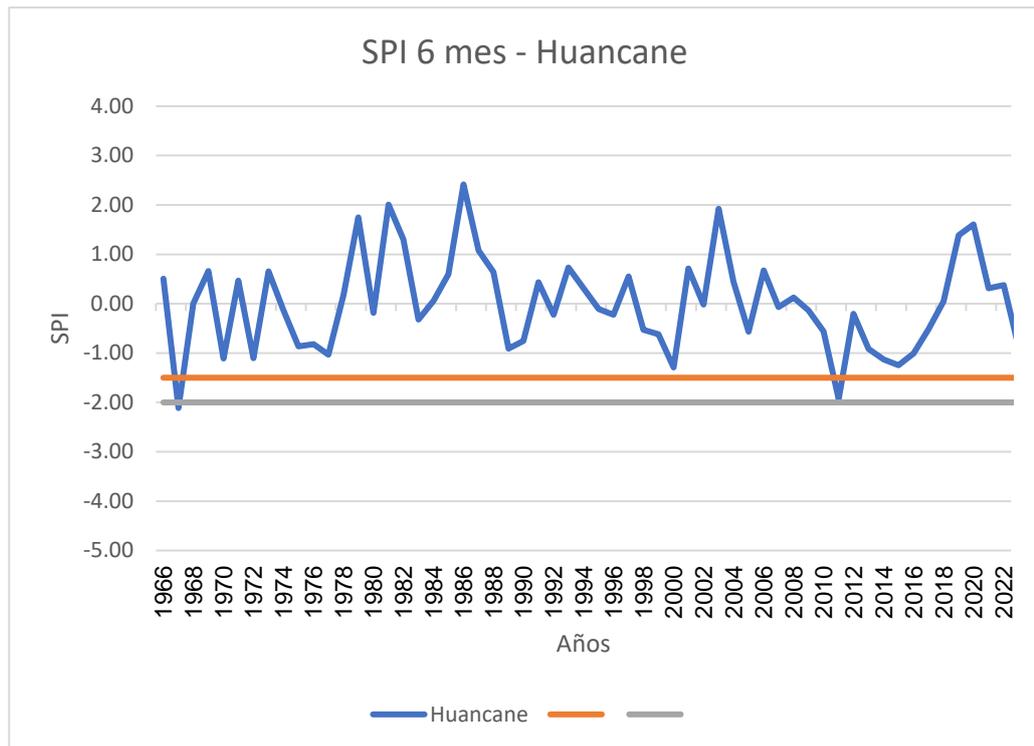


Figura 13. Sequias moderadas a extremas (SPI-6) para los datos (1966-2022) para la estación meteorológica de Huancane

Los valores obtenidos en la figura 13, como quiera que el estudio se refiere a la campaña agrícola en este tema nos interesa la interpretación de los cálculos primer semestre para la estación en estudio; en el mes de noviembre del 1969 (-1.13), mes de febrero de 1970 (-1.40), mes de febrero de 1990 (-1.32), mes de diciembre de 1995 (-1.28), mes de marzo de 2000 (-1.49), en el mes de octubre de 2008 (-1.15), en el mes de diciembre de 2010 (-1.33); en el mes de enero de 2014 (-1.13) y en el mes de diciembre de 2016 (-1.49), en estas fechas indicadas se presentaron moderadamente secas con una probabilidad de ocurrencia de 9.20%,

en el mes de marzo de 1967 (-1.95), en el mes de diciembre de 1969 (-1.79), en el mes de noviembre de 1971 (-1.77), en el mes de marzo de 1976 (-1.80), en el mes de diciembre de 2088 (-1.54), en el mes de febrero de 2000 (-1.68), en el mes de noviembre de 2008 (-1.60) y en el mes de diciembre de 2022 (-1.66), en estas fechas indicadas se presentaron severamente secas con una probabilidad de ocurrencia de 4.40%, en el mes de febrero de 1967 (-2.19), en el mes de diciembre de 1971 (-2.12), en el mes noviembre de 1988 (-2.39), en el mes de octubre de 1995 (-2.29) y en el mes de octubre de 2009 (-2.59), en estas fechas se presentaron extremadamente secas con una probabilidad de ocurrencia de 2.30%.

4.3. LA CARACTERIZACIÓN TEMPORAL DE LAS SEQUIAS MEDIANTE EL MODELO ARIMA

4.3.1. Aplicación del modelo ARIMA(p,d,q) estación meteorológica Ayaviri

El ARIMA(p,d,q), es un modelo estocástico donde intervienen una serie de tiempo autoregresiva integrada de media móvil. Donde p denota el número de términos autoregresivos, el número de veces que la serie debe serdiferenciada para hacerla estacionaria y el q número de términos de la media móvil invertible. En la tabla 3, muestra los resultados de los coeficientes de covariancia se obtuvo utilizando mediante el proceso de ARIMA aplicando los estimadores de máxima verosimilitud estación meteorológica de Ayaviri,

Para la investigación y selección del mejor modelo ARIMA se utilizó el Criterio de Información de Akaike (AIC) con un valor de 9.719 esto debido a Akaike (1974) y Criterio de Información de Schwarz (SC), cuyo valor es de 9.839 debido a Schwarz (1978) que indican que el mejor modelo con sus determinantes estadísticamente significativos, es aquel que posee el menor valor de los

estadísticos de AIC y SC, donde se tiene que el modelo identificado como ARIMA (4, 0, 3) o ARMA (4, 3), es el mejor para representar el pronóstico de la escasez de la precipitación pluvial de la zona oriental de la región de Puno. el modelo ARIMA (4, 0, 3) es estable, luego el modelo se puede usar para modelar y proyectar la presencia de sequias en la región de Puno.

Tabla 3. Estimacion de Modelos ARIMA para el pronostico de sequias de la Estación Meteorológica Ayaviri

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	55.341	22.206	2.492	0.013
AR(1)	-0.618	0.045	-13.635	0.000
AR(2)	-0.656	0.035	-18.646	0.000
AR(3)	-0.969	0.035	-27.950	0.000
AR(4)	-0.005	0.043	-0.110	0.913
SAR(12)	1.000	0.000	105962.400	0.000
MA(1)	0.631	0.038	16.806	0.000
MA(2)	0.633	0.132	4.805	0.000
MA(3)	0.997	0.160	6.222	0.000
SMA(12)	-0.976	0.042	-23.223	0.000
SMA(24)	-0.021	0.042	-0.498	0.619
SIGMASQ	793.068	122.064	6.497	0.000
R-squared	0.760	Mean dependent var		55.351
AdjustedR-squared	0.753	S.D. dependent var		57.566
S.E. of regression	28.598	Akaike info criterion		9.719
Sum squared resid	314054.800	Schwarz criterion		9.839
Log likelihood	-1912.284	Hannan-Quinn criter.		9.766
F-statistic	110.592	Durbin-Watson stat		1.949

Los resultados de la tabla 3, con los valores de AR(1), AR(2), AR(3) y AR(4) cuyas probabilidades son $P \leq 0.01$, se concluye que el modelo de autocorrelación de los residuos son altamente significativos por lo que cumple con el supuesto de que los residuos no son independientes. Sin embargo las medias móviles MA(1), MA(2) y MA(3) y de acuerdo a la probabilidad de $P \leq 0.01$ tambien presentan alta significanca estadísticamente y se concluye que las medias móviles tienen alta significancia y complen con el supuesto planteado.

Los resultados de la tabla 3, se observa que $r^2 = 76.00\%$ de coeficiente de determinación y un ajustado de $r^2 = 75.30\%$ es decir que existe una buena autocorrelación entre los valores de la serie actual se ven afectados auto correlacionados con los valores de la serie anterior de precipitaciones medias mensuales; el promedio general de la variable dependientes es de 55.35 mm la cual como equivalencia muestra 553.50 m³/ha. para la estación meteorológica de Ayaviri, la misma que esta ubicada en el ámbito de la cordillera oriental de la hoya del Titicaca.

