



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



**PRONOSTICO DE SEQUIAS METEOROLÓGICAS EN
FUNCIÓN DE LOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS UTILIZANDO
EL MODELO ARIMA EN LA CUENCA DEL RÍO RAMIS**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. VÍCTOR HUGO AVENDAÑO CHAGUA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO – PERÚ

2020



DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación es dedicado principalmente a mi padre celestial, por ser el inspirador principal y otorgarme la fuerza continua en este proceso, y así poder lograr uno de mis anhelos más deseados.

A mis padres, por el amor y sacrificio para conmigo a lo largo de estos años, ya que es gracias a ellos que estoy en el camino de poder lograr y alcanzar mis metas. Es un privilegio y orgullo ser su hijo, gracias padre y madre.

A mis hermanos por su apoyo incondicional, su comprensión y paciencia durante esta etapa de mi vida.

A mi pareja e hijos por ser los impulsores para lograr mis objetivos, ustedes son mi principal motivación para poder lograr culminar con éxito mi proyecto de grado.

A las personas que me han brindado su apoyo incondicional en especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos. Muchas gracias.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por bendecirme con el don de la vida, por brindarme la sabiduría necesaria para continuar y lograr mis objetivos, por ser mi apoyo y fortaleza en los momentos más difíciles de mi existencia.

Agradezco a mis padres: Francisca y Justino quienes son los principales impulsores de mis anhelos, por inculcarme valores y hacer de mí una persona de bien.

Agradezco a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, por haber compartido sus conocimientos y experiencias a lo largo de la preparación de mi carrera profesional.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ÍNDICE DE ANEXOS

RESUMEN11

ABSTRACT12

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA 14

1.2. ENUNCIADOS DEL PROBLEMA 16

1.3. JUSTIFICACIÓN 16

1.4. ANTECEDENTES..... 17

1.5. OBJETIVOS 20

1.6. HIPÓTESIS 21

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. PROCESOS ESTOCÁSTICOS 22

2.2. RUIDO BLANCO..... 22

2.3. MODELO AUTORREGRESIVO INTEGRADO DE MEDIA MÓVIL
(ARIMA) 23

2.4. PRECIPITACIÓN..... 24

2.5. SEQUÍAS 24

2.6. TIPOS DE SEQUÍAS..... 27

2.7. ÍNDICES DE SEQUÍAS 29

2.8. CARACTERIZACIÓN DE LAS SEQUÍAS..... 34

2.9. DURACIÓN 34

2.10. INTENSIDAD 34



2.11. SEVERIDAD.....	35
2.12. FRECUENCIA.....	35
2.13. CLIMA Y SISTEMA CLIMÁTICO.....	35
2.14. EL FENÓMENO FÍSICO DEL EFECTO INVERNADERO.....	36
2.15. CAMBIO CLIMÁTICO.....	36
2.16. CAMBIOS OBSERVADOS EN EL SISTEMA CLIMÁTICO.....	37

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA.....	38
3.2. VÍAS DE COMUNICACIÓN.....	38
3.3. HIDROGRAFÍA.....	39
3.4. CUENCAS E INTERCUENCAS TRIBUTARIAS.....	40
3.5. INFORMACIÓN CLIMÁTICA Y ECOLÓGICA.....	45
3.6. INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA.....	45
3.7. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DEL MODELO ARIMA.....	46

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. LA INFLUENCIA DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA EN LA PRESENCIA DE SEQUIAS METEOROLÓGICAS.....	53
4.2. LA CARACTERIZACIÓN ESPACIO TEMPORAL DE LAS SEQUÍAS METEOROLÓGICA CUENCA RAMIS.....	75
4.3 EL CALENDARIO AGRÍCOLA EN BASE DEL MODELO DE PRONÓSTICO PARA LOS CULTIVOS DE PAN LLEVAR EN LA CUENCA DEL RÍO RAMIS.....	84
V. CONCLUSIONES.....	87
VI. RECOMENDACIONES.....	89
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	90
ANEXOS.....	96

Área: Hidrología Aplicada

Tema: Pronostico de sequias meteorológicas

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 06 de julio del 2020



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca del río Ramis (Sistema TDPS).....	39
Figura 2. Mapa de las intercuenas del río Ramis.....	41
Figura 3. Precipitación pronosticada para estación Llally	56
Figura 4. Precipitación pronosticada para estación Chuquibambilla	60
Figura 5. Precipitación pronosticada para estación Crucero.....	64
Figura 6. Precipitación pronosticada para estación Ananea.....	67
Figura 7. Precipitación pronosticada para estación Azángaro	71
Figura 8. Precipitación pronosticada para estación Arapa.....	74
Figura 9. Ubicación de las estaciones meteorológicas de la cuenca del río Ramis...	76
Figura 10. Isolneas de temperatura media de la cuenca del río Ramis.....	77
Figura 11. Isolneas de temperatura máxima de la cuenca del río Ramis.....	78
Figura 12. Isoyetas de precipitación anual de la cuenca de Ramis	80
Figura 13. Precipitación histórica en estación Llally.....	81
Figura 14. Precipitación histórica en estación Chuquibambilla	82
Figura 15. Precipitación histórica en estación Crucero	82
Figura 16. Precipitación histórica en estación Ananea	83
Figura 17. Precipitación histórica en estación Azángaro.....	83
Figura 18. Precipitación histórica en estación Arapa	84
Figura 19. Balance hídrico de la estación Chuquibambilla de la cuenca del río Ramis	85
Figura 20. Correlograma Llally.....	106
Figura 21. Correlograma Chuquibambilla	107
Figura 22. Correlograma Azangaro.....	107
Figura 23. Correlograma Arapa.....	108



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones meteorológicas utilizadas de la cuenca del río Ramis.....	45
Tabla 2. Resultado de los coeficientes de covariancia por el método ARIMA utilizando los estimadores de máxima verosimilitud estación meteorológica Llally	54
Tabla 3. Numero de meses por año con sequia meteorológica pronosticado en estación Llally	57
Tabla 4. Resultado de los coeficientes de covariancia por el método ARIMA utilizando los estimadores de máxima verosimilitud con 313 iteraciones estación Chuquibambilla.....	58
Tabla 5. Número de meses por año con sequia meteorológica pronosticado en estación Chuquibambilla	60
Tabla 6. Resultado de los coeficientes de covariancia por el método ARIMA utilizando los estimadores de máxima verosimilitud con 313 iteraciones estación Crucero	62
Tabla 7. Número de meses por año con sequia meteorológica pronosticado en estación Crucero.....	64
Tabla 8. Resultado de los coeficientes de covariancia por el método ARIMA utilizando los estimadores de máxima verosimilitud con 313 iteraciones estación Ananea.....	65
Tabla 9. Número de meses por año con sequía meteorológica pronosticado en estación Ananea	68
Tabla 10. Resultado de los coeficientes de covariancia por el método ARIMA utilizando los estimadores de máxima verosimilitud de la estación meteorológica Azángaro	69
Tabla 11. Número de meses por año con sequia meteorológica pronosticado en estación Azángaro.....	71



Tabla 12. Resultado de los coeficientes de covariancia por el método ARIMA utilizando los estimadores de máxima verosimilitud con 313 iteraciones estación Arapa	72
Tabla 13. Número de meses por año con sequía meteorológica pronosticado en estación Arapa	75
Tabla 14. Calendario agrícola del periodo de cultivos de pan llevar por meses del año	86



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

AGC:	Agencia de Gestión de Cuencas
AAA:	Autoridades Administrativas del Agua
ALA:	Administración Local del Agua
ANA:	Autoridad Nacional del Agua
DGCRH	Dirección de Gestión de la Calidad de los Recursos Hídricos
DIGESA	Dirección General de Salud Ambiental - Ministerio de Salud
EPS	Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento
IGP	Instituto Geofísico del Perú
MINAM	Ministerio del Ambiente
MINEM	Ministerio de Energía y Minas
MINSA	Ministerio de Salud
MVCS	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
OEFA	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
PAVER	Programa de Adecuación de Vertimientos y Reuso de Agua Residual
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
SGADA	Sistema de Gestión de Administración de Derechos de Agua
SIDA	Sistema de Información sobre Derechos de Agua
SIG	Sistema de Información Geográfica



ÍNDICE DE ANEXOS

Cuadro A 1. Media y varianza del modelo de la estación meteorológica Llally	96
Cuadro A 2. Varianza del ruido blanco del modelo de la estación Llally	96
Cuadro A 3. Parámetros periódicos de media móvil del modelo de la estación Llally	96
Cuadro A 4. Características del modelo para la estación Chuquibambilla.....	96
Cuadro A 5. Media y varianza del modelo de la estación Chuquibambilla.....	97
Cuadro A 6. Varianza del ruido blanco del modelo de la estación Chuquibambilla..	97
Cuadro A 7. Parámetros periódicos de media móvil del modelo de la estación Chuquibambilla	97
Cuadro A 8. Características del modelo para la estación Crucero	98
Cuadro A 9. Media y varianza del modelo de la estación Crucero	98
Cuadro A 10. Varianza del ruido blanco del modelo de la estación Crucero	98
Cuadro A 11. Parámetros periódicos de media móvil del modelo de la estación Crucero.....	99
Cuadro A 12. Características del modelo para la estación Ananea	99
Cuadro A 13. Media y varianza del modelo de la estación Ananea	100
Cuadro A 14. Varianza del ruido blanco del modelo de la estación Ananea.....	100
CuadroA 15. Parámetros periódicos de media móvil del modelo de la estación Ananea	100
Cuadro A 16. Características del modelo para la estación Azángaro.....	101
Cuadro A 17. Media y varianza del modelo de la estación Azángaro.....	101
Cuadro A 18. Varianza del ruido blanco del modelo de la estación Azángaro.....	101
Cuadro A 19. Características del modelo para la estación Arapa	101
Cuadro A 20. Media y varianza del modelo de la estación Arapa	102
CuadroA 21. Varianza del ruido blanco del modelo de la estación Arapa	102
Cuadro A 22. Parámetros periódicos de media móvil del modelo de la estación Arapa	102
Cuadro A 23. Pronostico de sequias modelos ARIMA en la cuenca Ramis.....	103
Cuadro A 24. Calendario por siembras expresada (%) para el altiplano del Peru ...	108
Cuadro A 25. Calendario de cosechas (%) para el altiplano del Peru	108



RESUMEN

Como consecuencia de las sequias tenemos las pérdidas de cultivo, mortalidad pecuaria, propagación de plagas y enfermedades; problemas que afectan a pequeños productores agrarios y a poblaciones urbanas. El problema investigado es el desconocimiento de sequias meteorológicas a futuro para plantear un calendario agrícola, también el desconocimiento de la influencia de la variación climática en las sequias en la cuenca Ramis. El objetivo general fue pronosticar sequias meteorológicas en función de los elementos climáticos utilizando el modelo ARIMA en la cuenca Ramis, en función de la variabilidad de precipitación y temperatura, se realizó una caracterización espacio-temporal y se estableció un calendario agrícola para cultivos importantes. La hipótesis general es “las variabilidades de los elementos climáticos influyen directamente en la presencia de sequias meteorológicas”. Se hizo uso de datos históricos de las estaciones meteorológicas Llally, Chuquibambilla, Crucero, Ananea, Azángaro y Arapa datos como son: precipitaciones y temperaturas; se hizo la prueba de consistencia y se utilizó el software SAMS. En la estación Llally se pronosticó la presencia de sequía meteorológica en diciembre del año 2021, para los años 2022, 2028, 2030, 2033, 2035, 2036, y 2037 en el mes de noviembre; en Chuquibambilla en diciembre los años 2021, 2023, 2025, 2031, 2032 y en noviembre del 2022, 2035, y 2036; en Crucero en diciembre del año 2031, 2034, y 2035, y en noviembre los años 2025, 2026, 2030, 2032, 2035 y 2038; en Ananea los años 2020, 2023, 2025, 2028, 2029, 2032, 2035 y 2037 en noviembre; en Azángaro en diciembre el año 2029, el año 2020 en el mes de noviembre; en los años 2025, y 2034 los meses de noviembre y diciembre (veranillo); y en Arapa en noviembre los años 2020, 2025, 2028, 2029, 2032, 2035; en los años 2023, 2033 y 2037 en noviembre y diciembre; en enero en los años 2022 y 2034. El calendario agrícola en base del modelo de pronóstico para los cultivos de pan llevar en la cuenca del río Ramis; debido a la diversidad de microclimas existentes a lo largo de la cuenca; las épocas de siembra varían de una subcuenca a otra.

Palabras clave: Cuenca Ramis, elementos climáticos, modelo ARIMA, pronostico, sequia meteorológica



ABSTRACT

The consequences of the drought are: loss of crops, livestock mortality, proliferation of pests and diseases; problems that affect small agricultural producers, as well as urban populations. The research problem is the ignorance of future meteorological droughts in the Ramis basin to propose an agricultural calendar, in addition to the ignorance of the influence of climatic variability in the presence of meteorological droughts in the Ramis basin. The general objective was to forecast meteorological droughts based on the climatic elements using the ARIMA model in the Ramis river basin, based on the variability of precipitation and temperature, a spatio-temporal characterization was carried out and an agricultural calendar was established for crops of bread take away. The general hypothesis is that the variabilities of the climatic elements directly influence the presence of meteorological droughts. The series of historical data on rainfall and temperatures from the meteorological stations was used: Llally, Chuquibambilla, Crucero, Ananea, Azángaro and Arapa; the consistency test was done; SAMS software was used. The presence of meteorological droughts has been forecast for the years 2022, 2028, 2030, 2033, 2035, 2036, and 2037 in November; in Chuquibambilla there will be drought in December in the year 2021, 2023, 2025, 2031, 2032 and in November 2022, 2035, and 2036; in Crucero the presence of drought in December in the year 2031, 2034, and 2035, and in November the years 2025, 2026, 2030, 2032, 2035 and 2038; in Ananea the years 2020, 2023, 2025, 2028, 2029, 2032, 2035 and 2037 in the month of November; and in Azángaro the presence of drought is forecast in December in 2029, in 2020 in November; in the years 2025 and 2034 there will be meteorological droughts in the months of November and December (summer); and in Arapa, there will be drought in November in the years 2020, 2025, 2028, 2029, 2032, 2035; in the years 2023, 2033 and 2037 there will be continuous droughts in November and December; in January in the years 2022 and 2034 there will be a meteorological drought. The agricultural calendar based on the forecast model for bread crops to carry in the Ramis river basin; due to the diversity of existing microclimates throughout the basin; planting times vary from one sub-basin to another.

Keywords: Ramis basin, climatic elements, ARIMA model, forecast, meteorological drought.



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

En la región de Puno, los estudios sobre la variabilidad climática son importantes para el diseño y manejo integral de los sistemas de recursos hídricos. Los beneficios sociales derivados de estos sistemas están directamente relacionados con la confiabilidad de las estadísticas climáticas. La organización de los recursos hídricos ha sido planeada y son operados sobre el supuesto de la existencia de similitud entre las características climáticas observadas más de 30 años. Uno de los aspectos más críticos de la planificación para el uso racional de los recursos hídricos es el problema de la sequía en las tierras. Lo que motiva la carencia de lluvias en las vertientes del lago Titicaca son las alteraciones y anomalías del clima se tiene como consecuencia a las sequias (INRENA, 2003).

Recientemente, se ha deliberado referente al posible crecimiento en grandes superficies del planeta de los sucesos secos y lo que posiblemente causaría este fenómeno. Con la finalidad de entender y comprender de manera objetiva sobre la presencia de sequias es necesario estudiar series de temperatura y precipitación a largo plazo en regiones con condiciones climático-hidrológicas no homogéneas en el altiplano peruano. A lo largo de la historia se ha observado que la sequía representa una amenaza para la humanidad. a menudo ha sido la causa de migraciones masivas, el hambre, la guerra e incluso ha cambiado el curso de la historia misma. En la actualidad la sequía viene afectando de diferente forma a los habitantes de la tierra, y es conocido como el fenómeno natural que más consecuencias y afectaciones trae consigo en comparación de otros desastres naturales.



1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La sequía es, por lo tanto, uno de los desastres naturales que más costos causan y son espacialmente más extendidos (Bryant, 2005), afectando gran variedad de sectores económicos principalmente la agricultura. A nivel mundial, los reportes de la media aritmética anual de sequías se han aumentado desde la década de 1970 (Carvajal-Velez, 2008).

Asimismo, se prevé que con mayor evapotranspiración y menor precipitación el cambio climático influirá sobre los principales componentes del ciclo hidrológico, y según algunos autores esto terminaría en un incremento en la prolongación y duración de eventos de sequía (Leng, Tang, & Rayburg, 2015); según diversos estudios ha sobresalido la necesidad realizar planes para prevenir y moderar las sequías (Harding, Sangoyomi, & Payton, 1995).

Las sequías traen como consecuencia los efectos ambientales, que en la actualidad están desencadenando incendios forestales aun en lugares húmedos como en la amazonia de América del sur, esto se refleja en los últimos estudios realizados.(Brando, y otros, 2014), reducción de la producción de biomasa (Malhi, y otros, 2009).

Los estudios de las sequías son importantes en lugares donde la economía se da en función de los recursos hídricos, tal es el caso del Perú. La causa principal de la sequía es la ausencia de las precipitaciones pluviales sobre una determinada área, a lo que se le llama sequía meteorológica. Esta carencia de precipitaciones se extiende a través del ciclo hidrológico esto trae consigo la presencia de otro tipo de sequías, y como buen indicador para la evaluación de las sequías tenemos al índice de precipitación estandarizado (IPE), por su buena relación con lo hidrológico ecológico



y agrícola (Vicente-Serrano, Lopez-Moreno, Begueria, Lorenzo-Lacruz, Azurin-Molina, & Moran-Tejeda, 2012).

En la región de Puno uno de los aspectos más críticos para una buena planificación del uso de los recursos hídricos es la sequía, debido a que este fenómeno natural es impredecible en el tiempo y espacio. La sequía es el acontecimiento que deriva de las alteraciones y anomalías del clima que trae consigo la carencia de presencia de lluvias en las vertientes de las montañas occidentales a 2200 msnm, en los valles interandinos y en la cuenca del lago Titicaca a 3820 msnm, nos referimos a estos lugares porque allí se ha producido pérdida de vidas humanas y económicas (Ticona, 2017).

Sin embargo, las sequías se presentan en casi todas las zonas climáticas, aun cuando 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 de agua, del uso de suelo y de las actividades agrícolas que se desarrollan.

En zonas con limitaciones o excesos hídricos y alta variabilidad climática, los productores enfrentan diariamente el reto de producir al menos para la subsistencia de sus familias; el cambio climático agudiza aún más esta situación (Belizario, 2015). Para sobrevivir en este ambiente socio ambiental y biofísico, recurren a diferentes estrategias, prácticas y tecnologías. Así los productores se adaptan, por ejemplo, con el ajuste de las fechas de siembra, empleo de variedades con ciclos diferenciados, uso de cultivos resistentes o tolerantes, riego, y manejo de cultivos. Se han planteado los siguientes interrogantes (UNEP, 1996):



1.2. ENUNCIADOS DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿De qué manera influyen la variabilidad climática en la presencia de las sequías meteorológicas en la cuenca del río Ramis?

1.2.2. Problemas específicos

¿De qué manera influye la variabilidad de precipitación y temperatura en la presencia de sequias meteorológicas utilizando el modelo de ARIMA en la cuenca del río Ramis?

¿Cómo influye la variabilidad climática en la caracterización espacio temporal de las sequias meteorológicas en la cuenca del río Ramis?

¿De qué manera la variabilidad climática determina el calendario agrícola para los cultivos de pan llevar en la cuenca del río Ramis?

1.3. JUSTIFICACIÓN

La sequía es los fenómenos meteorológicos que más estragos causa a nivel ecológico, económico y social en el mundo entero. Es un fenómeno extremo que consiste en la nula precipitación o en su reducción por debajo del promedio durante un ciclo de tiempo. Los efectos destructivos como la intensidad, severidad y duración de las sequias, se deben al cambio climático. La trascendencia de la investigación se ubica en la caracterización de las sequia meteorológicas en el tiempo y en el espacio en la cuenca del río Ramis, con la intención de evaluar la severidad de este fenómeno y formular una propuesta de planificación agrícola, los mismos que pueden ser adaptados por los agricultores (INRENA, 2003)



En la región de puno uno de los aspectos más críticos para una buena planificación del uso de los recursos hídricos es la sequía, dividido a que este fenómeno natural es impredecible en el tiempo y espacio. La sequía es el acontecimiento que deriva de las alteraciones y anomalías del clima que trae consigo la carencia de presencia de lluvias en las vertientes de las montañas occidentales a 2200 msnm, en los valles interandinos y en la cuenca del lago Titicaca a 3820 msnm, nos referimos a estos lugares porque allí se ha producido pérdidas humanas y económicas; Sin embargo, las sequías se presentan en casi todas las zonas climáticas, aun cuando 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).

1.4. ANTECEDENTES

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 de 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 envergadura del problema que trae como consecuencia riesgos al exponer a las poblaciones humanas y al ecosistema (TDPS, 2011).

Los gases de efecto de invernadero, determinados por el protocolo de Kyoto,



son bióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluoro y hexafluoruro de azufre; tienen la peculiaridad de ser eficientes en atrapar el calor que se emite en la extensión de la tierra, siendo sensible ante cualquier incremento que trae como consecuencia modificar las propiedades de la atmósfera y por consecuencia del clima (CICC, 2007; Garibaldi et al., 2006).

De los resúmenes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, en su cuarto informe de evaluación 2007 (IPCC, 2007) denotan que: en los últimos cien años (1906-2006), la temperatura mundial ha sufrido un incremento del orden de 0.74 °C, y once de los doce años más cálidos han tenido lugar en 1995-2006; aumentó en el nivel del mar de 17 cm durante el siglo XX por el derretimiento de los casquetes y capas de hielo en un buen número de montañas, mares y en las regiones polares; otros cambios más regionales se reflejan en las alteraciones en la salinidad de los océanos, temperaturas y en el hielo del Ártico, frecuencia de olas, régimen de vientos, sequías, lluvias, de calor e intensidad de ciclones tropicales.