Akaike Information Criteria (top 20 models)

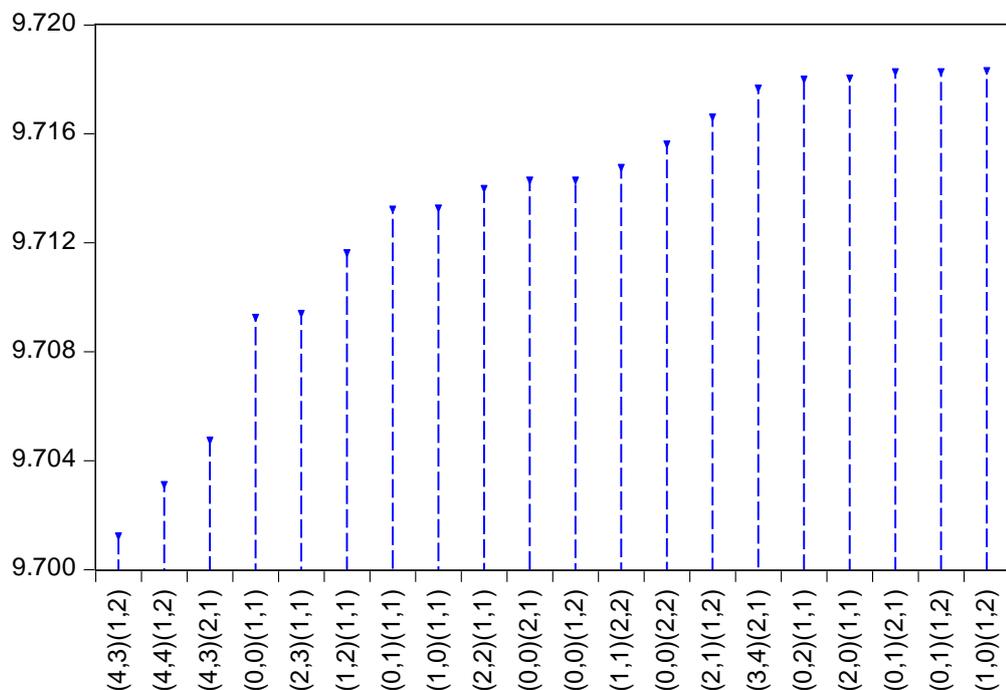


Figura 14. Información de Akaike de 20 modelos de ARIMA de la estación Ayaviri

En la figura 14, se observa lo que se obtuvieron mejores ARIMA (4,0,3) (1,0,2) y sigue como modelo optimo y adecuado ARIMA(4,0,4)(1,0,2) estos dos ARIMAS los mismos que pueden ser utilizados para el pronostico de escasez de aguas provenientes de la precipitación pluvial y la media general que presenta el

modelo es de 55.35 m.m. con un desviación estándar de 57,56 m,m, de precipitación pluvial.

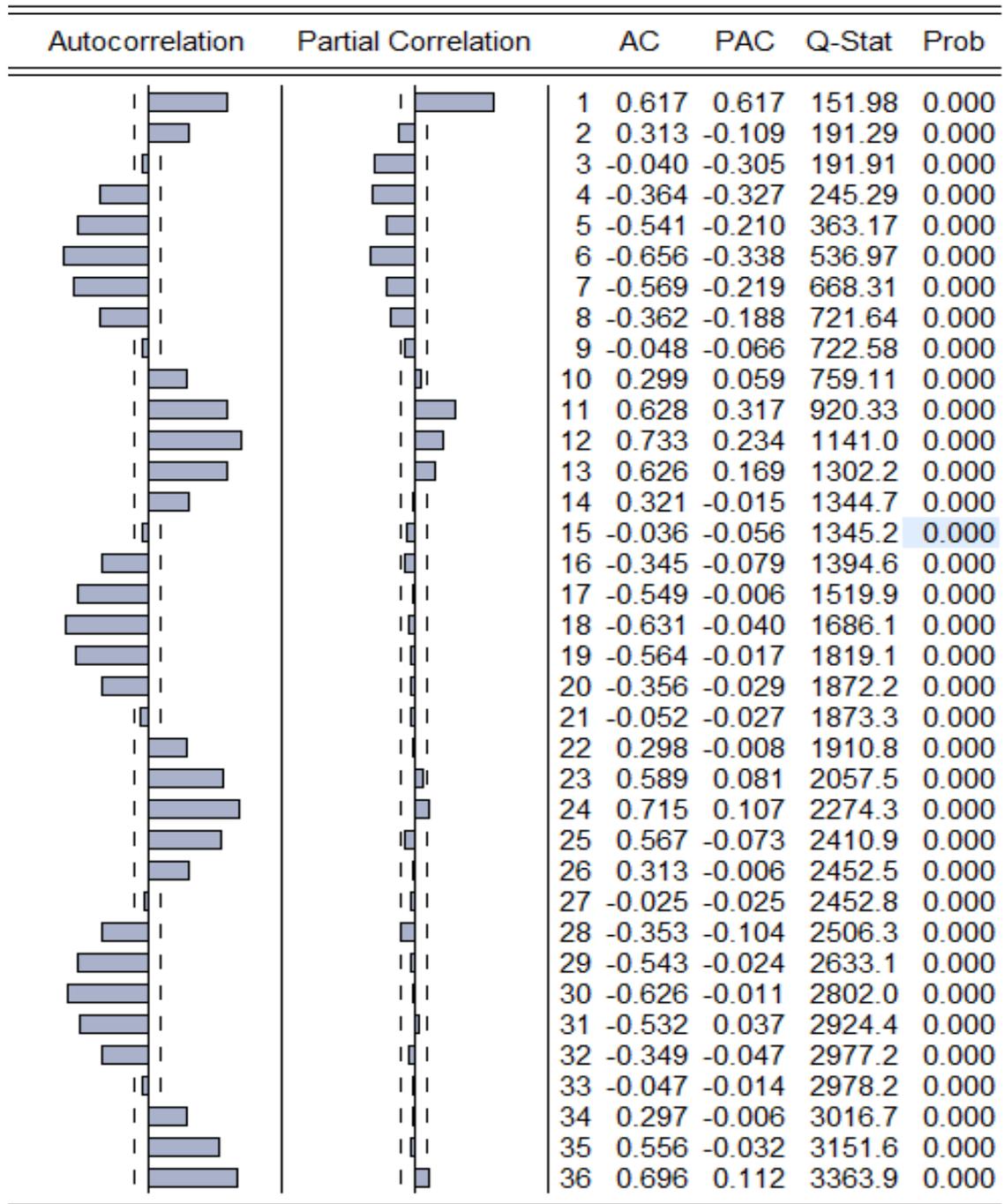


Figura 15. Correlograma de los residuales del modelo ARIMA (4,4)(2,1) estación Ayaviri

En la figura 15, presenta resultados de autocorrelación y correlación parcial y de acuerdo al estadístico Q de Ljung-Box (1978) la cual indica que existe

muy buena autocorrelación de los residuos, es decir el comportamiento no se asemeja al de una rueda blanca; así mismo se observa que las probabilidades son menores a $P \leq 0.01$ por lo tanto existe alta significancia estadística.

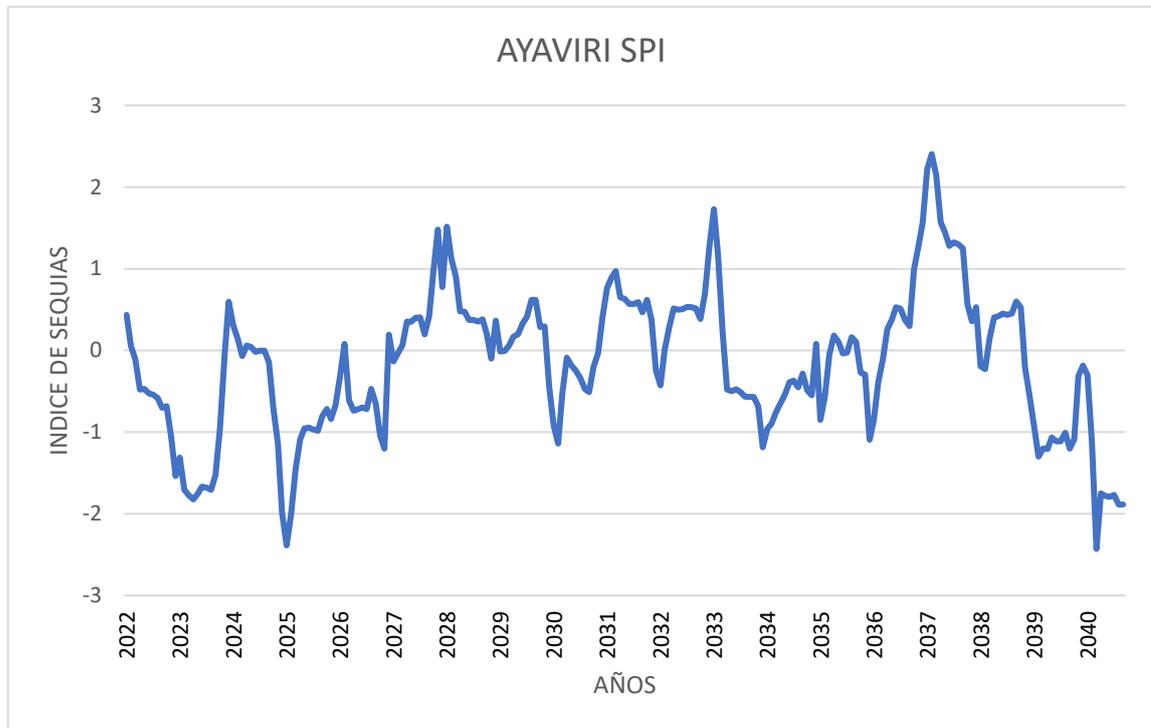


Figura 16. Proyección al 2040 de SPI Ayaviri

En la figura 16, se observa los gráficos de la proyección hasta el año 2040 la cual demuestra la estacionalidad será pues por la presencia de las cuatro estaciones del año en la región de Puno.

4.3.2. Aplicación del modelo ARIMA(p,d,q) estación meteorológica Huancane

Para la estación meteorológica, se aplicó el ARIMA(p,d,q), es un modelo estocástico donde intervienen una serie de tiempo autoregresiva integrada de media móvil. Donde p denota el número de términos autoregresivos, el número de veces que la serie debe ser diferenciada para hacerla estacionaria y el q número de términos de la media móvil invertible. En la tabla 4, muestra los resultados de



los valores de los coeficientes de covariancia y se obtuvieron utilizando mediante el proceso de ARIMA aplicando los estimadores de máxima verosimilitud estación meteorológica de Huancane de la región de Puno y la misma que se encuentra ubicada en la zona oriental de la hoya del Lago Titicaca.

Para investigación y selección del mejor modelo ARIMA se utilizó el Criterio de Información de Akaike (AIC) con un valor de 9.719 esto debido a Akaike (1974) y Criterio de Información de Schwarz (SC), cuyo valor es de 9.839 debido a Schwarz (1978) que indican que el mejor modelo con sus determinantes estadísticamente significativos, es aquel que posee el menor valor de los estadísticos de AIC y SC, donde se tiene que el modelo identificado como ARIMA (4, 0, 4) o ARMA (2, 1), es el mejor para representar el pronóstico de la escasez de la precipitación pluvial de la zona oriental de la región de Puno. el modelo ARIMA (4, 0, 4) es estable, luego el modelo se puede usar para modelar y proyectar la presencia de sequias en la región de Puno.

Tabla 4. Autocorrelograma y correlograma parcial de los residuos del modelo de ARIMA de la estación Meteorologica de Huancane

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	53.845	16.590	3.246	0.001
AR(1)	-0.054	0.039	-1.371	0.171
AR(2)	0.659	0.033	19.939	0.000
AR(3)	-0.027	0.038	-0.724	0.470
AR(4)	-0.910	0.034	-26.579	0.000
SAR(12)	1.132	0.045	25.036	0.000
SAR(24)	-0.132	0.045	-2.965	0.003
MA(1)	0.059	1.918	0.031	0.976
MA(2)	-0.616	10.532	-0.058	0.953
MA(3)	0.059	2.473	0.024	0.981
MA(4)	1.000	34.207	0.029	0.977
SMA(12)	-0.961	0.047	-20.661	0.000
SIGMASQ	816.782	2324.31	0.351	0.726
R-squared	0.718	Mean dependent var		53.943
Adjusted R-squared	0.709	S.D. dependent var		53.909
S.E. of regression	29.060	Akaike info criterion		9.713
Sum squared resid	323445.7	Schwarz criterion		9.844
Log likelihood	-1910.262	Hannan-Quinn criter.		9.765
F-statistic	81.357	Durbin-Watson stat		1.946
Prob(F-statistic)	0.000			

Los resultados de la tabla 4, con los valores de AR(1), y AR(4) cuyas probabilidades son $P \leq 0.01$, se concluye que el modelo de autocorrelación de los residuos son altamente significativos por lo que cumple con el supuesto de que los residuos no son independientes. Sin embargo las medias móviles MA(1), MA(2), MA(3) y MA(4) y de acuerdo a la probabilidad de $P \leq 0.01$ no presentan significancia estadísticamente y se concluye que las medias móviles no cumplen con el supuesto planteado.

En la tabla 4, se observa que $r^2 = 71.80\%$ de coeficiente de determinación y un ajustado de $r^2 = 70.90\%$ es decir que existe una buena autocorrelación entre los valores de la serie actual se ven afectados auto correlacionados con los valores de la serie anterior de precipitaciones medias mensuales; el promedio general de la variable dependientes es de 53.94 mm la cual como equivalencia muestra

539.40 m³/ha. para la estación meteorológica de Huancane , la misma que esta ubicada en el ámbito de la cordillera oriental de la hoya del Titicaca.

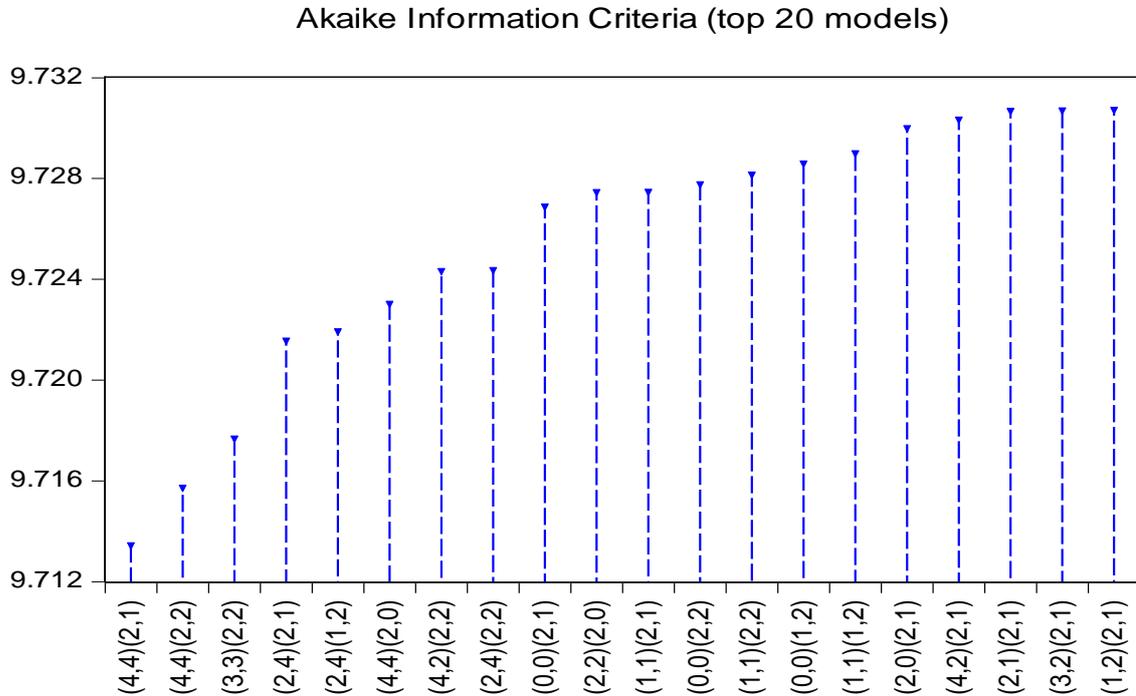


Figura 17. Información de Akaike de 20 modelos de ARIMA de la Estación Huancane

En la figura 17, se observa lo que se obtuvieron mejores ARIMA (4,0,4) (2,0,1) y sigue como modelo óptimo y adecuado ARIMA(4,0,4)(2,0,2) estos dos ARIMAS los mismos que pueden ser utilizados para el pronóstico de escasez de aguas provenientes de la precipitación pluvial y la media general que presenta el modelo es de 55.35 m.m. con un desviación estándar de 57,56 m,m, de precipitación pluvial.