El Centro de Hadley del Reino Unido para la predicción y la investigación del clima (United Kingdom's Hadley Centre for Climate Prediction and Research) señalan una tendencia a la baja continua y significativa del hielo del mar Ártico por lo menos los últimos cincuenta años, esto es, la extensión de hielo (en millones de km²) de septiembre del 2007 es casi 50% más bajo que durante los años 50's y los años 60.

En base a un análisis de los niveles anuales del lago Titicaca se encontró relaciones entre los niveles mínimos del lago y la ocurrencia de fenómenos del Niño (Antunez de Mayolo, 1983). Además, Bernard Fracou – Luis Pizarro (1985), manifiesta la existencia de 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 Sur 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.

Guerrero y Yevjevich (1975), presentan 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.

McKee. et al. (1993) introdujeron un índice alternativo al popular PSDI en Colorado, Estado Unidos, al cual se le denominó índice de precipitación estandarizada (IPE). En él los registros históricos de precipitación total mensual en agrupaciones mensuales y estacionales, son ajustados a una función de distribución de probabilidad Gamma Incompleta que posteriormente se normaliza empleando función normal inversa (denominada Gaussiana). En los últimos años el IPE a tomando 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 et al. (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. Partieron de 119 años de registros de escurrimiento anuales, que completaron con data generada sintéticamente por medio de un modelo estocástico de corta duración, seguido determinaron el periodo de retorno y el riesgo de ocurrencia de sequías. Adicionalmente, usaron un algoritmo matemático para determinar la distribución de los eventos secos en función del periodo de retorno.

Quispe (2007) citado por Ticona, (2017), realizó un análisis espacial y 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 IPE -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.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

Pronosticar sequias meteorológicas en función de los elementos climáticos utilizando el modelo ARIMA en la cuenca del río Ramis.

1.5.2. Objetivos específicos

Pronosticar sequias meteorológicas en función de la variabilidad de precipitación utilizando el modelo de ARIMA en la cuenca del río Ramis



Realizar la modelización y caracterización espacio temporal de las sequías meteorológicas pronosticadas utilizando el modelo ARIMA en la cuenca del río Ramis.

Establecer el calendario agrícola en base al pronóstico encontrado para los cultivos de pan llevar en la cuenca del río Ramis

1.6. HIPÓTESIS

1.6.1. Hipótesis general

Las variabilidades de los elementos climáticos influyen directamente en la presencia de las sequías meteorológicas en la cuenca del río Ramis

1.6.2 Hipótesis específicas

La variabilidad de precipitación y temperatura influye directamente en la presencia de sequías meteorológicas en la cuenca del río Ramis

Los factores climáticos influyen directamente sobre la caracterización espacio temporal de las sequías meteorológicas en la cuenca del río Ramis.

Los elementos climáticos permiten establecer el calendario agrícola en base del modelo de pronóstico encontrado para los cultivos de pan llevar en la cuenca del río Ramis.



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. PROCESOS ESTOCÁSTICOS

Luque (2018), reporta en su investigación que en general, se representa un proceso estocástico (PE) como $\{Z(t): t \in T\}$, donde t representa el instante de tiempo, $Z(t)$ es una variable aleatoria llamada estado del proceso en el instante t y T es el conjunto de índices denominado espacio paramétrico de PE. Por lo tanto, un PE es un modelo matemático caracterizado por una colección de variables aleatorias ordenadas, en el tiempo y en el espacio, y definidas en un conjunto, continuo o discreto, que describe la evolución de algún fenómeno con características aleatorias (Muller, 2007). Si el conjunto T es un intervalo finito o infinito de números reales, se dice que $\{Z(t): t \in T\}$ es un proceso continuo. Por otra parte, si T es un conjunto finito o contable, como por ejemplo $T = \{1,2, 3,\dots\}$ o $T = \{1,9,43,279\}$, se dice que PE es un proceso discreto (Barros, 2009). El espacio de estados de un PE es el conjunto de todos los posibles valores de variables $Z(t)$, que también puede ser discreto o continuo. La combinación de los posibles valores de T y $Z(t)$ conduce a cuatro clases de proceso estocástico (para más información véase (Barros, 2009)).

2.2. RUIDO BLANCO

Un PE discreto es llamado ruido blanco si es un proceso puramente aleatorio, es decir, si los $Z(t)$ constituyen una cadena de variables aleatorias idénticamente distribuidas e independientes. Un ruido blanco tiene la media, varianza constante y la función de auto-correlación nula en todos los retrasos k , es decir son totalmente descorrelacionadas. Presentan distribución normal de media cero y de desviación 1,



$Z(t) \sim N(0,1)$. Los procesos de ruido blanco aparecen en la elaboración de otros procesos más complejos, como, por ejemplo: los modelos de Box y Jenkins (BOX,1970).

Estos modelos tienen como propósito que los datos de series de tiempo puedan usarse en pronóstico (tarea a realizar en esta tesis). Es decir, el uso de las observaciones de una serie de tiempo disponible en el momento t Para predecir su valor en el tiempo $t + l$; Donde l se denomina horizonte de previsión o tiempo de avance (Douglas C. Montgomery, 2008). El horizonte de previsión es la cantidad de etapas de tiempo en el futuro para las cuales las previsiones deben producirse. Un método de pronóstico es un procedimiento que calcula $\hat{Z}(t)$, para el tiempo t a partir de valores pasados ($Z(t-1)$, $Z(t-2)$, $Z(t-3)$,...). Se han propuesto numerosos algoritmos de aprendizaje de máquina y estadísticos. Los modelos estadísticos estándar son los más predominantes en la literatura seguida por los modelos de redes neuronales artificiales de aprendizaje automático.

2.3. MODELO AUTORREGRESIVO INTEGRADO DE MEDIA MÓVIL (ARIMA)

Según Luque (2018), el modelo ARIMA que generalmente supera esta limitación mediante la introducción de un proceso de diferenciación que transforma efectivamente los datos no estacionarios en estacionarios (Conover, 1980). Esto se hace restando la observación en el periodo actual de la observación anterior. Por ejemplo, una diferenciación de primer orden se realiza reemplazando.

$$Z(t) \text{ por } Z_0(t) = Z(t) - Z(t-1).$$



Por lo tanto, el modelo ARIMA se denomina ARMA “Integrado” debido al modelo estacionario que se ajusta a los datos diferenciados que tienen que sumarse o integrarse para proporcionar un modelo para los datos originales no estacionarios. La forma general del proceso ARIMA (p,d,q) se describe como:

$$Z_0(t) = \nabla^d Z(t) = \phi_1 Z_0(t-1) + \dots + \phi_p \cdot Z_0(t-p) + \varepsilon_t + \theta_1 \cdot \varepsilon_{t-1} + \dots + \theta_q \cdot \varepsilon_{t-q} \quad (2.17)$$

Donde los parámetros p, d y q son números enteros no negativos que se refieren al orden de la parte autorregresiva, el grado de primera diferenciación implicada y el orden de la parte media móvil respectivamente. Esta capacidad para hacer frente al proceso no estacionario ha convertido el modelo ARIMA en uno de los enfoques más populares y ampliamente utilizados en la predicción de series temporales.

2.4. PRECIPITACIÓN

Se define a la cantidad de agua que cae al área terrestre el cual proviene de la humedad atmosférica, ya sea en estado sólido (escarcha, nieve, granizo) o en estado líquido (llovizna y lluvia). De todos los procesos meteorológicos la precipitación es una de las 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 (Aparicio, 1989).

2.5. SEQUÍAS

No se conoce un concepto universalmente aceptable de la sequía debido a la compleja naturaleza del fenómeno, encontrando más de 150 definiciones para las sequías, según la disciplina científica desde la que se analiza al fenómeno. Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM), manifiesta que respecto de las condiciones regulares o previstas de precipitación la sequía es una desviación



acumulativa, es decir, respecto de una media estadística o de un promedio a largo plazo. A través de la disminución de niveles de los embalses, altura de las lagunas subterráneas y de la disminución de caudales de ríos se manifiesta el déficit de lluvias, esto puede sobrevenir e en poco tiempo o puede tardar meses este déficit de precipitación puede sobrevenir en poco tiempo o tardar meses (OMM, 2006).

También es importante diferenciar entre las definiciones operacionales y conceptuales de la sequía (Wilhite & Glantz, 1985). Las definiciones conceptuales se formulan en términos generales para una comprensión global y establecimiento de políticas sobre sequías. Definiciones operacionales de sequía (por ejemplo, Agrícola o hidrológico) definen objetivamente los criterios sobre el inicio y fin de la sequía y severidad para una aplicación específica.

Conocida como el fenómeno natural que se extiende de manera irregular a través del tiempo y el espacio, la sequía tiene la particularidad de tener un lento desarrollo temporal y amplia cobertura espacial, su ocurrencia no provoca el colapso ni la falla destructiva de la infraestructura. Sin embargo, las operaciones de los recursos hídricos pueden muchas veces ser condicionadas de forma más exigente esto tendría graves consecuencias sociales y económicas (Fernandez, 1997).

Los impactos de las sequías generalmente se acumulan de forma gradual durante periodos de tiempo extensos, pudiendo durar incluso años después de que el evento haya terminado dificultando la determinación del inicio y el fin del evento. Los impactos de las sequías son de carácter no destructivos y se producen sobre áreas extensas, en comparación con los impactos causados por otros desastres naturales, por lo que es complicado cuantificar sus efectos.



La Organización Meteorológica Mundial refiere que la sequía es una etapa de tiempo con condiciones meteorológicas anormalmente secas, la causa grave del desequilibrio hidrológico se debe al tiempo prolongado por la falta de precipitaciones (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, se distingue 06 tipos de sequía (Subrahmanyam, 1967): meteorológica, climática, atmosférica, agrícola, hidrológica y de gestión hídrica. Considera que las definiciones existentes se agrupan en tres categorías fundamentales (Salas, J., 1986): 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, veinte días consecutivos sin llover). Aquella en la cual la sequía ocurre cuando la variable humedad se desvía de la normal, o de un valor medio, en un porcentaje especificado (por ejemplo, escorrentía menor que el 60 % de la media). Aquellas definiciones en las que la sequía ocurre cuando la variable humedad es insuficiente 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 determinado tiempo, con consecuencias relativamente moderadas. Sequía: carencia de agua de un tiempo prolongado, gran extensión de cobertura y con impactos importantes sobre la región (Paredes, Millano, & Guevara, 2008).



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. A esta deficiencia de la precipitación puede sumarse factores como una alta temperatura, presencia de fuertes vientos, una baja humedad relativa con una alta radiación solar, características del suelo y cobertura vegetal. Todo ello tiene en común el aumento de la evaporación y la transpiración que acentúa la disminución de la presencia de agua en la superficie terrestre y en el proceso del ciclo hidrológico.

2.6.1 Sequía meteorológica o climatológica

Es una manifestación de la desviación de las lluvias respecto a la media durante un tiempo determinado todo esto basado en datos climáticos. Ante la dificultad de establecer una duración y magnitud del déficit pluviométrico válidas para diferentes áreas geográficas, algunas definiciones de sequía optan por no especificar umbrales fijos. Por ejemplo, Palmer (1965) define sequía meteorológica como el “intervalo de tiempo, generalmente con una duración del orden de meses o años, durante el cual el aporte de humedad en un determinado lugar cae consistentemente por debajo de lo climatológicamente esperado o del aporte de humedad climatológicamente apropiado”, mientras que Russell et al. (1970) son más concisos: “Falta prolongada de precipitación, inferior a la media”.

2.6.2 Sequía edáfica o agrícola

Por ser el primer sector económico que resulta afectado por la escasez de precipitaciones, la agricultura adquiere una especial relevancia en relación con la



sequía. Así, se produce una sequía agrícola cuando no hay suficiente humedad en el suelo para permitir el desarrollo de un determinado cultivo en cualquiera de sus fases de crecimiento (Marcos, 2001).

Dado que la cantidad de agua es diferente para cada cultivo, e incluso puede variar a lo largo del crecimiento de una misma planta, no es posible establecer umbrales de sequía agrícola válidos ni tan siquiera para una única área geográfica. Aun así, Kulik (1962) se arriesga a ello, definiendo sequía agrícola como el “período durante el cual sólo hay 19 mm de agua disponible en los primeros 20 cm de suelo”.

Este tipo de sequía, por depender no sólo de las condiciones meteorológicas, sino también de las características biológicas del cultivo y las propiedades del suelo, no es equivalente a la sequía meteorológica. Si los niveles de humedad en el subsuelo son suficientes para proporcionar agua a un determinado tipo de cultivo durante el período que dure la sequía meteorológica, no llegará a producirse una sequía agrícola (Marcos, 2001).

2.6.3 Sequía hidrológica

Hace referencia a una deficiencia en el caudal o volumen de aguas superficiales o subterráneas (ríos, embalses, lagos, etc.). Al producirse un desfase entre la escasez de lluvias o nieves y la reducción del caudal de ríos o el nivel de lagos y embalses, las mediciones hidrológicas no pueden ser utilizadas como un indicador del inicio de la sequía, pero sí de su intensidad. A diferencia de la sequía agrícola, que tiene lugar poco tiempo después de la meteorológica, la sequía hidrológica puede demorarse durante meses desde el inicio de la escasez pluviométrica o, si las lluvias retornan en poco tiempo, no llegar a manifestarse. Por tanto, la secuencia temporal es: sequía



meteorológica, a continuación, sequía agrícola y, en último lugar, sequía hidrológica (Marcos, 2001).

La capacidad de gestionar los recursos hídricos hace que la sequía hidrológica no dependa exclusivamente del volumen de agua existente en los depósitos naturales o artificiales, sino que también es determinante la forma en que se emplea el agua embalsada Linsley et al. (1975) toman en consideración estos aspectos, al definir sequía hidrológica como el “período durante el cual los caudales son inadecuados para satisfacer los usos establecidos bajo un determinado sistema de gestión de aguas”.

2.6.4 Sequía socio económica

Se produce cuando la disponibilidad de agua disminuye hasta el punto de producir daños (económicos o personales) a la población de la zona afectada por la escasez de lluvias. Para hablar de sequía socioeconómica no es necesario que se produzca una restricción del suministro de agua, sino que basta con que algún sector económico se vea afectado por la escasez hídrica. La pujante presión antrópica sobre el recurso agua hace que cada vez sea mayor la incidencia de la sequía socioeconómica, con pérdidas económicas crecientes, incluso en el caso de una sequía meteorológica leve (Marcos, 2001).

2.7. 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); (Vicente-Serrano, Begueria, & Lopez-Moreno, A multiscalar drought index sensitive to global warming, 2010).

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), que para la presente investigación se empleará como IPE (en español). 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 3 principales índices, incluyendo las ventajas y desventajas de su aplicación.

2.7.1. 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).

El PDSI responde a condiciones climáticas anormalmente secas o anormalmente húmedas. El PDSI se calcula sobre la base de los datos de precipitación y temperatura, así como del contenido de agua 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). Sus limitaciones incluyen los supuestos arbitrarios relacionados con los modelos de balance hídrico utilizados en el cálculo del PDSI. Por ejemplo, no existe un método universalmente 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).



2.7.2. Índice de Precipitación Estandarizado (IPE)

El IPE, recomendado por Guttman (1999), es uno de los índices de sequías meteorológicos más conocidos y ampliamente utilizados. El IPE 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 IPE 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 IPE ha sido extensamente utilizado porque puede ser calculado para una variedad de escalas temporales de manera relativamente sencilla. Esta versatilidad le permite al IPE 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).

Adicionalmente, el IPE requiere sólo de datos de precipitación, los cuales son usualmente disponibles en la mayoría de países. Este índice puede ser también aplicado consistentemente en diferentes jurisdicciones puesto que la metodología ha incorporado la estandarización del propio índice. Además, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) recomienda el uso del IPE para determinar las sequías meteorológicas y para complementar los índices de sequías meteorológicas locales (Hayes, 2006).



2.7.3 Índice de Reconocimiento de Sequía (RDI)

Tsakiris and Vangelis (2005) observaron que debido a que las sequías meteorológicas se manifiestan como un déficit hídrico, el enfoque puede estar en el balance hídrico (entrada - precipitación y salida - evapotranspiración potencial). Con base en esto, se propuso un nuevo índice de caracterización de la sequía, conocido como Índice de Reconocimiento de Sequía (RDI). El RDI se basa en la relación entre la precipitación y la 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 de este índice es que es calculado empezando al inicio de cada año para todas las escalas de tiempo. Para escalas de tiempo más pequeñas, el RDI no puede identificar todos los eventos de sequía que podrían ocurrir durante todo el año (por ejemplo. Escalas de 3 y 6 meses).

Se pueden obtener resultados muy significativos si el período de análisis coincide con la época de crecimiento de los principales cultivos en la zona de estudio u otros períodos relacionados con etapas sensibles de crecimiento de los cultivos. 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 IPE, por lo que la interpretación de los resultados y los umbrales para determinar la magnitud de las sequías son similares para ambos casos.



2.8. 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 IPE se identificaron los eventos de sequía como los periodos de tiempo consecutivos con valores del IPE 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 IPE. El nivel del umbral permite además caracterizar un evento de sequía en base a sus propiedades de duración, intensidad, severidad y frecuencia (probabilidad de ocurrencia) que se definen a continuación:

2.9. DURACIÓN

La duración de un evento de sequía, se define como el periodo consecutivo e ininterrumpido de meses que dura un evento de sequía, registrado en un periodo de tiempo relativamente largo. Dependiendo de la región, la duración de la sequía puede variar entre una semana y algunos años. Debido a la naturaleza dinámica de la sequía, una región puede experimentar temporadas húmedas y secas simultáneamente al considerar varias escalas temporales (Gálvez, 2017).

2.10. INTENSIDAD

Es un parámetro muy usual que se utiliza en la caracterización de sequías, algunos autores la calculan como la magnitud entre la duración de la sequía y corresponde entonces a la intensidad promedio, en otros casos se define como el



máximo valor del déficit ocurrido durante el evento de sequía, conocido como intensidad máxima (Gálvez, 2017).

2.11. 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 (Gálvez, 2017).

2.12. FRECUENCIA

Es la probabilidad de ocurrencia de sequía o de una determinada intensidad de sequía (Moderada, Severa o Extrema) en un periodo de tiempo (Gálvez, 2017).

2.13. CLIMA Y SISTEMA CLIMÁTICO

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) (Benavides y León, 2007).



2.14. 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). Es decir, las radiaciones infrarrojas son absorbidas y re-emitidas en todas las direcciones por las moléculas de los GEI. El efecto provocado es el calentamiento de la atmósfera de la Tierra y las capas inferiores de la atmósfera, fenómeno natural conocido como “efecto invernadero”, el cual condiciona rangos térmicos confortables que hacen posible la vida en nuestro planeta. Siendo el efecto invernadero un fenómeno natural y vital. Sin el efecto invernadero, la Tierra sería una roca fría en el espacio, y sería muy difícil pensar en la vida en el planeta tal como la conocemos.

2.15. 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 3 décadas o más. De acuerdo al Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC 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).



2.16. 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:

- Aumento lineal de la temperatura media global (promedio de la temperatura de la superficie terrestre y oceánica) de 0.85 °C [0.65 °C a 1.06 °C] durante el período 1850-2012. Siendo las tres últimas décadas (1983-2012) los más cálidos en los últimos años (IPCC, 2013).
- Disminución de la masa de los mantos de hielo de Groenlandia y la Antártida, un retroceso en los glaciares y una reducción muy importante del hielo del Ártico (IPCC, 2013).
- Aumento del nivel medio del mar de 0.19 metros [0.17 a 0.21] entre 1901 y 2010. Siendo acelerado la tasa de aumento del nivel del mar en los dos últimos siglos. Así, el nivel global medio del mar ha aumentado 1,7 mm/año en el periodo 1901 y 2010 y 3,2 mm/año entre 1993 y 2010 (IPCC, 2013).
- Probable aumento del número de las precipitaciones severas a partir de 1950 en más regiones que las que ha disminuido (IPCC, 2013).
- Persiste un nivel de confianza bajo sobre la tendencia global de las sequías y la actividad ciclónica, aunque con diferencias entre regiones. Por ejemplo, es muy probable que la frecuencia e intensidad de los ciclones tropicales más severos en el Atlántico norte se haya incrementado desde 1970 (IPCC, 2013).



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA

En la región de Puno se encuentra ubicada la cuenca del río Ramis, que se ubica geográficamente entre las coordenadas 271,888.00 (71°07'4,7") Este a 454,337.00 (69°25'26,4") Oeste y de los 8'290,627.00 (15°27'33,7") Sur a los 8'445,589.00 (14°03'26,6") Norte, que tiene su parte más elevada a 5,750 msnm (nevado de Ananea Chico) y el lugar más bajo a 3,812 msnm que confluye con el lago Titicaca, así mismo se le considera una de las cuenca más extensas que contribuye al lago Titicaca, teniendo una extensión de 14,706.00 km² y un perímetro de 982.00 km. (INRENA, 2003).

La cuenca del río Ramis tiene la forma de una hoya hidrográfica de fondo plano, su pendiente media es de 0.0007 por lo que en épocas de estiaje las velocidades del agua en el río son mínimas, esto favorece a que exista sedimentación y meandros en las zonas bajas de la cuenca. Posee una forma trapezoidal con una base menor que colinda con el lago Titicaca y su base mayor colinda con las cuencas de cruceo en dirección Sur-Este y con la cuenca de Llallimayo en dirección de Oeste-Sur. El número de orden de la cuenca es 7 obtenido con planos digitales a escala 1:100.000 y su altura media es de 4,292 msnm. (PELT) con una longitud total del río de 375.00km. (INRENA, 2003).

3.2. VÍAS DE COMUNICACIÓN

El medio de comunicación principal en la cuenca del río Ramis es la vía que une las capitales de las regiones Puno y Cusco, la cual tiene una longitud de 762.00

km dentro de la cuenca, esta se establece como un eje de desarrollo dado que pasa por los poblados de Calapuja, Pucara, Ayaviri, Chuquibambilla y Santa Rosa, se le atribuye como una vía de 2do orden con dirección de sur a norte, así mismo se tiene otra vía nombrada como interoceánica que une las capitales de las regiones Puno y Puerto Maldonado



Figura 1 Ubicación geográfica de la cuenca del río Ramis (Sistema TDPS)

3.3. HIDROGRAFÍA

Con una extensión de 14,706 km² y un perímetro de 982.00 km la cuenca del río Ramis es considerada una de las más extensas que aporta al lago Titicaca, su parte más elevada está a 5,750 msnm en el nevado de Ananea Chico y el lugar más bajo a



3,812 msnm que confluye con el lago Titicaca. La cuenca del río Ramis tiene la forma de una hoya hidrográfica de fondo plano, su pendiente media es de 0.007 por lo que en épocas de estiaje las velocidades del agua en el río son mínimas, esto favorece a que exista sedimentación y meandros en las zonas bajas de la cuenca (INRENA, 2003).