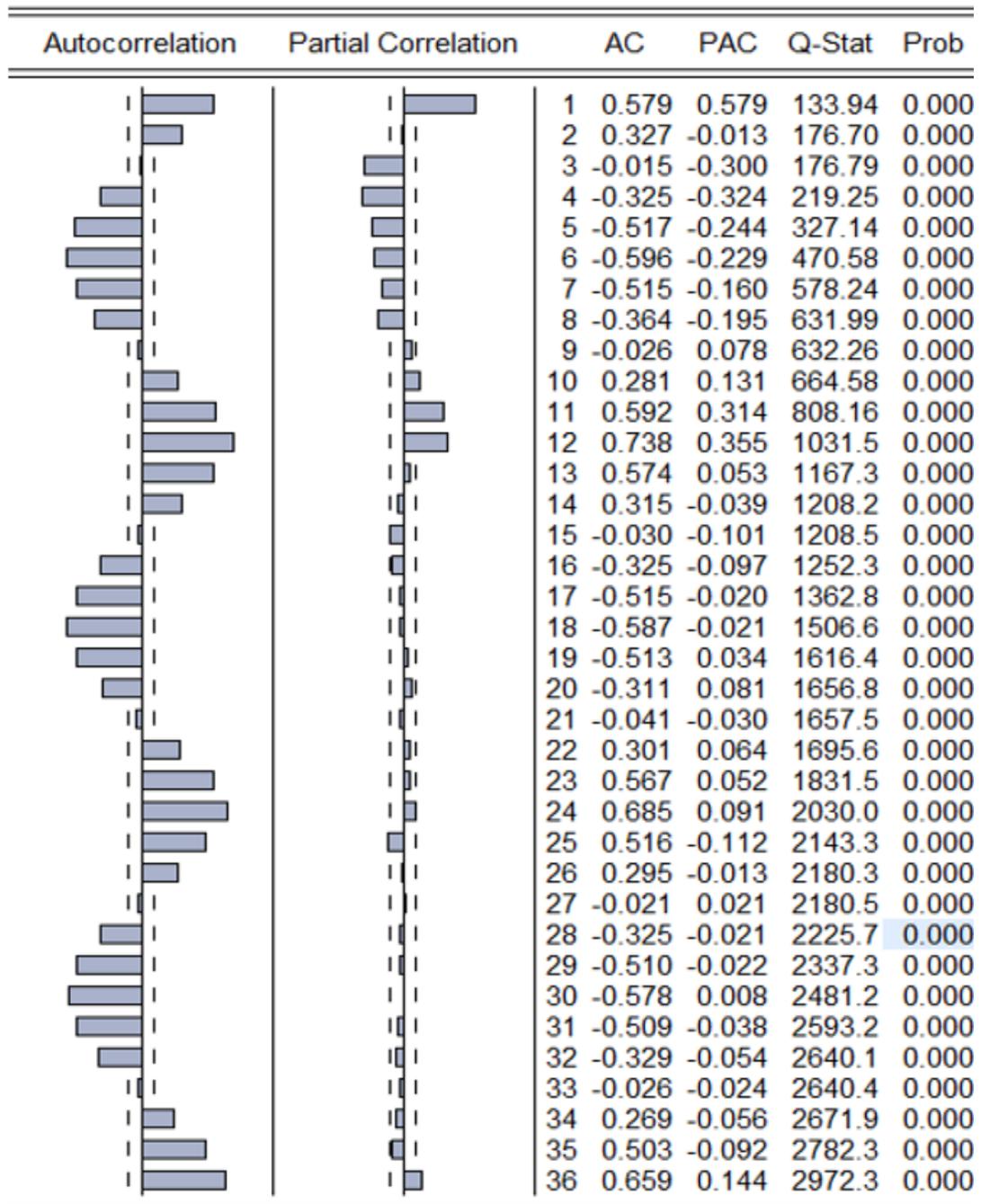


Figura 18. Correlograma de los residuales del modelo ARIMA (4,4)(2,1) estación Huancane

En la figura 18, presenta resultados de autocorrelación y correlación parcial y de acuerdo al estadístico Q de Ljung-Box (1978) la cual indica que existe muy buena autocorrelación de los residuos, es decir el comportamiento no se

asemeja al de una rueda blanco; así mismo se observa que las probabilidades son menores a $P \leq 0.01$ por lo tanto existe alta significancia estadística.

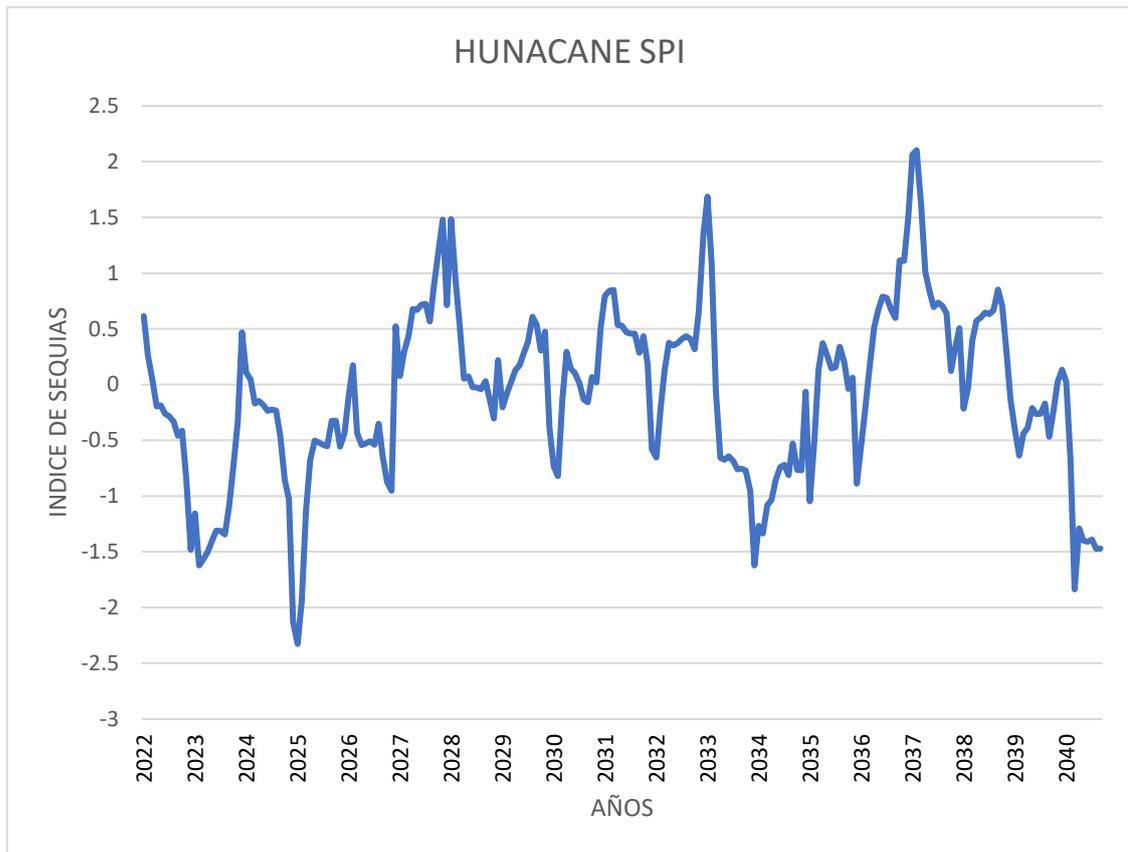


Figura 19. Proyección al 2040 de SPI Huancane

En la figura 19, se observa los graficos de la proyección hasta el año 2040 la cual demuestra la estacionalidad será pues por la presencia de las cuatro estaciones del año en la región de Puno.

4.4. DISCUSION DE LOS RESULTADOS

En el departamento de Puno, los veranillos pueden ser bien pronosticados en el corto plazo, es decir, por el pronóstico operacional del tiempo atmosférico (pronóstico meteorológico), periodos más largos, como, por ejemplo, de uno a tres meses, son mucho más difíciles de detectar, particularmente en la región de Puno, en donde existe la interacción de varios controladores climáticos que, de una u otra forma, regulan la precipitación durante la estación lluviosa en el departamento (Aramayo, 2019). Los



meteorólogos son entrenados específicamente para pronosticar eventos de lluvia (entre otras cosas), lo que, en este caso, es relativamente más fácil de realizar, ya que solo se trata de pronosticar eventos que duran desde horas hasta un máximo de días. Ellos son especialistas en detectar dinámicamente aquellos disparadores que provocan un evento de lluvia en un lugar determinado, como la aproximación de un sistema nuboso (frente meteorológico). En las sequías, la persistencia de los periodos secos es más difícil de predecir porque dichos factores interactúan a una escala de clima estacional que se va desde 1 hasta los 9 meses y que, en la situación particular de una sequía normalmente está asociada a la “ausencia” de disparadores.

Los resultados obtenidos de la sequia meteorológica para el riesgo agrícola solo son resultados aproximativos ya que se trabajo con información muy diversa de diferentes instituciones y también muy variable en el tiempo, en especial la información del censo agropecuario que es del año 1994, siendo la única información oficial publicada que proporciona y relaciona variables de interés necesarios en el análisis tanto para el cálculo de la vulnerabilidad agrícolas (Ticona, 2017).



V. CONCLUSIONES

El presente estudio aplica los modelos del índice de precipitación estandarizada (SPI) y el modelos autorregresivos integrados y de medias móviles (ARIMA) y el analisis de los eventos de sequía meteorológica en la zona de la cordillera oriental del altiplano de la región de Puno y se ha llegado a las siguientes:

El resultado del análisis de tendencias de precipitaciones se aplicaron las pruebas no-paramétrica de Mann-Kendall y Spearman's Rho y los paramétricos regresión lineal y autocorrelación y las series pluviométricas analizadas tienen fechas temporales de 1965-2022, de 75 años de datos histórica y los métodos aplicados han mostrado resultados no significativos (NS) a las probabilidades de $\alpha=0.10$, $\alpha=0.05$ y $\alpha=0.01$ para las dos estaciones: Ayaviri y Huancané.

Se ha identificado las sequias de categoría moderadamente, severamente y extremadamente secas a través del método del índice normalizado de precipitación (SPI) cada una de ellas con probabilidades de 9.20%, 4.40% y 2.30% de probabilidades de ocurrencia; los resultados para los intervalos acumulados de 1, 3 y 6 meses y cuyos resultados, para (SPI-1) de la estación meteorológica de Ayaviri cada una de ellas, para el mes de diciembre de 1969 (-1.18), enero 1971 (-1.21), febrero 1979 (-1.38), diciembre 2011 (-1.12) y en octubre de 2018 (-1.49), estas son sequias moderadamente secas, en el mes de noviembre de 1976 (-1.93), octubre 1986 (-1.77), marzo 1990 (-1.73), noviembre 2000 (-1.80) y en diciembre de 2016 (-1.94), estas son sequias severamente secas, en el mes de enero de 1977 (-3.79), diciembre 1980 (-3.57) y enero 1983 (-2.35), estas son sequias extremadamente secas; para la estación meteorológica de Huancané se obtuvo resultados de (SPI-1) los resultados que se destaca el mes de diciembre del 1969 (-1.45), marzo 1982 (-1.19), octubre 1986 (-1.31) y febrero 1992 (-1.32), estas son sequias



moderadamente secas, en el mes de octubre de 1969 (-1.61), noviembre 1973 (-1.91), febrero 1982 (-1.79), diciembre 1998 (-1.63), febrero 2006 (-1.97) y octubre 2009 (-1.63), estas son sequias severamente secas, en el mes de enero de 1967 (-3.17), enero 1977 (-2.95), noviembre 1988 (-2.78), octubre 2007 (-2.02) diciembre 2013 (-2.15) y octubre 2018 (-2.14), estas son sequias extremadamente secas.

La caracterización temporal de las sequias meteorológicas mediante el modelo ARIMA se utilizó el Criterio de Información de Akaike (AIC) con un valor de 9.719 esto debido a Akaike (1974) y Criterio de Información de Schwarz (SC), cuyo valor es de 9.839 debido a Schwarz (1978) que indican que el mejor modelo con sus determinantes estadísticamente significativos, es aquel que posee el menor valor de los estadísticos de AIC y SC, donde se tiene que el modelo identificado como ARIMA (4, 0, 3) o ARIMA (1,0, 2), es el mejor para representar el pronóstico de la escasez de la precipitación pluvial de la zona oriental de la región de Puno. el modelo es estable; y para la estación meteorológica de Huancane se ha identificado como ARIMA (4, 0, 4) o ARIMA (2,0, 1), es el mejor para representar el pronóstico de la escasez de la precipitación pluvial de la zona oriental de la región de Puno, ya que estos modelos son modelos estables.



VI. RECOMENDACIONES

Es necesario que los gobiernos locales y regionales implementen programas y proyectos a fin de atenuar la presencia de sequias meteorológicas de intensidades de severamente y extremadamente secas en el altiplano de la región de Puno.

Recomendamos a los técnicos especialistas del ministerio de agricultura para que con su experiencia que establezcan calendarios agrícolas debidamente diseñadas a fin de que controlen activa y pasivamente la presencia de las sequias en el altiplano de Puno.

Recomendamos a las Escuelas Profesionales de Ingeniería Agrícola e Ingeniería Agronómica a contonuar haciendo investigación relacionado con los diferentes tipos de sequias como: sequia fisiológica, sequia agronómica, sequia meteorológica y entre otros.

Recomendar a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno implementar Estaciones Meteorologicas Automatizada es decir de la ultima generación.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA. (2019). Estudio Hidrologico de la Unidad Hidrografica del rio ramis. Lima Peru: Ministerio de Agricultura y Riego (Autoridad Nacional del Agua).
- 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). Meteorologia Generla y Agricola. 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.
- Box, P. G., & Jenkins, G. (1970). Series Temporales, Modelo Arima Metodologia de Box - Jenkins. Madrid: Instrumentos estadisticos Avanzados Facultad de Ciencias Economicas y Empresariales.
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). Applied Hydrology. McGraw-Hill. 582 p. International Edition.
- Curi, T. S. (2017). Caracterizacion de las Sequias Hidrologicas en la Vertiente del Oceano Pacifico. Puno: Escuela de pos Grado Universidad Nacional Agraria la Molina de Lima.
- Dai, A. (2011). Drought under global warming: A review. Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Chang. 2, 45–65, doi:10.1002/wcc.81.
- Dai, A. (2012). Increasing drought under global warming in observations and models. Nat. Clim. Chang. 3, 52–58. doi:10.1038/nclimate1633.