Tiene forma trapezoidal con una base menor que colinda con el lago Titicaca y su base mayor colinda con la cuenca de crucero en dirección Sur-Este y con la cuenca de Llallimayo en dirección de Oeste-Sur. El número de orden de la cuenca es 7 obtenido con planos digitales a escala 1:100.000 y su altura media es de 4,292.00 msnm. (PELT) con una longitud total del río de 375.00 km. (INRENA, 2003).

Por su topografía plana la cuenca dio origen a diversas lagunas las cuales son alimentados por los deshielos de los nevados y otras por las precipitaciones pluviales y escorrentías, es por eso que representa un potencial hídrico para su regulación. En general la cuenca presenta textura fina a media, y en algunas zonas presenta drenaje desordenado por sus bajas pendientes, esta fue observada en un plano a escala 1:100,000. (INRENA, 2003).

3.4. CUENCAS E INTERCUENCAS TRIBUTARIAS

Con el objetivo de representar la cuenca en cuencas menores e intercuencas se dividió en ocho cuencas menores tenido como resultado las siguientes cuencas: Crucero, Nuñoa, Santa Rosa, San José, Llallimayo y las intercuencas de: Ramis, Azángaro y Ayaviri y las que se muestran en la siguiente figura

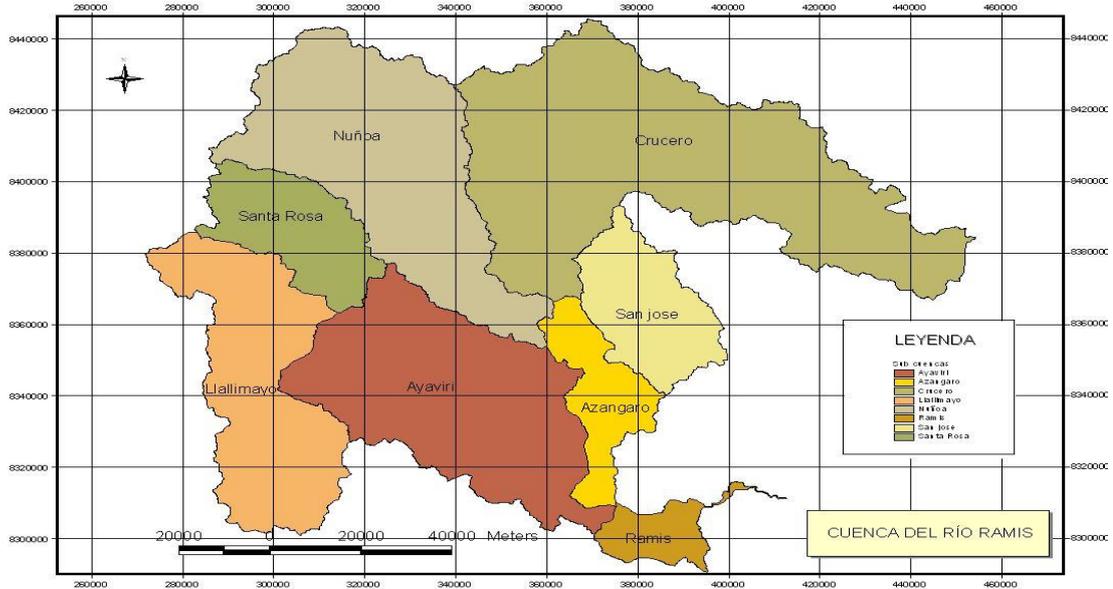


Figura 2. Mapa de las intercuenas del río Ramis

3.4.1. Cuenca Crucero

Con una extensión de 4,396.00 km² y un perímetro de 462.00 km, la cuenca Crucero posee su parte más alta a 5,750 msnm la que se encuentra en el nevado de Ananea Chico y la más baja a 3,869 msnm, que coincide con el río Nuñoa, y está ubicada entre las coordenadas en el Este de 339,513.00 a 454,336.00 y en el Norte de 8°366,395.00 a 8°445,589.00 (INRENA, 2003).

Durante su recorrido el río principal es denominado con diferentes nombres, es así que en el lugar más alto es llamado río Grande (confluencia de los ríos Ananea y San Miguel), a media longitud llamado río Carabaya y por último en su parte más baja llamado río Crucero, teniendo una longitud total de 219 km con una pendiente máxima de 1.5% en los lugares más altos y una pendiente mínima de 0.13% en los lugares más bajos, y su dirección es de Noreste, Suroeste y Sur, con una forma triangular en su parte más baja, cuadrada en su parte media y rectangular en su parte más alta. El número de orden que se le atribuye a la cuenca es seis (6) y su altura media es de



4,459.00 msnm. Según el plano a escala 1:100,000, así mismo esta cuenca presenta una textura media (INRENA, 2003).

Como ríos principales en la cuenca Crucero se tiene al río Ajoyani, río San Juan, río Cecilia, río Billón, río Antauta, río Inambari y como lagunas más importantes tiene a: Pacharí, Saracocha, Aricoma, Rinconada, Saytococho, Casa Blanca, Sillacunca, esta última represada, y Ticllacocha. Como principales nevados tenemos: nevado Ananea Chico, nevado Callejón y nevado Ananea Grande. El promedio total anual de la precipitación de la cuenca Crucero es de 762.00 mm y que se reparte de forma des equitativa durante el año teniendo las mayores precipitaciones desde el mes de noviembre hasta el mes de abril. Según la estación hidrométrica Limnimétrica de Sillota (Puente Sillota) el caudal máximo medio mensual del río Crucero es de 468.37 m³/s en el mes de marzo de 1999 y el caudal mínimo medio mensual de 0.44 m³/s para el mes de setiembre de 1998 (INRENA, 2003).

3.4.2. Intercuenca de Azángaro

Con una extensión de 676.00 km² y un perímetro de 177.00 km, la intercuenca Azángaro tiene su parte más alta a 4,560.00 msnm la que se encuentra en el cerro Veluyo y la más baja a 3,839 msnm en donde confluye con río Ayaviri, esta intercuenca está ubicada entre las coordenadas en el Este de 357,851.00 a 386,192.00 y en el Norte de 8'308,975.00 a 8'367,970.00. El río principal de la intercuenca Azángaro tiene una longitud total de 96 km con una pendiente mínima de 0.015% en los lugares más bajos y 0.09% en los lugares más altos. tiene una dirección Sureste a Sur y es poseedora de una forma rectangular, con una altura media de 3,940 msnm y el número de orden que se le asigna a la cuenca es seis (6) (INRENA, 2003).



Como ríos principales en la intercuenca Azángaro se tiene a los siguientes ríos: río Arriomeromayo, río Yanamayo y el río Chuñojani y como lagunas más importantes tiene a la laguna Quearia, laguna Quequerani y laguna San Juan de Salinas. El promedio total de la precipitación anual de la intercuenca Azángaro es de 646 mm y que se reparte de forma des equitativa durante el año, se ha observado que durante los meses de noviembre hasta abril se presentan la mayor cantidad de precipitaciones. Según la estación hidrométrica Limnimétrica Azángaro (puente Azangaro) el caudal medio anual del río Azángaro es de 49.90 m³/s, variando de 144.20 m³/s en el mes de marzo a 5.70 m³/s para el mes de agosto (INRENA, 2003).

3.4.3. Cuenca de Llallimayo

Con un área total de 1,971 km² y un perímetro de 284 km, la cuenca de Llallimayo tiene su parte más alta a 5,327 msnm la que se encuentra en el nevado de Lamparasi y la más baja a 3,894 msnm en donde los ríos Llallimayo y Santa Rosa confluyen, por otra parte, la cuenca Llallimayo colinda con las cuencas de Coata, Apurímac, Ayaviri y Santa Rosa. La cuenca Llallimayo está ubicada entre las coordenadas en el Este de 271,887.00 a 314,201.00 y en el Norte de 8°300,863.00 a 8°385,821. El río principal de la cuenca tiene una longitud total de 88 km con una pendiente mínima de 0.16% en los lugares más bajos y 3.9% en los lugares más altos, tiene una dirección Este y es poseedora de una forma triangular con su base mayor en la línea que une las lagunas de Ananta y Chullpia y como vértice su salida al río Ayaviri en el sector llamado Chuquibambilla. El número de orden que se le asigna a la cuenca es seis (6) y con una altura media de 4,415.00 msnm (INRENA, 2003).

El promedio total de la precipitación anual de la cuenca Llallimayo es de 838.00 mm que se reparte de forma des equitativa durante el año teniendo las mayores



precipitaciones en los meses de noviembre a abril. Según la estación hidrométrica Limnimétrica denominada Bocatoma Lllali el caudal medio anual del río Lllallimayo es de $26.0 \text{ m}^3/\text{s}$, variando de $90.20 \text{ m}^3/\text{s}$ en el mes de febrero a $3.0 \text{ m}^3/\text{s}$ para el mes de agosto, por otra parte, presenta una textura media a fina (INRENA, 2003).

3.4.4. Intercuenca del Ramis

Con una extensión total de 348.00 km^2 y un perímetro de 140.00 km , la intercuenca Ramis tiene su parte más alta a $4,400 \text{ msnm}$ la que se encuentra en el cerro llamado Iniquito y la más baja a $3,810 \text{ msnm}$ en donde el río Ramis desemboca en el lago Titicaca. La intercuenca Ramis está ubicada entre las coordenadas en el Este de $370,496.00$ a $412,783.00$ y en el Norte de $8'290,626.00$ a $8'315,898.00$. El río principal de la intercuenca tiene una longitud total de 60.00 km con una pendiente media de 0.05% , tiene una dirección de Oeste a Sur-Este y es poseedora de una forma rectangular (ATDR-Ramis, 2008).

El promedio total de la precipitación anual de la intercuenca Ramis es de 595.00 mm que se reparte de forma equitativa durante el año, teniendo las mayores precipitaciones en los meses de noviembre a abril. Según la estación hidrométrica limnimétrica de Ramis (puente Ramis) el caudal medio anual del río Ramis es de $72.60 \text{ m}^3/\text{s}$, variando de $209.80 \text{ m}^3/\text{s}$ en el mes de febrero a $9.40 \text{ m}^3/\text{s}$ para el mes de setiembre, por otra parte, la intercuenca muestra un drenaje desordenado según lo observado a planos a escala $1:100,000$, asimismo, el número de orden que se le asigna a la cuenca es siete (7) con una altura media de $3,856 \text{ msnm}$ (INRENA, 2003).

3.5. INFORMACIÓN CLIMÁTICA Y ECOLÓGICA

Las características climatológicas (termo- pluviales) para el departamento de Puno asumen un rol trascendental ya que son causa de la existencia de graves problemas, representados principalmente por la sequías y heladas. El clima general corresponde al tipo semi seco y frío, con estaciones de otoño e invierno carentes de lluvias y sin variaciones térmico invernal definido, sin embargo, es posible establecer 04 variantes climáticas que, si bien no difieren significativamente dentro del patrón climático adquieren gran importancia (TDPS, 2011).

3.6. INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA

Para efectos de realizar el análisis se trabajó en ocho estaciones meteorológicas ubicadas dentro de la cuenca Ramis. En la siguiente tabla 1 se muestra las estaciones meteorológicas utilizadas.

Tabla 1. Estaciones meteorológicas utilizadas de la cuenca del río Ramis

Estación	Nombre	Estación	Nombre
1	Llally	5	Crucero
2	Chuquibambilla	6	Ananea
3	Orurillo	7	Azángaro
4	Nuñoa	8	Arapa

Fuente. Elaboración en base a información obtenida de SENAMHI

La sequía meteorológica se define como el periodo en el cual la precipitación es menor que el valor medio. A continuación, se presenta este análisis para el período de registro histórico.



3.7. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DEL MODELO ARIMA

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

Desde un 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

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 (AutoRegresive 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).

3.7.2. Pasos a seguir para el análisis de datos

1. Toma de datos: Se recomienda contar con cincuenta (50) o más datos, y se recomienda, trabajar entre seis y diez años completos en el caso de series mensuales.



2. Representación gráfica: para decidir sobre la estacionalidad Será de gran ayuda contar con un gráfico de la serie. En ocasiones, para juzgar sobre la estacionalidad de la serie se utilizan medias y desviaciones típicas por sub periodo.
3. Transformación previa de la serie: será necesario una transformación logarítmica aun cuando la serie no sea estacionaria en varianza. no obstante, la transformación logarítmica es muy frecuente incluso en series con dispersión relativamente constante en el tiempo. Una práctica habitual es ensayar con la serie original y en logaritmos y comprobar resultados.
4. Eliminación de la tendencia: La existencia o no de la tendencia indica la observación del grafico de la serie. Una tendencia lineal será corregida tomando primeras diferencias, que será el caso más frecuente. Una tendencia no lineal suele llevar en la práctica al uso de dos diferencias como mucho.
5. Identificación del modelo: Consiste en determinar el tipo de modelo más adecuado, esto es, el orden de los procesos autorregresivos y de medias móviles de las componentes regular y estacional. Técnicamente esta decisión se toma en base a las funciones de autocorrelación (FAC) y autocorrelación parcial (FAC parcial), tanto en la parte regular como estacional. Es habitual terminar eligiendo entre los procesos más simples AR(1), AR(2), MA(1), MA(2) y ARMA(1,1), tanto en la parte regular como estacional. En caso de duda pueden seleccionarse varios modelos alternativos que serán estimados y contrastados posteriormente, para definir finalmente el modelo adoptado.
6. Estimación de los coeficientes del modelo: Decidido el modelo, se procede a la estimación de sus parámetros, dado que se trata de un procedimiento iterativo de cálculo, pueden sugerirse valores iniciales.



7. Contraste de validez del modelo: Se utilizan distintos procedimientos para valorar el modelo o modelos inicialmente seleccionados: contraste de significación de parámetros, covarianzas entre estimadores, coeficiente de correlación, suma de cuadrados de errores, etc.
8. Análisis detallado de los errores: Se tendrán en cuenta las diferencias históricas entre valores reales y estimados por el modelo para su valoración final. Hay que verificar un comportamiento no sistemático de los mismos, así como analizar la posible existencia de errores especialmente significativos.
9. Selección del modelo: En base a los resultados de pasos anteriores, se decide sobre el modelo adoptado.
10. Predicción: El modelo seleccionado se utilizará como fórmula inicial de predicción (Box & Jenkins, 1970).

3.7.3. 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 dado son 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)

Una serie temporal estacionaria es descrita por un modelo de medias móviles MA. en donde el valor actual se puede predecir partiendo de la componente aleatoria de este momento y en menor medida, de los impulsos aleatorios anteriores El modelo ARIMA(0,0,1), también denotado por MA(1), viene dado por 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 autoregresiva, y es invertible si lo es su componente de medias móviles.

Un modelo ARMA(p,q) es estacionario si las raíces del polinomio definido por $(1 - \phi_1B - \phi_2B^2 - \dots - \phi_pB^p)$ 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 definido mediante $(1 - v_1 B - v_2 B^2 - \dots - v_p B^p)$ 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:

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

Un modelo ARIMA(p, d, q) permite describir una serie de observaciones después de que hayan sido diferenciadas d veces, a fin de extraer las posibles fuentes de no estacionalidad. Esta fórmula se puede aplicar a cualquier modelo. Si hay alguna componente p, d, q, igual a cero, se elimina el término correspondiente de la fórmula general. Los modelos cíclicos o estacionales son aquellos que se caracterizan por



oscilaciones cíclicas, también denominadas variaciones estacionales. Las variaciones cíclicas a veces se superponen a una tendencia secular.

Las series con tendencia secular y variaciones cíclicas pueden representarse mediante los modelos $ARIMA(p, d, q)(P, D, Q)$. 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:

$$ARIMA(0,1,1)(0,0,1)_{12}: (1 - B)X_t = (1 - v_1B^{12})(1 - \delta_{12}B^{12})$$

$$ARIMA(0,1,1)(0,1,1)_{12}: (1 - B)(1 - B^{12})X_t = (1 - v_1B^{12})(1 - \delta_{12}B^{12})$$

$$ARIMA(2,1,0)(1,0,0)_{12} = (1 - \phi_1B - \phi_2B^{12})(1 - \Omega_1B^{12})(1 - B)X_T = a_t$$

$$ARIMA(1,1,1)(2,1,1)_{12}: (1 - \phi_1B)(1 - \Omega_1B^{12} - \Omega_2B^{24})(1 - B^{12})(1 - B)X_t \\ = (1 - v_1B)(1 - \delta_{12}B^{12})a_t$$



CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. LA INFLUENCIA DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA EN LA PRESENCIA DE SEQUIAS METEOROLÓGICAS.

En esta investigación se ha decidido trabajar con la sequía meteorológica esto debido a que se le atribuye ser la causante de otros tipos de sequias como es la agrícola e hidrológica. A pesar que se abordan aspectos agrícolas, la condición derivada de un déficit marcado y permanente de lluvia que influye en el rendimiento de los cultivos en las superficies agrícolas y en las características del suelo; sin embargo, la sequía agrícola depende de la cantidad del agua precipitada o almacenada en el suelo y del uso que se le da (Colotti, Cedeño, & Montañez, 2013).

4.1.1. Aplicación del modelo ARIMA(p,d,q) estación Llally

En el Tabla 2 podemos observar que $r^2 = 87.13\%$ de coeficiente de determinación es así que podemos manifestar que hay una buena autocorrelación entre los valores de la serie actual se ven afectados autocorrelacionados con los valores de la serie anterior de precipitaciones medias mensuales; el promedio general de la variable dependientes es de 68.86 mm la cual como equivalencia muestra 688.60 m³/ha. para la presente estación meteorológica.

Tabla 2. Resultado de los coeficientes de covariancia por el método ARIMA utilizando los estimadores de máxima verosimilitud estación meteorológica Llally

Variable	Coefficiente	Error estándar	t-estadística	Probabilidad
C	68.90193	19.17587	3.593158	0.0004
AR(1)	0.028386	0.121059	0.234484	0.8148
AR(2)	-0.156438	0.122093	-1.281302	0.2012
AR(3)	0.812201	0.13411	6.056231	0.0000
SAR(12)	6.15E-06	3.08E-10	19982.67	0.0000
SAR(24)	0.999994	3.37E-05	29702.47	0.0000
MA(1)	-0.10232	0.105732	-0.967729	0.3340
MA(2)	0.233197	0.102482	2.275485	0.0236
MA(3)	-0.914765	0.138923	-6.584707	0.0000
SMA(12)	-0.000816	6.01E-05	-13.56794	0.0000
SMA(24)	-0.999057	2.98E-05	-33499.03	0.0000
SIGMASQ	653.0414	58.42525	11.17738	0.0000
R-squared	0.871298	Mean dependent var		68.85846
Adjusted R-squared	0.866168	S.D. dependent var		71.35637
S.E. of regression	26.1043	Akaike info criterion		9.660991
Sum squared resid	188075.9	Schwarz criterion		9.813615
Log likelihood	-1379.183	Hannan-Quinn criter.		9.722153
F-statistic	169.8624	Durbin-Watson stat		2.043149
Prob(F-statistic)	0.0000			

Es de suma importancia esclarecer que el ARIMA(p,d,q), es un modelo estocástico en el cual intervienen una serie de tiempo autoregresiva integrada de media móvil. Donde p representa el número de términos autoregresivos, las veces que la serie debe ser diferenciada para hacerla estacionaria y q representa el número de términos de la media móvil invertible. En la Tabla 2 se expresan los resultados de los coeficientes de covariancia que se han obtenido haciendo uso del proceso de ARIMA utilizando los estimadores de máxima verosimilitud estación meteorológica para la estación meteorológica de Llally

En los modelos AR (Modelos Autorregresivos) de primero AR (1) y segundo AR(2) orden, se obtuvieron coeficientes 0.028386 y -0.156438 respectivamente, los signos explican positivo indica relación directa y signo negativo indica relación inversa; de acuerdo a la probabilidad $P \leq 0.01$ son superiores con valores AR(1)=0.8148 y AR(2)=0.2012, con t estadísticos 0.2345 y -1.281302 respectivamente que estos valores indican que estadísticamente no son significativos, es decir que no existe autocorrelación. Sin embargo, con el AR(3) con coeficiente



0.8122 y la probabilidad que se obtuvo fue de $P=0.000$ que en comparación con la probabilidad $P \leq 0.01$ es inferior la misma que indica alta significancia estadística, la misma que es ratificada por la $t=6.056231$ que es superior al número dos (2).

Referente al modelo autoregresivo estacional de primer orden SAR(12) y el modelo autoregresivo estacional de segundo orden SAR(24), donde los valores de la serie actual se ven afectados por los valores de la series anteriores separados por uno o más períodos estacionales (período estacional de 12 y período estacional de 24) respectivamente, cuyos coeficientes son acompañados de signos positivos las cuales indican relación directa y de acuerdo a la probabilidad $P \leq 0.01$ es de alta significancia estadística con valores de t estadístico muy elevados los mismos que ratifican la alta significancia estadística.

Los modelos de medias móviles de primer orden MA(1), segundo orden MA(2) y de tercer orden MA (3), para los casos de (1) y (2) estadísticamente no son significativos, sin embargo para el caso (3) existe alta significancia estadística la cual indica que existe una autocorrelación, donde los valores de la serie actual se ven afectados por los valores de la series anteriores. Para el caso de los modelos de medias móviles estacionales de primer orden SMA(12) y las medias móviles estacionales de segundo orden SMA(24) que corresponden a los períodos estacionales de 12 y 24 meses respectivamente; los signos que acompañan son negativos la cual indica una autocorrelación inversa, de acuerdo a la probabilidad de $P \leq 0.01$ donde muestra alta significancia estadística es decir existe una buena autocorrelación entre los valores de la serie actual se ven afectados inversamente por los valores de la series anteriores.