- Dai, A., Trenberth, K. E., & Qian, T. (2004). A Global Dataset of Palmer Drought Severity Index for 1870–2002: Relationship with Soil Moisture and Effects of Surface Warming. *J. Hydrometeorol.* 5, 1117–1130, doi:10.1175/JHM-386.1.
- Easterling, D. R., Evans, J. L., Groisman, P. Y., Karl, T. R., & Kunkel, K. E. (2000). Observed variability and trends in extreme climate events. A brief review. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 81, 417–425, doi:10.1175/15200477(2000)081<0417:OVATIE>2.3.CO;2.
- Fernandez, B. (1997). Identificación y caracterización de sequías hidrológicas en Chile. Artículo publicado en *Ingeniería del Agua*. 4(4), 37-46 p.
- 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 Esenarios de Cambio Climatico en la Cuenca del Rio Mantaro. Lima Peru: Universidad Nacional Agraria la Molina, Maestria en Recursos Hidricos.
- GCCIP. (1997). Global Climate Change Information Programme.
- Ge, Y., Apurv, T., & Cai, X. (2016). Spatial and Temporal Patterns of Drought in the Continental U.S. during the Past Century. *Geophys. Res. Lett.*, doi:10.1002/2016GL069660.
- Gilford, M. (1992). South America South of the Amazon River: A Climatological Study (en línea). USAF Enviromental Technical Applications Center.
- 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 Algorithm1. *JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc.* 35, 311–322
doi:10.1111/j.1752-1688.1999.tb03592.x.
- Hayes, M. (2006). Drought Indices. *Van Nostrand's Sci. Encycl.* 13 pp,
doi:10.1002/0471743984.vse8593.
- INRENA. (2008). Actualización del Balance Hídrico de la Cuenca del río 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.*
- Llamas, J. (1993). *Hidrología general. Principios y aplicaciones.* Quebec, Canadá: Universidad del País Vasco.
- McKee, MacKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the Eight Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA.* American Meteorological Society, pp 179-184.
- 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.
- Navarro, L. (2002). *Aproximación metodológica al estudio de secuencias secas de larga duración: el caso de las Islas Baleares.* Grupo de Climatología. Departamento de Geografía. Universidad de Barcelona.



- Niemeyer, S. (2008). New drought indices. *Options Méditerranéennes* 80, 267–274.
doi:10.1017/CBO9781107415324.004 .
- OMM. (1992). *Vocabulario Meteorológico Internacional*. Ginebra, Suiza: Publicación No. 182.
- 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>.
- ONU. (1994). *Convención Internacional de Lucha contra la Desertificación en los Países afectados por Sequía Grave o desertificación, en Particular en África*. Doc. A/AC.241/15/Rev 17. París.
- Organizacion Meteorologica Mundial. (2012). *Índice normalizado de precipitación Guia del Usuario*. CH-1211 Ginebra 2, Suiza: OMM-No 1090.
- Ortega, D., Velasco, I., Guitron, A., Arreguin, F., & Lopez, M. (2014). *La Gestión de Sequías en México: Avances y Retos*. Puerto Vallarta, México: XXIII Congreso Nacional de Hidráulica.
- Palmer, W. C. (1965). *Meteorological Drought*. U.S. Weather Bur. Res, Pap. No. 45.
- Paredes, F., Millano, J. L., & Guevara, E. (2008). *Análisis espacial de las sequías meteorológicas en la región de Los Llanos de Venezuela durante el período 1961-1996*. *Revista de Climatologia*, Vol. 8 : pp 15-27.



- Salas, J. (1986). State of the art of statistical techniques for describing drought characteristics. International seminar on drought analysis, Perugia, Italia.
@@págs?
- Salas, J. (2000). Hidrología de Zonas Áridas y Semiáridas. *Ingeniería del Agua*, 7(4), 409-429.
- Salas, J., Fu, C., Cancelliere, A., Dustin, D., Bode, D., Pineda, A., & Vicent, E. (2005). Characterizing the Severity and Risk of Drought in the Poudre River, Colorado. *Journal of Water Resources Planning and Management*.(131) 5, pp. 383-393.
- Shanahan, T. M., Overpeck, J. T., Anchukaitis, K. J., Beck, J., Cole, J. E., Dettman, D. L., . . . King, J. W. (2009). Atlantic Forcing of Persistent Drought in West Africa. *Science* (80-.). 324, 377–380, doi:10.1126/science.1166352.
- Subrahmanyam, V. (1967). Incidence and spread of continental drought. WMO/THD Report No 2, Ginebra.
- Tarazona, R. H. (2016). Modelamiento Hidrológico de la Cuenca del Río Ica con Fines de Prevención De Inundaciones En La Ciudad De Ica. Lima Peru: Universidad Nacional Agraria la Molina Facultad de Ingeniería Agrícola.
- 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).
- Thornthwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.* 38, pp 55–94.
- Ticona, A. A. (2017). Determinación de las frecuencias de sequías 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 Puno
Facultad de ingeniería Agrícola Tesis.
- Trenberth, K. E., Dai, A., Van Der Schrier, G., Jones, P. D., Barichivich, J., Briffa, K. R., & Sheffield, J. (2014). Global warming and changes in drought. *Nat. Clim. Chang.* 4, 17–22.
- Tsakiris, G., Pangalou, D., & Vangelis, H. (2007). Regional drought assessment based on the 83 Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water Resour. Manag.* 21, 821–833. doi:10.1007/s11269-006-9105-4.
- Vasiliades, L., Loukas, A., & Liberis, N. (2011). A Water Balance Derived Drought Index for Pinios River Basin, Greece. *Water Resour. Manag.* 25, 1087–1101. doi:10.1007/s11269-010-9665-1 .
- Vega, J. F. (2018). Variabilidad Espacio-temporal de la sequía en el Peru y el Peligro Asociado al fenomino del Niño. Lima Peru: Universidad Nacional Agraria la Molina Maestria en Recursos Hidricos.
- Velasco, I., Ochoa, L., & Gutierrez, C. (2005). Sequía, un problema de perspectiva y gestión. *Revista Región y Sociedad XVII (34)*, 35-71.
- 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.
- Wells, N., Goddard, S., & Hayes, M. J. (2004). A self-calibrating Palmer Drought Severity Index. *J. Clim.* 17, 2335–2351. doi:10.1175/15200442(2004)017<2335:ASPDSI>2.0.CO;2.



- Wilhite, D. (2000). Drought as a natural hazard. En: Wilhite, D.A. (Ed.). Drought: A Global Assessment: London, UK: Routledge Publishers, (pp: 3-18) .
- Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International* 10(3), 111-120 p.
- Wilhite, D., & Glantz, M. (1985). Understanding the drought phenomenon; the role of definitions. *Water International* 10:111-120.
- Yevjevich, V. (1967). An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic drought. Colorado State University, Hydrologic Paper No 23.
- Zapana , Q. M. (2019). Análisis de la Sequía Meteorológica de la Intercuenca de Apurímac y las Cuencas Alto Urubamba y Yavero Utilizando el Método de L momentos. Universidad Nacional Agraria la Molina Escuela de Posgrado Maestría en Recursos Hídricos, ps.112.
- 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