Pronóstico de sequías en la estación meteorológica Llally

Se utilizó el periodo histórico de 1994 a 2009. Para el pronóstico del 2019 al 2038.

A continuación, se muestra el pronóstico de sequías del año 2019 al 2038.

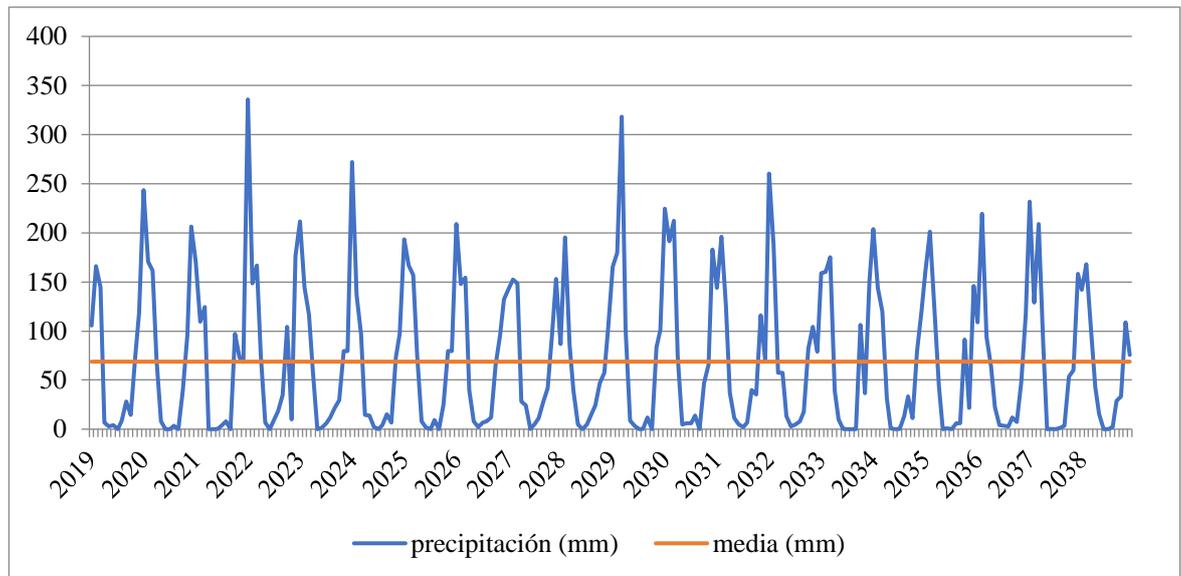


Figura 3. Precipitación pronosticada para estación Llally

En el altiplano de Puno, el fenómeno de la sequía meteorológica se relaciona con la disminución de la precipitación pluvial que afecta al ecosistema y la economía. La sequía meteorológica es más frecuente en los periodos del inicio del calendario agrícola, en la región del altiplano. Entre 2000 y 2010 se informaron a nivel nacional 163 eventos de sequías, siendo mayor en la vertiente del Pacífico (con 127 eventos), seguidos por la vertiente del Titicaca (25 eventos) y la vertiente del Atlántico (11 eventos). Dichas sequías se han dado con distinta frecuencia, siendo mayor el número las de frecuencia anual y las que ocurren entre 3 y 9 años con 85 eventos y 70 eventos. La mayor cantidad de eventos reportados corresponden a los ocurridos entre el año 2000 al 2008 y el año 2010 con 73 y 62 (ATDR-Ramis, 2008).

Tabla 3. Numero de meses por año con sequia meteorológica pronosticado en estación Llally

Año	N	Año	N	Año	N	Año	N
2019	7	2024	7	2029	6	2034	7
2020	6	2025	6	2030	7	2035	7
2021	7	2026	7	2031	7	2036	8
2022	6	2027	7	2032	7	2037	7
2023	7	2028	8	2033	7	2038	7

Realizada el análisis por el periodo de doce meses del año, desde 2019 hasta 2038, es decir, considerando los años agrícolas y se efectuado el pronóstico mediante el modelo ARIMA se ha observado la presencia de las sequías meteorológicas por campañas agrícolas la presencia de sequía en el mes de diciembre en el año 2021, así también para los años 2022, 2028, 2030, 2033, 2035, 2036, y 2037 habrá presencia de la sequía, meteorológica en el mes de noviembre, este pronóstico se ha efectuado en base de series de datos de la estación meteorológica de Llally, por lo tanto, los agricultores y ganaderos de la zona deben tener mucha en cuenta para prevenir la presencia de veranillos que pueden causar daños agrícolas.

4.1.2. Aplicación del modelo ARIMA estación Chuquibambilla

En la Tabla 4 se aprecia que $r^2 = 73.67\%$ de coeficiente de determinación es así que podemos manifestar que existe una buena autocorrelación entre los valores de la serie actual se ven afectados autocorrelacionados con los valores de la serie anterior de precipitaciones medias mensuales; el promedio general de la variable dependiente es de 58.87 mm la cual como equivalencia muestra 588.70 m³/ha para la estación meteorológica de Choquebambilla.

Es importante aclarar que 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 coeficientes de covariancia se ha obtenido utilizando mediante el proceso de ARIMA aplicando los estimadores de máxima verosimilitud estación meteorológica para la estación meteorológica de Chuquibambilla.

Tabla 4. Resultado de los coeficientes de covariancia por el método ARIMA utilizando los estimadores de máxima verosimilitud con 313 iteraciones estación Chuquibambilla

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	58.66414	34.11347	1.719677	0.0858
AR(1)	0.720274	2.141321	0.336369	0.7367
AR(2)	0.323876	2.242253	0.144442	0.8852
AR(3)	-0.073267	0.047298	-1.549076	0.1217
AR(4)	-0.000182	0.124257	-0.001469	0.9988
SAR(12)	1.000000	4.96E-06	201713.9	0.0000
MA(1)	-0.635420	2.167391	-0.293173	0.7695
MA(2)	-0.312408	2.083218	-0.149964	0.8808
SMA(12)	-0.998892	0.000430	-2324.94	0.0000
SIGMASQ	961.1677	230.1072	4.177042	0.0000
R-squared	0.736659	Mean dependent var		58.87061
Adjusted R-squared	0.734133	S.D. dependent var		60.44633
S.E. of regression	31.16753	Akaike info criterion		9.792638
Sum squared resid	911186.9	Schwarz criterion		9.843845
Log likelihood	-4631.711	Hannan-Quinn criter.		9.812151
F-statistic	291.5476	Durbin-Watson stat		2.000678
Prob(F-statistic)	0.00000			

En los modelos AR (Modelos Autorregresivos) de AR(1), AR(2) AR(3) y AR(4), se obtuvieron coeficientes 0.7203, 0.3239, -0.073, y -0.000182 respectivamente, los signos explican positivo indica relación directa y signo negativo indica relación inversa; de acuerdo a la probabilidad $P \leq 0.01$ son superiores con valores AR(1)=0.7367, AR(2)=0.8852, AR(3)=0.1217, y AR(4)=0.9988 con t estadísticos valores menores que 2, las cuales indican que estadísticamente no son significativos, es decir, que no existe autocorrelación.

El modelo autorregresivo estacional de primer orden SAR(12), donde el valor de la serie actual se ven afectados por los valores de la series anteriores separados por uno o más períodos estacionales (período estacional de 12), cuyo coeficientes son acompañados de signos positivos las cuales indican relación directa y de acuerdo a la



probabilidad $P \leq 0.01$ es de alta significancia estadística con valores de t estadístico muy elevados los mismos que ratifican la alta significancia estadística. Los modelos de medias móviles de primer orden MA(1), segundo orden MA(2) y estos modelos (1) y (2) estadísticamente no son significativos, donde los valores de la serie actual no se ven afectados por los valores de la series anteriores. Para el caso de los modelos de medias móviles estacionales de primer orden SMA(12) que corresponden a los períodos estacionales de 12 meses, el signo que acompañan es negativos la cual indica una autocorrelación inversa, de acuerdo a la probabilidad de $P \leq 0.01$ donde muestra alta significancia estadística es decir existe una buena autocorrelación entre los valores de la serie actual se ven afectados inversamente por los valores de la series anteriores.

Pronostico de sequias en la estación meteorológica Chuquibambilla

El periodo histórico utilizado fue de 1939 a 2009. Se pronosticó del 2010 al 2038. Las sequías afectan severamente el sur del Perú, caracterizado por la escasez de lluvias que afectan directamente a los cultivos de la agricultura de secano, causando pérdidas de los cultivos y ganados. El Altiplano de Puno es la zona con mayor vulnerabilidad a las sequías. Las sequías afectan también al abastecimiento de agua potable a las poblaciones urbanas y rurales. El efecto de una sequía en la parte baja de una cuenca en la vertiente del Pacífico (donde se asienta aproximadamente el 70% de la población nacional) pueden ser atenuados con el abastecimiento de agua subterránea, mediante pozos, pero si la sequía se prolonga por más de dos años, la napa freática se profundiza afectando el abastecimiento de agua, lo que afecta principalmente a la población más pobre (TDPS, 2011).

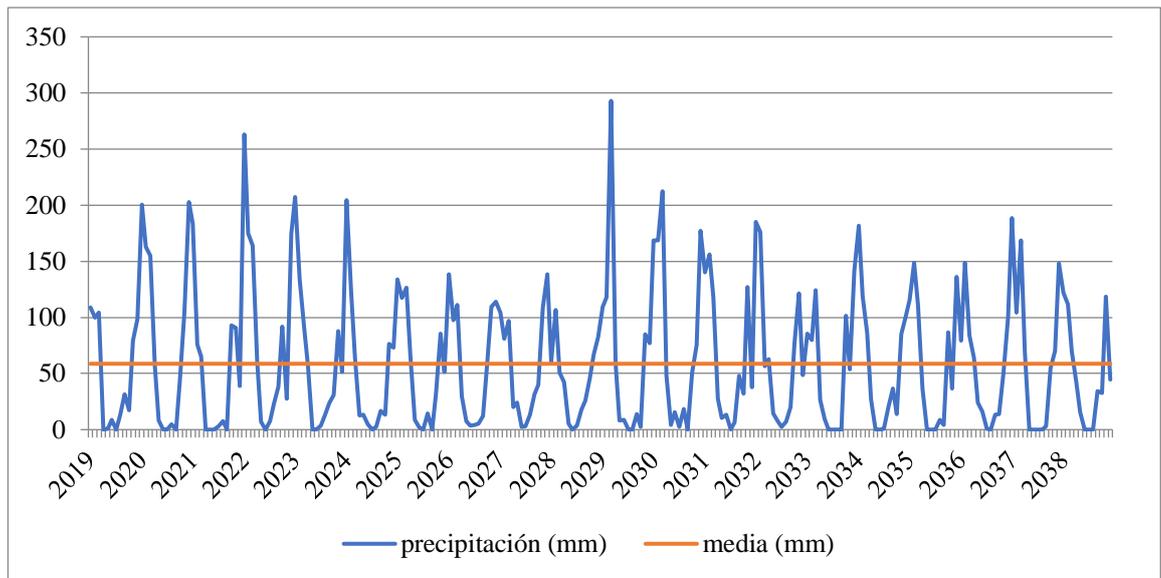


Figura 4. Precipitación pronosticada para estación Chuquibambilla

En la estación meteorológica de Chuquibambilla se hizo el análisis por el periodo de doce meses década año, desde 2019 hasta 2038, es decir, considerando los años agrícolas y se efectuado el pronóstico mediante el modelo ARIMA se ha observado la presencia de las sequías meteorológicas por campañas agrícolas la presencia de sequía en el mes de diciembre en el año 2021, 2023, 2025, 2031, 2032; así también para los años 2022, 2035, y 2036 habrá presencia de la sequía, meteorológica en el mes de noviembre, este pronóstico se ha efectuado en base de series de datos de la estación meteorológica de Chuquibambilla, por lo tanto, los agricultores y ganaderos de la zona deben prevenir la presencia de veranillos que pueden causar daños económicos en las actividades agrícolas y pecuarios.

Tabla 5. Número de meses por año con sequia meteorológica pronosticado en estación Chuquibambilla

Año	N	Año	N	Año	N	Año	N
2019	7	2024	7	2029	6	2034	7
2020	7	2025	7	2030	7	2035	7
2021	7	2026	6	2031	8	2036	7
2022	6	2027	7	2032	7	2037	6
2023	8	2028	8	2033	7	2038	8



4.1.3. Aplicación del modelo ARIMA estación Crucero

En la Tabla 6, se observa que $r^2 = 67.40\%$ de coeficiente de determinación es decir que existe una buena autocorrelación entre los valores de la serie actual se ven afectados autocorrelacionados con los valores los valores de la serie anterior de precipitaciones medias mensuales; el promedio general de la variable dependientes es de 64.27 mm la cual como equivalencia muestra 642.70 m³/ha. para la estación meteorológica de Crucero.

Es importante aclarar que 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 coeficientes de covarianza se ha obtenido utilizando mediante el proceso de ARIMA aplicando los estimadores de máxima verosimilitud estación meteorológica para la estación meteorológica de Llally

Tabla 6. Resultado de los coeficientes de covariancia por el método ARIMA utilizando los estimadores de máxima verosimilitud con 313 iteraciones estación

Variable	Coeficiente	Error estándar	t-estadística	Probabilidad.
C	55.799	43.4841000	1.28319600	0.1998000
AR(1)	2.483	0.0065890	376.85570000	0.0000000
AR(2)	-2.471	0.0112730	-219.22730000	0.0000000
AR(3)	0.978	0.0083810	116.68130000	0.0000000
SAR(12)	0.993	0.0043000	231.02050000	0.0000000
MA(1)	-2.266	0.2862630	-7.91662800	0.0000000
MA(2)	1.961	0.5794410	3.38421100	0.0008000
MA(3)	-0.483	0.2194750	-2.20086900	0.0281000
MA(4)	-0.181	0.0961410	-1.88323200	0.0601000
SMA(12)	-0.864	0.0230040	-37.54356000	0.0000000
SIGMASQ	1438.707	472.7546000	3.04324300	0.0024000
R-squared	0.674	Mean dependent var		64.2719000
Adjusted R-squared	0.669	S.D. dependent var		66.4554400
S.E. of regression	38.223	Akaike info criterion		10.1770300
Sum squared resid	1035869.000	Schwarz criterion		10.2470000
Log likelihood	-3652.733	Hannan-Quinn criter.		10.2040400
F-statistic	146.436	Durbin-Watson stat		1.9961880
Prob(F-statistic)	0.000			

En los modelos AR (Modelos Autorregresivos) de primero AR(1), segundo AR(2) y tercer AR(3) orden, se obtuvieron coeficientes 2.483, -2.471 y 0.978 respectivamente, los signos explican positivo indica relación directa y signo negativo indica relación inversa; de acuerdo a la probabilidad $P \leq 0.01$ son inferiores a los valores AR(1)=0.0000, 0.0000, y 0.0000, con t estadísticos 376.855, -219.23 y 116.681 respectivamente, que estos valores indican alta significancia estadística, es decir, que existe una autocorrelación perfecta.

En cuanto se refiere al modelo autoregresivo estacional de primer orden SAR(12) el modelo autoregresivo estacional de segundo orden SAR(24), donde los valores de la serie actual se ven afectados por los valores de la series anteriores separados por uno o más períodos estacionales (período estacional de 12 meses), el coeficientes es de signos positivo el cual indica relación directa y de acuerdo a la probabilidad $P \leq 0.01$ es de alta significancia estadística con valores de t estadístico muy elevados los mismos que ratifican la alta significancia estadística. Los modelos de medias móviles de primer orden MA(1), segundo orden MA(2) y de tercer orden



MA (3), para los casos de (1), (2) y (3) estadísticamente son significativos, la cual indica que existe una alta autocorrelación, donde los valores de la serie actual se ven afectados por los valores de la series anteriores.

Para el caso de los modelos de medias móviles estacionales de primer orden SMA(12) que corresponden al períodos estacionales de 12 meses; el signo que acompañan es negativo la cual indica una alta autocorrelación inversa, de acuerdo a la probabilidad de $P \leq 0.01$ donde muestra alta significancia estadística es decir existe una buena autocorrelación entre los valores de la serie actual se ven afectados inversamente por los valores de la series anteriores.

Pronóstico de sequías en la estación meteorológica Crucero

El pronóstico de la sequía meteorológica se hizo en base al periodo histórico de 1957 a 2009. y se ha proyectado para el periodo futuro de 2010 al 2038. En el altiplano de Puno, el fenómeno de la sequía meteorológica se relaciona con la disminución de la precipitación pluvial que afecta al ecosistema y la economía. La sequía meteorológica es más frecuente en los periodos del inicio del calendario agrícola, especialmente en la región del altiplano.

Entre 2000 y 2010 se reportaron a nivel nacional 163 eventos de sequías, siendo mayor en la vertiente del Pacífico (con 127 eventos), seguidos por la vertiente del Titicaca (25 eventos) y la vertiente del Atlántico (11 eventos). Dichas sequías han ocurrido con distinta frecuencia, siendo mayor el número las de frecuencia anual y las que ocurren entre 3 y 9 años con 85 eventos y 70 eventos. La mayor cantidad de eventos reportados corresponden a los ocurridos entre el año 2000 al 2008 y el año 2010 con 73 y 62 (ATDR-Ramis, 2008).

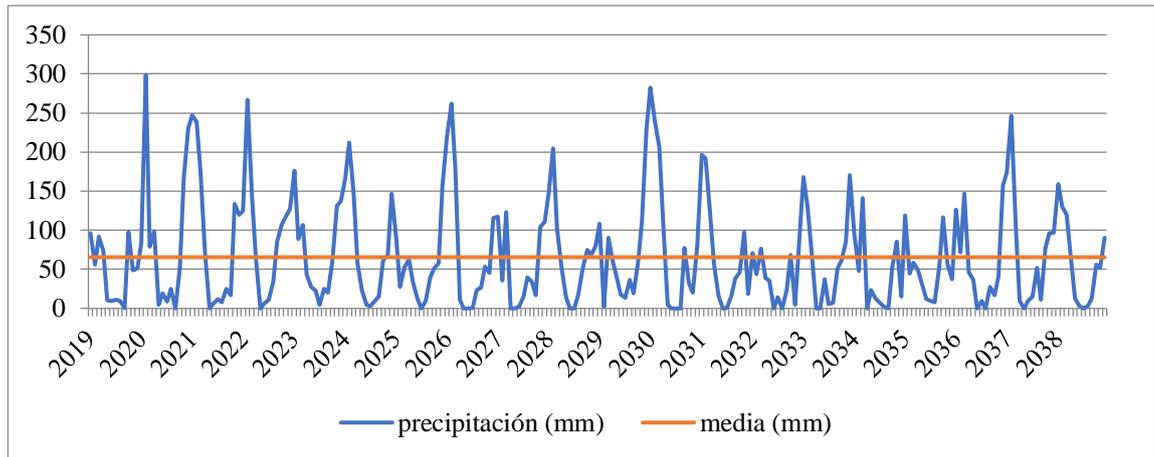


Figura 5 Precipitación pronosticada para estación Crucero

En la estación meteorológica de Crucero, se hizo el análisis por el periodo de doce meses de cada año, por los periodos desde 2019 hasta 2038, es decir, considerando los años agrícolas y se efectuado el pronóstico mediante el modelo ARIMA, se ha observado la presencia de las sequías meteorológicas por campañas agrícolas la presencia de sequía en el mes de diciembre en el año 2019, 2031, 2034, y 2035; así también para los años 2019, 2025, 2026, 2030, 2032, 2035 y 2038, habrán presencia de la sequía, meteorológica en el mes de noviembre; es necesario tener muy presente que en los años 2019 y 2035 habrá sequía meteorológica los meses de noviembre y diciembre; el pronóstico se ha efectuado en base de series de datos de la estación meteorológica de Crucero, por lo tanto, los agricultores y ganaderos de la zona deben prevenir la presencia de veranillos que pueden causar daños económicos en las actividades agrícolas y pecuarios.

Tabla 7. Número de meses por año con sequia meteorológica pronosticado en estación Crucero

Año	N	Año	N	Año	N	Año	N
2019	8	2024	7	2029	8	2034	9
2020	6	2025	10	2030	6	2035	10
2021	6	2026	8	2031	8	2036	8
2022	5	2027	8	2032	8	2037	6
2023	7	2028	6	2033	7	2038	7

4.1.4. Aplicación del modelo ARIMA estación Ananea

En la Tabla 10, se observa que $r^2 = 73.83\%$ de coeficiente de determinación, es decir, que existe una buena autocorrelación entre los valores de la serie actual se ven afectados autocorrelacionados con los valores de la serie anterior de precipitaciones medias mensuales; el promedio general de la variable dependientes es de 52.25 mm la cual como equivalencia muestra $522.50 \text{ m}^3/\text{ha}$. para la estación meteorológica de Ananea de la cuenca de Ramis.

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 10, muestra los resultados de los coeficientes de covariancia se ha obtenido aplicando los estimadores de máxima verosimilitud en los datos de precipitación pluvial de la estación meteorológica de Ananea.

Tabla 8. Resultado de los coeficientes de covariancia por el método ARIMA utilizando los estimadores de máxima verosimilitud con 313 iteraciones estación Ananea

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	50.928340000	15.1254600	3.367061	0.0008000
AR(1)	-0.528841000	0.3566600	-1.482759	0.1386000
AR(2)	-0.237796000	0.3792770	-0.626971	0.5309000
AR(3)	0.525897000	0.3024540	1.738763	0.0826000
SAR(12)	0.206056000	0.1282910	1.606167	0.1087000
SAR(24)	0.790249000	0.1279450	6.176470	0.0000000
MA(1)	0.620469000	0.3697370	1.678135	0.0938000
MA(2)	0.381893000	0.4085350	0.934785	0.3503000
MA(3)	-0.482283000	0.3461220	-1.393392	0.1640000
SMA(12)	-0.052987000	0.1174710	-0.451062	0.6521000
SMA(24)	-0.768839000	0.1024320	-7.505864	0.0000000
SIGMASQ	565.469400000	21.9504600	25.761170	0.0000000
R-squared	0.738344000	Mean dependent var		52.2526300
Adjusted R-squared	0.733732000	S.D. dependent var		46.5244400
S.E. of regression	24.007160000	Akaike info criterion		9.2626800
Sum squared resid	359638.600000000	Schwarz criterion		9.3467400
Log likelihood	-2933.532000000	Hannan-Quinn criter.		9.2953170
F-statistic	160.073900000	Durbin-Watson stat		1.9979050
Prob(F-statistic)	0.000000000			



En los modelos AR (Modelos Autorregresivos) de primero AR(1), segundo AR(2), tercer AR(3) ordenes, se obtuvieron coeficientes -0.5288, -0.2378, y 0.5259 respectivamente, los signos positivos indica relación directa y signos negativos indican relación inversa; de acuerdo a la probabilidad $P \leq 0.05$ son superiores con valores AR(1)=0.1386, y AR(2)=0.531 y AR(3) = 0.0826, con t estadísticos -1.48527, -0.6269 y 1.7387 respectivamente que estos valores indican que no son significativos estadísticamente, es decir que no existe autocorrelación.

En cuanto se refiere al modelo autoregresivo estacional de primer orden SAR(12) no es significativo estadísticamente y el modelo autoregresivo estacional de segundo orden SAR(24) este valor de acuerdo a la probabilidad obtenido existe alta significancia estadística, es decir que los valores de la serie actual se ven afectados por los valores de la series anteriores separados por uno o más períodos estacionales (período estacional de 24) cuyos coeficientes son acompañados de signos positivos las cuales indican relación directa y de acuerdo a la probabilidad $P \leq 0.01$ es de alta significancia estadística con valores de t estadístico muy elevados los mismos que ratifican la alta significancia estadística.

Los modelos de medias móviles de primer orden MA(1), segundo orden MA(2) y de tercer orden MA (3), para los casos de (1) y (2) estadísticamente no son significativos, no existe autocorrelación, entre los valores de la serie actual se ven afectados por los valores de la series anteriores. Para el caso de los modelos de medias móviles estacionales de primer orden SMA(12) y las medias móviles estacionales de segundo orden SMA(24) que corresponden a los períodos estacionales de 12 y 24 meses respectivamente; los signos que acompañan son negativos la cual indica una alta autocorrelación inversa, de acuerdo a la probabilidad de $P \leq 0.01$ donde muestra

alta significancia estadística es decir existe una buena autocorrelación entre los valores de la serie actual se ven afectados inversamente por los valores de la series anteriores.

Pronóstico de sequías en la estación meteorológica Ananea

El periodo histórico utilizado fue de 1965 a 2009. Se pronosticó del 2010 al 2038.

Consideramos que la región del altiplano de Puno es la zona con mayor vulnerabilidad a las sequías. Las sequías afectan también al abastecimiento de agua potable a las poblaciones urbanas y rurales. El efecto de una sequía en la parte baja de una cuenca en la vertiente del Pacífico (donde se asienta aproximadamente el 70% de la población nacional) pueden ser atenuados con el abastecimiento de agua subterránea, mediante pozos, pero si la sequía se prolonga por más de dos años, la napa freática se profundiza afectando el abastecimiento de agua, lo que afecta principalmente a la población más pobre (TDPS, 2011).

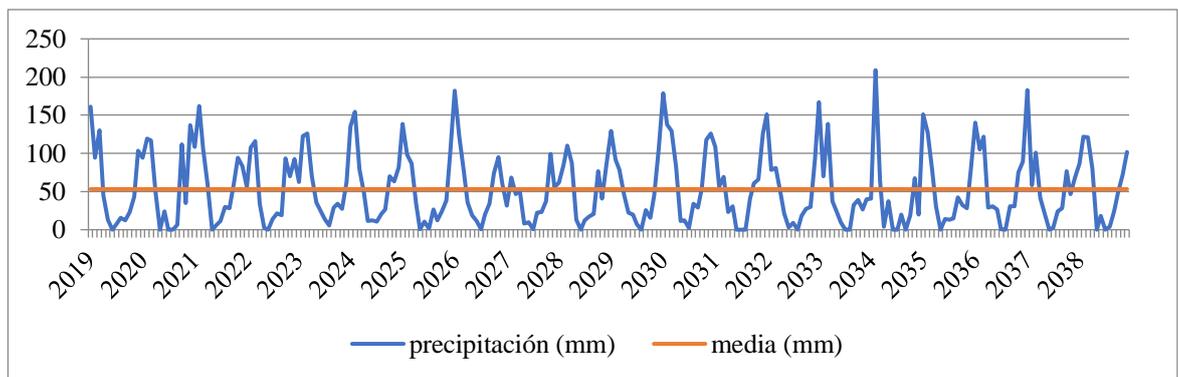


Figura 6. Precipitación pronosticada para estación Ananea

En la estación meteorológica de Ananea, se hizo el análisis por el periodo de doce meses de cada año, por los periodos desde 2019 hasta 2038, es decir, considerando los años agrícolas y se efectuado el pronóstico mediante el modelo ARIMA; se ha observado la presencia de las sequías meteorológicas por campañas

agrícolas la presencia de sequía en el mes de diciembre en el año 2034; así también, para los años 2019, 2020, 2023, 2025, 2028, 2029, 2032, 2035 y 2037 habrán presencia de la sequía, meteorológica en el mes de noviembre; es necesario tener muy presente que en los años 2033 habrá sequía meteorológica los meses de noviembre y diciembre; el pronóstico se ha efectuado en base de series de datos de la estación meteorológica de Crucero, por lo tanto, los agricultores y ganaderos de la zona deben prevenir la presencia de veranillos que pueden causar daños económicos en las actividades agrícolas y pecuarios.

Tabla 9. Número de meses por año con sequía meteorológica pronosticado en estación Ananea

Año	N	Año	N	Año	N	Año	N
2019	8	2024	6	2029	8	2034	9
2020	7	2025	8	2030	5	2035	8
2021	5	2026	6	2031	6	2036	7
2022	6	2027	9	2032	8	2037	7
2023	7	2028	6	2033	9	2038	6

4.1.5. Aplicación del modelo ARIMA estación Azangaro

En la tabla 10 se observa que $r^2= 70.67\%$ de coeficiente de determinación es decir que existe una buena autocorrelacion entre los valores de la serie actual se ven afectados autocorrelacionados con los valores los valores de la serie anterior de precipitaciones medias mensuales; el promedio general de la variable dependientes es de 57.86 mm la cual como equivalencia muestra 578.60 m³/ha. para la estación meteorológica de Azángaro. Es importante aclarar que 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 10 muestra los resultados de los coeficientes de covariancia se ha obtenido utilizando mediante el proceso de ARIMA aplicando los

estimadores de máxima verosimilitud estación meteorológica para la estación meteorológica de Azangaro.

Tabla 10. Resultado de los coeficientes de covariancia por el método ARIMA utilizando los estimadores de máxima verosimilitud de la estación meteorológica Azángaro

Variable	Coefficiente	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	50.48362000	17.9281600	2.81588	0.0052000
AR(1)	0.49242000	0.0360780	13.64884	0.0000000
AR(2)	-0.94920300	0.0354380	-26.78496	0.0000000
SAR(12)	0.00001320	0.0000000	22052.78000	0.0000000
SAR(24)	0.99998700	0.0001430	6982.11700	0.0000000
MA(1)	-0.45069800	0.0292280	-15.42001	0.0000000
MA(2)	0.97156100	0.0367030	26.47122	0.0000000
SMA(12)	-0.00059100	0.0000095	-62.03273	0.0000000
SMA(24)	-0.99938800	0.0000524	-19080.13000	0.0000000
SIGMASQ	767.89310000	42.8728200	17.91095	0.0000000
R-squared	0.70670000	Mean dependent var		50.5030800
Adjusted R-squared	0.69759700	S.D. dependent var		51.2529700
S.E. of regression	28.18461000	Akaike info criterion		9.7224070
Sum squared resid	230367.90000000	Schwarz criterion		9.8458660
Log likelihood	-1448.36100000	Hannan-Quinn criter.		9.7718150
F-statistic	77.63860000	Durbin-Watson stat		1.8717200
Prob(F-statistic)	0.00000000			

En los modelos AR (Modelos Autorregresivos) de primero AR(12) y segundo AR(24) orden, se obtuvieron coeficientes 0.4924 y -0.9492 respectivamente, los signos explican positivo indica relación directa y signo negativo indica relación inversa; los coeficientes obtenidos de acuerdo a la probabilidad $P \leq 0.01$ son inferiores con valores AR(12)=0.00000 y AR(24)=0.0000, con t estadísticos 13.6488 y -26.7849 respectivamente que estos valores indican alta significancia estadística, es decir que existe una autocorrelación muy buena.

En cuanto se refiere al modelo autoregresivo estacional de primer orden SAR(12) y el modelo autoregresivo estacional de segundo orden SAR(24), donde los valores de la serie actual se ven afectados por los valores de la series anteriores separados por uno o más períodos estacionales (período estacional de 12 y período estacional de 24) respectivamente, cuyos coeficientes son acompañados de signos positivos las cuales indican relación directa y de acuerdo a la probabilidad $P \leq 0.01$ es



de alta significancia estadística con valores de t estadístico muy elevados los mismos que ratifican la alta significancia estadística.

Los modelos de medias móviles de primer orden MA(1) y segundo orden MA(2) tienen alta significancia estadística la cual indica que existe una muy buena autocorrelación, donde los valores de la serie actual se ven afectados por los valores de las series anteriores. Para el caso de los modelos de medias móviles estacionales de primer orden SMA(12) y las medias móviles estacionales de segundo orden SMA(24) que corresponden a los períodos estacionales de 12 y 24 meses respectivamente; los signos que acompañan son negativos la cual indica una autocorrelación inversa, de acuerdo a la probabilidad de $P \leq 0.01$ donde muestra alta significancia estadística, es decir, existe una muy buena autocorrelación entre los valores de la serie actual se ven afectados inversamente por los valores de las series anteriores.

Pronóstico de sequías en la estación meteorológica Azángaro

El estudio del pronóstico de las sequías meteorológicas, se ha efectuado en base a los datos de series histórico utilizado fue de 1993 al 2009. se hizo el pronóstico para los años 2010 al 2038. En el altiplano de Puno, el fenómeno de la sequía meteorológica se relaciona con la disminución de la precipitación pluvial que afecta al ecosistema y la economía. La sequía meteorológica es más frecuente en los periodos del inicio del calendario agrícola, especialmente en la región del altiplano.

Entre 2000 y 2010 se reportaron a nivel nacional 163 eventos de sequías, siendo mayor en la vertiente del Pacífico (con 127 eventos), seguidos por la vertiente del Titicaca (25 eventos) y la vertiente del Atlántico (11 eventos). Dichas sequías han ocurrido con distinta frecuencia, siendo mayor el número las de frecuencia anual y las que ocurren entre 3 y 9 años con 85 eventos y 70 eventos. La mayor cantidad de

eventos reportados corresponden a los ocurridos entre el año 2000 al 2008 y el año 2010 con 73 y 62 (ATDR-Ramis, 2008).

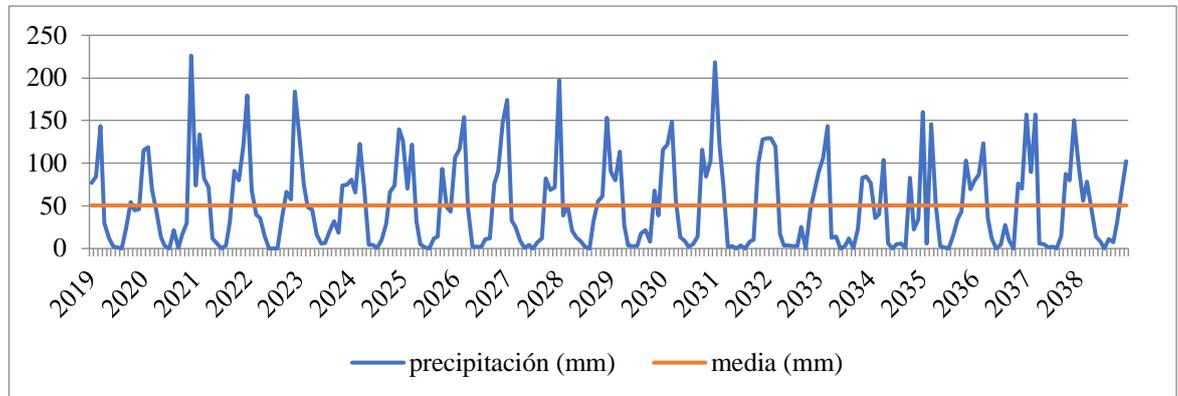


Figura 7. Precipitación pronosticada para estación Azángaro

En la estación meteorológica de Azángaro, se hizo el análisis por el periodo de doce meses de cada año, por los periodos desde 2019 hasta 2038, es decir, considerando los años agrícolas y se efectuado el pronóstico mediante el modelo ARIMA; se ha observado la presencia de las sequías meteorológicas por campañas agrícolas la presencia de sequía en el mes de diciembre en el año 2029; así también para el años de 2020 habrán presencia de la sequía meteorológica en el mes de noviembre; es necesario tener muy presente que en los años 2019, 2025, y 2034 habrán sequías meteorológicas los meses de noviembre y diciembre; el pronóstico se ha efectuado en base de series de datos de la estación meteorológica de Azángaro, por lo tanto, los agricultores y ganaderos de la zona deben prevenir la presencia de veranillos que pueden causar daños económicos en las actividades agrícolas y pecuarios.

Tabla 11. Número de meses por año con sequia meteorológica pronosticado en estación Azángaro

Año	N	Año	N	Año	N	Año	N
2019	8	2024	5	2029	8	2034	9
2020	8	2025	8	2030	5	2035	7
2021	5	2026	6	2031	7	2036	7
2022	7	2027	8	2032	8	2037	6
2023	8	2028	8	2033	7	2038	7

4.1.6. Aplicación del modelo ARIMA estación Arapa

En la tabla 12 se observa que $r^2 = 67.71\%$ de coeficiente de determinación, es decir, que existe una buena autocorrelación entre los valores de la serie actual se ven afectados autocorrelacionados con los valores los valores de la serie anterior de precipitaciones medias mensuales; el promedio general de la variable dependientes es de 57.86 mm la cual como equivalencia muestra 578.62 m³/ha. para la estación meteorológica de Arapa.

Es importante aclarar que 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 12 muestra los resultados de los coeficientes de covariancia se ha obtenido utilizando mediante el proceso de ARIMA aplicando los estimadores de máxima verosimilitud estación meteorológica para la estación meteorológica de Arapa.

Tabla 12. Resultado de los coeficientes de covariancia por el método ARIMA utilizando los estimadores de máxima verosimilitud con 313 iteraciones estación Arapa

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	57.874610	19.3591200	2.989526	0.002900
AR(12)	0.057910	0.0000215	2698.065000	0.000000
AR(24)	0.942090	0.0002360	3987.722000	0.000000
MA(1)	0.190798	0.0278810	6.843386	0.000000
MA(2)	0.163978	0.0318360	5.150708	0.000000
SMA(12)	0.000243	0.0000026	93.324190	0.000000
SMA(24)	-0.999757	0.0118960	-84.044080	0.000000
SIGMASQ	1054.329000	37.2772900	28.283420	0.000000
R-squared	0.677124	Mean dependent var		57.862230
Adjusted R-squared	0.673592	S.D. dependent var		57.188070
S.E. of regression	32.672750	Akaike info criterion		9.918904
Sum squared resid	683205.500000	Schwarz criterion		9.974138
Log likelihood	-3205.725000	Hannan-Quinn criter.		9.940331
F-statistic	191.740500	Durbin-Watson stat		1.994542
Prob(F-statistic)	0.000000			



En los modelos AR (Modelos Autorregresivos) de primero AR(12) y segundo AR(24) orden, se obtuvieron coeficientes 0.0579 y -0.9491 respectivamente, los signos explican positivo indica relación directa y los coeficientes obtenidos de acuerdo a la probabilidad $P \leq 0.01$ son inferiores con valores $AR(12)=0.00000$ y $AR(24)=0.0000$, con t estadísticos 2698.065 y 3987.722 respectivamente que estos valores indican alta significancia estadística, es decir, que existe una muy buena autocorrelación entre los valores de la serie actual y los valores de la series anteriores.

Los modelos de medias móviles de primer orden MA(1) y segundo orden MA(2) existe alta significancia estadística la cual indica que existe una muy buena autocorrelación, donde los valores de la serie actual se ven afectados por los valores de la series anteriores. Para el caso de los modelos de medias móviles estacionales de primer orden SMA(12) y las medias móviles estacionales de segundo orden SMA(24) que corresponden a los períodos estacionales de 12 y 24 meses respectivamente; los signos que acompañan son positivos la cual indica una autocorrelación directa, y de acuerdo a la probabilidad de $P \leq 0.01$ donde muestra alta significancia estadística es decir existe una buena autocorrelación entre los valores de la serie actual se ven afectados inversamente por los valores de la series anteriores.

Pronóstico de sequías en la estación meteorológica Arapa

El periodo histórico utilizado fue de 1964 al 2009. Se pronosticó del 2010 al 2038.

El pronóstico de la sequía meteorológica se hizo en base al periodo histórico de 1964 a 2009 y se ha proyectado para el periodo futuro de 2010 al 2038. En el altiplano de Puno, el fenómeno de la sequía meteorológica se relaciona con la disminución de la precipitación pluvial que afecta al ecosistema y la economía. La

sequía meteorológica es más frecuente en los periodos del inicio del calendario agrícola, especialmente en la región del altiplano.

Entre 2000 y 2010 se reportaron a nivel nacional 163 eventos de sequías, siendo mayor en la vertiente del Pacífico (con 127 eventos), seguidos por la vertiente del Titicaca (25 eventos) y la vertiente del Atlántico (11 eventos). Dichas sequías han ocurrido con distinta frecuencia, siendo mayor el número las de frecuencia anual y las que ocurren entre 3 y 9 años con 85 eventos y 70 eventos. La mayor cantidad de eventos reportados corresponden a los ocurridos entre el año 2000 al 2008 y el año 2010 con 73 y 62 (ATDR-Ramis, 2008).

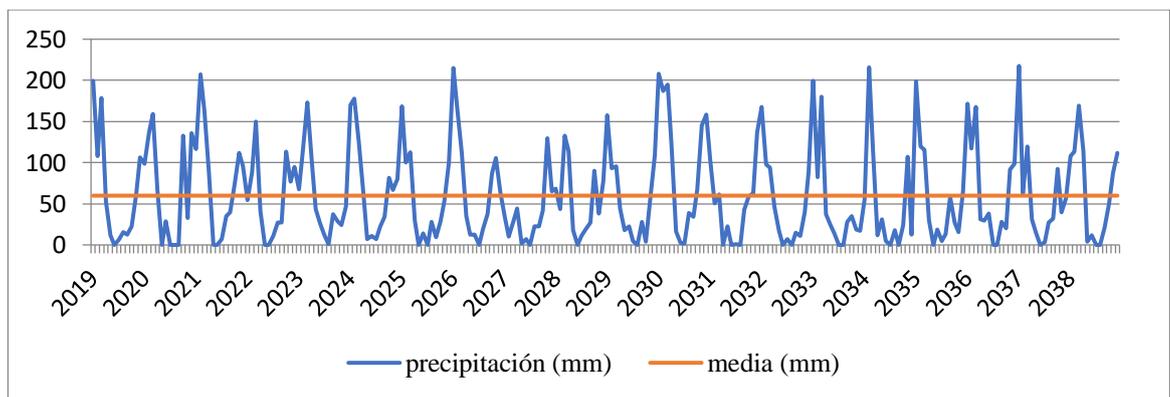


Figura 8. Precipitación pronosticada para estación Arapa

En la estación meteorológica de Arapa, se hizo el análisis por el periodo de doce meses de cada año, por los periodos desde 2019 hasta 2038, es decir considerando los años agrícolas y se efectuado el pronóstico mediante el modelo ARIMA; se ha observado la presencia de las sequias meteorológicas por campañas agrícolas la presencia de sequía en el mes de noviembre en los años 2020, 2025, 2028, 2029, 2032, 2035; es necesario tener muy presente que en los años 2023, 2033 y 2037 habrán sequias meteorológicas los meses de noviembre y diciembre; es muy importante resaltar que en el mes de enero en los años 2022 y 2034 habrán sequías meteorológicas;



se ha pronosticado el fenómeno más resaltantes es en los meses enero, febrero y marzo en el año 2027; el pronóstico se ha efectuado en base de series de datos de la estación meteorológica de Arapa, por lo tanto, los agricultores y ganaderos de la zona deben prevenir la presencia de veranillos que pueden causar daños económicos en las actividades agrícolas y pecuarios.

Tabla 13. Número de meses por año con sequía meteorológica pronosticado en estación Arapa

Año	N	Año	N	Año	N	Año	N
2019	7	2024	5	2029	8	2034	9
2020	6	2025	8	2030	5	2035	8
2021	5	2026	6	2031	8	2036	7
2022	7	2027	10	2032	8	2037	8
2023	8	2028	7	2033	9	2038	6

4.2. LA CARACTERIZACIÓN ESPACIO TEMPORAL DE LAS SEQUÍAS METEOROLÓGICA CUENCA RAMIS

Las precipitaciones anuales en el altiplano varían entre 200 a 1.400 mm en el norte de la región de Puno. La distribución estacional de la lluvia es similar en toda la región: típicamente monomodal, con una estación lluviosa de diciembre a marzo y un período seco de mayo a agosto. Las temperaturas medias anuales en el altiplano de la región oscilan entre 8 y 10 °C, siendo más altas entre diciembre a marzo. La evaporación es muy alta, alcanzando valores anuales medios de 1.450 mm cerca de y en el mismo lago Titicaca y 1.900 mm por la vertiente del Titicaca (UNEP, 1996).