Model Selection Criteria Table

Dependent Variable: Precipitacion pluvial

Date: 12/09/18 Time: 06:17

Sample: 1970M01 2016M12

Included observations: 564

Model	LogL	AIC*	BIC	HQ
(2,2)(1,1)	-2807.558675	9.984251	10.045741	10.008253
(3,2)(1,1)	-2806.732371	9.984867	10.054043	10.011870
(4,4)(1,1)	-2803.870608	9.985357	10.077592	10.021361
(2,3)(1,1)	-2806.955607	9.985658	10.054835	10.012661
(3,2)(1,2)	-2806.713309	9.988345	10.065208	10.018349
(3,2)(2,1)	-2806.748595	9.988470	10.065333	10.018474
(4,4)(2,1)	-2803.869632	9.988899	10.088821	10.027904
(2,3)(1,2)	-2806.954709	9.989201	10.066064	10.019205
(3,2)(2,2)	-2806.298007	9.990418	10.074967	10.023422
(4,4)(2,2)	-2803.467760	9.991020	10.098628	10.033025
(3,3)(1,1)	-2807.515170	9.991189	10.068051	10.021192
(3,3)(1,2)	-2807.517540	9.994743	10.079292	10.027747
(3,3)(2,1)	-2807.521305	9.994756	10.079305	10.027760
(4,3)(2,2)	-2806.073486	9.996714	10.096636	10.035719
(4,4)(1,2)	-2806.288424	9.997477	10.097398	10.036481
(3,3)(2,2)	-2807.330445	9.997626	10.089861	10.033630
(3,1)(1,1)	-2812.982960	10.003486	10.064976	10.027488
(1,3)(1,1)	-2813.542071	10.005468	10.066958	10.029471
(4,1)(1,1)	-2812.696920	10.006017	10.075194	10.033021
(3,1)(1,2)	-2812.889096	10.006699	10.075875	10.033702
(3,1)(2,1)	-2812.891982	10.006709	10.075886	10.033712
(1,3)(1,2)	-2813.252771	10.007989	10.077165	10.034992
(1,3)(2,1)	-2813.254802	10.007996	10.077172	10.034999
(1,4)(1,1)	-2813.378957	10.008436	10.077612	10.035439
(4,3)(1,2)	-2810.433966	10.008631	10.100866	10.044635
(4,3)(2,1)	-2810.444077	10.008667	10.100902	10.044671
(4,2)(1,1)	-2812.463749	10.008737	10.085599	10.038740
(4,3)(1,1)	-2811.500639	10.008868	10.093416	10.041871
(3,1)(2,2)	-2812.553380	10.009055	10.085917	10.039058
(4,1)(1,2)	-2812.609764	10.009254	10.086117	10.039258
(4,1)(2,1)	-2812.612489	10.009264	10.086127	10.039268
(1,3)(2,2)	-2812.956452	10.010484	10.087347	10.040487
(1,4)(1,2)	-2813.065970	10.010872	10.087735	10.040876
(1,4)(2,1)	-2813.068318	10.010881	10.087743	10.040884
(2,3)(2,1)	-2813.069640	10.010885	10.087748	10.040889



(2,4)(1,1)	-2813.115969	10.011050	10.087912	10.041053
(4,1)(2,2)	-2812.284902	10.011649	10.096198	10.044652
(4,2)(1,2)	-2812.346263	10.011866	10.096415	10.044870
(4,2)(2,1)	-2812.369476	10.011948	10.096497	10.044952
(4,0)(1,1)	-2815.376823	10.011975	10.073465	10.035977
(3,4)(1,2)	-2811.430099	10.012163	10.104399	10.048168
(3,4)(2,1)	-2811.433664	10.012176	10.104411	10.048180
(2,4)(1,2)	-2812.731163	10.013231	10.097780	10.046235
(2,4)(2,1)	-2812.733167	10.013238	10.097787	10.046242
(1,4)(2,2)	-2812.776897	10.013393	10.097942	10.046397
(0,2)(1,1)	-2817.998789	10.014180	10.060298	10.032182
(4,2)(2,2)	-2811.999667	10.014183	10.106418	10.050187
(3,4)(1,1)	-2813.115296	10.014593	10.099142	10.047597
(4,0)(1,2)	-2815.219358	10.014962	10.084139	10.041965
(4,0)(2,1)	-2815.220275	10.014966	10.084142	10.041969
(2,4)(2,2)	-2812.439293	10.015742	10.107977	10.051746
(3,0)(1,1)	-2817.467997	10.015844	10.069648	10.036846
(2,2)(1,2)	-2815.597026	10.016302	10.085478	10.043305
(0,2)(2,1)	-2817.728124	10.016766	10.070570	10.037769
(0,2)(1,2)	-2817.729515	10.016771	10.070575	10.037774
(0,3)(1,1)	-2817.819786	10.017091	10.070895	10.038094
(0,4)(1,1)	-2816.841420	10.017168	10.078658	10.041171
(1,2)(1,1)	-2817.904994	10.017394	10.071197	10.038396
(4,0)(2,2)	-2814.961800	10.017595	10.094458	10.047599
(3,0)(1,2)	-2817.262588	10.018662	10.080152	10.042664
(3,0)(2,1)	-2817.262790	10.018662	10.080153	10.042665
(0,2)(2,2)	-2817.473703	10.019410	10.080900	10.043413
(0,3)(2,1)	-2817.573037	10.019763	10.081253	10.043765
(0,3)(1,2)	-2817.573326	10.019764	10.081254	10.043766
(0,4)(1,2)	-2816.613157	10.019905	10.089081	10.046908
(0,4)(2,1)	-2816.613208	10.019905	10.089081	10.046908
(1,2)(2,1)	-2817.647642	10.020027	10.081517	10.044030
(1,2)(1,2)	-2817.648440	10.020030	10.081520	10.044033
(2,0)(1,1)	-2819.847419	10.020736	10.066853	10.038738
(3,0)(2,2)	-2816.977486	10.021197	10.090373	10.048200
(2,1)(1,1)	-2819.059365	10.021487	10.075291	10.042490
(2,2)(2,1)	-2817.193080	10.021961	10.091138	10.048964
(0,3)(2,2)	-2817.294119	10.022320	10.091496	10.049323



(0,4)(2,2)	-2816.352604	10.022527	10.099390	10.052530
(1,2)(2,2)	-2817.379934	10.022624	10.091800	10.049627
(2,0)(2,1)	-2819.418775	10.022762	10.076565	10.043764
(2,0)(1,2)	-2819.422193	10.022774	10.076578	10.043776
(2,1)(2,1)	-2818.711535	10.023800	10.085290	10.047803
(2,1)(1,2)	-2818.713154	10.023806	10.085296	10.047808
(1,0)(1,1)	-2821.828190	10.024213	10.062645	10.039215
(1,1)(1,1)	-2820.938055	10.024603	10.070721	10.042605
(2,2)(2,2)	-2816.952927	10.024656	10.101518	10.054659
(2,0)(2,2)	-2819.176745	10.025449	10.086940	10.049452
(1,0)(2,1)	-2821.351956	10.026071	10.072188	10.044073
(1,0)(1,2)	-2821.358049	10.026092	10.072210	10.044094
(2,1)(2,2)	-2818.443631	10.026396	10.095572	10.053399
(1,1)(2,1)	-2820.473500	10.026502	10.080306	10.047504
(1,1)(1,2)	-2820.479531	10.026523	10.080327	10.047526
(1,0)(2,2)	-2821.147503	10.028892	10.082696	10.049894
(1,1)(2,2)	-2820.266270	10.029313	10.090803	10.053316
(0,1)(1,1)	-2823.519437	10.030211	10.068642	10.045213
(0,1)(2,1)	-2822.917895	10.031624	10.077741	10.049626
(0,1)(1,2)	-2822.920261	10.031632	10.077750	10.049634
(0,1)(2,2)	-2822.666317	10.034278	10.088082	10.055280
(4,4)(0,1)	-2821.130717	10.043017	10.127566	10.076021
(4,4)(0,2)	-2820.183827	10.043205	10.135440	10.079209
(3,2)(2,0)	-2824.237863	10.046943	10.116119	10.073946
(4,2)(2,0)	-2823.426515	10.047612	10.124474	10.077615
(3,3)(2,0)	-2823.879660	10.049219	10.126081	10.079222
(2,4)(1,0)	-2825.937899	10.052971	10.122148	10.079974
(0,0)(1,2)	-2830.039444	10.053331	10.091763	10.068333
(4,3)(2,0)	-2824.044590	10.053350	10.137899	10.086353
(0,0)(2,1)	-2830.083584	10.053488	10.091919	10.068490
(0,0)(1,1)	-2831.146342	10.053710	10.084455	10.065712
(0,0)(2,2)	-2829.495035	10.054947	10.101065	10.072949
(3,2)(1,0)	-2827.533416	10.055083	10.116573	10.079086
(2,4)(0,2)	-2825.647055	10.055486	10.132349	10.085489
(3,4)(1,0)	-2825.769838	10.055921	10.132784	10.085925
(4,2)(1,0)	-2826.866817	10.056265	10.125442	10.083268
(2,3)(1,0)	-2828.020941	10.056812	10.118302	10.080815
(2,4)(0,1)	-2827.188830	10.057407	10.126584	10.084410