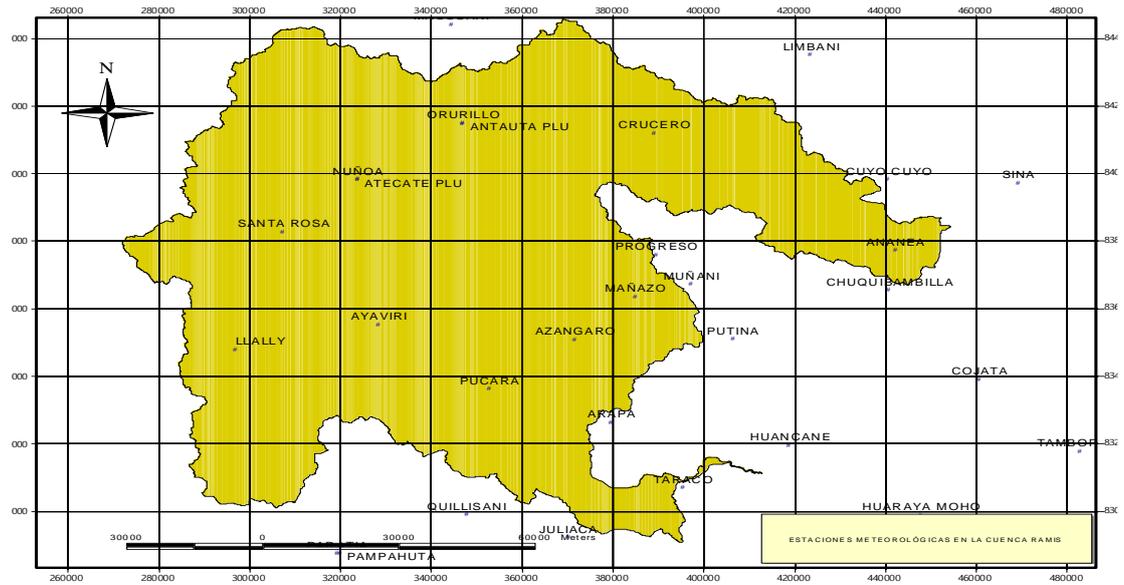


Figura 9. Ubicación de las estaciones meteorológicas de la cuenca del río Ramis

En la cuenca del río Ramis, el régimen de temperaturas sigue el típico patrón anual de variación que corresponde a su latitud geográfica tropical. Es decir, las temperaturas son altas en los meses de verano, bajas en los de otoño e invierno y de medianas a altas en los meses de primavera. Pero la altitud en que se encuentra el Altiplano de 3,800 a 4,500 metros sobre el nivel del mar, hace que este tipo de régimen térmico resulte muy desfavorable, pues es causa de que las temperaturas en los meses de otoño e invierno desciendan a niveles extremadamente bajas.

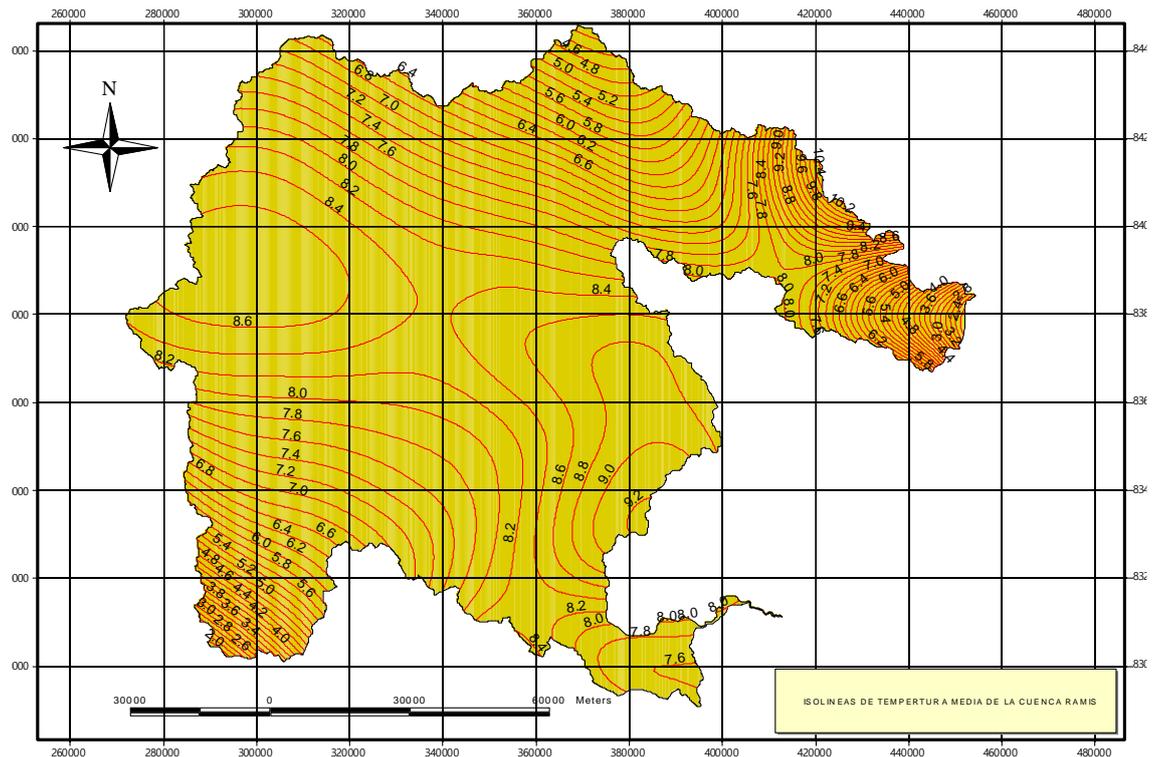


Figura 10. Isolinesas de temperatura media de la cuenca del río Ramis

Una zona que esta al contorno del lago Titicaca con registros de límite superior de temperaturas mínimas que oscila alrededor de 6.8°C en Arapa y 8.0°C en Capachica. En esta área las heladas no son muy continuas y este sub tipo climático desde el punto de vista térmico, es el más apto para la agricultura extensiva, disponiéndose de 6 a 8 meses, entre Setiembre y abril para las actividades agrícolas-

Otra zona, que es la más amplia, que corresponde a la zona altiplánica, limitada por la zona del contorno del lago Titicaca y la Zona de cabecera de la cuenca. Esta zona se puede dividir en dos partes: una parte baja y otra parte alta; en la parte baja combinado con sus grandes extensiones de topografía plana, confiere al área una buena aptitud agrícola y ganadera, siendo de 7 meses, de Setiembre a marzo, la mejor época para, las actividades agrícolas. Presenta registros de límite superior de temperaturas mínimas que oscila alrededor de 5.0°C en Ayaviri y 6.6°C en Azángaro, Progreso y

Asillo. En la parte Alta de esta zona Las condiciones térmicas son algo más severas que las anteriores, ya que el promedio de la temperatura de congelación es más persistente superior a las temperaturas frías. En esta región, los periodos de fuertes heladas son muy largos, reduciendo la época apta para las actividades agrícolas a 5 a 6 meses, de noviembre a marzo. Sin embargo, dada su enorme extensión de topografía predominantemente plana y la existencia de gran cantidad de pastos nativos alimenticios, el área correspondiente a este subtipo climático ofrece muy Buenas condiciones para el desarrollo de la ganadería. Presenta registros de límite superior de temperaturas mínimas que oscila alrededor de 6.0°C en Chuquibambilla y 6.7°C en Llalli,

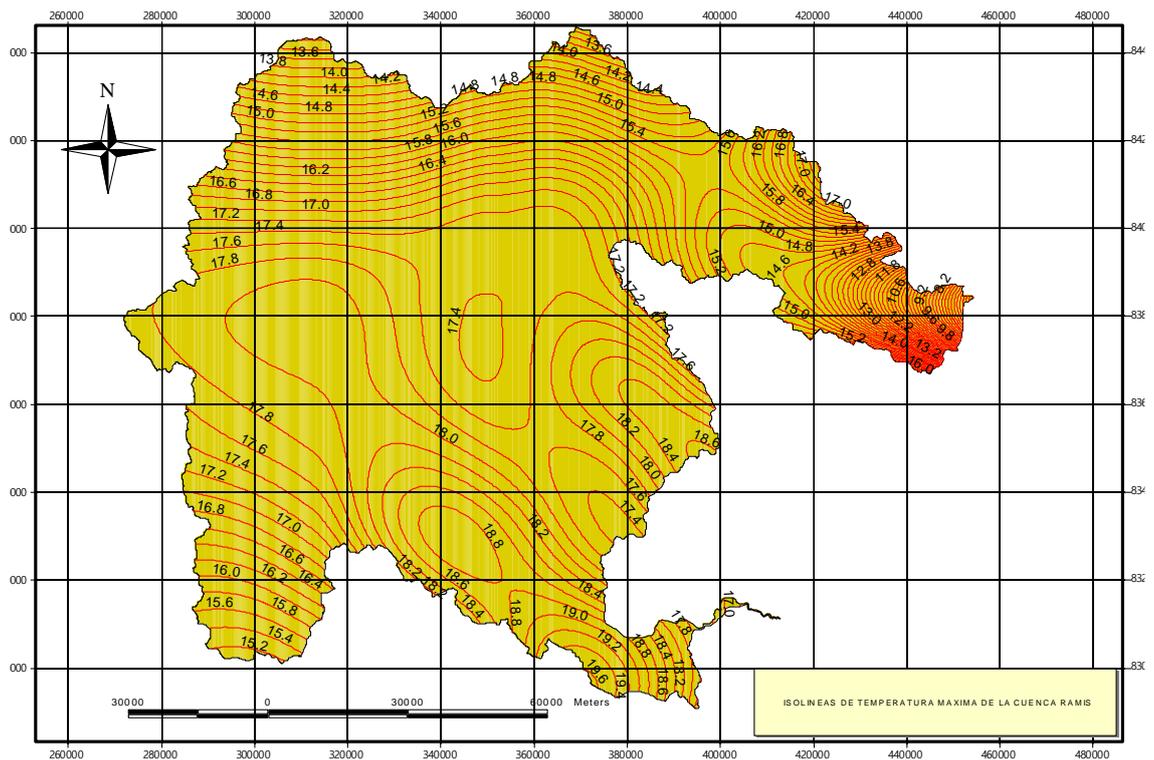


Figura 11. Isoclinas de temperatura máxima de la cuenca del río Ramis

La zona Alta de la cuenca, es de condiciones térmicas muy rigurosas, donde las temperaturas mínimas están casi siempre por debajo de los 0°C , con un clima de



características extremadamente frío. La aptitud agrícola de este sub-tipo climático es prácticamente nula existiendo solo posibilidades para el desarrollo de la ganadería autóctona. Se presenta registros de límite superior de temperaturas mínimas que oscila alrededor de 1.9°C como promedio para las zonas de Ananea, Santa Rosa.

La precipitación es una de las variables climáticas más importantes que influyen en la producción agrícola, puesto que la precipitación pluvial es, normalmente, la única fuente de humedad proporcionada al suelo.

En el entorno de la vertiente del lago Titicaca, la altitud también tiene su influencia en la precipitación, asimismo la influencia de la proximidad al lago Titicaca, el cual es una fuente de humedad extraordinaria a alturas en que las masas de aire no reciben normalmente ningún nuevo aporte. La información pluviométrica utilizada en el presente estudio proviene de los registros de 28 observatorios meteorológicas (ver Capítulo 2, ítem 6.3), de los cuales 13 están ubicados dentro de la cuenca del río Ramis y 15 fuera del ámbito de la cuenca.

En el análisis de la precipitación total anual se ha utilizado los promedios multianuales de las precipitaciones totales en el periodo 1964 – 2007. Los valores más altos se registran en el entorno del lago Titicaca y en la parte alta de la cuenca. Esta particularidad es a consecuencia de la alta radiación, vientos generalmente más fuertes que a niveles más bajos, originan una intensa evaporación del lago, favoreciendo la formación de masas nubosas que precipitarán en el mismo lago o en zonas cercanas, mediante el trazado de las isoclinas de precipitación (Isoyetas) se presenta la distribución espacial de la precipitación anual, se observa que los valores de la precipitación en la cuenca varían de 550 a 925 mm. Los valores altos se registran en la cabecera de la cuenca.

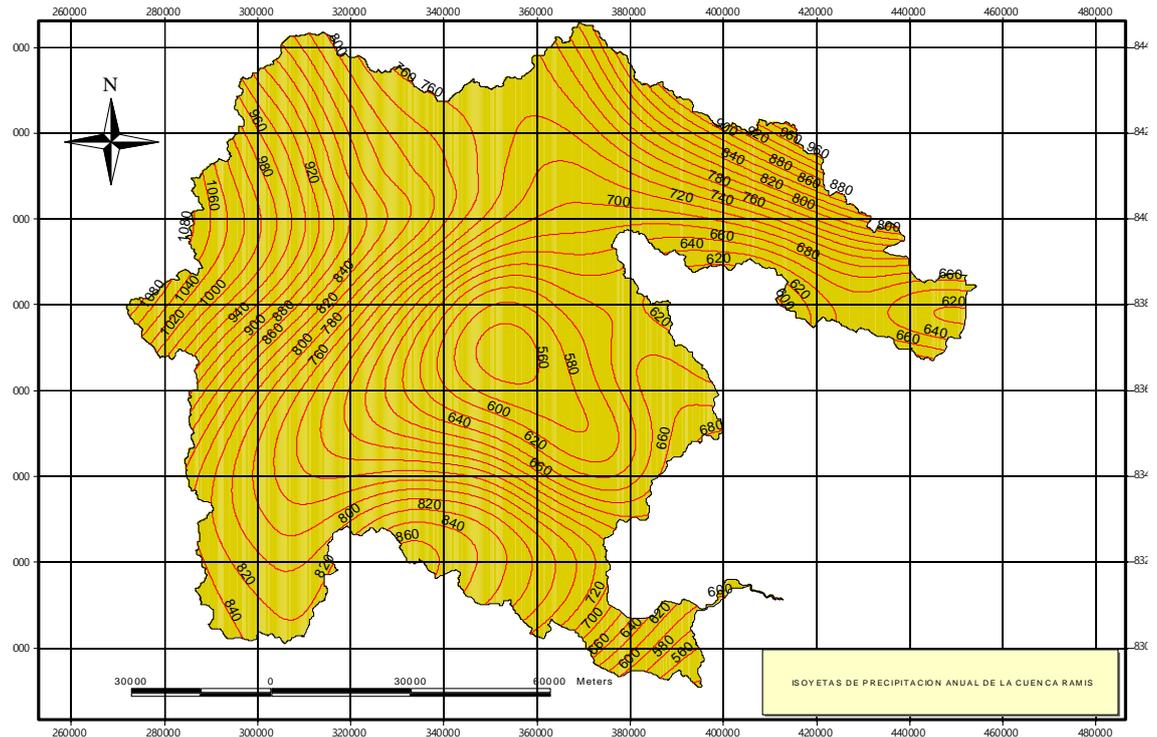


Figura 12. Isoyetas de precipitación anual de la cuenca de Ramis

Las precipitaciones totales que presenta la cuenca del Ramis tienen un promedio anual de 715 mm la cual es equivalente a $7150\text{m}^3/\text{ha}$. y se distribuyen de manera desigual durante las estaciones del año produciéndose las mayores precipitaciones en los meses de noviembre a abril. El caudal medio anual del río Ramis según la estación hidrométrica de Saman (Puente Ramis) es de $71.44\text{ m}^3/\text{s}$, variando de $148\text{ m}^3/\text{s}$ en el mes de marzo a $6.4\text{ m}^3/\text{s}$ para el mes de setiembre. El coeficiente medio anual de escorrentía para la cuenca es de 0.23, resultando un caudal específico de 4.85 l/s/km^2 . (INRENA, 2003).

4.2.1. Características espacio temporal de la estación meteorológica de Llally

En el siguiente grafico se muestra la precipitación histórica y el nivel de precipitación media.

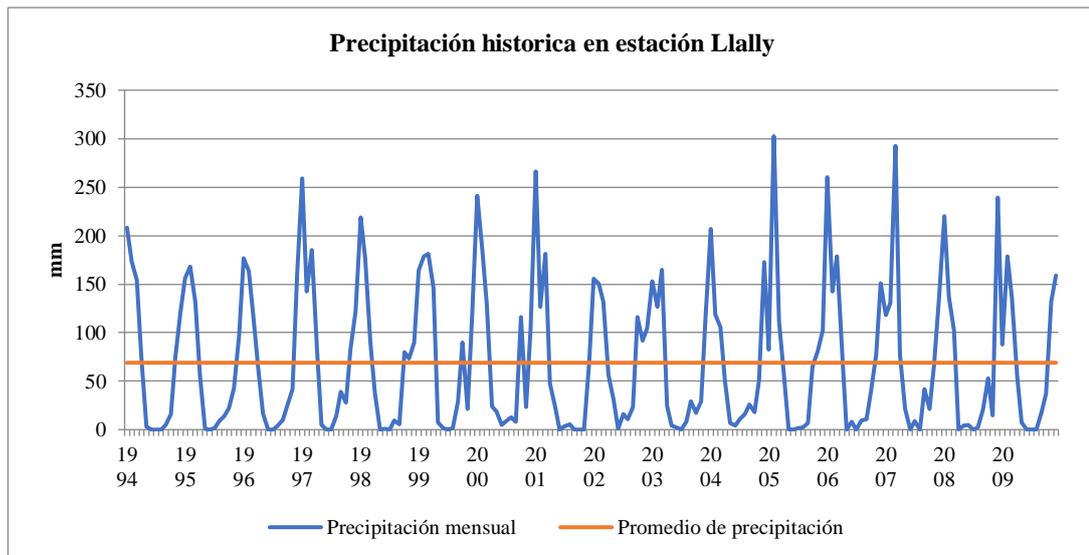


Figura 13. Precipitación histórica en estación Llally

La precipitación total que presenta la subcuenca Llallimayo tiene un promedio anual de 838 mm y se distribuyen de manera desigual durante el año produciéndose las mayores precipitaciones en los meses de noviembre a abril. El caudal medio anual del río Llallimayo es de 26.0 m³/s según la estación hidrométrica limnimétrica denominada Bocatoma Llalli, variando de 90.2 m³/s en el mes de febrero a 3.0 m³/s para el mes de agosto (INRENA, 2003).

4.2.2. Características espacio temporal de la estación meteorológica de Chuquibambilla

Se estima que constituye el 18.1% del área total del Ramis. La temperatura presenta valores mínimos y máximos mensuales de 3.8 °C a 9.6 °C y una media anual de 9.0 °C. (Estación meteorológica de Ayaviri) La precipitación pluvial se observa rangos de oscilación entre mínimas y máximas de 2.4 mm a 150 mm durante el invierno y el verano respectivamente. La precipitación total anual alcanza a 714 mm. (Estación meteorológica de Ayaviri) La Humedad Relativa tiene rangos de mínimas y máximas de 39.5% y 64%, lo que podríamos decir que tiene una variación y

distribución anual bastante uniforme. La evaporación es uniforme en su variación y distribución anual, las mínimas y máximas se presentan entre los meses de junio y octubre con valores de 111 y 169 mm. (Estación meteorológica de Chuquibambilla). (INRENA, 2003)

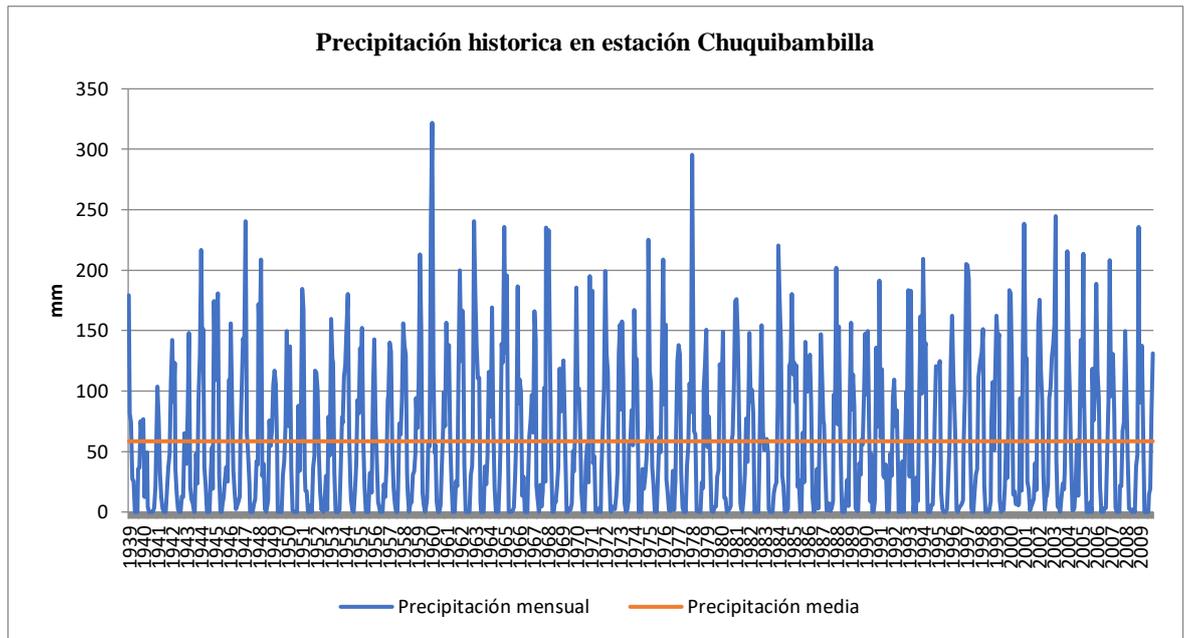


Figura 14. Precipitación histórica en estación Chuquibambilla

4.2.3. Características espacio temporal de la estación meteorológica de Crucero

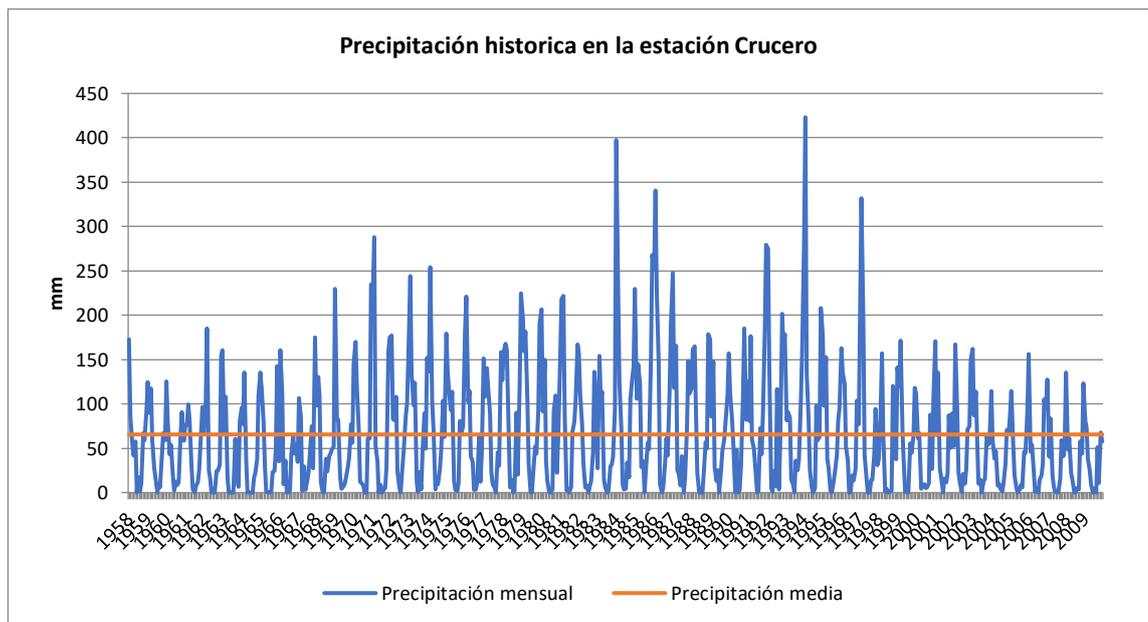


Figura 15. Precipitación histórica en estación Crucero

4.2.4. Características espacio temporal de la estación meteorológica de Ananea

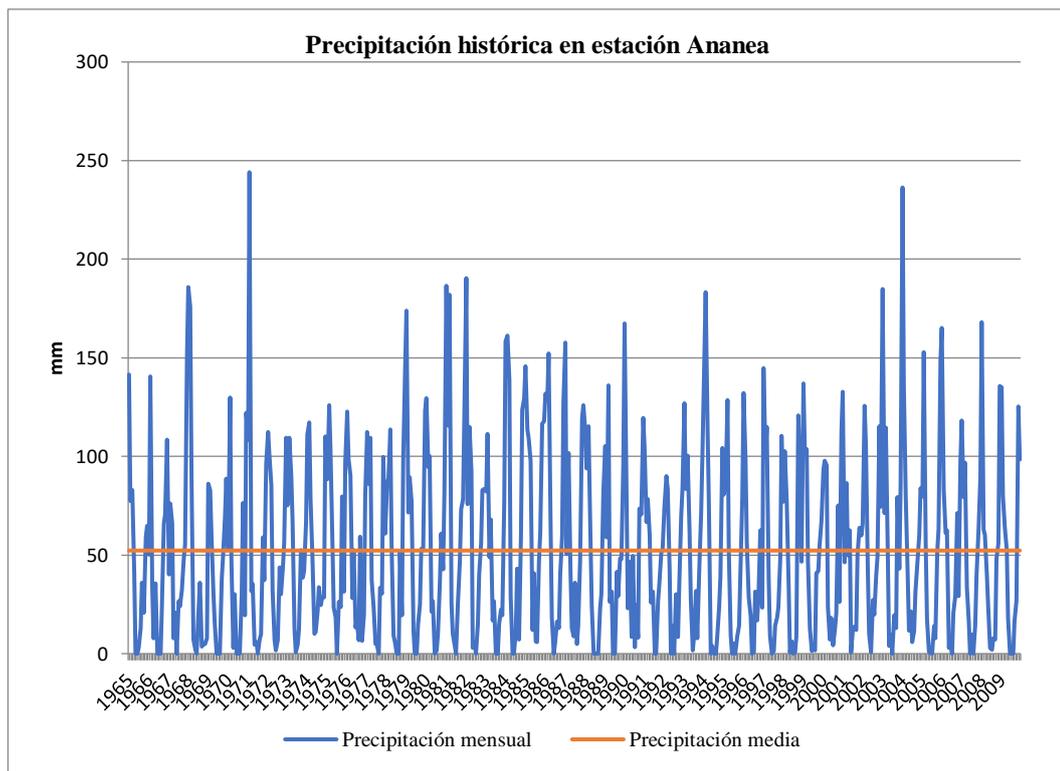


Figura 16. Precipitación histórica en estación Ananea

4.2.5. Características espacio temporal de la estación meteorológica de Azangaro

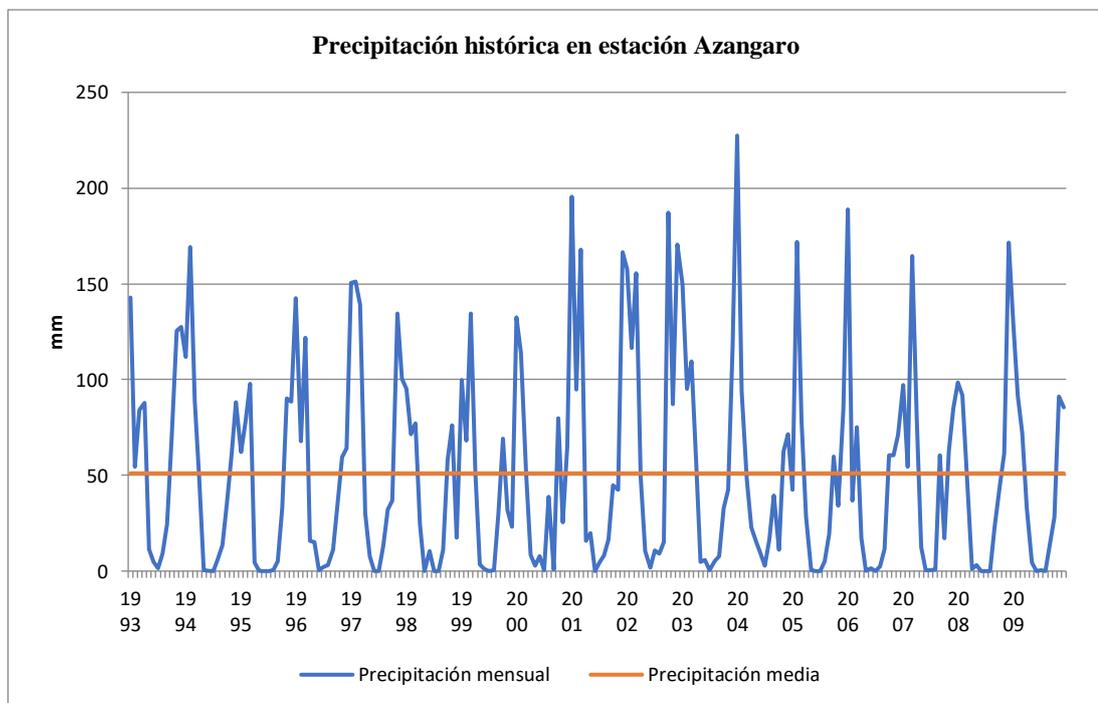


Figura 17. Precipitación histórica en estación Azángaro

4.2.6. Características espacio temporal de la estación meteorológica de Arapa

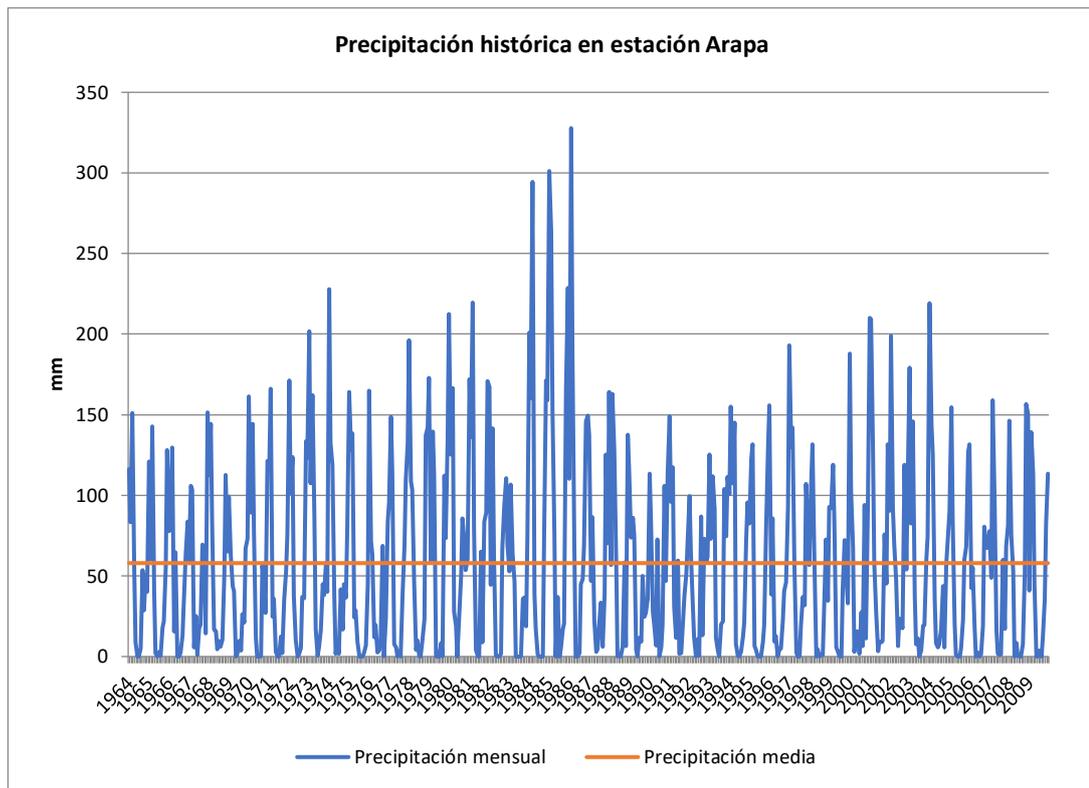


Figura 18. Precipitación histórica en estación Arapa

4.3 EL CALENDARIO AGRÍCOLA EN BASE DEL MODELO DE PRONÓSTICO PARA LOS CULTIVOS DE PAN LLEVAR EN LA CUENCA DEL RÍO RAMIS

La región de Puno, los estudios climatológicos tienen una vital importancia en vista de que las características térmico-pluviales del Altiplano determinan problemas severos principalmente las sequías, las heladas y las granizadas, que afectan muy seriamente la economía del poblador rural. El año se divide en cuatro estaciones astronómicas en función de la actividad atmosférica y de la circulación de masas de aire, no obstante, desde el punto de vista climatológico, la región tiene una estación húmeda (noviembre a marzo), otra seca (junio a agosto) y dos periodos de transición (septiembre – octubre y abril – mayo) (ATDR-Ramis, 2008).

En verano (nov – feb), el viento dominante viene del Sur – Este. Al inicio del mes de marzo, la entrada del otoño es marcado por un cambio brusco de dirección el viento sopla del Nor – Este hasta el mes de Mayo; de Junio a agosto, el viento es del Oeste, mientras que en la Primavera (Sep – Oct) el viento toma una componente Nor – Oeste. Otro aspecto localizado sobre la región es la anomalía de presión provocada por el fuerte calentamiento del suelo árido. En efecto, la altitud media es en torno a 4,000 msnm. Y la presión media es de 624 mb. Esta situación provoca fuertes movimientos convectivos, a la que se añade la humedad producida por la evaporación del Lago Titicaca, da como resultado la formación de grandes cumulus y cumulonimbos sobre la región (ATDR-Ramis, 2008). Para cumplir con el tercer objetivo específico es muy importante la formulación del calendario del cultivo en base del balance hídrico, para la cuenca se formulará un solo calendario agrícola, donde existe la agricultura de subsistencia es decir los cultivos de pan llevar.

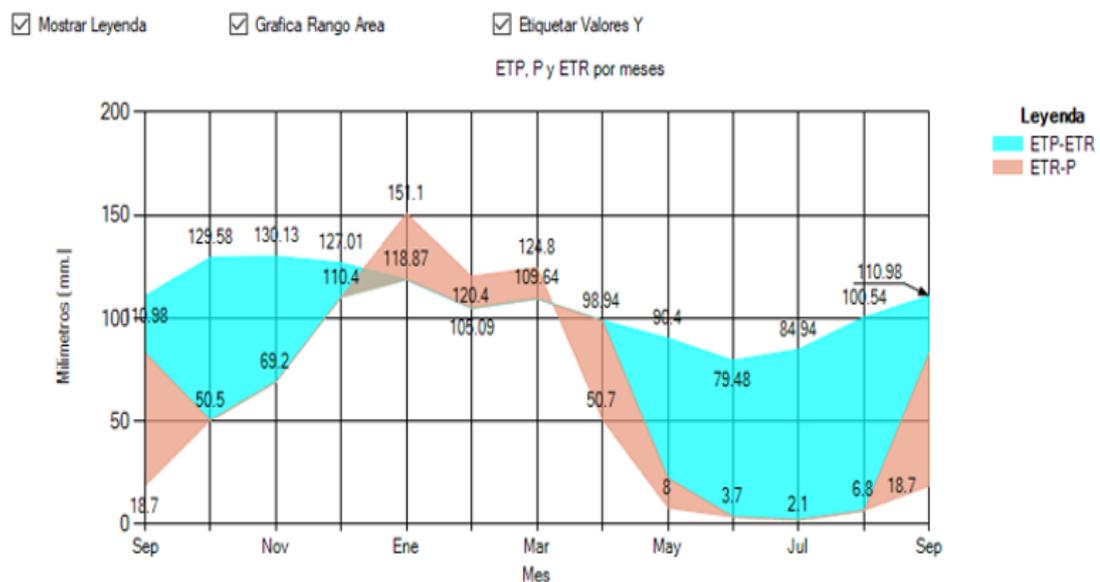


Figura 19. Balance hídrico de la estación Chuquibambilla de la cuenca del río Ramis

En la cuenca del río Ramis el calendario de cultivo, está determinado por las características particulares que se tiene el altiplano de Puno, que por sus condiciones

meteorológicas hacen que contemos con un calendario agrícola singular, el cual se da inicio en el mes de agosto de cada año y termina en julio del siguiente año.

Tabla 14. Calendario agrícola del periodo de cultivos de pan llevar por meses del año

N	Cultivo	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	Numero de meses
01	Papa amarga													08
02	Papa dulce													07
03	Cebada en grano													08
04	Cebada forrajera													07
05	Avena forrajera													07
06	Quinua													07
07	Pastos naturales													12
08	Pastos cultivados													09
09	Hortalizas													10
10	haba													11

Fuente: Elaboración del tesista

Como la agricultura a nivel de las diferentes subcuenca y microcuencas es en seco por lo tanto el riego es complementario, ya que la agricultura de subsistencia se aprovecha el periodo de lluvias, es decir, la campaña agrícola es a partir del mes de agosto de cada año hasta julio del siguiente año, por lo que el calendario agrícola no se puede variar en base de proyecciones y/o pronósticos de las precipitaciones medias mensuales.



V. CONCLUSIONES

Se concluye que: (a) En seis estaciones meteorológicas de la cuenca del río Ramis, los términos autoregresivos de ordenes AR(1), AR(2) y AR(3), tienen coeficientes con signos positivos las cuales indican correlación directa y signo negativo indica relación inversa en la estación; (b) para la estación Llally AR(1) y AR(2), Chuquibambilla AR(1), AR(2), y AR(3), Ananea AR(1), AR(2), y AR(3) no tienen significancia estadística de acuerdo a la probabilidad $P \leq 0.01$; (c) en las estaciones Crucero AR(1), AR(2), y AR(3), Azángaro AR(1) y Ar(2), y Arapa AR(12) y AR(24) tienen alta significancia estadística; para las estaciones Llally los términos de medias móviles MA(1), MA(2), y MA(3), Chuquibambilla MA(1) y MA(2), Crucero MA(3) y MA(4); Ananea MA(1), MA(2) y MA(3) no indican significancia estadística, (d) en las estaciones Azángaro MA(1) y MA(2), Arapa MA(1) y MA(2) existe alta significancia estadística; cuando es de alta significancia estadística implica la aplicabilidad del modelo.

En la estación Llally se pronosticó la presencia de sequía en el mes de diciembre en el año 2021, así también para los años 2022, 2028, 2030, 2033, 2035, 2036, y 2037 habrá presencia de la sequía, meteorológica en el mes de noviembre; En la estación de Chuquibambilla habrá sequía en diciembre en el año 2021, 2023, 2025, 2031, 2032; y en noviembre 2022, 2035, y 2036; en la estación meteorológica de Crucero, la presencia de sequía en el mes de diciembre en el año 2019, 2031, 2034, y 2035; para el mes de noviembre los años 2019, 2025, 2026, 2030, 2032, 2035 y 2038; en la estación meteorológica de Ananea, los años 2019, 2020, 2023, 2025, 2028, 2029, 2032, 2035 y 2037 en el mes de noviembre; en la estación meteorológica de Azángaro, se pronostica la presencia de sequía en el mes de diciembre en el año 2029, en el años de 2020 en el mes de noviembre; es necesario tener muy presente que en los años 2019,



2025, y 2034 habrán sequías meteorológicas los meses de noviembre y diciembre (veranillo); y en la estación meteorológica de Arapa, habrá sequía en el mes de noviembre los años 2020, 2025, 2028, 2029, 2032, 2035; es necesario tener presente en los años 2023, 2033 y 2037 habrán sequías continuados en los meses de noviembre y diciembre; y muy importante tomar en cuenta que en el mes de enero en los años 2022 y 2034 habrá presencia de sequía meteorológica.

El calendario agrícola en base del modelo de pronóstico para los cultivos de pan llevar en la cuenca del río Ramis; debido a la diversidad de microclimas existentes a lo largo de la cuenca; las épocas de siembra varían de una subcuenca a otra. La época de siembra de los cultivos de pan llevar se realiza entre los meses de setiembre, octubre y noviembre. Las sequías afectan severamente el altiplano de Puno, caracterizado por la escasez de lluvias que afectan directamente a los cultivos de la agricultura de secano, causando pérdidas de los cultivos y ganados, por lo tanto, el altiplano de Puno es la zona con mayor vulnerabilidad a las sequías.

El calendario agrícola no es único puesto que existen cultivos de siembra temprana y tardía, dependiendo de las condiciones de humedad de suelo para labores como labranza primaria, sin embargo, con los pronósticos realizados en los meses donde exista sequía meteorológica se puede retrasar o adelantar la siembra, planificando así el inicio de la campaña agrícola.



VI. RECOMENDACIONES

Es necesario que el criterio de optimización del recurso hídrico se oriente mayormente a la parte de las demandas y los usuarios. El cambio paulatino de los sistemas de riego tradicional a los tecnificados favorecerá el ahorro de volúmenes de agua, los mismos que podrían ser aprovechados para el riego de mayor cantidad de terrenos de cultivo.

En la época de lluvia, en la cuenca debido a las altas precipitaciones continuas hay una alta producción del recurso hídrico el cual fluye libremente por los cauces naturales hacia el lago Titicaca. Es conveniente realizar obras hidráulicas de afianzamiento para almacenar las aguas en la parte alta de la cuenca y utilizar el recurso hídrico en la época de estiaje. La regulación del recurso hídrico permitiría anular el déficit hídrico demostrado en la época de estiaje en este estudio.



VII. BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- ATDR-Ramis. (2008). *Actualización del balance hídrico de la cuenca del río Ramis-Hidrología*. Ayaviri. Melgar. Puno: Instituto Nacional de Recursos Hidricos.
- Barros, M. (2009). *Processos estocásticos*. Papel Virtual Editora.
- Belizario, G. (2015). Efectos del cambio climático en la agricultura de la cuenca Ramis, Puno-Perú. *Rev. Investig. Altoandin.*, 17(1), 47–52.
- Benavides Ballesteros, Henry Oswaldo; León Aristizabal, Gloria Esperanza (2007). Información Técnica Sobre Gases De Efecto Invernadero Y El Cambio Climático. Nota técnica del IDEAM. IDEAM-METEO/008-2007. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Subdirección de Meteorología.
- Box, G. G., & Jenkins. (1970). *Time series analysis: Forecasting and control*.
- Brando, P. M., Balch, J. K., Nepstad, D. c., Morton, D. C., Putz, F. E., Coe, M. T., y otros. (2014). Abrupt increases in Amazonian tree mortality due to drought-fire interactions. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 111, 6347–52, doi:10.1073/pnas.1305499111.
- Bryant, E. (2005). *Natural Hazards*. Cambridge University Press.
- Carvajal-Velez, L. (2008). Human Development Report 2007 / 2008 I. *Impacts of Climate Change on Human Development*.
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill. 582 p. International Edition.
- Colotti, E., Cedeño, M., & Montañez, C. (2013). La sequía meteorológica y la variación de la superficie agrícola en la Isla de Margarita, estado Nueva Esparta, Venezuela período 1972-2004. *Terra Nueva Etapa*, pp 11-53.
- Conover, W.J. (1980) *Practical Nonparametric Statistics*. 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York.



- Dai, A. (2011). Drought under global warming: A review. *Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Chang.* 2, 45–65, doi:10.1002/wcc.81.
- 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.
- Gálvez Ayala, Pedro Edwin (2017). Caracterización de las sequías históricas y proyectadas bajo escenarios de cambio climático en la cuenca del río Mantaro. Tesis de maestría en recursos hídricos. UNALM. Lima, Perú.
- GCCIP. (1997). Global Climate Change Information Programme.
- 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 .
- Harding, B. L., Sangoyomi, T. B., & Payton, E. A. (1995). Impacts of a severe sustained drought on colorado river water resources.
- Hayes, M. (2006). Drought Indices. *Van Nostrand's Sci. Encycl.* 13 pp, doi:10.1002/0471743984.vse8593.
- INRENA (2003). Estudio integral de los recursos hídricos de la cuenca del río Ramis. Componente recursos hídricos superficiales. Sub componente Inventario de fuentes de agua superficial. MINAG, Dirección regional Agraria Puno, Puno, Perú.



- INRENA. (2003). *Estudio integral de los recursos hídricos de la cuenca del Río Ramis-Inventario de Fuentes de Agua Superficial*. Puno Peru: Convenio de Cooperación Técnica Interinstitucional ALT - INRENA.
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013*.
- Leng, G., Tang, Q., & Rayburg, S. (2015). Climate change impacts on meteorological, agricultural and hydrological droughts in China. *Glob. Planet. Change* 126, 23–34. doi:10.1016/j.gloplacha.2015.01.003.
- Llamas, J. (1993). *Hidrología general. Principios y aplicaciones*. Quebec, Canadá: Universidad del País Vasco.
- Luque, M. E. (2018). *Modelo estocástico basado en redes neuronales no tradicionales aplicada a la generación de caudales mensuales caso: cuenca del río chili, arequipa*. Arequipa Peru: Universidad Nacional De San Agustín de Arequipa Facultad De Ingeniería de Producción Y Servicios Ingeniería de Sistemas.
- Malhi, Y., Aragao, L., Galbraith, D., Huntingford, C., Fisher, R., Zelazowski, P., y otros. (2009). Exploring the likelihood and mechanism of a climate-change-induced dieback of the Amazon rainforest. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 106, 20610–5. doi:10.1073/pnas.0804619106.
- Marcos Valiente, Oscar (2001). Sequía definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. *Investigaciones geográficas* N° 26: 59-80 p.
- 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.



- MINAGRI, M. (2018). *Calendario Agrícola para el Altiplano de Puno*. La Molina Lima Peru: Copyright © 2015. Ministerio de Agricultura y Riego: <http://www.minagri.gob.pe/portal/nosotros/que-hacemos>.
- Muller, D. (2007). *Processos Estocásticos e Aplicações. Bd. 4 von 2. Almedina, 2. Aufl. Coleção Económicas - 2 Série.*
- 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 meteorológica y climática para el desarrollo agrícola sostenible.*
- 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.*
- 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 Climatología*, 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., Fu, C., Cancelliere, A., Dustin, D., Bode, D., Pineda, A., y otros. (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., y otros. (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). *Determinacion de las frecuencias de sequias en la sub cuenca del rio huenque con fines de planeamiento de los recursos hidricos para uso en actividades agropecuarias* . Puno Peru: Universidad Nacional del Altiplano Puno Facultad de ingeniería Agrícola Tesis.
- 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.
- UNEP. (1996). *Diagnostico Ambiental del Sistema Titicaca-Desaguadero-Poopo-Salar de Coipasa (Sistema TDPS) Bolivia-Perú*. Washington, D.C.: <http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea31s/begin.htm> (1 of 4) [4/28/2000 11:13:38 AM].
- 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.
- Vicente-Serrano, S. M., Begueria, S., & Lopez-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming. *The standardized precipitation*



evapotranspiration index. J. Clim. 23, 1696–1718.
doi:10.1175/2009JCLI2909.1.

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. 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.*



ANEXOS

Tabla A 1 Media y varianza del modelo de la estación meteorológica Llally

Estación	Media	Varianza	AICC	SIC
1	186.031	3238.82	146.905	144.755
2	162.513	1755.85	134.869	132.719
3	149.494	2267.6	141.875	139.724
4	58.700	986.388	126.398	124.247
5	9.36875	86.9446	92.329	90.179
6	1.725	5.65687	48.015	45.865
7	3.19375	24.1318	71.755	69.605
8	6.50625	25.9493	70.102	67.952
9	17.8813	148.744	100.692	98.541
10	46.525	1244.170	134.865	132.714
11	56.425	1113.250	133.072	130.921
12	129.025	1546.910	138.420	136.270

Tabla A 2 Varianza del ruido blanco del modelo de la estación Llally

Season	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	2627.7	1238.4	1918.8	729.35	86.736	5.437	23.974	21.621	146.28	1238.1	1106.8	1546.2
	8	6	3	3	1	1	6	9	2	1	9	2

Tabla A 3 Parámetros periódicos de media móvil del modelo de la estación Llally

Season	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
THT(1)	0.6286	0.4437	0.5306	-0.3659	0.0169	0.0503	-0.1700	-0.4248	-0.3374	0.2035	-0.0717	-0.0249

Tabla A 4 Características del modelo para la estación Chuquibambilla

Current_Model: PARMA(0,1)
For Site(s): 1
Model Fitted To: Mean Subtracted Data



Tabla A 5 Media y varianza del modelo de la estación Chuquibambilla

Estación	Media	Varianza	AICC	SIC
1	148.092	2854.23	640.079	640.165
2	120.665	1905.72	610.566	610.652
3	119.83	2067.98	615.353	615.439
4	49.2648	914.012	554.091	554.177
5	9.59859	95.9697	398.906	398.993
6	2.98873	63.9579	368.034	368.12
7	1.61831	13.1849	257.462	257.548
8	5.22254	80.5477	386.307	386.393
9	19.9211	239.362	464.04	464.126
10	46.0521	905.466	556.893	556.98
11	65.8944	1262.7	578.315	578.401
12	112.989	2247.56	623.032	623.118

Tabla A 6 Varianza del ruido blanco del modelo de la estación Chuquibambilla

Estación	varianza
1	2853.71
2	1883.15
3	2014.49
4	850.034
5	95.543
6	61.8528
7	13.032
8	80.0077
9	239.117
10	884.254
11	1195.66
12	2244.59

Tabla A 7 Parámetros periódicos de media móvil del modelo de la estación Chuquibambilla

Estación	THT(1)
1	-0.015182
2	-0.088943
3	-0.168526
4	-0.17821
5	-0.022404
6	-0.148437
7	0.049722
8	-0.203552
9	-0.055339
10	0.297843
11	-0.275352
12	0.049833



Tabla A 8 Características del modelo para la estación Crucero

Current_Model: PARMA(0,10)
For Site(s): 1
Model Fitted To: Mean Subtracted Data

Tabla A 9 Media y varianza del modelo de la estación Crucero

Estación	Media	varianza	AICC	SIC
1	151.881	5172.58	514.092	525.356
2	131.507	6390.88	528.292	539.556
3	115.162	2098.2	465.503	476.767
4	55.4226	1355.72	451.536	462.8
5	16.0434	180.21	343.01	354.274
6	6.63208	96.5958	319.121	330.385
7	4.82453	79.952	305.987	317.251
8	11.9453	322.113	371.17	382.434
9	33.0377	640.26	410.397	421.661
10	54.3075	701.728	419.134	430.398
11	80.0321	1799.73	437.461	448.725
12	122.728	3035.72	484.043	495.307

Tabla A 10 Varianza del ruido blanco del modelo de la estación Crucero

Estación	varianza
1	3509.66
2	4587.98
3	1403.18
4	1078.11
5	139.114
6	88.6386
7	69.1834
8	236.658
9	496.09
10	584.994
11	826.657
12	1990.81



Tabla A 11 Parámetros periódicos de media móvil del modelo de la estación Crucero

Seaso n	THT(1)	THT(2)	THT(3)	THT(4)	THT(5)	THT(6)	THT(7)	THT(8)	THT(9)	THT(10)
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.362487	0.327444	0.334262	0.407922	-0.98418	0.849903	1.897067	0.315102	0.740055	0.050113
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-0.36661	0.318829	0.271808	0.540689	0.334608	0.108847	1.132148	1.956793	0.614887	0.594373
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.209661	0.118026	0.043477	0.338235	0.056343	0.571079	0.113586	0.525307	1.251026	0.411581
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.158488	0.086497	0.020424	-0.08618	0.299415	0.089256	0.003142	0.127932	-0.721	0.921602
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-0.05201	-0.03019	0.028383	0.026396	0.028263	0.170815	0.089629	0.014214	0.012608	0.078638
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.058075	0.000069	0.014937	0.017147	0.026213	0.000228	0.002428	0.066681	0.001575	0.059586
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.148475	0.046621	0.054081	0.015301	0.006758	0.002406	0.011207	0.045465	0.051505	0.052918
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.066354	0.392018	0.007717	0.047773	0.069553	0.025027	0.112488	0.085887	0.016987	0.024889
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.186019	0.291354	0.248573	0.065613	0.071654	0.160421	0.064868	0.005516	0.130318	0.189549
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.035869	0.046153	-0.90169	0.329157	0.198955	0.049128	0.060182	0.015936	0.097347	0.033682
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.191369	0.268261	0.575279	0.636241	2.443747	0.137133	0.230569	0.08477	0.062951	-0.23413
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.027405	0.276001	0.690067	0.488962	0.042491	1.475051	0.435056	0.540687	-0.03532	0.192557

Tabla A 12 Características del modelo para la estación Ananea

Current_Model: PARMA(0,2)
For Site(s): 1
Model Fitted To: Mean Subtracted Data

Tabla A 13 Media y varianza del modelo de la estación Ananea

Estación	Media	Varianza	AICC	SIC
1	122.724	1805.82	386.532	387.56
2	103.541	1377.39	376.721	377.749
3	90.4466	1002.7	358.616	359.644
4	44.062	465.571	325.116	326.144
5	15.175	172.773	281.459	282.487
6	6.98667	125.87	262.438	263.466
7	5.53556	72.9832	244.408	245.436
8	14.0933	174.766	281.183	282.211
9	23.6831	217.262	292.997	294.025
10	46.4689	500.286	330.725	331.753
11	60.0178	857.786	353.872	354.9
12	94.4133	934.249	355.384	356.412

Tabla A 14 Varianza del ruido blanco del modelo de la estación Ananea

Estación	varianza
1	1708.32
2	1373.66
3	918.647
4	436.353
5	165.389
6	108.378
7	72.5991
8	164.377
9	213.728
10	494.277
11	826.737
12	854.975

Tabla A 15 Parámetros periódicos de media móvil del modelo de la estación Ananea

Estación	THT(1)	THT(2)
1	-0.315529	-0.128395
2	0.037429	-0.039428
3	0.083348	-0.208841
4	-0.127632	0.101863
5	0.123506	0.028152
6	0.001058	-0.200219
7	-0.025539	-0.043532
8	-0.376365	-0.03114
9	0.144344	-0.038758
10	0.036724	-0.186543
11	-0.214619	-0.196848
12	-0.201095	-0.304539



Tabla A 16 Características del modelo para la estación Azángaro

Current_Model: PARMA(0,0)
For Site(s): 1
Model Fitted To: Mean Subtracted Data

Tabla A 17 Media y varianza del modelo de la estación Azángaro

Estación	Media	Varianza	AICC	SIC
1	130.8	2110.97	149.4	147.133
2	95.3882	1436.13	142.852	140.585
3	100.594	1539.18	144.03	141.763
4	34.0471	603.686	128.119	125.852
5	6.63529	38.5435	81.347	79.08
6	2.54706	12.4628	62.153	59.887
7	1.37647	6.96768	52.268	50.002
8	6.95294	86.0554	95.002	92.735
9	19.7647	200.526	109.383	107.116
10	53.0647	1464.29	143.182	140.915
11	67.5235	883.528	134.593	132.327
12	94.0765	1930.2	147.878	145.611

Tabla A 18 Varianza del ruido blanco del modelo de la estación Azángaro

estación	varianza
1	2110.97
2	1436.13
3	1539.18
4	603.686
5	38.5435
6	12.4628
7	6.96768
8	86.0554
9	200.526
10	1464.29
11	883.528
12	1930.2

Tabla A 19 Características del modelo para la estación Arapa

Current_Model: PARMA(0,2)
For Site(s): 1
Model Fitted To: Mean Subtracted Data

Tabla A 20 Media y varianza del modelo de la estación Arapa

estación	Media	Varianza	AICC	SIC
1	139.972	2923.36	419.639	420.725
2	112.474	3209.07	416.867	417.953
3	116.989	2490.81	404.014	405.1
4	47.2087	1147.02	369.493	370.579
5	11.3043	208.612	296.536	297.622
6	6.13696	204.568	297.245	298.331
7	3.74348	42.2355	220.599	221.685
8	12.363	341.776	315.981	317.067
9	26.1283	470.603	330.852	331.937
10	50.0957	899.289	360.859	361.945
11	71.0891	1736.07	394.201	395.287
12	98.1152	1726.34	384.018	385.104

Tabla A 21 Varianza del ruido blanco del modelo de la estación Arapa

estación	Varianza
1	2921.16
2	2750.29
3	2079.87
4	982.01
5	201.053
6	204.178
7	38.5814
8	306.832
9	423.929
10	813.948
11	1680.3
12	1346.64

Tabla A 22. Parámetros periódicos de media móvil del modelo de la estación Arapa

Estación	THT(1)	THT(2)
1	-0.039558	0.007693
2	-0.179878	-0.521147
3	-0.212257	-0.313463
4	-0.271814	-0.064215
5	-0.003246	-0.060242
6	0.005638	0.019775
7	0.054272	-0.123222
8	-0.944581	0.0505
9	0.03393	-1.095713
10	0.186328	-0.479758
11	-0.039609	0.358522
12	-0.437139	-0.268349



Tabla A 23. Ppronostico de sequias modelos ARIMA en la cuenca Ramis

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

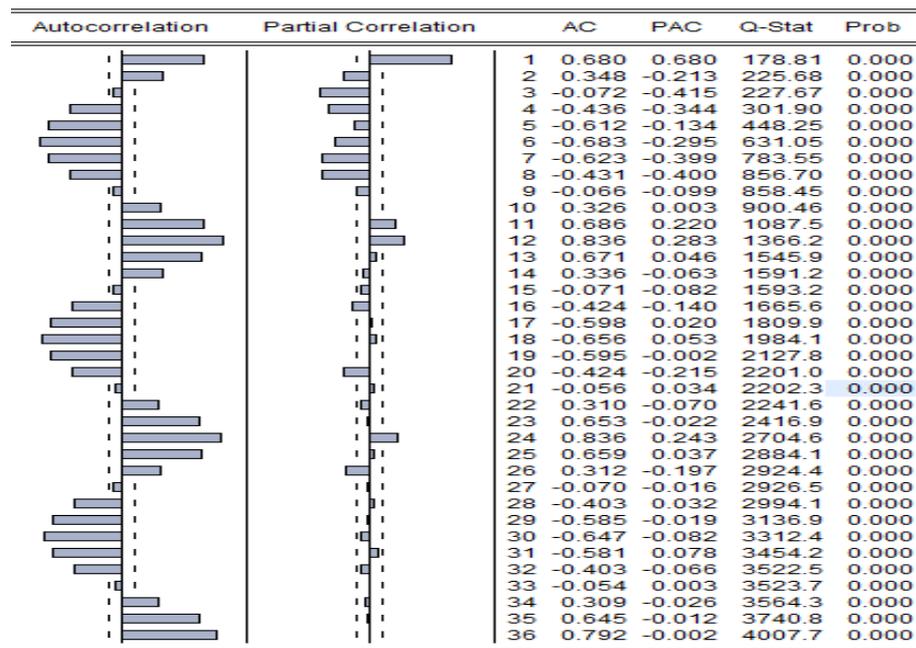


Figura 20. Correlograma Ljally

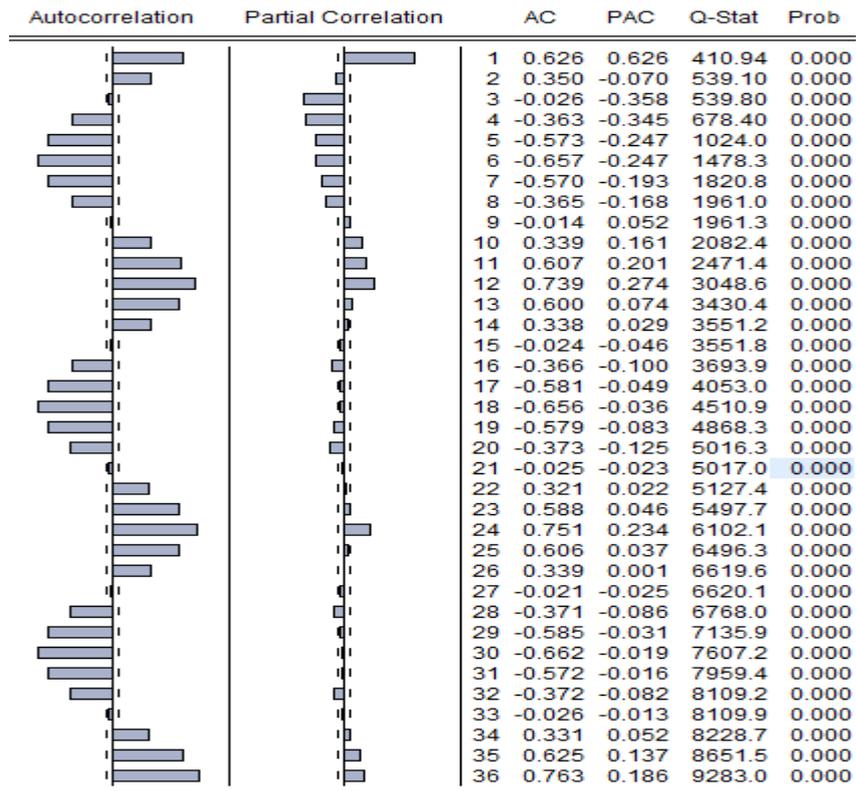


Figura 21. Correlograma Chuquibambilla

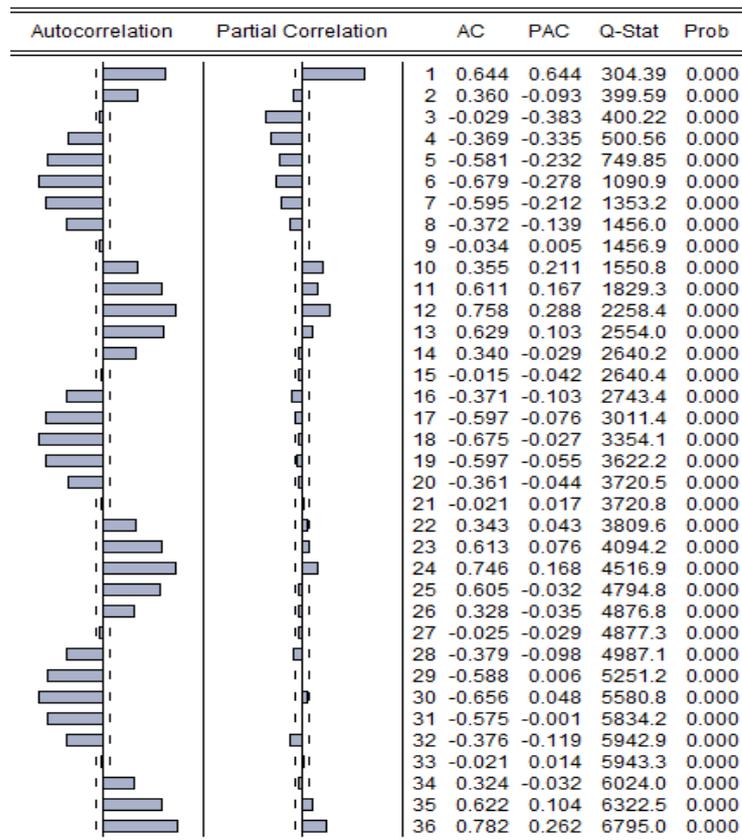


Figura 22. Correlograma Azangaro

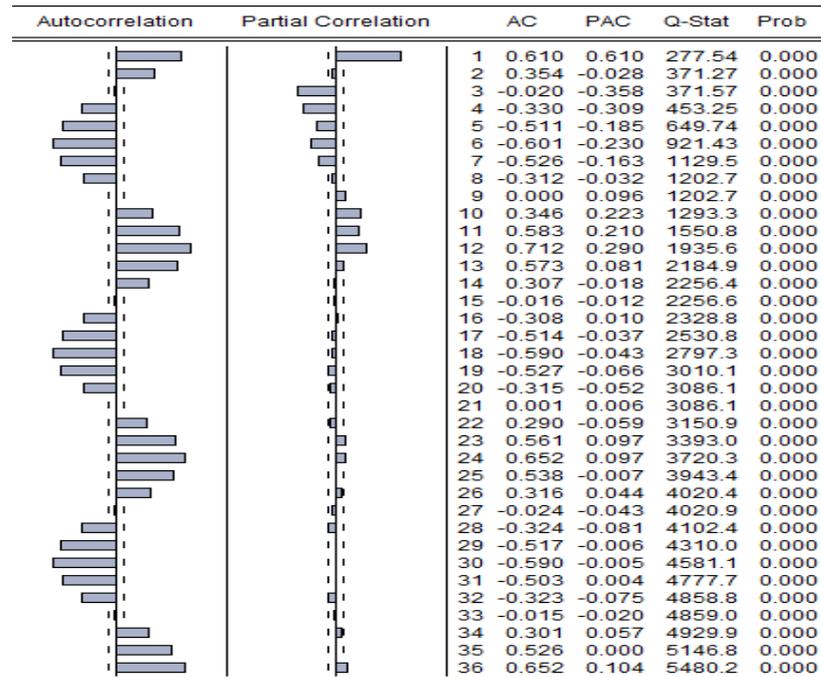


Figura 23. Correlograma Arapa

Tabla A 24. Calendario por siembras expresada (%) para el altiplano del Peru

Producto/Mes	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	
Cebada grano	0.7	14.4	53.7	26.5	4.7							100.0	
Maíz amarillo duro	11.2	32.7	46.4	9.7								100.0	
Maíz amiláceo	7.7	18.4	35.7	28.3	9.9							100.0	
Papa	3.3	9.9	38.3	34.8	8.2					0.7	2.2	2.6	100.0
Quinua	2.3	32.1	53.8	11.8								100.0	
Trigo	0.6	27.3	57.3	14.8								100.0	

Fuente: <http://www.minagri.gob.pe/portal/nosotros/que-hacemos>

Tabla A 25. Calendario de cosechas (%) para el altiplano del Peru

Producto/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
Café			0.1	9.5	27.1	16.8	13.4	10.9	6.4	8.3	3.7	3.8	100.0
Cebada grano		1.7	4.7	23.9	32.6	22.2	10.0	4.9					100.0
Haba grano seco			1.8	18.4	46.5	33.3							100.0
Maíz amarillo duro		13.2	22.1	20.1	27.5	17.1							100.0
Maíz amiláceo			6.8	25.5	52.0	15.7							100.0
Naranja		0.8	2.1	9.5	30.2	26.9	20.0	6.6	1.3	1.2	1.4		100.0
Olluco			5.3	37.4	49.5	7.8							100.0
Papa	1.5	2.8	9.8	34.3	36.5	9.2				0.5	2.4	3.0	100.0
Plátano	6.5	6.3	7.6	9.9	11.4	11.8	10.9	8.0	7.7	6.2	5.6	8.1	100.0
Quinua			6.2	42.6	42.2	9.0							100.0
Trigo		1.4	12.2	25.5	40.1	20.8							100.0
Yuca		2.2	5.3	9.8	22.4	25.0	35.3						100.0

Fuente: <http://www.minagri.gob.pe/portal/nosotros/que-hacemos>