(3,2)(0,2)	-2827.353121	10.057990	10.127166	10.084993
(3,4)(0,2)	-2825.414370	10.058207	10.142756	10.091211
(4,2)(0,2)	-2826.691170	10.059189	10.136051	10.089192
(3,2)(0,1)	-2828.718759	10.059286	10.120777	10.083289
(3,4)(0,1)	-2826.907363	10.059955	10.136818	10.089959
(2,3)(0,2)	-2827.935614	10.060055	10.129232	10.087059
(4,3)(1,0)	-2827.068633	10.060527	10.137390	10.090531
(3,3)(0,2)	-2827.083108	10.060578	10.137441	10.090582
(4,2)(0,1)	-2828.111925	10.060681	10.129857	10.087684
(2,3)(0,1)	-2829.141393	10.060785	10.122275	10.084788
(4,3)(0,2)	-2826.205081	10.061011	10.145560	10.094015
(3,3)(0,1)	-2828.492936	10.062032	10.131208	10.089035
(4,3)(0,1)	-2827.636359	10.062540	10.139403	10.092544
(2,2)(2,0)	-2830.170013	10.064433	10.125923	10.088435
(3,4)(2,2)	-2825.596337	10.065944	10.165866	10.104949
(2,2)(1,0)	-2831.666148	10.066192	10.119996	10.087194
(4,4)(2,0)	-2826.776522	10.066583	10.158819	10.102588
(2,2)(0,1)	-2832.433981	10.068915	10.122719	10.089917
(2,2)(0,2)	-2831.948716	10.070740	10.132230	10.094743
(3,3)(1,0)	-2831.665995	10.073284	10.142460	10.100287
(2,4)(0,0)	-2833.557929	10.076447	10.137937	10.100449
(3,2)(0,0)	-2835.110708	10.078407	10.132211	10.099409
(4,4)(1,0)	-2831.440830	10.079577	10.164126	10.112581
(2,3)(0,0)	-2835.491429	10.079757	10.133561	10.100759
(4,2)(0,0)	-2834.661044	10.080358	10.141848	10.104361
(4,4)(0,0)	-2832.744024	10.080653	10.157515	10.110656
(3,3)(0,0)	-2834.962007	10.081426	10.142916	10.105428
(4,3)(0,0)	-2834.103889	10.081929	10.151105	10.108932
(3,4)(0,0)	-2834.483866	10.083276	10.152453	10.110279
(2,2)(0,0)	-2838.604859	10.087251	10.133369	10.105253
(2,3)(2,2)	-2842.032938	10.117138	10.201687	10.150142
(2,3)(2,0)	-2863.763650	10.187105	10.256282	10.214108
(1,4)(2,0)	-2863.856783	10.187435	10.256612	10.214439
(1,3)(2,0)	-2865.212192	10.188696	10.250186	10.212699
(4,1)(2,0)	-2864.669088	10.190316	10.259492	10.217319
(2,4)(2,0)	-2863.720161	10.190497	10.267360	10.220501
(3,4)(2,0)	-2863.129135	10.191947	10.276496	10.224951
(3,1)(2,0)	-2867.352420	10.196285	10.257775	10.220288



(2,1)(2,0)	-2868.782517	10.197810	10.251614	10.218813
(4,0)(2,0)	-2872.846320	10.215767	10.277257	10.239770
(0,2)(2,0)	-2876.133968	10.220333	10.266451	10.238335
(3,0)(2,0)	-2875.719726	10.222410	10.276214	10.243413
(4,1)(1,0)	-2874.734810	10.222464	10.283954	10.246467
(0,3)(2,0)	-2876.059716	10.223616	10.277420	10.244618
(1,2)(2,0)	-2876.092193	10.223731	10.277535	10.244734
(0,4)(2,0)	-2875.407861	10.224851	10.286341	10.248853
(4,1)(0,2)	-2874.414365	10.224874	10.294050	10.251877
(2,0)(2,0)	-2877.649294	10.225707	10.271824	10.243709
(1,0)(2,0)	-2879.138632	10.227442	10.265873	10.242444
(1,1)(2,0)	-2878.315644	10.228070	10.274187	10.246072
(4,1)(0,1)	-2877.184141	10.231149	10.292640	10.255152
(0,1)(2,0)	-2882.045165	10.237749	10.276180	10.252751
(3,1)(1,0)	-2881.368063	10.242440	10.296244	10.263442
(3,1)(0,2)	-2880.798657	10.243967	10.305457	10.267970
(3,1)(0,1)	-2884.399342	10.253189	10.306993	10.274192
(4,1)(0,0)	-2884.990679	10.255286	10.309090	10.276289
(0,0)(2,0)	-2894.063735	10.276822	10.307567	10.288823
(3,1)(0,0)	-2892.408554	10.278045	10.324162	10.296047
(1,4)(1,0)	-2894.095313	10.291118	10.352608	10.315121
(1,3)(1,0)	-2899.570226	10.306987	10.360790	10.327989
(4,0)(1,0)	-2901.836819	10.315024	10.368828	10.336027
(2,1)(1,0)	-2902.862188	10.315114	10.361232	10.333116
(4,0)(0,2)	-2902.275977	10.320128	10.381618	10.344130
(1,4)(0,2)	-2903.539297	10.328154	10.397330	10.355157
(2,1)(0,2)	-2910.173945	10.344588	10.398392	10.365591
(4,0)(0,1)	-2910.463048	10.345614	10.399418	10.366616
(0,2)(1,0)	-2913.629355	10.349749	10.388181	10.364751
(3,0)(1,0)	-2912.647580	10.349814	10.395932	10.367816
(0,3)(1,0)	-2912.659745	10.349857	10.395975	10.367859
(1,2)(1,0)	-2913.118260	10.351483	10.397601	10.369485
(0,4)(1,0)	-2912.198937	10.351769	10.405573	10.372772
(2,0)(1,0)	-2915.297097	10.355663	10.394095	10.370665
(1,1)(1,0)	-2916.272162	10.359121	10.397552	10.374123
(1,0)(1,0)	-2917.387744	10.359531	10.390276	10.371532
(1,3)(0,2)	-2916.214321	10.369554	10.431044	10.393557
(1,4)(0,1)	-2916.768592	10.371520	10.433010	10.395523



(0,1)(1,0)	-2921.016293	10.372398	10.403143	10.384400
(2,1)(0,1)	-2920.504358	10.377675	10.423793	10.395677
(4,0)(0,0)	-2922.614038	10.385156	10.431274	10.403158
(3,0)(0,2)	-2922.448026	10.388114	10.441917	10.409116
(0,3)(0,2)	-2925.342277	10.398377	10.452181	10.419379
(0,4)(0,2)	-2925.334424	10.401895	10.463385	10.425898
(0,0)(1,0)	-2932.382251	10.409157	10.432216	10.418158
(0,2)(0,2)	-2931.097993	10.415241	10.461359	10.433243
(1,0)(0,2)	-2935.882283	10.428661	10.467092	10.443662
(1,3)(0,1)	-2934.003136	10.429089	10.482893	10.450092
(2,0)(0,2)	-2935.021405	10.429154	10.475272	10.447156
(2,1)(0,0)	-2936.126058	10.429525	10.467956	10.444527
(1,1)(0,2)	-2935.444605	10.430655	10.476772	10.448657



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

Por el presente documento, Yo Wilder Condori Ramirez,
identificado con DNI 73111605 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:

“Análisis de sequía meteorológica a través del modelo autorregresivo de promedio móvil en la cordillera oriental del altiplano de Puno.”

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 26 de setiembre del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Wilder Condori Ramirez,
identificado con DNI 73111605 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:

“Análisis de serie meteorológica a través del modelo
autorregresivo del promedio móvil en la cordillera
oriental del altiplano de Puno.”

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 26 de setiembre del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella