

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
PROGRAMA DE MAESTRÍA
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS

**DETERMINACIÓN DE FRECUENCIAS DE SEQUIA EN LA PROVINCIA DE
PUNO CON FINES DE PLANEAMIENTO DEL USO DE RECURSOS
HÍDRICOS**

PRESENTADA POR:

ROGELIO PIZANO QUISPE

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAGISTER SCIENTIAE EN GESTIÓN Y AUDITORIA AMBIENTAL

PUNO, PERÚ

2016

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO

PROGRAMA DE MAESTRÍA

MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA AGRÍCOLA

TESIS

**DETERMINACIÓN DE FRECUENCIAS DE SEQUIA EN LA PROVINCIA DE
PUNO CON FINES DE PLANEAMIENTO DEL USO DE RECURSOS
HÍDRICOS**

PRESENTADA POR:

ROGELIO PIZANO QUISPE

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

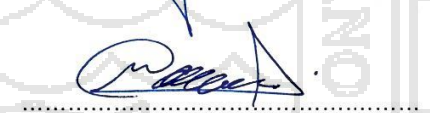
MAGISTER SCIENTIAE EN GESTIÓN Y AUDITORIA AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE


.....
Dr. JUAN GREGORIO ZAPANA PARI

PRIMER MIEMBRO


.....
M.Sc. OSCAR RAÚL MAMANI LUQUE

SEGUNDO MIEMBRO


.....
M.Sc. VÍCTOR MANUEL ESPINOZA PINEDO

ASESOR DE TESIS


.....
M.Sc. ROBERTO ALFARO ALEJO

ÁREA: Hidrología
TEMA: Frecuencia de sequia
LÍNEA: Gestión de recursos hídricos

Puno, 25 de noviembre del 2016

DEDICATORIA

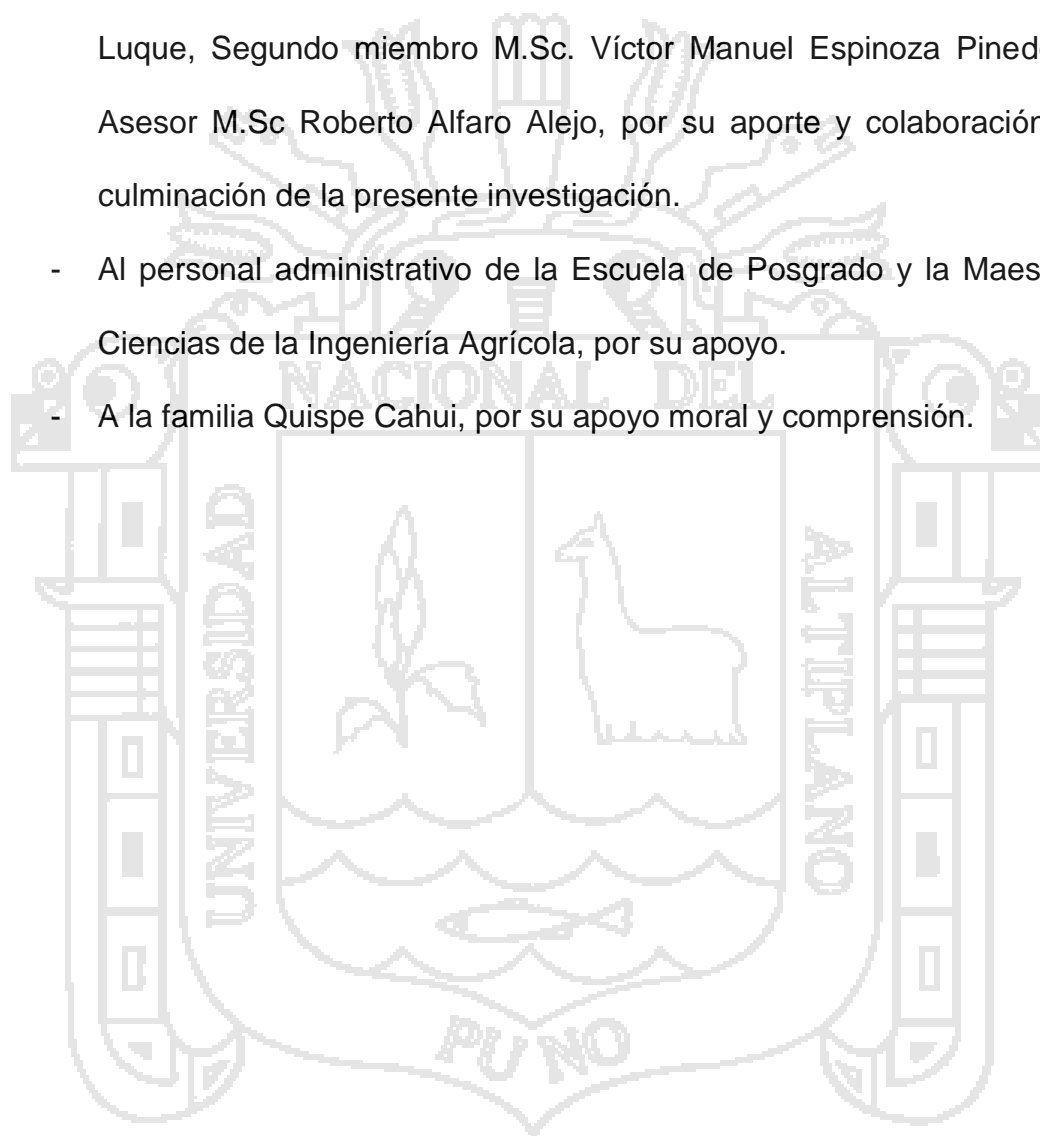
A nuestra Santísima Virgen María de la Candelaria, por ser mi fortaleza, protegerme e iluminar mi camino.

Con mucho cariño a mis queridos hijos y mis nietos que me brindaron su apoyo moral y comprensión.

A la memoria de mi esposa, mi padre, y mi madre, que me guían desde el cielo.

AGRADECIMIENTOS

- A nuestra Alma Mater la Universidad Nacional del Altiplano, Escuela de Posgrado, por brindarnos la oportunidad de formarnos especialistas.
- A los miembros del jurado calificador: Presidente Dr. Juan Gregorio Zapana Pari, Presidente, Primer miembro M.Sc. Oscar Raúl Mamani Luque, Segundo miembro M.Sc. Víctor Manuel Espinoza Pinedo y mi Asesor M.Sc Roberto Alfaro Alejo, por su aporte y colaboración en la culminación de la presente investigación.
- Al personal administrativo de la Escuela de Posgrado y la Maestría en Ciencias de la Ingeniería Agrícola, por su apoyo.
- A la familia Quispe Cahui, por su apoyo moral y comprensión.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	1

CAPITULO I**PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN**

1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2. Formulación del problema	5
1.2.1. Problema general.....	5
1.2.2. Problemas específicos.....	5
1.3. Justificación	6
1.4. Objetivos.....	7
1.4.1. Objetivo general.....	7
1.4.2. Objetivos específicos	7

CAPITULO II**MARCO TEÓRICO**

2.1. Elementos meteorológicos	8
2.1.1 La atmosfera	8
2.1.2 Humedad atmosférica	9
2.1.3 Radiación solar	9
2.1.4 Temperatura	10
2.1.5 Viento.....	12
2.2. Ciclo Hidrológico.....	13
2.3. Cuenca Hidrográfica.....	14
2.4. Definición de sequía	16

2.5.	Clases de sequía	18
2.5.1	Sequía meteorológica	18
2.5.2.	Sequia agrícola	19
2.5.3.	Sequia hidrológica	19
2.5.4	Sequia socioeconómica	20
2.6.	Caracterización de las sequias.....	21
2.7.	Métodos de cuantificación de la sequía meteorológica	22
2.7.1.	Porcentaje de la precipitación media	22
2.7.2.	Cuartiles (quintiles, deciles y percentiles)	23
2.7.3.	Desviación estandarizada de precipitación	24
2.7.4.	Índice de Severidad de la Sequía de Palmer	26
2.8.	Hidrología estadística	27
2.8.1.	Definición de parámetros estadísticos	29
2.8.2.	Métodos de estimación de parámetros	30
2.8.3.	Distribuciones de probabilidad para variables hidrológicas.....	32
2.9.	Precipitación	33
2.10.	Análisis de consistencia de la información hidrológica	35
2.11.	Completación de datos hidrológicos	39

**CAPITULO III
METODOLOGÍA**

3.1.	Ubicación de la zona en estudio.....	42
3.2.	Características climatológicas de la zona en estudio	45
3.3.	Población demográfica en la Provincia de Puno	55
3.4.	Metodología.....	56
3.4.1.	Análisis de consistencia de la información pluviométrica.....	56
3.4.2.	Índice de precipitación estandarizado (IPE).....	64

**CAPITULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1.	Del análisis de consistencia de la información pluviográfica	68
4.1.1.	Análisis de saltos.....	74
4.2.	De la estimación del índice de precipitación Estandarizada.....	79
4.2.1.	De la estimación de los parámetros de la distribución	

Gamma79

4.2.2. Del índice de precipitación Estandarizada.....81

4.3. Frecuencia de ocurrencia de eventos de sequía por estaciones.....90

CONCLUSIONES 100

RECOMENDACIONES102

BIBLIOGRAFÍA 103

ANEXOS108



ÍNDICE DE CUADROS

1.	Ubicación geográfica de los distritos de la provincia de Puno.....	43
2.	Precipitación total mensual (mm) promedio	46
3.	Temperatura Media, máxima y mínima Mensual (°C)	50
4.	Humedad Relativa Media Mensual (%)	51
5.	Horas de Sol Media Mensual (hr).....	52
6.	Velocidad del Viento Media Mensual	54
7.	Departamentos con mayor población al 30 de Junio del 2011	55
8.	Población estimada al 30 de junio del 2011 por distritos.....	56
9.	Clasificación del IPE por categorías y su probabilidad de ocurrencia	67
10.	Precipitación Total Mensual (mm) - Estación Puno	69
11.	Precipitación Total Mensual (mm) - Estación Capachica	70
12.	Precipitación Total Mensual (mm) - Estación Uros.....	71
13.	Precipitación Total Mensual (mm) - Estación Laraqueri	72
14.	Precipitación Total Mensual (mm) - Estación Mañazo.....	73
15.	Parámetros de la distribución Gamma – Est. Puno	79
16.	Parámetros de la distribución Gamma – Est. Capachica	80
17.	Parámetros de la distribución Gamma – Est. Uros.....	80
18.	Parámetros de la distribución Gamma – Est. Laraqueri	80
19.	Parámetros de la distribución Gamma – Est. Mañazo.....	81
20.	Índice de precipitación Estandarizada mensual – Est. Puno	83
21.	Índice de precipitación Estandarizada mensual – Est. Capachica.....	84
22.	Índice de precipitación Estandarizada mensual - Estación Uros	85
23.	Índice de precipitación Estandarizada mensual – Est. Laraqueri	86
24.	Índice de precipitación Estandarizada mensual – Est. Mañazo.....	87
25.	Frecuencia de ocurrencia de eventos según valor de IPE – Estación Puno	91
26.	Frecuencia de ocurrencia de eventos según valor de IPE – Estación Capachica.....	92
27.	Frecuencia de ocurrencia de eventos según valor de IPE – Estación Uros	94
28.	Frecuencia de ocurrencia de eventos según valor de IPE – Estación Laraqueri.....	95
29.	Frecuencia de ocurrencia de eventos según valor de IPE – Estación Mañazo	97
30.	Resumen de Frecuencia de ocurrencia de eventos según IPE.....	98

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Ubicación Política de la provincia de Puno.....	44
2.	Variación Mensual de la Precipitación (mm)	47
3.	Variación Mensual de la Temperatura Media, Máxima y Mínima (°C) Estación Rincón de la Cruz (Acora).....	49
4.	Variación Mensual de la Temperatura Media, Máxima y Mínima (°C) Estación Laraqueri.....	49
5.	Variación Mensual de la Humedad Relativa Media (%).....	51
6.	Variación Mensual de Horas de Sol	53
7.	Variación Mensual de la Velocidad del Viento (m/s)	54
8.	Histograma de precipitación total mensual – Estación Puno.....	74
9.	Histograma de precipitación total mensual – Estación Capachica	75
10.	Histograma de precipitación total mensual – Estación Uros.....	76
11.	Histograma de precipitación total mensual – Estación Laraqueri.....	77
12.	Histograma de precipitación total mensual – Estación Mañazo	77
13.	Diagrama de doble masa de precipitación total anual.....	78
14.	Serie de tiempo de Índice de Precipitación Estandarizada – Estación Puno	88
15.	Serie de tiempo de Índice de Precipitación Estandarizada – Estación Capachica.....	88
16.	Serie de tiempo de Índice de Precipitación Estandarizada – Estación Uros	89
17.	Serie de tiempo de Índice de Precipitación Estandarizada – Estación Laraqueri.....	89
18.	Serie de tiempo de Índice de Precipitación Estandarizada – Estación Mañazo	90
19.	Frecuencia de ocurrencia de eventos – Estación Puno.....	91
20.	Frecuencia de ocurrencia de eventos – Estación Capachica	93
21.	Frecuencia de ocurrencia de eventos .- Estación Uros	94
22.	Frecuencia de ocurrencia de eventos – Estación Laraqueri.....	96
23.	Frecuencia de ocurrencia de eventos – Estación Mañazo	97
24.	Diagrama de frecuencias de ocurrencia de eventos según los rangos de IPE en las 05 estaciones	99

ÍNDICE DE ANEXOS

1. Estimación de parámetros de la distribución gamma – Estación Puno 109

2. Estimación de parámetros de la distribución gamma – Estación Capachica..... 110

3. Estimación de parámetros de la distribución gamma – Estación Uros 111

4. Estimación de parámetros de la distribución gamma – Estación Laraqueri 112

5. Estimación de parámetros de la distribución gamma – Estación Mañazo 113



RESUMEN

El trabajo de investigación tiene como objetivo realizar el análisis temporal de la sequía meteorológica en la provincia de Puno para un periodo de 48 años (1964 al 2011) a través del método de índice de precipitación estandarizada, el mismo que es muy utilizado debido a su simplicidad y flexibilidad para el estudio de la precipitación en varias escalas temporales. La metodología a utilizar es el siguiente: a) Determinar la serie histórica de precipitaciones totales mensuales de las estaciones Puno, Capachica, Uros, Laraqueri y Mañazo, los mismos que pertenecen a SENAMHI, b) Analizar la consistencia de la información pluviométrica para determinar su homogeneidad, c) Determinar los índices de precipitación estandarizada mensual para las series estudiadas y d) Determinar la frecuencia de ocurrencia de los eventos de sequía de acuerdo a los rango de valores de IPE propuesto por Mc Kee; Los resultados del estudio nos indican que en promedio para las 05 estaciones, considerando un periodo de 48 años (1964 al 2011) se tiene 576 eventos analizados, el 1.2 % corresponde eventos extremadamente húmedos, el 3.3 % a eventos muy húmedos, 10.2 % a eventos moderadamente húmedos, 41.1 % a eventos ligeramente húmedos, 24.1 % a eventos ligeramente seco, 11.8 % a eventos de sequias moderadas, 5.2 % a eventos de sequias severas y el 3 % a eventos de sequias extremas.

Palabras Clave: Distribución gamma, índice de precipitación estandarizada, precipitación total, Puno, sequía.

ABSTRACT

The research aims to make the temporal analysis of meteorological drought in the province of Puno for a period of 48 years (1964 to 2011) through the method of standardized precipitation index, the same that is widely used because of its simplicity and flexibility for the study of precipitation in various time scales. The methodology used is: a) Determine the historical series of total rainfall monthly of Puno, Capachica, Uros, Laraqueri and Mañazo stations that belong to SENAMHI; b) Analyzing the consistency of the pluviometric information to determine its homogeneity; c) Determine the monthly standardized precipitation index for the studied series and d) Determining the occurrence frequency of drought events according to the range of IPE values proposed by Mc Kee; The study results indicate that on average for 05 seasons, considering a period of 48 years (1964 to 2011) have analyzed 576 events, 1.2% belong to extremely wet events, 3.3% to wet events, 10.2% to moderately moist events, 41.1% to slightly moist events, 24.1% to slightly dry events, 11.8% to moderate drought events, 5.2% to severe drought events and 3% to extreme drought events.

Keywords: Drought, gamma distribution, Puno, standardized precipitation index, total rainfall.

INTRODUCCIÓN

La sequía se percibe como uno de los desastres naturales más costosos y menos entendidos, dada la dificultad para definir su comienzo y fin, su lento desarrollo y las múltiples facetas que posee a nivel regional. Entre todos los eventos meteorológicos extremos, posee la mayor duración y la menor predictibilidad (Mishra y Singh, 2010).

Las sequías se presentan en casi todas las zonas climáticas, aun cuando las características de cada región son diferentes. Las sequías pueden desarrollarse en periodos cortos (meses) o periodos largos de tiempo (años) por diferentes situaciones o causas, las que dependen de las características climáticas propias de cada región, inclusive del uso del agua, del uso del suelo y de las diferentes actividades económicas que se desarrollan (Lloyd-Hughes y Saunders, 2002).

El término sequía admite diversas acepciones en función del espacio geográfico o de la actividad económica afectada; se habla por ejemplo de sequía meteorológica, agrícola, hidrológica o socioeconómica, en relación con las dificultades suscitadas en cada uno de estos sectores por una menor disponibilidad de agua; además, que cada disciplina incorpora diferentes factores físicos, biológicos y socioeconómicos en su concepción de la sequía (Benson *et al.*, 2007)

Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2012), existe una tendencia a una disminución de las pérdidas de vidas asociadas a riesgos hidrometeorológicos, principalmente vinculados con la ocurrencia de sequías e inundaciones. El éxito en la reducción de las víctimas mortales se relaciona con

el establecimiento de programas de alerta temprana y de respuesta a emergencias.

Mc Kee, (1993) menciona que el índice de precipitación estandarizada (SPI) es una metodología empírica, que nos permite detectar el inicio, hacer seguimiento y la culminación de la sequía; este método, tiene por ventaja la utilización de una sola variable hidrometeorológica que es la precipitación media; también el método nos permite describir las sequías en forma temporal, es decir evaluar en el tiempo y en forma espacial para ver el comportamiento en un determinado espacio geográfico.

En esta investigación se pretende determinar los eventos de sequias mediante el método Índice de Precipitación Estandarizada en la provincia de Puno, con la finalidad de identificar los eventos extremos y recomendar las acciones preventivas para no ser afectos a las consecuencias como por ejemplo la perdida de la producción agropecuaria, por una escases de agua.

CAPÍTULO I

PROBLEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la Décima Conferencia del Clima de las Naciones Unidas (Buenos Aires, 2004) se ha vuelto a poner de manifiesto el contradictorio desarrollo del sistema económico mundial, que alienta un crecimiento que genera pérdidas irre recuperables por la degradación medio ambiental, el agotamiento de los recursos naturales y los efectos del cambio climático. Dicha conferencia confirmó que el agua constituye uno de los vehículos principales de impacto del cambio climático. Para el caso de América Latina, los impactos de lluvias torrenciales, tormentas, **sequías**, desastres hídricos y el desplazamiento de las siembras a zonas menos fértiles ya se sienten en la agricultura, y la disminución en la producción de alimentos es una amenaza constante (Consejo Nacional del Medio Ambiente, 2005)

Según la Autoridad Nacional del Agua (2010), el fenómeno de sequía surge como consecuencia de una anomalía prolongada en el comportamiento de la atmósfera; de acuerdo a los efectos que produce es posible enfocar su estudio desde distintos puntos de vista. En este trabajo se examina el fenómeno desde el punto de vista meteorológico, considerándolo como una manifestación

anormal de la circulación atmosférica en nuestra región que provoca una ausencia o disminución significativa de precipitación. Entre los años 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 eventos, respectivamente. 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.

MacKee (1993) menciona que el índice de precipitación estandarizada (SPI) es una metodología empírica, que nos permite detectar a la sequía desde el inicio, hasta la culminación de la misma. Este método, tiene por ventaja la utilización de una sola variable hidrometeorología que es la precipitación total mensual; también el método de índice de precipitación estandarizada, nos permite describir las sequías en forma temporal (es decir Puntual) y Espacial (comportamiento en el espacio).

En base a un análisis de los niveles anuales del Lago Titicaca encontré relaciones entre los niveles mínimos del lago y la ocurrencia de Niños. Fracou y Pizarro (1985), indican que hay relaciones estadísticas entre las apariciones del Niño a lo largo de la costa peruana y una pluviometría deficitaria susceptible de producir condiciones de sequía en los Altos Andes Tropicales y el Altiplano

Peruano. 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 sudatlántico 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 (Antúnez de Mayolo, 1983).

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Con la presente investigación se pretende responder a las siguientes preguntas:

1.2.1. Problema general

¿Es posible determinar las sequías a través del método de índice de precipitación estandarizada en la provincia de Puno, con fines de identificar las sequías extremas que perjudican a las actividades agropecuarias?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Es posible analizar la consistencia de la información histórica de precipitación registradas en las estaciones ubicadas en el área geográfica de la provincia de Puno para ver su homogeneidad?
- b. ¿Es posible determinar las sequías mensuales durante el periodo 1964 al 2011 en la provincia de Puno a través del método de Índice de precipitación estandarizada?

- c. ¿Es posible determinar la frecuencia de las sequías e identificar las sequías extremas durante el periodo 1964 al 2011 que afectan a la actividad agropecuaria en los distritos de la provincia de Puno?

1.3. JUSTIFICACIÓN

En el Altiplano, la presencia de años húmedos o secos está muy relacionada con la ocurrencia del Fenómeno Enso. Para años El Niño existe una tendencia a la sequía, mientras que durante años La Niña, generalmente se presentan condiciones húmedas en el Altiplano. Sin embargo, se han presentado eventos secos bajo la influencia de años La Niña, así como años El Niño con condiciones húmedas, lo que indica que las relaciones entre la temperatura de la superficie del mar en el Pacífico Tropical y las anomalías de la precipitación en los Andes Centrales no son simples. El fenómeno del Niño de 1982 – 1983, tuvo grandes impactos en la costa peruana, pero contrariamente en la región del altiplano se produjo la sequía más prolongada que afectó severamente la producción agrícola, Garreaud, (2003).

McKee *et al.* (1993), debido a que la sequía tiene múltiples efectos negativos, es necesario seguir el comportamiento del mismo. La metodología de Índice de precipitación estandarizada de precipitación (SPI) nos permite hacer el seguimiento en el tiempo y espacio de la sequía, ya se podría menguar el impacto optando por cultivos que requieran menos agua para su normal desarrollo, como también se planificaría el almacenamiento del recurso hídrico por la ausencia de la precipitación en un determinado tiempo.

El abastecimiento limitado de agua y una demanda creciente tanto en el espacio como en el tiempo hacen que el problema de la sequía requiera mayor atención e investigación; así mismo las sequías extremas también producen una gran disminución del nivel de lago Titicaca, alterando el ecosistema del lago.

En la investigación se pretende determinar las sequías meteorológica en la provincia de Puno, a través del método índice de precipitación estandarizada e identificar las sequías extremas, las mismas afectan directamente a las actividades agropecuarias y por ende a la economía de los pobladores.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Determinar las sequías a través del método Índice de Precipitación Estandarizada en la provincia de Puno, con fines de planificación del uso del agua en las actividades agropecuarias.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Analizar la consistencia de la información histórica de precipitación registradas en las estaciones ubicadas en el área geográfica de la provincia de Puno y zonas aledañas.
- b. Determinar las sequias temporales mensuales durante el periodo 1964 al 2011 en la provincia de Puno a través del método de Índice de Precipitación Estandarizada.
- c. Determinar las sequias extremas durante el periodo 1964 al 2011 que afectan a la actividad agropecuaria en la provincia de Puno.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Elementos meteorológicos

La ciencia meteorológica estudia la atmósfera, es una disciplina que trata de establecer la relación existente entre los parámetros del ciclo hidrológico en base al análisis físico y matemático. Los elementos más importantes se describen a continuación:

2.1.1. La atmosfera

Según Mejía (2006), la atmósfera está formada por una capa aproximada de 100 km de espesor sobre la tierra. La presión y la densidad del aire decrecen rápida y continuamente con el incremento de la altitud; la temperatura varía de una forma irregular y característica, cuyo perfil define las diferentes capas de la atmósfera. Después de un decremento general de la temperatura a través de la troposfera, el incremento de la temperatura desde los 20 km hasta los 50 km de altitud es causado por la capa de ozono, que absorbe la radiación solar de onda corta, liberando algo de energía en forma de calor.

2.1.2. Humedad atmosférica

Aparicio (1992), menciona que la cantidad de vapor de agua en la atmósfera es muy pequeña comparada con las cantidades de otros gases presentes, pero es excesivamente importante y es el gran responsable por las condiciones de tiempo reinantes. La precipitación es derivada de esa agua atmosférica y además el contenido de la humedad del aire es también un factor significativo en los procesos de evaporación. Así, es necesario para el hidrólogo estar familiarizado con los métodos de evaluación del contenido de vapor en la atmósfera y conocer los efectos termodinámicos de la humedad atmosférica. En meteorología las presiones consideradas son relativamente pequeñas, pudiendo por lo tanto el aire seco ser considerado como un gas ideal. La misma consideración puede ser hecha con respecto al vapor de agua, con excepción de pequeños intervalos de presión y temperatura próximos al punto de condensación. Esas consideraciones son importantes, debido a que las evoluciones termodinámicas del aire seco y del vapor de agua pueden ser tratadas como el de los gases ideales

2.1.3. Radiación solar

Según Guevara (2004), la radiación solar es la fuente de energía para la ocurrencia del ciclo hidrológico y responsable del movimiento atmosférico terrestre así como la principal fuente de energía de las plantas. La radiación solar llega a las capas superiores de la atmósfera a una tasa de $2 \text{ cal/cm}^2/\text{minuto}$ magnitud denominada constante solar

cuando la superficie se considera normal a la radiación incidente y a una distancia media entre el sol y la tierra.

Una parte de la radiación incidente es dispersa y absorbida por la atmósfera y la tierra; otra es reflejada por las nubes y la tierra. La proporción de radiación reflejada (por las nubes o la tierra) en relación con la radiación incidente se denomina albedo. Tanto el albedo como la absorción varían considerablemente con la altitud solar, el tipo de nube, el tipo de superficie terrestre, la humedad, etc. Las nubes pueden reflejar entre el 20 y 80% de la radiación incidente, la tierra entre 10 y 30% y los océanos entre 6 y 8%. El albedo medio para la superficie terrestre es de 14%. Los valores dados reflejan valores medios solamente. La mayor parte de la superficie terrestre no está perpendicular a los rayos incidentes, aún más a medida que aumenta en ángulo de inclinación disminuye la intensidad de la radiación. Por lo tanto a mayor latitud menor intensidad de radiación solar; la desigual incidencia de la energía solar sobre las diferentes regiones del planeta constituye uno de los principales factores que determina la circulación general de la atmósfera terrestre y por lo tanto el clima. Ésta diferencia también se presenta a lo largo del año para una misma localidad ocasionando variaciones en el clima no solo en relación a la altitud, sino también como el tiempo (estaciones climáticas).

2.1.4. Temperatura

Mejía (2006), manifiesta que la temperatura es considerada como el factor determinante y decisivo de las diversas etapas del ciclo hidrológico y principalmente en el estudio de la evaporación. El efecto

de los diversos procesos de intercambio de calor en el sistema Tierra-Atmósfera conduce a una distribución de temperatura según la dirección vertical, o sea, un decremento de la temperatura con la altitud de $6,5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$ en la troposfera y condiciones aproximadamente isotérmicas en la estratosfera. La tasa de variación de la temperatura con la altitud es denominada gradiente vertical de temperatura. El estudio de la gradiente vertical de temperatura es de gran interés, ya que a través de él se puede aquilatar la estabilidad o inestabilidad de la atmósfera. La estabilidad atmosférica es determinada a través de gradientes de temperatura teóricos íntimamente ligados a los procesos de evolución del aire, tales como:

Distribución geográfica de la Temperatura

Mejía (2006) indica que en general, la temperatura tiende a ser máxima en las bajas latitudes y disminuye en dirección a los polos. Sin embargo, esa tendencia es bastante distorsionada por la influencia de la distribución de tierras y mares, de la topografía y de la vegetación. En el interior de los continentes, las temperaturas son más altas en verano y más bajas en invierno que en las regiones costeras a la misma latitud. La temperatura decrece con la altitud haciendo con que en las regiones más elevadas la temperatura sea más baja. El intervalo de variación de la temperatura en áreas de bosques es menor que en áreas estériles. Sobre las ciudades las temperaturas son más elevadas que en las regiones vecinas.

Variación de la temperatura con el Tiempo

La variación diaria de la temperatura es producida por la fluctuación diaria de la radiación solar incidente. La temperatura comienza a elevarse con la salida del sol y alcanza su máximo 1 a 3 horas después de que el sol haya alcanzado su altitud máxima. Las temperaturas mínimas ocurren normalmente en las madrugadas. Durante la noche, cuando la radiación solar está ausente, la temperatura es afectada solamente por el enfriamiento radiante. Consecuentemente, la curva típica de temperatura diurna no es simétrica y es afectado por el estado del cielo. En días nubosos, la temperatura máxima es menor por causa de la reducción de insolación. Por otro lado, la mínima es mayor porque las nubes reducen la pérdida por radiación (Mejía, 2006)

2.1.5. Viento

Guevara (2004), manifiesta que el viento es el aire en movimiento, se origina por las diferencias de presión y temperatura y es un factor muy importante en el ciclo hidrológico porque influye en el transporte de calor y humedad, evaporación y evapotranspiración, alimentación de las precipitaciones, etc. La dirección del viento es la dirección de donde proviene la masa de aire; se expresa en términos de los 16 puntos de la rosa de vientos distribuidos en los 4 cuadrantes N-S-E- O, para los vientos de superficie. En el caso de los vientos de altura, la dirección se expresa en grados a partir del Norte en el sentido de las agujas del reloj. La dirección se determina mediante una veleta, diseñada de tal forma que la flecha indica la procedencia. La velocidad del viento se

expresa en m/s, km/h o nudos, y se mide mediante los anemómetros.

Los anemómetros pueden ser de copas, hélice o de tubo a presión.

2.2. Ciclo Hidrológico

Según Chow *et al.* (2000), el ciclo hidrológico es el foco central de la hidrología, no tiene principio ni fin y sus diversos procesos ocurren en forma continua. En la Tierra, el agua existe en un espacio llamado hidrosfera, que se extiende desde unos 15 km arriba en la atmósfera hasta 1 km por debajo de la litósfera o corteza terrestre. El agua circula en la hidrósfera a través de un laberinto de caminos que constituyen el Ciclo Hidrológico.

El análisis del flujo y almacenamiento de agua en el balance global, da una visión de la dinámica del ciclo hidrológico. Se muestra en forma esquemática, cómo el agua se evapora desde los océanos y desde la superficie terrestre para volverse parte de la atmósfera; el vapor de agua se transporta y se eleva en la atmósfera hasta que se condensa y precipita sobre la superficie terrestre o los océanos; el agua precipitada puede ser interceptada por la vegetación, convertirse en flujo superficial sobre el suelo, infiltrarse en él, correr a través del suelo como flujo subsuperficial y descargar en los ríos como escurrimiento superficial. La mayor parte del agua interceptada y de escurrimiento superficial, regresa a la atmósfera mediante la evaporación. El agua infiltrada puede percolar profundamente para recargar el agua subterránea de donde emerge en manantiales o se desliza hacia ríos para formar el escurrimiento

superficial, y finalmente fluye hacia el mar o se evapora en la atmósfera a medida que el ciclo hidrológico continúa. (Chow, 2000).

2.3. Cuenca Hidrográfica

Faustino (2006), manifiesta que la cuenca hidrográfica se define como un ecosistema en el cual interactúan y se interrelacionan variables biofísicas y socioeconómicas que funcionan como un todo, con entradas y salidas, límites definidos, estructura interna de subsistemas jerarquizados (por ejemplo en el sistema biofísico: los subsistemas biológicos y físicos). En este sistema ocurren entradas como la energía solar, hídrica, eólica y gases como el CO², además ingresan insumos como semillas, alimentos, tecnologías y otros, ambos dan origen a procesos como el flujo de energía, ciclo de nutrientes, ciclo hidrológico, erosión y actividades productivas.

Las cuencas son espacios socio geográficos donde las personas y sus organizaciones comparten el territorio, sus identidades, tradiciones y culturas; socializan y trabajan en función de la disponibilidad de recursos. Las cuencas hidrográficas se reconocen como un sistema debido a la existencia de interacciones entre el sistema natural del suelo, el agua y biodiversidad y el sistema socioeconómico, que si bien éste no tiene un límite físico, sí depende de la oferta, calidad y disposición de los recursos. Los diferentes componentes del sistema cuenca no siempre se encuentran dispuestos de manera coordinada. Por ejemplo, la división político-administrativa de un país puede no coincidir con las divisiones de las cuencas hidrográficas, por lo tanto, se tiene en la cuenca,

injerencia de varios municipios distritales, provinciales, departamentos u organizaciones estatales, todo en función a la dimensión de cada territorio. (Vásquez, 2000).

Villon (2002), menciona que la cuenca de drenaje de una corriente, es el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación, se unen para formar un solo curso de agua. Cada curso de agua tiene una cuenca bien definida, para cada punto de su recorrido. La Delimitación de una cuenca, se hace sobre un plano o mapa a curvas de nivel siguiendo las líneas de *divortium acuarum* (parteaguas), la cual es una línea imaginaria, que divide a las cuencas adyacentes y distribuye el escurrimiento originado por la precipitación, que en cada sistema de corriente, fluye hacia el punto de salida de la cuenca.

Vásquez (1993), menciona que cuenca hidrográfica es el área o unidad de territorio, delimitada por una divisoria topográfica (*divortium aquarum*), que capta la precipitación y drena el agua de escorrentía hasta un colector común, denominado río principal; en un sentido amplio incluye al agua, el suelo, el aire, al hombre, a la flora y la fauna.

Aparicio (1992), denomina a la cuenca hidrográfica al área territorial de drenaje natural donde todas las aguas pluviales confluyen hacia un colector común de descarga. Los límites de una cuenca están determinados por la línea de «*divortium aquarum*» o divisoria de aguas. Debemos señalar que no siempre los límites geográficos (superficiales) suelen coincidir con los límites del acuífero (subterráneo), pudiendo

existir transferencias de masas líquidas entre una cuenca y otra adyacente o cercana.

Otra definición de cuenca, basada en la concepción hidrográfica, es la que da Monsalve (1998), quien dice que “una hoya o cuenca hidrográfica se puede concebir como un área definida topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua, tal que todo el caudal efluente es descargado a través de una salida simple”.

Según Botero (1982), la cuenca hidrográfica es una unidad espacial definida por un complejo sistema de interacciones físicas, bióticas, sociales y económicas.

Según la FAO, la cuenca hidrográfica es una unidad territorial formada por un río con sus afluentes, y por un área colectora de las aguas. En la cuenca están contenidos los recursos naturales básicos para múltiples actividades humanas, como: agua, suelo, vegetación y fauna. Todos ellos mantienen una continua y particular interacción con los aprovechamientos y desarrollos productivos del hombre.

2.4. Definición de sequía

La Organización de las Naciones Unidas (ONU, 1994) considera la sequía como un fenómeno que se produce naturalmente cuando las lluvias han sido considerablemente inferiores a los niveles normales registrados, causando un agudo desequilibrio hídrico que perjudica los sistemas de producción de recursos de tierras.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2012) en su vocabulario meteorológico internacional, define a la sequía como un periodo de tiempo con condiciones meteorológicas anormalmente secas, suficientemente prolongado como para que la falta de precipitación cause un grave desequilibrio hidrológico. No debe confundirse sequía con aridez, pues la última se da en regiones donde las lluvias y la humedad del suelo son bajas a consecuencia de las características climáticas del sitio en cuestión.

Salas (1986), considera que a pesar de existir numerosas definiciones, éstas pueden agruparse en tres categorías fundamentales:

- Aquella en la cual la sequía es definida como una cantidad absoluta de humedad (lluvia, escorrentía, humedad del suelo) por debajo de un umbral (por ejemplo, 20 días consecutivos sin llover).
- 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 la cual la sequía ocurre cuando la variable humedad es insuficiente para satisfacer las necesidades humanas

Dada la dificultad de conceptualizar el término sequía, Yevjevich (1972) sugirió el uso de la siguiente terminología para caracterizar el grado de déficit de humedad:

- Escasez: diferencias entre la demanda de agua y el agua suministrada, frecuentemente de carácter temporal, la cual suele

genera pequeñas consecuencias económicas y cierta inconformidad en los usuarios.

- Déficit: falta de agua en un lugar dado, durante un intervalo de tiempo dado, con consecuencias relativamente moderadas.
- Sequía: déficit de agua de duración prolongada, gran área de cobertura y con grandes impactos sobre la región.

Guerrero y Yevjevich (1975), consideran a la sequía como una deficiencia en el suministro de agua a lo largo de un tiempo determinado, en el cual la demanda de agua para varias actividades humanas no es satisfecha, mientras que Linsley *et al.* (1975) sostienen que un evento de sequía es un período durante el cual las corrientes superficiales de agua suplen inadecuadamente una comunidad.

2.5. Clases de sequía

2.5.1 Sequía meteorológica

Basada en datos climáticos, es una expresión de la desviación de la precipitación respecto a la media durante un período de tiempo determinado. 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 disminuye progresivamente por debajo de lo climatológicamente esperado o del aporte de humedad climatológicamente apropiado.

Russell *et al.* (1970), son más concisos, definiéndola como la falta prolongada de precipitación, inferior a la media.

Wilhite y Glantz (1985), la definen como el grado de desviación de la precipitación en comparación a un comportamiento “normal”, de una serie de tiempo preestablecida.

2.5.2 Sequía agrícola

Cárdenas (2005), sostiene que la sequía agrícola se presenta cuando el agua con la que se cuenta, ya sea por precipitación o por almacenamiento en el suelo o en los diferentes cuerpos de agua, no es suficiente para que los cultivos puedan crecer y desarrollarse de manera adecuada. La agricultura por ser el primer sector económico que resulta afectado por la escasez de precipitaciones, 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. 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.

2.5.3 Sequía hidrológica

Linsley *et al.* (1975), definen a la sequía hidrológica como el periodo durante el cual los caudales son inadecuados para satisfacer los usos establecidos bajo un determinado sistema de gestión de aguas. Se asocia a una deficiencia en el caudal o volumen de aguas superficiales o

subterráneas (ríos, embalses, lagos, entre otros). 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.

2.5.4 Sequía socioeconómica

Valiente (2001), manifiesta que la sequía 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. Menciona que en el caso de la sequía socioeconómica, son tan determinantes la magnitud y la duración del evento seco como la forma en que la economía y la sociedad desarrollan sus actividades, ya que determinadas acciones incrementan la vulnerabilidad a la escasez de precipitaciones. En función de esa vulnerabilidad, los efectos de la sequía sobre la economía y la sociedad, medidos en forma de pérdidas materiales, población afectada o pérdida de vidas humanas, adquirirán

mayor o menor relevancia, llegando a configurar situaciones en las que la sequía es considerada una catástrofe.

Las diferentes formas en que la sociedad y la economía de una región pueden verse afectadas por la escasez de precipitaciones quedan reflejadas en las diversas definiciones existentes de este tipo de sequía.

2.6. Caracterización de las sequias

Burton *et al.* (1978), definen siete parámetros para caracterizar las sequías, uno independiente (magnitud), cuatro correspondientes al componente temporal (duración, frecuencia, velocidad de implantación y espaciamiento temporal), y dos al espacial (extensión y dispersión espacial). Para cuantificarlos es necesario aplicar cálculos matemáticos para establecer detalladamente en qué medida ha habido déficit pluviométrico y cuáles son los límites temporales del episodio seco. A continuación se describen los parámetros importantes:

- La magnitud: déficit medio de precipitación o caudal durante el periodo de duración del evento seco. Puede medirse como la anomalía (en porcentaje) o la diferencia (en valor absoluto) de precipitación o caudal para el período seleccionado. Además de la magnitud, puede delimitarse la severidad de una sequía, definida como el déficit acumulado de caudal o precipitación para la duración del periodo seco.
- La duración: tiempo (número total de días, meses o años consecutivos) durante el cual la precipitación o el caudal totales

registrados son inferiores a la precipitación o el caudal medio de ese mismo período.

- Magnitud = Severidad x Duración
- La frecuencia: número de casos que se producen durante un período determinado. Puede medirse también a través de la probabilidad empírica de que la precipitación o el caudal sean inferiores a la media, o del período de retomo del evento seco (intervalo medio de tiempo dentro del que puede esperarse que ocurra una sequía de determinada magnitud).
- La velocidad de implantación: tiempo transcurrido entre el momento de inicio del déficit de precipitación o caudal, y el momento en que ese déficit alcanza su valor máximo.
- El espaciamiento temporal: tiempo transcurrido entre diversos períodos secos, lo que nos proporciona una medida de la regularidad o aleatoriedad del fenómeno. Mediante este parámetro se obtiene una primera aproximación a la previsibilidad de la sequía.
- La extensión: es la superficie total en la que se registra déficit hídrico.
- La dispersión espacial: es la medida del grado de difusión o concentración de la anomalía de caudal o de precipitaciones.

2.7. Métodos de cuantificación de la sequía meteorológica

2.7.1 Porcentaje de la precipitación media

Valiente (2001), manifiesta que este cálculo es simple y se expresa mediante el cociente de la precipitación total registrada en un período determinado (mes, trimestre, estación, semestre, año, etc.) y la

precipitación media (habitualmente por un período de 30 años) del mismo período de referencia, expresado el resultado en porcentaje. Pese a su simplicidad, es un método susceptible de equívocos, puesto que la precipitación media es un número abstracto que no tiene por qué ser equivalente a la mediana, que sí representa el valor o intervalo de mayor frecuencia de la serie. Además, presenta la dificultad de establecer los límites a partir de los cuáles se establece una situación de sequía, así como su severidad, puesto que el porcentaje de desviación escogido para un lugar o región no es aplicable a otra zona.

2.7.2 Cuantiles (quintiles, deciles y percentiles)

Según Valiente (2001), para evitar las limitaciones derivadas del anterior método, el establecimiento de los umbrales puede realizarse mediante el cálculo de quintiles, deciles y percentiles. La técnica consiste en dividir la distribución de ocurrencias pluviométricas durante un período temporal suficientemente largo, en intervalos para cada 20 % (quintil), 10 % (decil), o 1% (percentil) de la distribución. Al ser valores totalmente referenciados en la serie pluviométrica, ofrecen unos límites más cercanos a la realidad climática del área estudiada. Para que el cálculo de este índice ofrezca resultados fiables y estadísticamente significativos, es necesario que la serie pluviométrica sea larga (como mínimo treinta años y, si es posible, más de cincuenta). Los límites de referencia más utilizados son los correspondientes a los quintiles, de tal forma que un período es muy seco cuando el valor de precipitación total se sitúa entre el 20 % de los valores más bajos, seco cuando se encuentra en el tramo del siguiente 20 % de valores, normal cuando se

sitúa en el tramo del 20% de valores intermedios, húmedo en el siguiente tramo del 20 %, y muy húmedo en el intervalo del 20 % de los valores más elevados de la serie.

2.7.3 Desviación estandarizada de precipitación

Según Valiente (2001), menciona que este índice se calcula restando a la precipitación total de un determinado período, la media aritmética de ese período y dividiendo el resultado por la desviación típica. El resultado será próximo a cero para valores cercanos a la media, e igual a uno cuando la diferencia entre la lluvia registrada y la media del período sea próxima al valor de desviación típica. La estandarización de los valores permite que los resultados presenten una distribución normal.

Aunque este método permite establecer comparaciones entre todo tipo de climas, presenta problemas en aquellas regiones con una elevada variabilidad pluviométrica, de tal forma que si la media aritmética es inferior a la desviación típica, el índice nunca podrá alcanzar el valor -1 .

McKee *et al.* (1993), que desarrollaron una variante de esta metodología, denominándola Índice Estandarizado de Precipitación (SPI, Standardized Precipitation Index), fijan el inicio de un episodio de sequía en el caso de que el SPI sea continuamente negativo con un valor inferior o igual a $-1,0$, y su finalización en el momento en que el SPI adquiera valor positivo. Siguiendo con esta delimitación arbitraria, escogida para su aplicación en Colorado (Estados Unidos), cuando el SPI supera el umbral de $-1,0$ se habla de sequía moderada, si es inferior a $-1,5$ sequía severa, y para valores iguales o menores que $-2,0$ sequía extrema. Según estas determinaciones, en las áreas desérticas antes

mencionadas no se producen episodios de sequía, puesto que el SPI nunca puede ser igual o inferior a $-1,0$, mientras que en algunas zonas semiáridas la sequía no podría alcanzar el nivel extremo. Los mismos autores definen el concepto de Magnitud de Sequía como la suma del SPI para todos los meses incluidos en el período de sequía, obteniendo una medida de la magnitud acumulada del evento seco.

Para calcular el SPI los registros de precipitación son ajustados a una distribución de probabilidad gamma y luego se obtiene el valor que tendría la misma probabilidad en una distribución normal estandarizada, este valor corresponde al SPI (Edwards y Mckee, 1997)

El método SPI es uno de los más populares, se ha empleado en Turquía (Türkes, 1996), Argentina (Zanvettor, 2000), Estados Unidos (Ji y Peters, 2002) y Venezuela (Mendoza y Puche, 2005), resultando idóneo en la caracterización de la severidad de las sequías meteorológicas (Keyantash y Dracup, 2002); así mismo menciona que el SPI destaca sobre los demás métodos por su rapidez, gran aproximación en análisis de sequía, simplicidad y requerimiento mínimo de datos. El SPI responde rápidamente a los periodos de humedad o sequía, lo que significa que cada mes tiene una fuerte influencia en el comportamiento global de la precipitación (Komuscu, 1999) y Guttman (1998), realizó una comparación entre el Índice de Severidad de la Sequía de Palmer y SPI para diferentes escalas de tiempo concluyendo que SPI es más fácil de interpretar.

En la actualidad el SPI se utiliza para dar seguimiento la sequía en los Estados Unidos de América a través del Centro Nacional de Mitigación

contra la Sequía, el Centro Climático de Colorado, el Centro Climático Regional del Oeste y el Centro de Predicción del Clima de los EUA; en México, por el Centro de Investigaciones sobre la Sequía del Instituto de Ecología (CEISS, 2004).

2.7.4 Índice de Severidad de la Sequía de Palmer (PDSI, Palmer Drought Severity Index)

El PDSI fue creado por Palmer (1965) para medir las condiciones de humedad. El índice está basado en el balance hídrico, de tal forma que utiliza numerosas variables para reflejar el aporte y la demanda de agua.

Por su formulación, el PDSI permite identificar adecuadamente la sequía meteorológica, responde lentamente a la agrícola y no detecta la hidrológica. El índice es utilizado para definir la intensidad de la sequía, pero el hecho de que en su concepción y en el establecimiento de los límites se basara en las condiciones climáticas de Iowa y Kansas hace que su aplicación se haya limitado a Estados Unidos, donde existen series mensuales del PDSI desde 1895.

El PDSI parte de un balance de humedad mensual, emplea para ello los registros de precipitación, temperatura, y la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo de la siguiente manera:

- Establece dos capas de suelo sin definir su profundidad y sólo las propiedades hídricas; es decir, Palmer asume que la capa superficial del suelo es capaz de almacenar hasta una pulgada de agua (25 mm) y lo considera como valor constante para todos los casos, en tanto que la segunda capa sub-superficial puede almacenar toda la capacidad potencial del suelo, menos 25 mm.

- La humedad no puede ser removida de (o recargada a) la capa sub-superficial, hasta que la humedad de la capa superficial haya sido removida (o recargada) por completo; es decir no hay remoción de humedad de la segunda capa si no se ha agotado la humedad en la primera y no hay recarga de humedad en la capa dos si no se ha recargado completamente la capa uno.

Según el análisis crítico del índice realizado por Alley (1984) y Karl (1986), el PDSI destaca por su capacidad de medir la sequía con perspectiva histórica y posibilitar la realización de representaciones espaciales y temporales de sequías históricas. En cuanto a los aspectos negativos, son numerosas las limitaciones, incorrecciones y asunciones del PDSI, la mayoría de ellas relacionadas con el cálculo del balance hídrico y con el período utilizado para el cálculo de los valores medios en las fórmulas.

El PDSI ha sido escasamente utilizado fuera de Estados Unidos, y ofrece resultados poco satisfactorios en regiones donde la variabilidad pluviométrica es elevada. La escala de Palmer divide las situaciones de sequía en cinco niveles: sequía incipiente entre -0.50 y -0.99, sequía suave entre -1.00 y -1.99, sequía moderada entre -2.00 y -2.99, sequía grave entre -3.00 y -3.99, y sequía extrema para un valor igual o inferior a -4.00.

2.8. Hidrología estadística

Chow (2000), menciona que los procesos hidrológicos evolucionan en el espacio y en el tiempo en una forma que es parcialmente predecible, o

determinística, y parcialmente aleatoria. Un proceso de este tipo se conoce con el nombre de proceso estocástico. En algunos casos, la variabilidad aleatoria del proceso es tan grande comparada con su variable determinística, que se justifica que el hidrólogo trata el proceso como puramente aleatorio. De esta manera, el valor de una observación del proceso no está correlacionado con los valores de observaciones adyacentes, y las propiedades estadísticas de todas las observaciones son iguales.

Una variable aleatoria X es una variable discreta por una distribución de probabilidad. La distribución determina la posibilidad de una observación x de la variable caiga en un rango especificado de X .

Si X es la precipitación anual en un lugar especificado, entonces la distribución de probabilidad de que la precipitación anual observada en un año dado caiga en un rango definido, tal como menos de 30 pulg o 30 pulg – 40 pulg, y así sucesivamente.

Un conjunto de observaciones x_1, x_2, \dots, x_n de una variable aleatoria se denomina una muestra. Se supone que las muestras son sacadas de una hipotética población infinita que posee propiedades estadísticas constantes, mientras que las propiedades de una muestra puedan variar de una muestra a otra. El conjunto de todas las muestras posibles se puede extraer de una población se conoce como el espacio muestra, y eventos es un subconjunto del espacio muestral.

La probabilidad de un evento, $P(A)$, es la probabilidad de que esta ocurra cuando se hace una observación de la variable aleatoria. Las

propiedades del evento pueden estimarse. Si una muestra de n observaciones tiene n_A valores en el rango de evento A , entonces la frecuencia relativa es n/n_A . A medida que el tamaño de la muestra aumente, la frecuencia relativa se convierte progresivamente en una estimación de la probabilidad del evento, es decir.

$$P(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n_A}{n}$$

2.8.1 Definición de parámetros estadísticos

Chow (2000), manifiesta que el objetivo de la estadística es extraer la información esencial de un conjunto de datos, reduciendo un conjunto grande de números a un conjunto pequeño de números. Las estadísticas son números calculados de una muestra los cuales resumen sus características más importantes. Los parámetros estadísticos son características de una población, tales como: la media y la desviación estándar.

Un parámetro estadístico es el valor esperado E de alguna función de una variable aleatoria. Un parámetro simple es la media, el valor esperado de la variable aleatoria.

Para una variable aleatoria X , la media es $E(X)$, y se calcula como el producto de x y la correspondiente densidad de probabilidad $f(x)$, integrado sobre el rango factible de la variable aleatoria.

$$E(X) = \mu = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx$$

$E(X)$ es el primer momento alrededor del origen de la variable aleatoria, una medida del punto medio o tendencia central de la distribución.

La estimación por la muestra de la media es el promedio \bar{x} de la información de la muestra:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

La variabilidad de la información se mide por medio de la varianza σ^2 , la cual es el segundo momento alrededor de la media.

$$E[(x - \mu)^2] = \sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^2 f(x) dx$$

El valor estimado de la muestra de la varianza está dado por.

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

En el cual el divisor es $(n-1)$ en lugar de n para asegurar que la estadística de la muestra no sea sesgada, es decir, que no tenga una tendencia, en promedio, a ser el valor mayor o menor que el valor verdadero.

2.8.2 Métodos de estimación de parámetros

Villon (2002), manifiesta que para estimar los parámetros de una distribución teórica tenemos los siguientes métodos: Método gráfico, Método de mínimos cuadrados, Método de momentos y Método de máxima verisimilitud. En estudios hidrológicos mayormente se emplean

las dos últimas metodologías, porque son las que tienen más aplicación en la determinación de los parámetros de las funciones de distribución de probabilidades.

a. Método de momentos

Chow (2000), menciona que el método de momentos fue desarrollado por primera vez por Karl Pearson en 1902. el considero que unos buenos estimativos de los parámetros de una función de probabilidad son aquellos para los cuales los momentos de la función de densidad de probabilidad alrededor del origen son iguales a los momentos correspondientes de la información de la muestra.

$$\alpha = f_1(\mu_i, \mu_{i+1}, \dots)$$

$$\beta = f_2(\mu_j, \mu_{j+1}, \dots)$$

$$\gamma = f_3(\mu_k, \mu_{k+1}, \dots)$$

Donde

μ_i, μ_j, μ_k Son los momentos con respecto a la media, o momentos centrales de la población.

α, β, γ Son los parámetros de la función de distribución.

b. Método de máxima verosimilitud

Aparicio. (1992), el método de máxima verisimilitud fue desarrollado por R. A. Fisher (1922). El razonó que el mejor valor de un parámetro de una distribución de probabilidad debería ser el valor que maximizara la verosimilitud o probabilidad conjunta de ocurrencia de la muestra observada.

Dada una función de distribución

$$f = (x; \alpha, \beta, \gamma, \dots)$$

Dónde:

α, β, γ Son los parámetros que deben ser estimados.

Se define la función verosimilitud de la muestra, como la productora:

$$L = \prod_{i=1}^N f(x; \alpha, \beta, \gamma, \dots)$$

$$L = f_1(x; \alpha, \beta, \gamma, \dots) * f_2(x; \alpha, \beta, \gamma, \dots) * \dots * f_N(x; \alpha, \beta, \gamma, \dots)$$

Siendo N tamaño de la muestra.

2.8.3 Distribuciones de probabilidad para las variables hidrológicas

Chow (2000), menciona que un hidrólogo generalmente tendrá disponibilidad de registros de datos hidrometeorológicos (precipitación, temperatura, caudales, etc.), a través de su conocimiento escogerá un modelo probabilístico a usar, que represente en forma satisfactoria el comportamiento de la variable.

Entre las distribuciones teóricas comunes utilizados en hidrológica son:

- Distribución Normal.
- Distribución Log-normal de 3 parámetros
- Distribución Pearson tipo III.
- Distribución Log-Pearson tipo III.
- Distribución Gumbel.
- Distribución Log Gumbel.

2.9. Precipitación

Guevara (2004), menciona que la precipitación es el principal vector de entrada del ciclo hidrológico y se refiere a la cantidad total de agua que cae sobre la superficie terrestre. Se presenta en forma líquida (lluvia, niebla y rocío o escarcha), o sólida (nieve y granizo). Se deriva del vapor de agua atmosférica; sus características están sometidas a la influencia de otros factores climáticos, tales como viento, temperatura y presión atmosférica. La humedad atmosférica es una condición necesaria pero no suficiente para la formación de la precipitación. Primeramente se requiere del proceso de la condensación y luego otro proceso que cree las gotas de agua que deben precipitar.

Según Villon (2002), la precipitación es la altura de precipitación que cae en un sitio dado, difiere de la que cae en los alrededores, aunque sea en sitios cercanos. Los pluviómetros registran la lluvia puntual, es decir, la que se produce en el punto en la que está instalada el aparato. Para muchos problemas hidrológicos, se requiere conocer la altura de precipitación media de una zona, la cual puede estar referida a la altura de precipitación diaria, mensual, anual, media mensual, media anual.

Altura de precipitación diaria, es la suma de las lecturas observadas en un día.

Altura de precipitación media diaria, es el promedio aritmético de las lecturas observadas en un día.

Altura de precipitación mensual, es la suma de las alturas diarias, ocurridas en un mes.

Altura de precipitación media mensual, es el promedio aritmético de las alturas de precipitación mensual, correspondiente a un cierto número de meses.

Altura de precipitación anual, es la suma de las alturas de precipitación mensual, ocurridas en un año.

Altura de precipitación media anual, es el promedio aritmético de las alturas de precipitación anual, correspondiente a un cierto número de años.

Chereque (1989), menciona que las características de las formas de precipitación son:

- Llovizna: Gotas con diámetros de 0.1 a 0.5 mm y Velocidad de caída baja: 1 m/seg a < 3 m/seg.
- Lluvia: Gotas con diámetros > 0.5 mm y Velocidad de caída media: 3 m/seg a < 7 m/seg.
- Chubasco: Gotas grandes y dispersas con diámetros > 3 mm y Velocidad de caída > 7 m/seg.
- Nieve: Cristales complejos de hielo.
- Granizo: Precipitación en forma bolas o formas irregulares de hielo con Diámetro entre 5 y 125 mm

Linsley (1975), menciona que la precipitación es una variable hidrológica que manifiesta claramente su carácter aleatorio, variando

considerablemente en el tiempo (variación temporal) y en el espacio (variación espacial). Es común que, en un determinado período de tiempo, mientras que en una zona ocurre una lluvia, en otra zona próxima no hay precipitación ninguna. Justamente ésta característica típica de la precipitación es la que introduce ciertas dificultades en su evaluación correcta. La unidad de medición es el milímetro (mm), definido como la cantidad de precipitación correspondiente a un volumen de 1 litro por metro cuadrado de superficie, conocido como la lámina de agua o altura de lluvia depositada sobre esa superficie.

2.10. Análisis de consistencia de la información hidrológica

Aliaga (1985), menciona que antes de iniciar cualquier análisis o utilizar los datos observados en las estaciones pluviométricas o hidrométricas, hay necesidad de realizar ciertas verificaciones de los valores de precipitación o caudal.

De Piérola (1993), menciona que los datos hidrológicos en general, están constituidos por una larga secuencia de observaciones de alguna fase del ciclo hidrológico obtenidas para un determinado lugar. No obstante que un registro largo sea lo deseable, se debe reconocer que cuanto más largo es el período de registro, mayor será la posibilidad de error. Una serie generada en esas condiciones, si los errores o cambios fueran apreciables, es inconsistente, o carece de homogeneidad. El análisis de consistencia de la información hidrometeorológica es uno de los aspectos más importantes que se tiene que realizar en los estudios

hidrológicos. El procedimiento a seguir es el siguiente: a) Análisis gráfico o de histogramas. b) Análisis de doble masa y c) Análisis estadístico.

a. Análisis de histogramas.- esta fase complementaria consiste en analizar visualmente la distribución temporal de toda la información hidrometeorológica disponible combinando con los criterios obtenidos del campo para detectar la regularidad o irregularidad de los mismos. De la apreciación visual de estos gráficos se deduce si la información es aceptable o dudosa, considerándose como información dudosa o de poco valor para el estudio, aquella que muestra en forma evidente valores constantes en períodos en los cuales físicamente no es posible debido a la característica aleatoria de los datos.

Los histogramas son gráficos que representan la información pluviométrica o hidrométrica en el tiempo. Mediante el análisis de los histogramas es posible detectar saltos y/o tendencias en la información histórica. Se debe aclarar que este análisis es únicamente con fines de identificación de las posibles inconsistencias, las mismas que deberán ser evaluadas estadísticamente mediante el test respectivo.

b. Análisis de doble masa.- es una herramienta muy conocida y utilizada en la detección de inconsistencias en los datos hidrológicos múltiples cuando se disponen de dos o más series de datos. Un quiebre de la recta de doble masa o un cambio de pendiente, puede o no ser significativo, ya que si dicho cambio está dentro de los límites de confianza de la variación de la recta para un nivel de probabilidades

dado, entonces el salto no es significativo, el mismo que se comprobará mediante un análisis de consistencia.

Mediante este método se determina la consistencia relativa de una estación respecto a otra estación índice o a un promedio de estaciones. El análisis gráfico comparativo se realiza a través de la curva doble masa, que tiene como ordenada los valores de precipitación anual acumulada de la estación analizada y como abscisa los valores de precipitación anual acumulada de la estación índice o estación promedio; en la siguiente figura se muestra el gráfico de la línea de doble masa.

c. Análisis estadístico.- mediante este análisis se determina la no homogeneidad e inconsistencia en secuencias hidrológicas mediante el análisis de salto y análisis de tendencia. Los saltos, son formas determinísticas transitorias que permiten a una serie estadística periódica pasar desde un estado a otro, como respuesta a cambios hechos por el hombre, debido al continuo desarrollo y explotación de recursos hidráulicos en la cuenca o cambios violentos que en la naturaleza puedan ocurrir. Los saltos se presentan en la media, desviación estándar y otros parámetros. Pero generalmente el análisis más importante es en los dos primeros.

En los casos en que los parámetros media y desviación estándar resultasen estadísticamente iguales, la información original no se corrige por ser consistente con 95 % de probabilidades, aun cuando en el análisis de doble masa se observe pequeños quiebres. Si resulta la media y desviación estándar estadísticamente diferentes, entonces se

corrige mediante una ecuación que permite mantener los parámetros del período más confiable.

Mejía (2006), antes de iniciar cualquier análisis o utilizar los datos observados en las estaciones hidrométricas, hay necesidad de realizar ciertas verificaciones de los valores de precipitación. Los datos hidrológicos en general, están constituidos por una larga secuencia de observaciones de alguna fase del ciclo hidrológico obtenidas para un determinado lugar. No obstante que un registro largo sea lo deseable, se debe reconocer que cuanto más largo es el período de registro, mayor será la posibilidad de error. Una serie generada en esas condiciones, si los errores o cambios fueran apreciables, es inconsistente, o carece de homogeneidad.

Para verificar éste tipo de inconsistencia, se usa el método de la curva de doble masa, basado en el hecho de que un gráfico de una cantidad acumulada ploteada contra otra cantidad acumulada durante el mismo período, debe ser una línea recta siempre que las cantidades sean proporcionales, la inclinación de la recta representa la constante de proporcionalidad.

Una alteración en la pendiente de la recta, indicará que ocurrió un cambio en la constante de proporcionalidad entre las dos variables o que tal vez la proporcionalidad no es constante en todos los niveles de acumulación.

Según Ramos (2000), la inconsistencia y no homogeneidad en secuencias hidrológicas o series hidrológicas, representa uno de los

temas más importantes del estudio hidrológico contemporáneo, particularmente relacionada a la conservación, el desarrollo y control de los recursos hidráulicos, ya que, cuando no se ajustan a las condiciones de adecuadas, la inconsistencia y no homogeneidad de la muestra ocasionan errores significativos en los resultados que se infiere en los análisis que se efectúan a las series hidrológicas.

Esta inconsistencia y no homogeneidad se observa con la presencia de saltos y/o tendencias en la serie hidrológica afectando sus características estadísticas como la desviación estándar. Generalmente en los análisis climatológicos se utiliza el término homogeneidad de la serie y en los análisis hidrológicos se emplea el término de consistencia, siendo ambos sinónimos. Por otra parte, la homogeneidad comúnmente se analiza a través de pruebas estadísticas y en cambio la consistencia en general se detecta con la técnica de la curva de doble masa y se analiza con las pruebas estadísticas (Ramos, 2000).

2.11. Completación de datos hidrológicos

Según Mejía (2006), el producto final de una estación de medición de lluvias o descargas debe ser una serie de valores diarios (o con intervalos diferentes) a lo largo de los años. Muchas estaciones de precipitación o descargas tienen períodos faltantes en sus registros, debido a la ausencia del observador o a fallas instrumentales. A menudo es necesario estimar algunos de estos valores faltantes para lo cual existen muchas formas de suplir estas deficiencias y el grado de aceptación de uno de estos métodos va a depender de la cantidad de

observaciones faltantes en el registro de datos. Entre estos métodos podemos mencionar los siguientes:

- Completación de datos mediante un promedio de datos existentes.
- Completación de datos mediante el método de razones normales.
- Completación de datos por correlación entre dos estaciones.

La Completación de Datos mediante un promedio simple, se realiza si dentro del registro de datos faltan menos del 5% de información estos se pueden completar con un simple promedio de todos los datos existentes o la semisuma de los datos del año anterior y del siguiente.

La completación de datos mediante el método de razones normales se realiza cuando existen en los registros de los datos, días o intervalos grandes sin información, por imposibilidad del operador o falla del instrumento registrador. En ese caso, la serie de datos de que se dispone en una estación X, de los cuales se conoce la media en un determinado número de años, presenta vacíos que debe ser rellenada.

Consiste en ponderar los valores de lluvia de la estaciones índice (A,B,C) en proporción al valor normal anual de lluvia en la estación X con cada una de las estaciones índices, con la siguiente ecuación:

$$P_x = \frac{1}{3} \left[\frac{N_x}{N_A} P_A + \frac{N_x}{N_B} P_B + \frac{N_x}{N_C} P_C \right]$$

Dónde:

P_x = dato faltante que se va a estimar.

N_A, N_B, N_C = precipitación anual normal en las estaciones índices.

P_A, P_B, P_C = precipitación de las estaciones índices durante el período de tiempo del dato faltante que se está estimando.

N_x = precipitación anual normal de la estación X.

Antes de ver la forma como se completan los datos mediante correlación y regresión es importante indicar que en todos los casos las estaciones, a ser correlacionadas, deben tener similitud en su ubicación (altitud, latitud, longitud, distancia a la divisoria) y estén cercanos; entre los principales modelos de regresión usados en hidrología, podemos mencionar:

Regresión lineal simple : $Y = a + bX$

Regresión logarítmica : $Y = a + b \ln(X)$

Regresión Potencial : $Y = a X^b$

Regresión exponencial : $Y = a \exp (bX)$

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. UBICACIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO

La provincia de Puno presenta la siguiente ubicación política:

Región : Puno

Departamento : Puno

Provincia : Puno

Distritos : Puno, Acora, Amantani, Atuncolla, Capachica, Chucuito, Coata, Huata, Mañazo, Paucarcolla, Pichacani (Laraqueri), Plateria, San Antonio (San Antonio de Esquilache), Tiquillaca y Vilque.

Los límites de la provincia de Puno son:

Norte : Provincias de San Román y Huancané.

Sur : Provincia El Collao y Región Moquegua

Este : Lago Titicaca y provincia de El Collao

Oeste : Región Moquegua.

La ubicación geográfica de los distritos de la provincia de Puno, se presenta en el siguiente cuadro:

Cuadro 1. Ubicación geográfica de los distritos de la provincia de Puno

Nº	Distrito	Coordenadas		Altitud m.s.n.m.
		Latitud Sur	Longitud Oeste	
1	Puno	15°50'15"	71°01'18"	3827
2	Acora	15°58'89"	69°47'49"	3867
3	Amantani	15°39'12"	69°43'05"	3818
4	Atuncolla	15°41'03"	70°08'40"	3822
5	Capachica	15°38'18"	69°49'15"	3860
6	Chucuito	15°53'15"	69°53'21"	3871
7	Coata	15°34'00"	69°56'51"	3814
8	Huata	15°36'42"	69°58'12"	3848
9	Mañazo	15°47'54"	70°20'28"	3926
10	Paucarcolla	15°44'30"	70°03'18"	3847
11	Pichacani	16°08'46"	70°03'42"	3975
12	Plateria	15°56'39"	69°49'51"	3830
13	S.A. Esquilache	16°05'58"	70°16'57"	4725
14	Tiquillaca	15°47'42"	70°11'03"	3885
15	Vilque	15°45'48"	70°15'19"	3860

En el cuadro 1 se presenta la ubicación política de la provincia de Puno y sus 15 distritos.

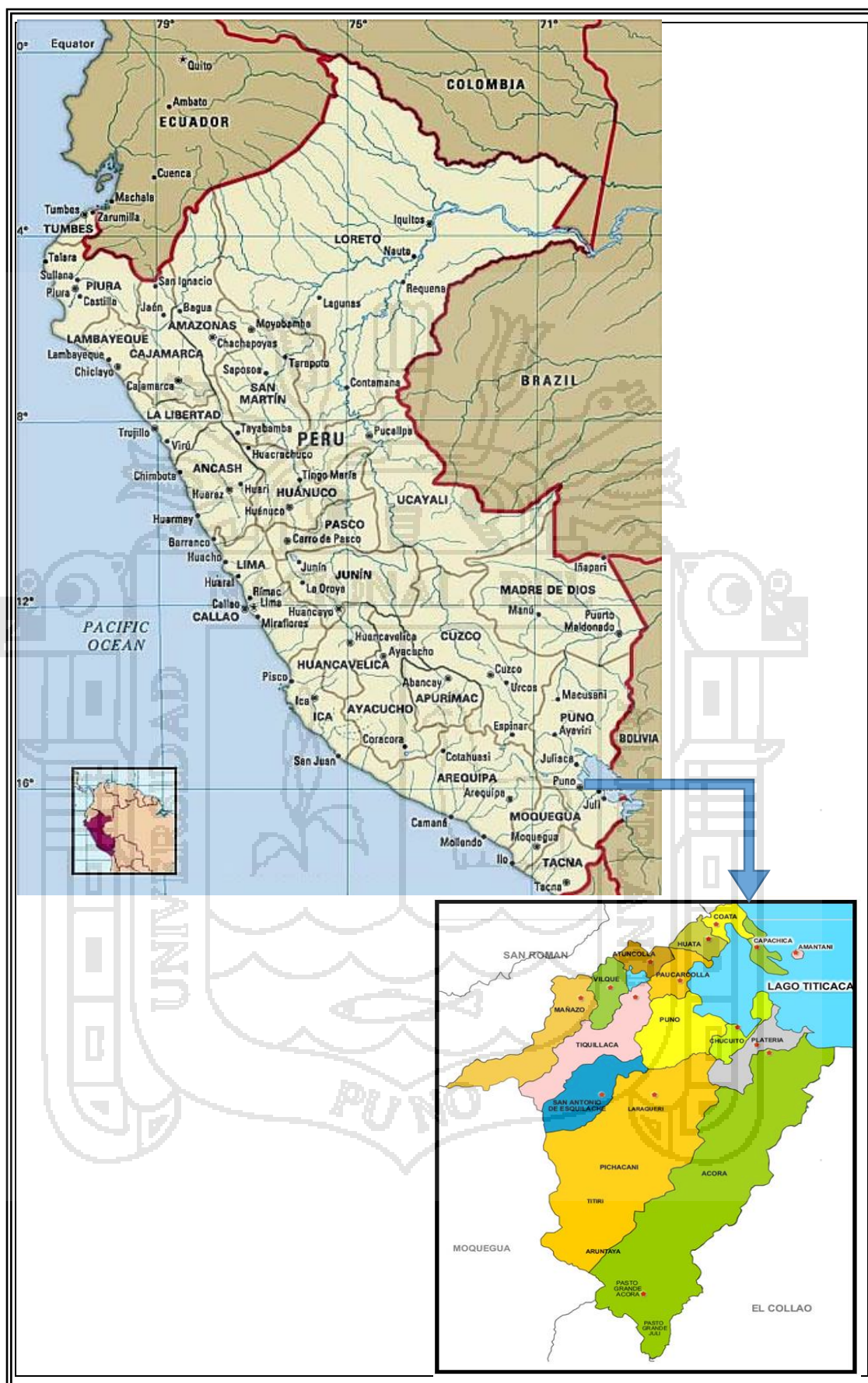


Figura 1. Ubicación Política de la provincia de Puno.

3.2. CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DE LA ZONA EN ESTUDIO

Desde el punto de vista climatológico, la provincia de Puno tiene una estación húmeda (Diciembre a Marzo), otra seca (Mayo a Agosto) y dos periodos de transición (Abril y Septiembre a Noviembre).

Según Mejía (2006), los principales parámetros climáticos que definen o caracterizan el clima de una zona en estudio son las siguientes: precipitación, temperatura, humedad relativa y evaporación; se va a tomar como referencia información meteorológica de la estación Rincón de la Cruz (Acora), que corresponde a la zona baja de la provincia de Puno y la estación Laraqueri, que corresponde a la parte alta. Ambas estaciones están a cargo del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Los parámetros analizados son precipitación, temperatura, humedad relativa, evaporación, horas de sol y viento, para un periodo de 50 años (1960-2010).

a. Precipitación

La precipitación es una de las variables más importantes que influyen en la producción agrícola, debido a que la precipitación pluvial, es normalmente la única fuente de humedad que se le proporciona al suelo. La distribución temporal de precipitaciones es muy similar en toda la provincia de Puno: verano húmedo e invierno seco. Se trata de un régimen típicamente monomodal, con el período de lluvias de diciembre a marzo (máximos en enero) y el período seco de mayo a agosto (mínimo en junio y julio), siendo los meses restantes de transición. Considerando la estación Rincón de la Cruz, la precipitación

total mensual varia de 5.3 a 181.6 mm, que corresponden a los meses de julio y enero respectivamente; mientras que en la estación Laraqueri, varia de 4.1 a 179.8 mm., que corresponden a los meses de enero y julio, respectivamente.

En el cuadro 2, se presenta la variación de la precipitación total mensual correspondiente al periodo 1960 – 2010 de las estaciones meteorológicas de Rincón de la Cruz y Laraqueri, asimismo en la figura 2 se aprecia la uniformidad de la variación mensual de la precipitación en las dos estaciones consideradas en el estudio, lo que demuestra el carácter estacional de la precipitación en toda la provincia de Puno.

Cuadro 2. Precipitación total mensual (mm) – Estaciones Rincón de la Cruz y Laraqueri

Mes	Estación Meteorológica	
	Rincón de la Cruz (Acora)	Laraqueri
Enero	181.60	179.00
Febrero	143.50	160.80
Marzo	129.70	125.70
Abril	43.40	44.90
Mayo	10.40	10.80
Junio	5.60	4.70
Julio	5.30	4.10
Agosto	12.90	10.90
Septiembre	22.30	23.90
Octubre	38.00	35.30
Noviembre	51.60	58.90
Diciembre	93.70	105.90
Promedio	738.00	764.90

Fuente: SENAMHI-Puno.

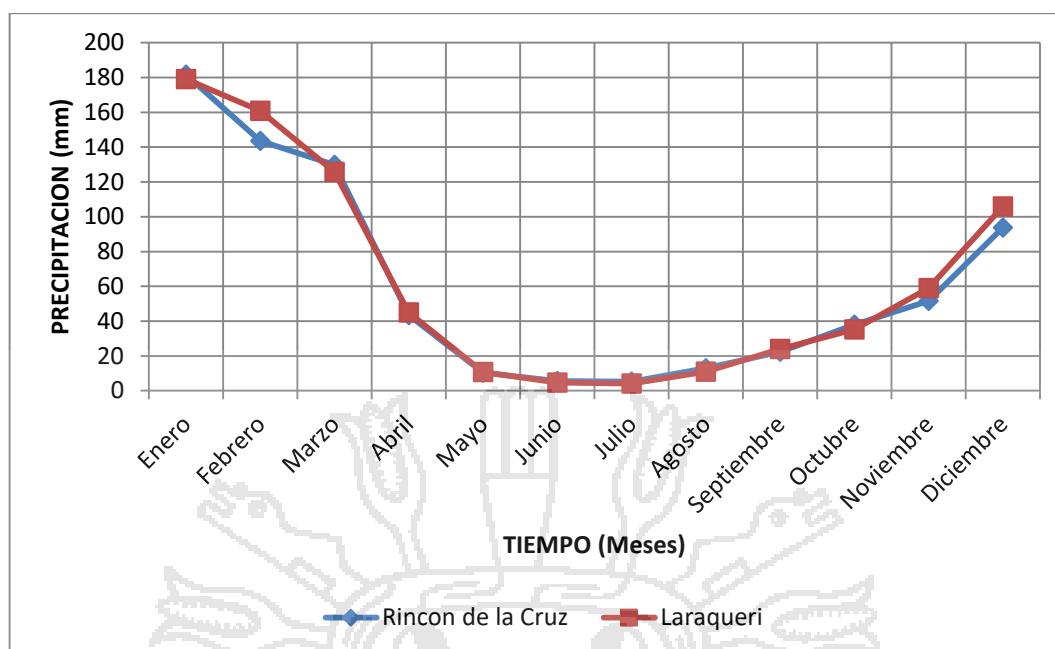


Figura 2. Variación Mensual de la Precipitación – Estaciones Rincón de la Cruz y Laraqueri.

b. Temperatura del Aire

El aire se calienta o enfría a partir del suelo por distintos métodos de transmisión y por los cambios de estado físico del agua atmosférica. Los registros de temperatura utilizados en el presente estudio es la información proporcionada por el SENAMHI.

La temperatura del aire registrado en las estaciones meteorológicas consideradas en el presente estudio (Rincón de la Cruz y Laraqueri), se manifiestan en tres niveles: temperatura máxima, temperatura media y temperatura mínima; los mismos que se presentan en el cuadro 3.

En la estación Rincón de la Cruz, las temperaturas máximas medias mensuales varía entre 13.4°C y 15.2, que corresponde a los meses de junio y octubre respectivamente; la oscilación térmica media mensual varía entre 6.0 y 9.6 °C, que corresponden a los meses de julio y

diciembre, respectivamente, mientras que las temperaturas mínimas medias mensuales varía entre -2.1 y 4.1 °C, que corresponde a los meses de junio y diciembre respectivamente.

En la estación Laraqueri, las temperaturas máximas medias mensuales varía entre 14.8 y 17.0 °C, que corresponde a los meses de julio y diciembre, respectivamente; la oscilación térmica media mensual varía entre 3.9 y 9.4 °C, que corresponden a los meses de julio y noviembre, respectivamente; mientras que las temperaturas mínimas medias mensuales varía entre -7.1 y 1.9 °C, que corresponden a los meses de junio y enero respectivamente.

Es necesario mencionar que, la temperatura constituye un factor limitativo para el desarrollo de las plantas y en consecuencia de la agricultura, por lo que el estudio de esta variable merece una especial atención.

En las figuras 3 y 4, se muestran las variaciones de las temperaturas máximas, media y mínima mensual, registradas en las estaciones Rincón de la Cruz y Laraqueri, respectivamente.

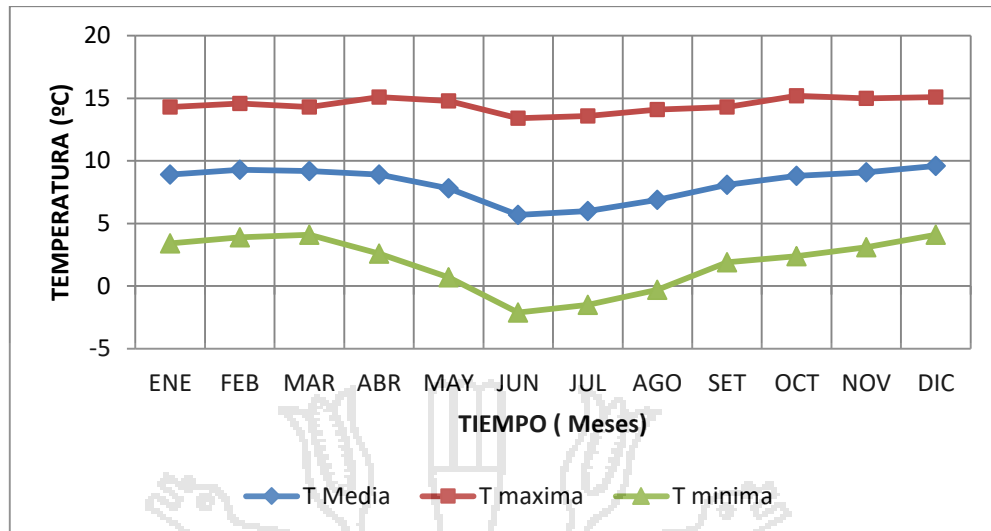


Figura 3. Variación Mensual de la Temperatura Media, Máxima y Mínima (°C) Estación Rincón de la Cruz (Acora)

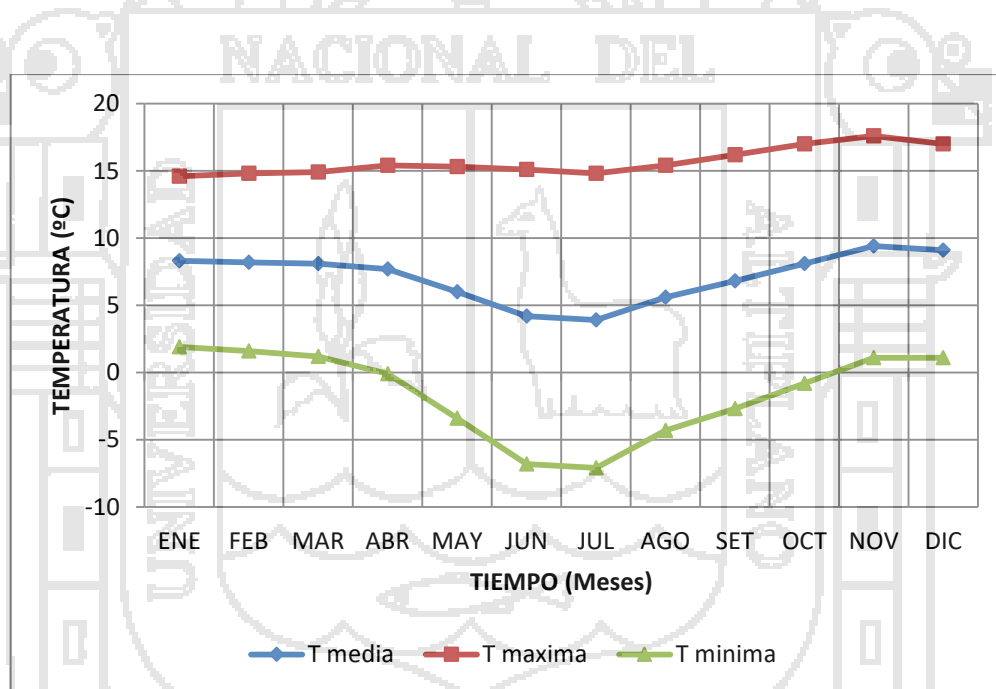


Figura 4. Variación Mensual de la Temperatura (°C) Máxima, Media y Mínima Estación Laraqueri.

Cuadro 3. Temperatura Media, máxima y mínima Mensual (°C)

Estaciones Rincón de la Cruz y Laraqueri.

Mes	Rincón de la Cruz (Acora)			Laraqueri		
	Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima
Enero	8.9	14.3	3.4	8.3	14.6	1.9
Febrero	9.3	14.6	3.9	8.2	14.8	1.6
Marzo	9.2	14.3	4.1	8.1	14.9	1.2
Abril	8.9	15.1	2.6	7.7	15.4	-0.1
Mayo	7.8	14.8	0.7	6.0	15.3	-3.4
Junio	5.7	13.4	-2.1	4.2	15.1	-6.8
Julio	6.0	13.6	-1.5	3.9	14.8	-7.1
Agosto	6.9	14.1	-0.3	5.6	15.4	-4.3
Septiembre	8.1	14.3	1.9	6.8	16.2	-2.7
Octubre	8.8	15.2	2.4	8.1	17.0	-0.8
Noviembre	9.1	15.0	3.1	9.4	17.6	1.1
Diciembre	9.6	15.1	4.1	9.1	17.0	1.1
Promedio	8.2	14.5	1.9	7.1	15.7	-1.5

Fuente: SENAMHI-Puno.

c. Humedad Relativa

Los registros de humedad relativa media mensual de las estaciones meteorológicas Rincón de la Cruz y Laraqueri, se presentan en el cuadro 4. La humedad relativa en la provincia de Puno por lo general es baja. El promedio anual en la zona en estudio es del 53 %.

En la estación Rincón de la Cruz, la Humedad relativa media mensual varía entre 46 y 63 %, que corresponde a los meses de julio y enero, respectivamente; mientras que en la estación Laraqueri, la Humedad relativa media mensual varía entre 46 y 64 %, que corresponde a los meses de julio y enero, respectivamente.

En la figura 5, se muestran la variación de la humedad relativa media mensual (%), registradas en las estaciones Rincón de la Cruz y Laraqueri.

Cuadro 4. Humedad Relativa Media Mensual (%)
Estaciones Rincón de la Cruz y Laraqueri.

Mes	Estación Meteorológica	
	Rincón de la Cruz (Acora)	Laraqueri
Enero	63	64
Febrero	62	63
Marzo	63	64
Abril	55	56
Mayo	48	49
Junio	46	47
Julio	46	46
Agosto	47	48
Septiembre	49	49
Octubre	45	46
Noviembre	49	49
Diciembre	54	55
Promedio	52	53

Fuente: SENAMHI-Puno.

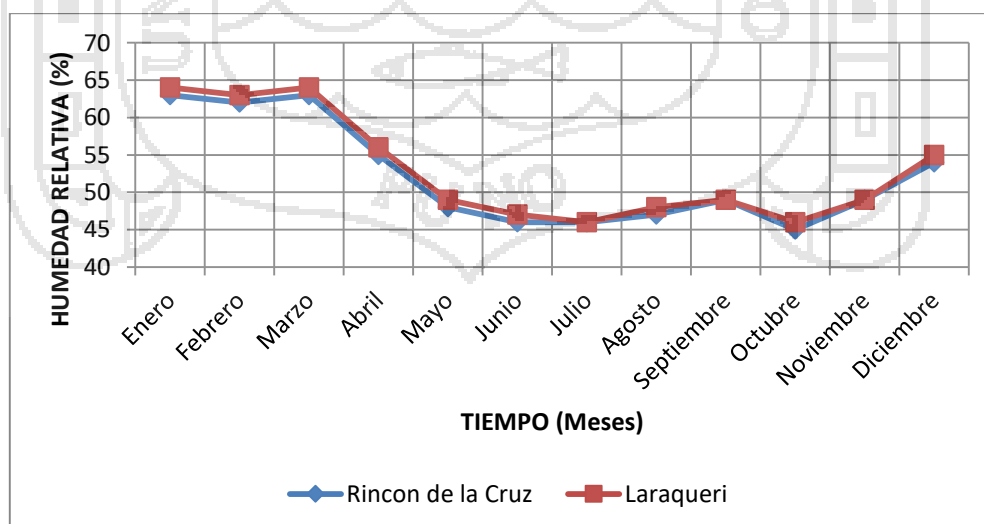


Figura 5. Variación Mensual de la Humedad Relativa Media (%)
Estaciones: Rincón de la Cruz y Laraqueri.

d. Horas de Sol

Para la zona en estudio, se utilizaron la serie de horas de luz solar brillante registradas en las estaciones meteorológicas de Rincón de la Cruz y Laraqueri. En el cuadro 5, se muestran la información de este parámetro y en la figura 6 se puede observar la variación mensual de las horas de sol mensual, en la provincia de Puno. Según la estación de Rincón de la Cruz el número promedio de horas de sol por día varía de 9.2 horas en julio a 6.4 horas en enero y en la estación Laraqueri varía entre 9.1 y 6.3 horas, en los meses de julio y enero, respectivamente. La variación mensual entre ambas estaciones son similares, en consecuencia tiene la misma tendencia.

Cuadro 5. Horas de Sol Media Mensual (hr) – Estaciones Rincón de la Cruz y Laraqueri.

Mes	Estación Meteorológica	
	Rincón de la Cruz (Acora)	Laraqueri
Enero	6.43	6.34
Febrero	6.84	6.74
Marzo	6.91	6.81
Abril	8.27	8.15
Mayo	9.21	9.07
Junio	8.98	8.85
Julio	9.27	9.13
Agosto	9.10	8.97
Septiembre	9.10	8.97
Octubre	8.77	8.64
Noviembre	8.60	8.48
Diciembre	7.62	7.51
Promedio	8.26	8.14

Fuente: SENAMHI-Puno.

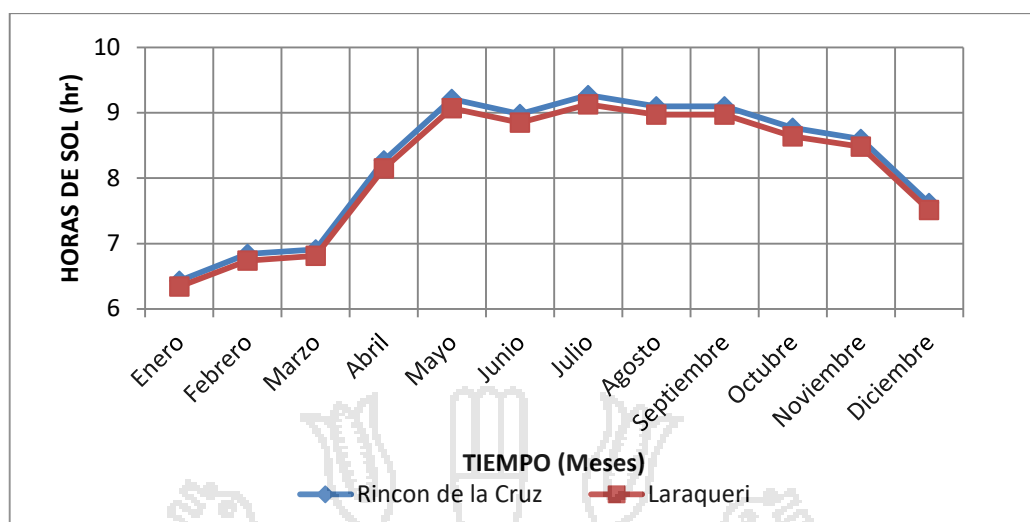


Figura 6. Variación Mensual de Horas de Sol – Estaciones Rincón de la Cruz y Laraqueri.

e. Viento

En el ámbito de la provincia de Puno, los vientos de superficie son principalmente el resultado de los patrones locales de relieve, los cuales tienden a canalizar los vientos en direcciones específicas. En el cuadro 6 y figura 7, se muestran la variación mensual de la velocidad del viento. Según los registros de la estación Rincón de la Cruz, la velocidad del viento medio mensual varía de 2.8 a 3.7 m/s, que corresponden a los meses de mayo y setiembre, respectivamente, y en la estación Laraqueri, varía de 2.7 a 3.5 m/s correspondiente a los meses de mayo y octubre respectivamente.

Cuadro 6. Velocidad del Viento Media Mensual (m/s)

Estaciones Rincón de la Cruz y Laraqueri.

Mes	Estación Meteorológica	
	Rincón de la Cruz (Acora)	Laraqueri
Enero	3.2	3.0
Febrero	3.0	2.8
Marzo	3.1	2.9
Abril	3.0	2.8
Mayo	2.8	2.7
Junio	2.9	2.7
Julio	3.0	2.8
Agosto	3.3	3.1
Septiembre	3.6	3.3
Octubre	3.7	3.5
Noviembre	3.5	3.2
Diciembre	3.5	3.2
Promedio	3.2	3.0

Fuente: SENAMHI-Puno.

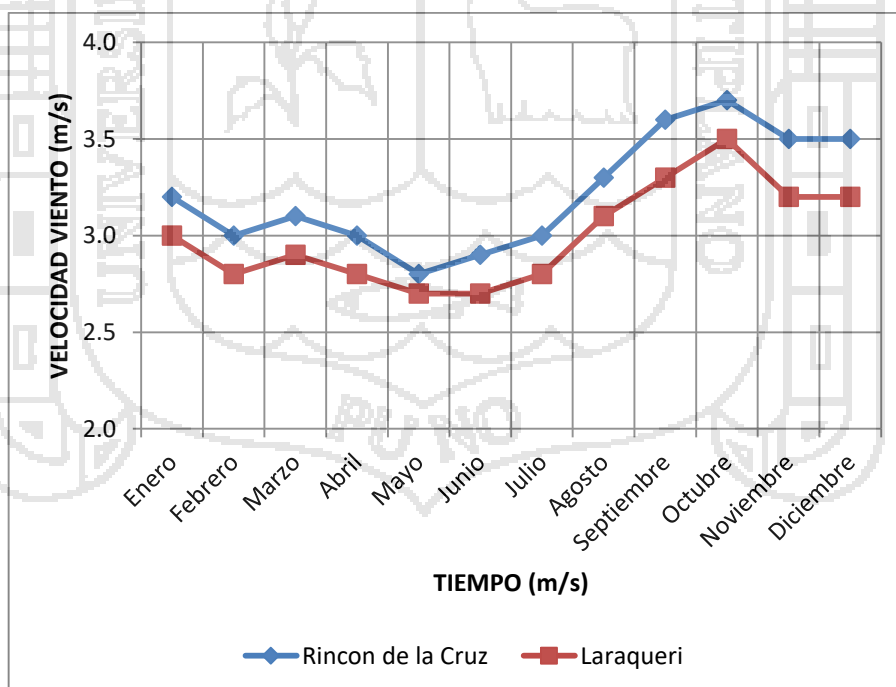


Figura 7. Variación Mensual de la Velocidad del Viento (m/s)

Estaciones Rincón de la Cruz y Laraqueri

3.3. POBLACIÓN DEMOGRÁFICA EN LA PROVINCIA DE PUNO

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2011), la Región Puno, se encuentra entre las regiones con mayor población, con **1'389,700 habitantes**; a nivel del sur del Perú, Puno es la región con mayor número de habitantes, considerando las regiones de Arequipa, Cusco, Moquegua y Tacna. En el cuadro 07 se muestra las estadísticas de las 08 regiones con mayor población, proyectada al 30 de junio del 2011; mientras que en el cuadro 08, se presenta la población de la provincia de Puno por distritos y sexo, proyectada al 30 de junio del 2011, en ella se puede apreciar que la provincia de Puno tiene una población de **244,672 habitantes** (120,665 hombres y 124,007 mujeres).

Cuadro 7. Departamentos con mayor población proyectada al 30 de Junio del 2011 (en Miles de Habitantes)

Región	Población
Lima	8617.3
Piura	1814.6
La Libertad	1814.3
Cajamarca	1519.8
Puno	1389.7
Junín	1331.3
Cusco	1300.5
Arequipa	1259.2

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática (2011)

Cuadro 8. Población estimada al 30 de junio del 2011 por distritos de la provincia de Puno

Distrito	Población (habitantes)		
	Total	Hombres	Mujeres
Acora	28,882	14,618	14,264
Amantani	4,448	2,156	2,292
Atuncolla	5,630	2,848	2,782
Capachica	11,535	5,763	5,772
Chucuito	7,480	3,655	3,825
Coata	7,911	3,938	3,973
Huata	8,886	4,476	4,410
Mañazo	5,495	2,661	2,834
Paucarcolla	5,115	2,542	2,573
Pichacani	5,528	2,740	2,788
Plateria	8,083	3,990	4,093
Puno	137,256	67,018	70,238
San Antonio	3,320	1,774	1,546
Tiquillaca	1,921	904	1,017
Vilque	3,182	1,582	1,600
Total	244,672	120,665	124,007

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática (2011).

3.4. METODOLOGÍA

3.4.1 Análisis de consistencia de la información pluviométrica

La información histórica de precipitación mensual de las estaciones Puno, Capachica, Uros, Laraqueri y Mañazo se obtendrá del Servicio Nacional de Meteorología (SENAMHI); el periodo de registros es de 1964 al 2011, 48 años.

Determinación de los parámetros estadísticos

Para la serie históricas de precipitación total mensual registradas en las estaciones de Puno, Capachica, Uros, Laraqueri y Mañazo para un periodo de 48 años (1964 al 2011), se determinaran los principales estadísticos como son la media, varianza, y desviación estándar.

La media aritmética de las precipitaciones mensuales se estima con la siguiente ecuación:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

El valor estimado de la varianza a partir de la muestra es:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

En el cual el divisor es n-1 en lugar de n para asegurar que la estadística de la muestra *no sea sesgada*, es decir, que no tenga una tendencia, en promedio, a ser mayor o menor que el valor verdadero.

La desviación estándar **S** es una medida de la variabilidad que tiene las mismas dimensiones que la media y simplemente es la raíz cuadrada de la varianza, se estima por s.

$$S = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2}$$

Análisis de saltos en la información de precipitación

En De Piérola (1993), se presenta la metodología para realizar el análisis de saltos y menciona que se realiza desde tres puntos de vista:

- Análisis Visual de Hidrogramas.
- Análisis de doble masa.
- Análisis estadístico.

a. Análisis visual de hidrogramas

Consiste en analizar visualmente la información histórica un histograma ploteada en coordenadas cartesianas, en el eje de las abscisas se plotea el tiempo (en años o meses) y en el eje de las ordenadas las variable precipitación. La apreciación visual de estos gráficos permite observar la distribución de las variables en estudio con respecto al tiempo, e indicar el periodo o periodos dudosos, lo cual se puede reflejar como saltos y/o tendencias.

Para indicar en este primer análisis los periodos y aceptables se puede analizar en diversas formas:

- Cuando se tiene estaciones vecinas, se comparan sus hidrogramas y se ve cual periodo varia notoriamente uno respecto al otro.
- Cuando se tiene una sola estación, esta se divide en varios periodos y se compara con la información obtenida en campo, tratando de no confundir un salto con la ocurrencia de varios periodos húmedos o prolongadas sequías.

- En lo posible se debe mantener el periodo más largo como la más confiable.

b. Análisis de doble masa

El análisis de doble masa o de dobles acumulaciones es una herramienta que sirve para detectar la inconsistencia de la información de precipitación mensual, mediante los puntos de quiebres que se presentan en los diagramas respectivos.

El procedimiento para realizar este análisis es el siguiente:

- Obtener la información de precipitación mensual de dos o más estaciones de registro.
- Calcular las precipitaciones anuales acumulados de cada estación y el promedio de las precipitaciones anuales acumulados de todas las estaciones consideradas en el análisis.
- Plotear los valores obtenidos en el paso anterior en sistema de coordenadas cartesianas, en el eje de abscisas el promedio de las precipitaciones anuales acumulados y en el eje de ordenadas las precipitaciones anuales acumulados de cada estación en estudio.
- En estos gráficos se define los quiebres que pueden ser significativos o no para su posterior análisis estadístico.

c. Análisis estadístico

Del análisis visual y análisis de doble masa, se definen los periodos de posible corrección y los periodos de datos que se mantendrán con sus

valores originales, se procede a analizar estadísticamente tanto en la media como en la desviación estándar

1). Consistencia de la media

Mediante la prueba estadística “T” de Student se analiza si los valores promedios son estadísticamente iguales o diferentes con un 95% de nivel de significancia, de la siguiente forma:

Prueba Estadística “T”:

Planteamiento de las hipótesis:

H_p : $\mu_1 = \mu_2$ (media poblacional)

H_a : $\mu_1 \neq \mu_2$

α : 0.05

Calculo de la desviación estándar de las diferencias de los promedios:

$$S_d = S_p \times \sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}$$

$$S_p = \sqrt{\frac{((n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2)}{(n_1 + n_2 - 2)}}$$

Dónde:

S_d : Desviación estándar de las diferencias de los promedios.

S_p : Desviación estándar ponderada.

n_1 : Número de datos del primer periodo

n_2 : Número de datos del segundo periodo

S_1^2 : Varianza del primer periodo.

S_2^2 : Varianza del segundo periodo

Cálculo del valor de T_c , según:

$$T_c = \frac{[(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)]}{S_d}$$

Donde $\mu_1 - \mu_2 = 0$, por hipótesis.

Hallar el valor de " T_t " de las tablas de T de Student con:

N.C= 95% de probabilidad, $\alpha = 0.05$ y G.L= n_1+n_2-2

Dónde: G.L = grados de libertad, $T_t = T$ tabular y $T_c = T$ calculado.

Conclusión:

Si $(T_c) \leq T_t(95\%) \rightarrow \bar{x}_1 = \bar{x}_2$ (estadísticamente son iguales).

Si $(T_c) > T_t(95\%) \rightarrow \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$ (estadísticamente no son iguales), en este caso se debe corregir la información.

2). Consistencia de la desviación estándar

El análisis de consistencia en la desviación estándar se realiza mediante la prueba estadística "F" de Fisher, si las desviaciones estándar (S_1 y S_2) de las sub muestras son estadísticamente iguales o diferentes con un 95% de nivel de significancia, de la siguiente forma:

Prueba estadística F:

Planteamiento de las hipótesis:

$$H_p : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 \text{ (varianzas poblacionales)}$$

$$H_a : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

$$\alpha : 0.05$$

Cálculo de F_c , según:

$$F_c = \frac{S_1(x)}{S_2(x)}, \text{ si } S_1(x) > S_2(x)$$

$$F_c = \frac{S_2(x)}{S_1(x)}, \text{ si } S_2(x) > S_1(x)$$

Hallar el valor de F_t en las tablas con:

$$N.C. = 95\% \text{ de probabilidad, } \alpha = 0.05, \text{ G.L.N} = n_1 - 1, \text{ G.L.D.} = n_2 - 1$$

Dónde:

F_c = valor de F calculado, F_t = valor de F tabular, α = nivel de significación, G.L.N. = grados de libertad del numerador y G.L.D = grados de libertad del denominador.

Conclusión:

Si $F_c \leq F_t (95\%) \rightarrow S_1(x) = S_2(x)$ (estadísticamente son iguales).

Si $F_c > F_t (95\%) \rightarrow S_1(x) \neq S_2(x)$ (estadísticamente no son iguales). en

este caso se debe corregir la información.

3). Corrección de la información

Si los parámetros media y desviación estándar resultasen estadísticamente iguales, entonces la información original no se corrige por ser consistente con 95% de probabilidad, aun cuando en la recta de doble masa presenta pequeños quiebres. En caso contrario se debe corregir los datos de las sub muestras con las siguientes ecuaciones.

Para corregir el primer periodo, se emplea la siguiente ecuación:

$$X'(t) = \left(\frac{x_t - \bar{x}_1}{s_1} \right) \times (s_2 + \bar{x}_2)$$

Para corregir el segundo periodo:

$$X'(t) = \left(\frac{x_t - \bar{x}_2}{s_2} \right) \times (s_1 + \bar{x}_1)$$

Dónde:

$X'(t)$ = valor corregido de la información

x_t = valor a ser corregido.

4). Bondad de la información corregida

Para comprobar la información corregida, comparando con el periodo confiable se repite el procedimiento ya descrito, vale decir desarrollando las pruebas estadísticas T de Student y F de Fisher, cuyos resultados deben ser confiables con 95% de probabilidad de aceptación.

3.4.2. Índice de precipitación estandarizado (IPE)

Mackee *et al.* (1993) proporciona la metodología para determinar las sequías mediante el Índice de Precipitación Estandarizada. Este índice además de ser un índice que puede ser determinado con facilidad, se puede aplicar a cualquier región del mundo, porque no depende más que de la precipitación ocurrida en esa región, el procedimiento a seguir para su determinación puede ser inclusive automatizada y se explica a continuación.

La distribución Gamma se define por su frecuencia o función de densidad de probabilidad.

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \dots\dots x > 0$$

Donde

$\alpha > 0$

Es un parámetro de uniformidad.

$\beta > 0$

Es un parámetro de escala.

$X > 0$

Es la cantidad de precipitación.

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy$$

$\Gamma(\alpha)$ Es la función Gamma.

El cálculo del IPE se basa en un ajuste a la función de densidad de probabilidades Gamma para una distribución de frecuencias dada de valores de precipitación en una estación. Los parámetros alfa y beta de la función de densidad de probabilidad de gamma son estimados para

cualquier estación, para cualquier escala de tiempo que se desee estudiar (3 meses, 12 meses, 48 meses, etc), y para cualquier mes del año. Los parámetros alfa y beta se calculan aplicando las siguientes relaciones.

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right)$$

$$\beta = \frac{X}{\alpha} \dots$$

Dónde:

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

n = Es el número de datos de precipitación.

Los parámetros resultantes son usados para encontrar la probabilidad acumulada de una precipitación observada para el mes y escala de tiempos dados de una determinada estación. La probabilidad acumulada es dada por:

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

Suponiendo que $t = x / \beta$, la ecuación anterior sería la función gamma incompleta:

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

El rango de aplicaron de la función gamma está definido para valores mayores a cero, sin embargo los registros de precipitación pueden contener dichos valores, más aun en zonas donde se presenta fenómenos de sequía, es decir, si en un registro de precipitaciones se presenta un valor cero, la probabilidad acumulada de que se presente dicho valor según la función gamma es cero, lo cual no es correcto; en un registro se pueden presentar m valores de precipitaciones iguales a cero, entonces la probabilidad de que aparezca dicho valor es la siguiente m/n; donde n es el número total de años de registro, dicha probabilidad se la denomina q, entonces la probabilidad acumulada de que se presente un valor de precipitaciones igual a cero es:

$$H_{(X)} = q + (1 - q)G_{(X)}$$

Se determina a continuación el valor de z de la función de distribución normal con media cero y varianza de uno para la probabilidad acumulada calculada.

El valor Z se puede determinar aplicando las siguientes relaciones:

$$Z = SPI = - \left(t - \frac{C_0 + C_1 + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t + d_3 t} \right) \dots t = \sqrt{\ln \frac{1}{H_{(X)}}} \dots 0 < H_{(X)} \leq 0.5$$

$$Z = SPI = + \left(t - \frac{C_0 + C_1 + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t + d_3 t} \right) \dots t = \sqrt{\ln \frac{1}{(1 - H_{(X)})^2}} \dots 0.5 < H_{(X)} \leq 1$$

$$C_0 = 2.515517$$

$$C_1 = 0.802853$$

$$C_2 = 0.010328$$

$$D1 = 1.432788$$

$$D2 = 0.189269$$

$$D3 = 0.001308$$

El valor de Z encontrado es el valor del índice de precipitación estandarizado (IPE), es decir el valor normal gracias a este ajuste para un lugar y periodo deseado es el valor de cero. Los valores positivos y negativos indican que las precipitaciones son respectivamente, mayores o menores que la media.

El valor del IPE al ser normalizado indica que los periodos secos y húmedos se presentan de la misma forma, entonces, este índice puede ser también aplicado para el seguimiento de periodos húmedos. A continuación se indican los valores de índice (IPE), su correspondiente probabilidad acumulada y su interpretación.

Cuadro 9. Clasificación del IPE por Categorías y su Probabilidad de ocurrencia

VALOR SPI	CATEGORÍA	PROBABILIDAD (%)
2.00 o mayor	Extremadamente húmedo	2.3
-1.50 a 1.99	Muy húmedo	4.4
1.00 a 1.49	Moderadamente húmedo	9.2
0 a 0.99	Ligeramente húmedo	34.1
0 a -0.99	Ligeramente seco	34.1
-1.00 a -1.49	Moderadamente seco (sequía moderadas)	9.2
-1.50 a -1.99	Muy seco (sequía severa)	4.4
-2.00 o menor	Extremadamente seco (sequía extrema)	2.3

Fuente: (McKee *et al.*, 1993)

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados para el objetivo específico 1, así como su discusión, se presenta a continuación.

4.1. Del Análisis de consistencia de la información pluviográfica

La variable que se emplea para determinar las sequías meteorológicas mediante el método Índice de Precipitación Estandarizada es la precipitación total mensual, esta información es obtenida del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) Puno. Se emplea información pluviométrica de 05 estaciones meteorológicas: Puno, Capachica, Uros, Laraqueri y Mañazo.

El periodo de registro de la información pluviométrica de las estaciones Puno, Capachica, Uros, Laraqueri y Mañazo es de 48 años, varía desde el año 1964 al 2011, los mismos que se presentan en los cuadro 07 y 08.

Cuadro 10. Precipitación Total Mensual (mm) - Estación Puno

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	162.30	95.00	112.90	54.10	11.80	0.00	0.00	6.60	22.20	7.80	50.20	47.80
1965	120.50	174.80	62.00	30.10	0.80	0.00	0.60	7.10	32.20	14.00	47.70	174.20
1966	32.50	79.90	15.00	13.00	40.30	0.00	0.50	0.00	1.00	42.90	61.00	27.80
1967	75.40	108.30	223.20	12.80	12.90	0.00	16.90	27.80	63.50	43.70	4.00	121.50
1968	120.70	117.40	111.40	62.70	10.40	12.30	3.70	2.80	15.50	59.40	59.10	50.00
1969	164.50	98.60	68.40	33.70	0.00	0.20	3.20	0.90	4.50	25.70	52.60	51.50
1970	142.40	55.50	189.50	32.00	7.50	0.00	0.00	0.90	10.40	18.00	14.60	97.20
1971	101.00	268.20	28.40	25.20	0.00	2.90	0.00	9.10	1.20	19.50	93.50	103.60
1972	210.80	130.90	164.00	37.20	6.60	0.00	0.00	0.00	37.30	32.60	46.10	132.60
1973	238.20	131.70	159.10	97.60	13.30	0.00	1.80	6.10	32.50	16.40	29.80	70.80
1974	253.00	206.80	54.90	57.60	0.20	2.50	0.20	51.20	36.50	12.50	27.30	48.10
1975	157.20	177.60	158.60	37.50	43.70	0.70	0.10	6.50	48.70	53.30	24.70	235.20
1976	200.20	149.50	169.20	25.60	9.90	0.40	1.40	16.90	44.40	9.10	11.60	119.80
1977	49.10	206.10	209.80	5.80	8.80	0.00	2.30	0.00	48.10	53.90	49.70	108.80
1978	224.50	95.30	136.30	28.30	0.40	0.00	3.20	0.40	17.50	24.90	143.70	155.00
1979	131.20	35.20	143.10	44.10	1.40	0.00	0.90	1.80	8.50	45.50	31.70	83.90
1980	60.80	57.30	258.40	18.50	1.30	0.10	4.90	13.50	66.10	72.80	25.80	34.90
1981	133.90	207.30	111.30	68.90	4.70	0.00	0.00	37.80	21.10	25.60	49.00	129.00
1982	232.10	83.50	99.70	75.00	2.60	5.20	1.90	0.00	52.60	114.40	103.00	24.50
1983	20.70	70.40	57.60	55.50	14.20	2.30	1.50	4.80	46.40	26.70	29.80	104.20
1984	318.90	86.20	223.00	44.40	18.30	4.20	3.70	25.70	0.00	157.50	73.80	96.20
1985	130.00	337.60	12.30	90.70	24.90	27.30	0.00	8.20	40.10	32.70	123.50	134.20
1986	145.10	251.10	221.20	105.80	0.10	0.00	5.20	8.40	42.00	4.20	9.20	131.60
1987	224.30	71.50	73.80	44.20	1.70	3.80	12.50	0.00	4.30	58.40	110.80	25.40
1988	213.40	73.50	228.90	72.90	23.30	0.00	0.30	0.00	20.50	70.50	46.20	99.10
1989	203.80	130.00	137.10	100.90	0.00	0.40	1.70	14.70	17.60	14.20	21.40	42.90
1990	167.20	22.40	59.90	43.00	12.10	54.70	0.00	11.80	10.10	107.90	91.70	63.00
1991	124.10	67.70	185.80	46.20	6.80	33.60	0.00	3.00	14.70	20.40	44.20	50.30
1992	66.00	89.70	15.70	38.80	0.00	0.50	2.30	42.20	0.00	34.40	29.40	55.10
1993	175.60	100.70	107.00	52.50	6.60	1.10	0.00	37.90	18.00	69.10	79.20	111.50
1994	180.00	183.10	113.30	116.20	29.90	0.40	0.00	0.00	18.30	36.60	52.60	73.20
1995	122.70	102.90	124.00	2.10	4.10	0.00	0.00	3.00	21.90	15.30	50.30	80.20
1996	252.70	130.50	60.80	76.30	0.00	0.00	2.90	12.80	0.80	10.40	88.30	118.00
1997	239.60	213.20	98.60	88.60	0.90	0.00	0.00	21.90	108.20	30.10	62.90	44.90
1998	196.40	115.50	135.30	25.40	0.00	4.90	0.00	4.30	4.50	26.90	43.90	58.00
1999	193.70	244.50	202.00	86.00	7.50	0.00	1.50	1.90	16.10	150.30	32.00	68.40
2000	167.10	210.00	105.10	40.30	0.40	2.30	4.20	17.90	14.60	95.80	13.90	69.00
2001	248.70	214.60	224.10	69.80	12.20	2.20	0.00	12.50	27.10	68.40	46.20	81.00
2002	129.60	180.00	170.60	105.30	15.40	21.10	22.70	30.60	11.60	65.90	43.80	112.20
2003	174.50	114.40	113.40	46.10	36.70	4.80	0.20	9.60	42.90	25.40	14.30	131.80
2004	208.90	125.20	115.50	29.20	6.20	0.00	10.20	43.00	34.30	5.60	41.20	59.10
2005	103.30	157.90	134.60	45.70	0.40	0.00	0.00	0.00	11.80	39.50	80.50	100.80
2006	291.10	64.30	159.60	44.60	0.90	0.00	0.00	0.60	21.20	37.40	53.80	101.50
2007	84.80	171.00	236.70	49.70	10.60	0.00	3.30	1.60	61.30	77.00	44.20	74.10
2008	209.70	85.80	95.00	8.40	6.80	1.40	0.20	0.80	2.40	79.40	27.20	144.20
2009	154.00	136.10	148.30	83.00	0.40	0.00	2.50	0.00	16.40	56.40	88.90	62.50
2010	99.30	192.80	56.30	12.30	16.10	0.00	0.00	7.10	2.90	33.40	15.00	146.70
2011	122.40	202.90	116.50	46.80	4.80	0.00	6.40	11.02	25.47	46.39	50.72	91.47

Fuente: SENAMHI.

Cuadro 11. Precipitación Total Mensual (mm) - Estación Capachica

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	114.20	182.20	363.80	108.40	67.60	0.00	0.00	4.00	38.40	49.36	103.40	117.80
1965	213.30	187.80	248.20	116.80	15.90	0.00	5.00	0.00	12.30	24.40	39.70	190.40
1966	54.00	103.80	49.40	5.70	54.60	0.00	0.90	0.00	16.30	29.40	36.90	99.40
1967	49.20	136.10	217.90	36.40	5.70	1.00	8.80	20.40	25.10	22.70	34.10	143.90
1968	104.80	178.90	192.30	43.10	21.40	17.70	1.80	2.10	17.20	18.40	34.40	89.80
1969	142.50	92.40	98.30	51.10	17.80	0.40	23.10	0.70	9.40	14.00	34.80	35.80
1970	148.30	80.40	121.60	58.20	14.10	0.20	0.00	2.60	29.10	21.30	30.70	101.20
1971	130.10	220.40	65.40	54.30	0.50	0.00	0.00	4.10	0.20	31.40	69.70	51.70
1972	236.10	100.40	120.40	2.70	0.90	0.00	0.20	2.00	12.40	12.60	44.00	119.10
1973	192.40	150.30	159.90	60.80	16.70	5.00	15.10	8.10	48.10	37.60	41.50	41.70
1974	238.30	200.90	75.70	45.60	0.00	8.10	10.70	33.80	25.40	42.20	31.80	71.90
1975	191.60	216.10	126.70	30.80	32.80	8.00	0.00	0.70	41.40	54.30	26.40	242.10
1976	203.80	152.40	96.90	24.70	21.00	2.90	0.20	6.70	49.00	3.30	0.00	111.80
1977	83.70	260.40	156.60	9.60	4.00	0.00	0.80	0.00	30.60	55.40	72.20	117.00
1978	172.90	116.70	91.40	23.10	0.00	4.20	4.30	7.60	33.12	40.51	163.00	197.50
1979	174.50	66.30	180.80	52.40	4.00	0.00	0.00	0.00	45.02	36.77	62.75	186.39
1980	166.73	180.26	109.32	12.96	15.50	2.45	0.89	5.45	40.85	21.17	125.77	132.15
1981	182.22	185.96	113.07	18.61	0.10	1.19	2.10	1.95	31.00	54.43	113.05	115.11
1982	159.17	163.07	102.33	34.70	3.13	2.95	2.68	5.48	39.08	34.30	126.51	131.17
1983	181.95	199.07	121.63	36.78	8.38	0.51	0.03	1.28	43.14	32.79	124.11	147.02
1984	213.40	175.22	114.62	12.63	9.53	2.38	0.00	0.00	0.00	39.20	81.90	78.00
1985	116.60	126.70	93.40	84.90	41.00	18.50	4.80	0.00	3.50	83.10	166.70	216.60
1986	326.10	295.20	190.00	131.00	0.40	0.00	0.00	14.90	37.10	20.20	49.00	123.00
1987	233.40	18.90	74.80	19.20	2.20	14.60	19.40	0.00	28.40	28.50	24.00	32.60
1988	110.00	167.20	171.20	24.40	26.80	0.00	2.50	0.00	37.70	123.60	79.20	190.10
1989	248.30	179.30	244.40	29.60	0.00	20.40	1.20	0.00	13.90	31.40	66.40	123.40
1990	215.70	87.00	47.90	94.60	11.20	40.80	0.00	31.50	12.30	74.50	54.70	159.90
1991	122.70	113.10	227.60	96.60	5.80	38.00	0.50	0.00	11.50	62.50	74.50	103.00
1992	157.70	145.00	32.50	51.00	0.00	6.00	5.00	70.00	0.50	40.50	89.00	49.00
1993	284.00	123.50	293.00	39.00	1.00	0.50	0.00	38.70	25.30	34.00	124.80	159.50
1994	300.00	308.30	179.00	120.80	4.50	0.00	2.70	4.50	5.50	15.30	38.80	139.60
1995	140.20	141.70	150.30	1.80	8.40	0.00	0.50	4.50	18.20	15.90	40.70	133.00
1996	244.90	111.30	47.10	34.50	14.90	0.00	4.40	26.10	5.60	22.00	70.40	88.50
1997	255.30	217.40	132.20	79.40	2.50	0.00	0.00	22.90	59.30	35.60	103.10	41.30
1998	102.20	124.50	136.40	36.20	0.00	8.20	0.00	0.00	1.80	12.40	57.40	12.10
1999	184.80	229.00	236.10	91.50	0.90	0.00	0.00	0.00	42.90	76.40	30.60	64.70
2000	157.00	145.00	169.10	9.50	20.00	0.00	1.00	35.20	10.70	84.10	0.00	68.80
2001	214.10	172.70	219.40	75.40	9.00	2.60	12.20	31.00	29.00	73.30	35.70	106.50
2002	111.50	232.70	163.80	85.90	12.00	2.00	16.70	13.70	62.40	146.10	89.70	109.20
2003	250.80	147.20	174.60	36.10	18.30	6.80	2.40	3.40	43.70	31.50	25.60	138.00
2004	202.40	182.90	105.60	48.90	6.20	0.80	12.70	23.70	39.80	17.20	29.20	91.10
2005	113.80	216.40	101.10	21.10	0.00	0.00	0.00	2.60	34.60	74.90	67.70	108.70
2006	265.10	65.70	131.50	33.70	0.60	6.20	0.00	9.20	32.00	25.90	75.40	62.00
2007	76.50	34.70	160.90	47.20	4.20	0.00	3.20	6.40	41.50	9.00	75.30	128.90
2008	208.60	77.60	124.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	44.00	12.40	176.70
2009	94.90	162.30	91.10	52.60	0.80	0.00	3.50	0.00	6.80	31.70	72.10	72.50
2010	178.60	181.80	38.90	41.80	8.10	0.00	0.00	4.60	3.20	30.50	0.00	185.40
2011	116.90	227.10	102.70	14.50	2.30	0.00	6.60	9.57	25.41	40.84	62.75	115.00

Fuente: SENAMHI.

Cuadro 12. Precipitación Total Mensual (mm) - Estación Uros

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	133.3	108.08	91.04	18.48	0.2608	3.4802	3.1206	5.3204	2.00	13.78	35.24	83.82
1965	156.33	142.19	128.33	51.62	10.49	3.72	3.69	11.49	22.89	39.51	49.12	94.28
1966	157.68	197.84	79.74	58.72	8.10	1.08	0.08	8.60	12.54	31.4	79.32	98.68
1967	24.10	48.90	211.80	25.80	26.00	0.00	12.00	3.50	77.50	10.70	18.40	58.40
1968	92.70	92.10	70.70	21.50	17.40	6.90	1.20	0.50	20.90	65.70	125.40	58.80
1969	172.00	85.50	59.50	38.40	0.00	5.20	5.70	8.00	3.50	11.10	22.00	60.40
1970	127.90	92.30	194.10	25.30	12.00	0.00	0.00	0.00	12.70	12.90	23.60	120.20
1971	119.90	244.70	40.20	52.00	0.00	1.80	0.00	12.50	5.30	35.50	95.00	112.80
1972	168.00	134.90	126.40	35.30	30.90	0.10	0.20	0.00	25.70	35.60	58.90	142.90
1973	225.20	145.40	151.70	125.40	22.70	0.00	1.50	9.90	31.20	25.70	32.00	115.30
1974	295.60	193.30	70.40	29.00	0.00	3.70	0.00	78.20	21.70	39.80	22.60	52.50
1975	132.50	160.10	126.40	58.40	44.00	0.20	1.50	4.40	35.80	46.40	38.20	246.10
1976	266.30	180.20	112.50	60.20	14.70	0.20	0.40	35.80	49.10	3.90	10.50	101.70
1977	46.70	232.30	165.20	31.30	9.10	0.00	6.40	0.00	32.00	61.40	81.20	125.00
1978	229.60	51.90	125.90	79.20	0.00	0.80	3.00	5.70	24.10	5.60	101.50	156.60
1979	136.90	44.60	97.90	34.40	3.10	0.00	10.40	5.40	3.90	31.50	25.80	90.40
1980	88.90	44.30	275.40	7.30	0.00	0.00	0.00	17.40	72.40	74.50	27.60	45.70
1981	173.40	184.00	94.30	91.10	0.00	0.00	0.00	36.70	24.90	34.30	12.80	38.30
1982	27.70	82.70	84.00	14.00	10.10	0.00	0.00	11.80	67.90	42.40	17.10	13.70
1983	22.20	72.20	36.60	50.10	18.80	0.00	0.00	15.70	0.00	37.90	3.10	185.80
1984	335.50	385.00	220.50	49.20	14.80	1.00	7.50	5.30	0.00	96.30	118.40	87.10
1985	109.10	309.60	104.80	74.50	16.70	29.10	0.00	0.00	36.80	17.20	133.70	136.30
1986	189.60	263.60	309.20	143.30	6.40	0.00	15.10	6.60	21.90	3.40	25.90	155.30
1987	136.60	45.60	65.30	10.20	8.60	7.30	27.90	0.00	9.20	40.10	60.30	31.00
1988	207.80	61.40	254.20	82.90	23.70	0.00	0.00	0.00	32.20	60.90	17.50	40.10
1989	174.00	106.20	161.70	53.00	2.50	10.00	3.50	3.60	8.40	15.80	26.80	52.70
1990	201.40	38.40	50.00	41.90	2.60	34.00	0.00	13.00	14.40	81.80	77.80	72.90
1991	100.20	78.50	190.10	68.40	12.40	40.30	0.00	1.80	13.30	57.20	45.30	49.70
1992	131.40	152.60	41.10	29.00	0.00	0.00	1.70	42.10	0.00	29.30	39.00	99.30
1993	177.20	71.90	93.60	75.60	0.00	0.00	0.00	26.60	23.50	72.90	93.50	111.20
1994	196.10	167.20	95.80	129.60	49.80	0.00	0.00	0.00	2.10	16.10	69.60	74.80
1995	130.00	133.10	141.80	3.10	3.30	0.00	0.00	5.90	13.10	24.00	57.40	119.70
1996	234.40	100.60	69.40	32.40	1.60	0.00	0.00	8.60	11.00	13.10	59.70	46.70
1997	222.20	213.30	74.60	75.60	1.90	0.00	0.00	17.80	58.10	23.80	69.30	35.10
1998	131.10	116.20	110.10	24.40	0.00	2.30	0.00	0.90	1.90	16.90	59.10	25.30
1999	152.40	264.10	201.80	128.60	14.20	0.00	0.00	9.00	32.40	171.50	27.00	31.10
2000	178.90	174.60	92.40	34.80	4.20	0.00	0.00	17.90	11.00	60.00	12.30	75.50
2001	242.40	228.20	201.30	69.80	10.50	0.80	0.80	11.20	30.40	55.10	41.10	98.90
2002	124.50	151.90	143.30	79.70	21.00	17.40	26.10	24.10	16.00	65.70	62.80	157.30
2003	180.00	135.20	129.60	39.20	27.50	6.00	1.00	7.80	49.90	15.20	22.10	135.40
2004	196.30	142.70	85.90	27.80	7.00	0.00	19.30	44.80	29.40	20.30	35.70	82.20
2005	109.00	179.70	110.80	34.70	0.00	0.00	0.00	0.00	16.60	38.60	41.10	119.70
2006	243.60	54.00	195.50	36.30	0.00	1.00	0.00	2.70	11.50	41.30	59.80	91.00
2007	68.00	135.20	201.60	75.80	9.10	0.00	13.40	6.50	66.50	40.60	50.80	69.40
2008	217.00	80.80	94.70	9.30	5.50	2.00	0.00	1.50	1.20	73.00	45.80	120.80
2009	116.20	141.10	116.60	69.10	0.00	0.00	4.90	0.00	8.50	39.51	49.12	94.28
2010	156.33	142.19	128.33	51.62	10.49	3.72	3.69	11.49	22.89	26.30	18.10	176.00
2011	102.80	215.40	118.10	34.80	19.10	0.00	6.60	11.49	22.89	39.51	49.12	94.28

Fuente: SENAMHI.

Cuadro 13. Precipitación Total Mensual (mm) - Estación Laraqueri

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	153.20	133.60	80.90	41.40	12.00	0.00	0.00	1.10	61.70	31.70	24.80	34.40
1965	70.60	82.10	62.40	38.40	4.00	2.00	4.60	8.10	31.00	41.30	46.10	194.00
1966	78.50	152.80	63.90	25.40	50.50	0.00	0.00	0.00	7.70	36.80	106.70	52.20
1967	89.20	173.70	258.40	31.10	18.50	0.00	27.70	25.00	44.70	49.80	0.00	150.00
1968	145.70	189.60	124.50	37.10	34.10	17.70	2.30	1.40	16.00	56.20	103.20	85.70
1969	187.30	85.70	103.30	47.20	0.00	0.00	2.00	0.00	25.80	13.00	25.00	82.00
1970	111.40	106.50	140.30	37.00	25.50	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	18.50	179.30
1971	138.50	252.80	52.20	25.00	2.10	1.30	0.00	3.10	0.00	4.30	56.20	129.60
1972	230.20	197.80	111.70	16.30	3.60	0.00	0.00	0.00	29.60	49.70	51.00	170.30
1973	195.90	123.70	129.70	46.70	18.70	0.00	5.00	12.20	55.70	10.90	26.70	85.20
1974	274.10	245.80	100.50	51.00	0.00	1.10	0.00	57.40	20.00	12.10	16.50	74.50
1975	153.10	258.00	112.40	23.50	31.70	3.10	0.00	8.10	21.70	61.80	43.10	260.80
1976	355.50	135.40	218.30	40.80	18.40	0.00	27.60	29.80	64.40	14.60	11.00	84.60
1977	66.80	191.00	148.30	7.00	5.30	0.00	0.00	0.00	21.10	55.60	88.30	126.40
1978	209.00	147.50	101.90	43.10	0.00	0.00	18.60	1.50	15.20	8.40	153.10	109.20
1979	190.20	115.00	125.60	22.30	0.00	1.20	9.30	1.70	5.00	29.70	53.50	56.50
1980	239.50	58.40	229.50	8.00	0.00	0.00	4.00	15.70	40.20	87.50	30.10	244.10
1981	244.10	277.00	125.50	54.00	1.90	0.00	0.00	30.20	32.40	18.00	22.50	161.50
1982	157.30	88.90	85.20	26.90	0.00	0.00	0.00	4.30	36.70	64.60	88.10	23.50
1983	97.80	78.10	18.70	8.40	0.00	1.60	0.00	0.50	17.10	13.40	15.80	77.80
1984	321.20	232.10	220.80	38.80	18.70	33.60	0.00	17.60	1.80	67.80	156.90	115.60
1985	135.20	190.90	105.30	140.60	24.40	13.40	0.00	0.00	44.00	7.80	148.70	204.20
1986	159.30	283.30	238.30	100.70	8.40	0.20	0.00	9.40	11.70	1.80	43.70	151.20
1987	280.90	77.10	74.30	26.20	0.00	0.00	36.50	6.50	8.60	23.50	57.00	28.50
1988	199.50	45.10	179.10	130.70	9.60	2.50	0.00	0.00	5.90	44.60	13.20	101.40
1989	225.50	130.90	129.00	77.30	3.50	5.30	2.40	5.40	4.80	0.00	26.10	44.60
1990	135.70	36.70	80.80	11.00	15.30	55.30	0.00	15.70	9.50	99.40	141.50	128.50
1991	130.10	131.00	148.20	27.60	2.90	43.60	0.00	0.60	21.80	28.50	30.10	64.00
1992	120.70	100.00	59.50	39.50	0.00	3.90	15.80	31.90	0.00	61.90	48.90	102.10
1993	206.40	66.20	133.80	61.00	14.10	1.50	0.00	34.60	18.30	123.40	126.80	176.90
1994	206.80	197.20	148.80	110.00	14.80	1.50	1.50	0.00	5.90	8.70	74.30	140.10
1995	140.50	205.50	150.20	12.10	0.00	0.00	0.00	0.00	11.10	3.40	59.30	171.00
1996	277.30	127.40	0.00	52.60	20.20	0.00	0.00	52.00	12.00	4.70	96.30	97.50
1997	187.90	240.20	114.60	29.30	1.00	0.00	0.00	21.80	94.90	22.60	122.00	49.90
1998	87.70	94.30	88.80	31.00	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	28.30	44.00	25.10
1999	132.70	170.70	240.70	73.90	19.50	0.00	0.00	11.90	6.70	92.50	1.10	71.10
2000	250.30	236.70	126.30	12.50	5.30	1.40	0.00	10.10	6.50	66.70	7.10	139.50
2001	368.50	267.60	139.40	78.20	13.10	0.00	3.50	4.70	12.10	24.50	44.50	67.80
2002	68.90	214.80	163.00	74.80	22.60	4.60	25.90	15.00	10.90	44.30	68.90	63.00
2003	148.60	123.40	124.00	28.20	12.60	0.00	0.00	5.60	19.10	6.10	24.30	128.40
2004	228.30	146.80	71.80	22.50	0.00	1.80	11.10	43.90	6.10	0.00	14.10	61.40
2005	115.10	280.30	79.30	42.50	0.00	0.00	0.00	0.00	19.10	39.00	37.50	127.80
2006	240.80	96.50	88.30	32.70	6.30	3.40	0.00	12.90	34.00	18.70	53.50	68.60
2007	109.30	96.80	168.90	48.00	4.90	0.00	0.00	11.02	45.80	57.80	71.40	110.60
2008	190.90	105.00	73.60	0.00	0.00	0.00	0.00	4.50	2.30	35.90	15.60	143.50
2009	71.40	173.40	107.90	67.20	0.00	0.00	5.10	0.00	11.10	15.00	86.70	102.10
2010	165.00	187.40	41.40	40.60	19.00	0.00	4.43	2.60	3.40	34.30	4.10	144.80
2011	155.00	239.90	120.80	48.30	3.40	0.00	5.30	11.02	20.71	34.69	55.27	110.87

Fuente: SENAMHI.

Cuadro 14. Precipitación Total Mensual (mm) - Estación Mañazo

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	38.00	56.10	83.60	49.30	16.60	0.00	0.00	5.00	11.20	0.00	28.80	48.30
1965	79.20	56.10	43.80	0.00	1.80	0.20	0.90	0.80	7.10	3.00	13.70	124.50
1966	24.40	95.50	36.10	3.80	20.70	0.00	0.00	0.00	6.60	12.90	45.00	29.30
1967	27.00	54.60	116.60	2.50	8.90	0.00	6.80	0.00	16.50	33.10	0.70	66.70
1968	44.20	90.90	91.90	6.40	18.30	9.00	0.00	0.00	15.80	35.00	128.90	84.30
1969	189.70	122.80	57.10	8.00	0.00	0.00	3.30	0.00	7.60	59.60	96.90	116.30
1970	148.30	106.60	178.00	9.40	5.80	0.00	0.00	0.00	5.40	26.60	7.20	176.60
1971	99.90	211.00	52.20	44.30	2.90	1.00	0.00	0.10	0.00	11.00	48.60	147.80
1972	210.80	147.40	147.40	25.70	8.40	0.00	0.00	0.00	34.40	24.50	28.90	80.60
1973	245.50	142.30	158.30	47.90	10.40	1.20	2.70	3.40	37.30	21.90	52.90	98.40
1974	335.30	305.10	80.80	40.70	0.30	9.20	1.00	57.20	26.10	19.10	31.60	71.00
1975	191.30	267.80	139.00	20.60	32.80	0.20	0.00	0.70	25.10	62.40	39.10	158.20
1976	195.30	147.10	166.00	36.50	3.60	0.20	5.10	14.40	48.70	2.90	20.40	93.30
1977	37.10	258.60	149.20	33.00	3.80	0.00	7.30	0.00	0.00	0.00	75.00	112.00
1978	92.30	164.40	156.40	34.60	1.90	0.00	3.60	4.00	0.00	7.40	94.70	190.90
1979	148.50	70.20	163.70	36.10	0.00	0.00	0.00	8.00	0.00	23.90	38.90	78.20
1980	93.60	54.90	122.80	2.10	0.00	0.00	0.00	2.40	28.90	100.20	226.20	27.10
1981	269.55	259.01	133.63	44.15	13.55	3.65	2.92	21.99	33.82	12.88	11.06	118.07
1982	213.45	262.22	126.89	33.80	10.49	3.34	2.72	24.13	23.37	19.60	31.00	118.28
1983	123.80	193.23	157.97	28.46	13.26	0.00	3.43	0.57	19.98	25.85	54.78	133.80
1984	110.95	150.81	158.61	33.49	0.16	0.00	4.66	6.43	17.42	9.45	70.80	107.07
1985	92.60	169.60	147.23	30.38	2.22	0.31	3.42	4.45	3.07	22.49	94.80	115.21
1986	149.39	129.81	145.52	29.30	3.54	0.84	1.25	9.33	12.85	35.35	91.70	113.79
1987	173.74	136.34	140.34	27.37	5.47	1.31	0.98	11.78	21.25	44.24	80.92	73.43
1988	170.69	186.00	131.46	24.57	8.16	1.77	2.35	12.25	29.33	45.72	99.59	89.72
1989	197.70	240.54	142.57	38.52	10.85	2.26	3.57	15.77	23.38	10.51	24.99	128.44
1990	104.70	61.30	34.00	27.60	11.10	47.40	0.00	26.10	23.40	21.40	39.50	105.00
1991	142.43	139.20	108.89	35.26	6.86	2.31	1.81	6.58	14.27	28.69	52.42	99.45
1992	175.91	197.68	111.99	35.42	11.60	17.30	2.67	20.74	24.90	11.11	25.26	125.46
1993	142.43	61.30	25.40	86.20	0.90	0.00	0.00	13.70	7.60	71.30	56.60	132.50
1994	182.40	138.60	131.60	95.30	6.10	1.40	0.00	0.00	4.00	2.40	87.40	104.60
1995	89.60	114.00	131.80	5.10	0.00	0.00	0.00	0.00	14.70	6.80	24.80	95.10
1996	215.50	142.00	50.80	20.80	1.20	0.00	0.50	15.30	2.30	9.10	73.80	135.30
1997	192.10	197.10	152.10	84.50	1.30	0.00	0.00	23.50	47.90	22.60	68.50	44.60
1998	179.80	138.20	77.50	25.10	0.00	3.80	0.00	1.90	0.00	34.80	51.30	25.40
1999	109.10	134.40	179.00	83.80	9.30	0.00	0.00	4.80	21.40	90.20	8.30	103.90
2000	143.50	190.00	75.10	17.60	6.30	0.00	0.00	3.80	8.60	73.30	9.30	107.30
2001	361.10	231.40	151.80	72.10	5.40	0.00	1.20	10.50	1.90	31.70	34.30	69.80
2002	77.30	161.20	106.20	68.30	21.20	8.70	12.40	6.80	9.70	77.20	70.70	98.50
2003	136.70	78.80	139.40	23.40	14.10	3.70	0.00	1.60	20.10	9.10	35.30	96.80
2004	183.30	133.70	89.70	38.00	0.00	1.10	10.80	23.30	19.60	3.40	11.80	30.50
2005	88.50	220.30	63.00	53.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.50	22.10	71.50	114.60
2006	219.80	92.60	108.60	30.70	1.20	0.00	0.00	1.80	28.50	22.80	62.50	103.10
2007	111.70	100.10	224.10	71.90	11.40	0.00	2.50	6.70	22.40	30.80	77.60	113.60
2008	231.10	103.00	70.20	0.00	5.50	0.00	0.00	1.20	1.20	27.90	4.10	154.50
2009	99.70	137.30	109.30	33.50	1.50	0.00	3.00	0.00	4.10	8.10	86.90	136.20
2010	116.90	173.40	77.30	25.20	15.90	0.00	1.81	0.00	0.00	24.40	35.50	105.50
2011	84.30	190.30	89.20	41.60	5.20	0.00	4.20	6.58	14.27	28.69	52.42	99.45

Fuente: SENAMHI.

4.1.1. Análisis de saltos

Este análisis se realiza para comprobar la homogeneidad de la información histórica de precipitación total mensual registradas en las estaciones Puno, Capachica, Uros, Laraqueri y Mañazo.

a. Análisis visual de histogramas

En la figura 8, se presenta el histograma de precipitación total mensual de la estación Puno, en ella se puede apreciar que durante el periodo de 1964 al 2011, el comportamiento de las precipitaciones totales mensuales son homogéneos, con un mínimo de 0.0 mm y un máximo de 337.6 mm; visualmente se puede observar que no hay presencia de saltos; sin embargo, para su verificación se realizara el análisis de doble masa.

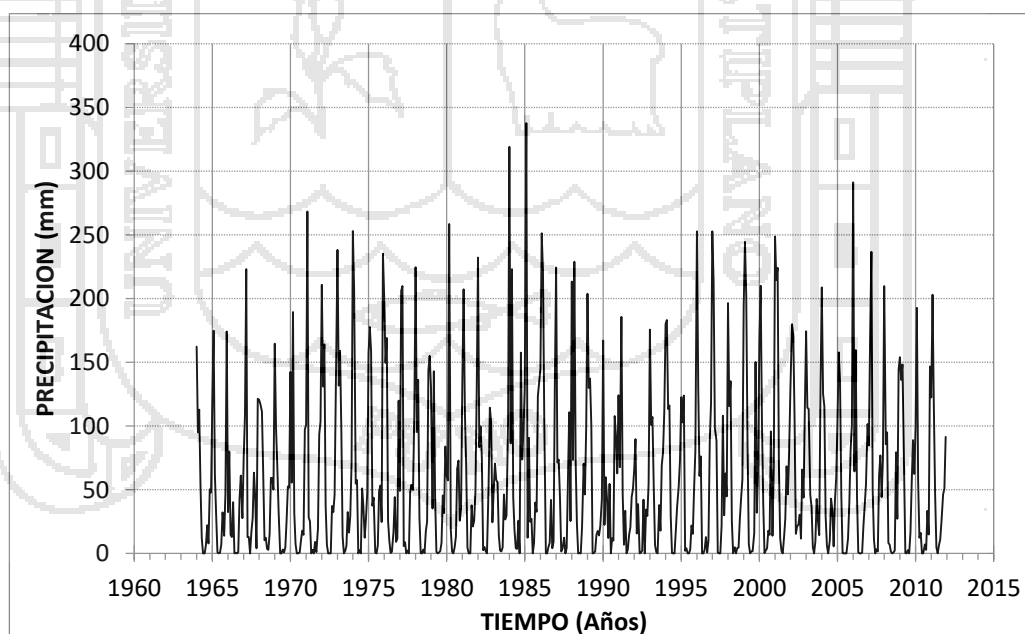


Figura 8. Histograma de precipitación total mensual (mm) – Periodo (1964 – 2011). Estación Puno

En la figura 9, se presenta el histograma de precipitación total mensual de la estación Capachica, en este gráfico se puede apreciar que durante el periodo de 48 años (1964 al 2011), el comportamiento de las precipitaciones totales mensuales son homogéneos, con un mínimo de 0.0 mm y un máximo de 326.10 mm; visualmente se puede observar en el gráfico que no hay presencia de saltos; sin embargo, para su verificación se debe realizar el análisis de doble masa.

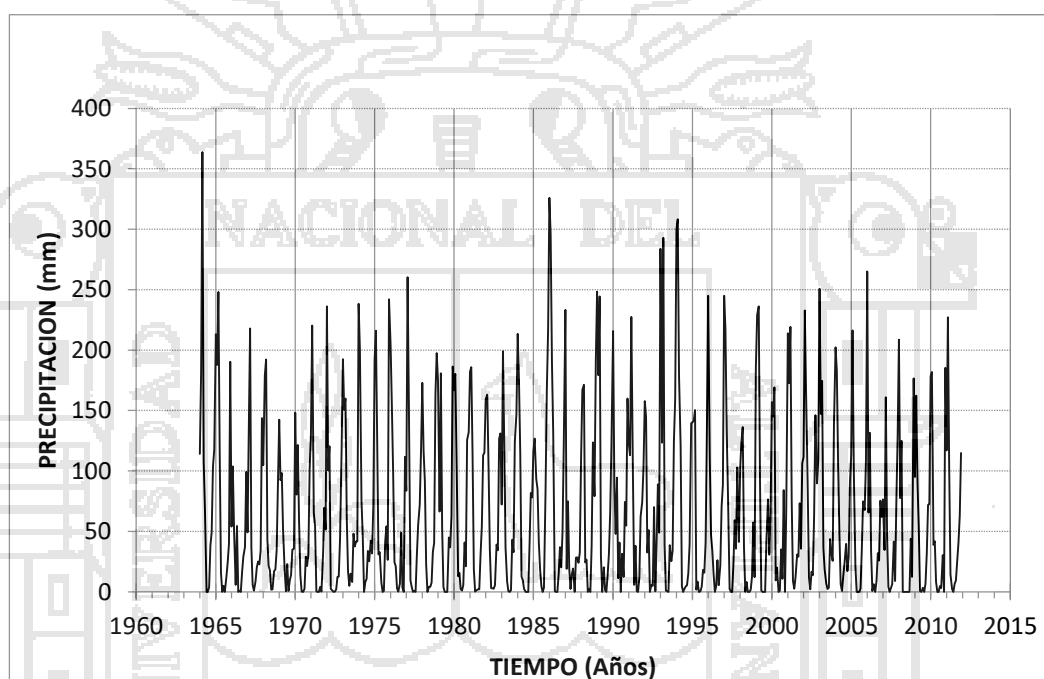


Figura 9. Histograma de precipitación total mensual (mm) –Periodo (1964 – 2010). Estación Capachica.

En la figura 10, se presenta el histograma de precipitación total mensual de la estación Uros, en este gráfico se puede apreciar que durante el periodo de 1964 al 2011, el comportamiento de las precipitaciones totales mensuales son homogéneos, con un mínimo de 0.0 mm y un máximo de 385.0 mm; visualmente se puede observar en el gráfico que no hay presencia de saltos significativos; sin embargo, para su verificación se debe realizar el análisis de doble masa.

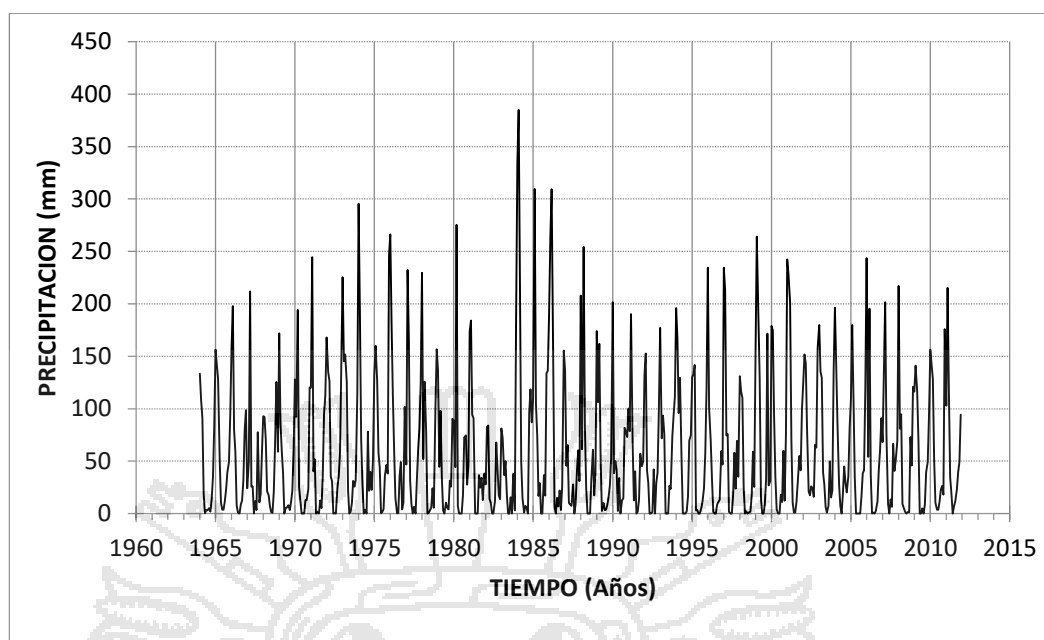


Figura 10. Histograma de precipitación total mensual (mm) —Periodo (1964 – 2011). Estación Uros.

En la figura 11, se presenta el histograma de precipitación total mensual de la estación Laraqueri, en ella se puede apreciar que durante el periodo de 48 años de registro (1964 al 2011), el comportamiento de las precipitaciones totales mensuales son homogéneos, con un mínimo de 0.0 mm y un máximo de 368.50 mm; visualmente se puede apreciar el gráfico que no hay presencia de saltos; para su verificación se realizara el análisis de doble masa.

En la figura 12, se presenta el histograma de precipitación total mensual de la estación Mañazo, en ella se puede apreciar que durante el periodo de 48 años (1964 al 2011), el comportamiento de las precipitaciones totales mensuales son homogéneos, con un mínimo de 0.0 mm y un máximo de 361.10 mm; visualmente se puede observar en el gráfico que no hay presencia de saltos; para su verificación se realizara el análisis de doble masa y el análisis estadístico.

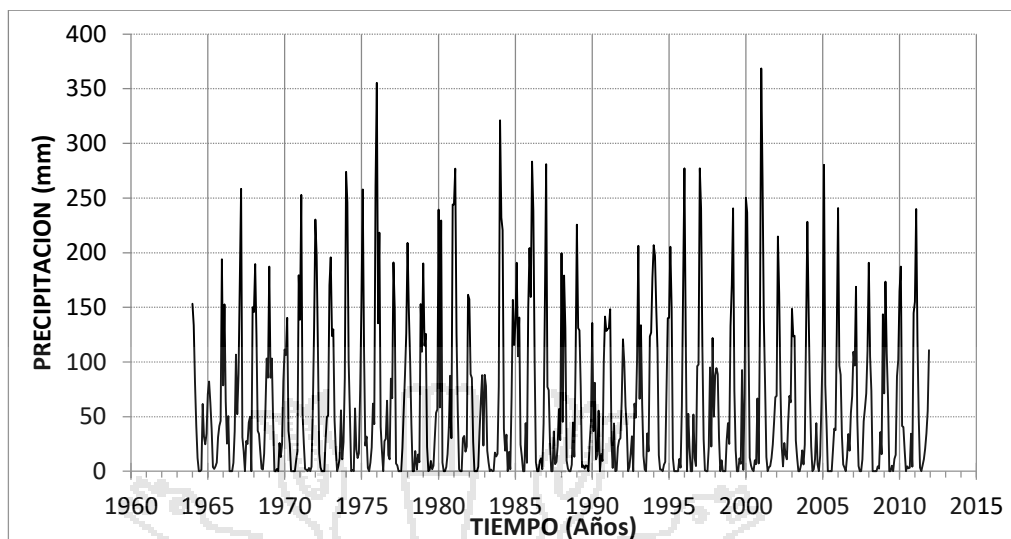


Figura 11. Histograma de precipitación total mensual (mm) —Periodo (1964 – 2011). Estación Laraqueri.

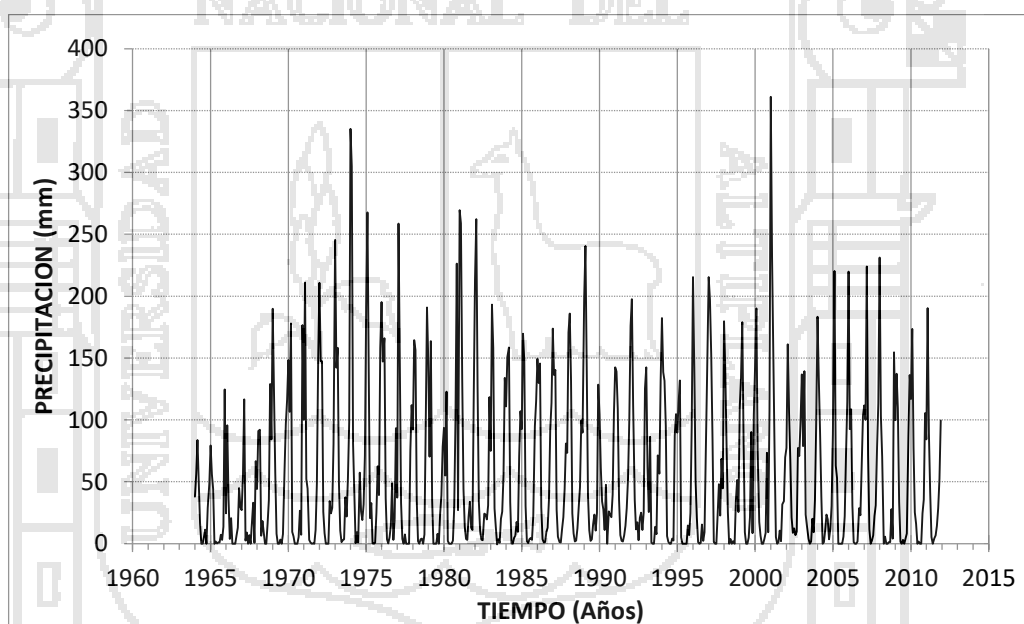


Figura 12. Histograma de precipitación total mensual (mm) —Periodo (1964 – 2011). Estación Mañazo.

b. Análisis de doble masa

En los cuadros 10 al 14, se presentan los datos de precipitación total mensual acumulada de las 05 estaciones: Puno, Capachica, Uros, Laraqueri y Mañazo y la información de precipitación total anual acumulado de cada estación. En la figura 13 se muestran los diagramas de doble masa, de las series históricas de las precipitaciones totales mensuales de las 05 estaciones estudiadas; en ellas se puede apreciar que las líneas de doble masa de las cinco estaciones no presentan quiebres significativos; en consecuencia se puede afirmar que los registros históricos de precipitaciones totales mensuales de las estaciones: Puno, Capachica, Uros, Laraqueri y Mañazo son consistentes, en consecuencia, no es necesario realizar el análisis estadístico.

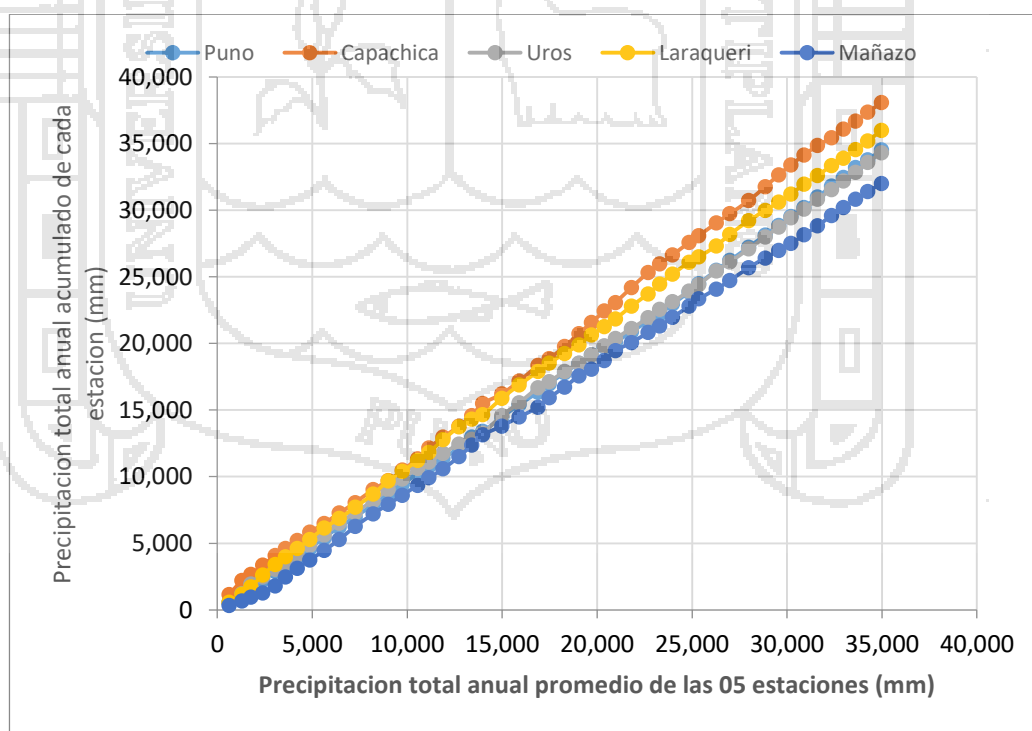


Figura 13. Diagrama de doble masa de precipitación total anual de las estaciones Puno, Capachica, Uros, Laraqueri y Mañazo.

Los resultados y discusión del objetivo específico 2, se presentan en el ítem 4.2.

4.2. De la estimación del índice de precipitación Estandarizada

4.2.1. De la estimación de los parámetros de la distribución Gamma

Como el cálculo del Índice de Precipitación Estandarizada se basa en un ajuste a la función de densidad de probabilidades Gamma para una distribución de frecuencias dada de valores de precipitación en una estación determinada. Los parámetros alfa y beta de la función de densidad de probabilidad de Gamma son estimados mediante el método de momentos descritos en el capítulo anterior para las estaciones Puno, Capachica, Uros, Laraqueri y Mañazo, para escala de tiempo de un mes. Los resultados de la estimación de los parámetros Gamma de las estaciones en estudio se presentan en los cuadros 15 al 19.

Cuadro 15. Resultados de los parámetros de la distribución Gamma – Estación Puno.

Parámetro	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
$\sum \ln(x)$	238.6	230.3	224.7	177.5	24.3	-144.7	-97.1	14.8	116.7	169.1	178.2	210.6
$\sum \ln(x)/N$	5.0	4.8	4.7	3.7	0.5	-3.0	-2.0	0.3	2.4	3.5	3.7	4.4
$\ln(\bar{x})$	5.1	4.9	4.9	3.9	2.2	1.4	0.9	2.4	3.2	3.8	3.9	4.5
A	0.1	0.1	0.2	0.2	1.7	4.4	3.0	2.1	0.8	0.3	0.2	0.1
α	4.5	4.0	2.9	2.4	0.4	0.2	0.3	0.4	0.8	1.8	2.5	4.4
β	36.3	34.2	44.4	21.5	22.1	19.1	9.4	30.9	33.5	24.8	20.3	20.6

Cuadro 16. Resultados de los parámetros de la distribución Gamma – Estación Capachica.

Parámetro	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
$\sum \ln(x)$	244.0	238.1	231.7	160.0	24.5	-109.8	-80.5	-29.1	118.9	167.7	161.5	221.6
$\sum \ln(x)/N$	5.1	5.0	4.8	3.3	0.5	-2.3	-1.7	-0.6	2.5	3.5	3.4	4.6
$\ln(\bar{x})$	5.2	5.1	4.9	3.8	2.4	1.5	1.3	2.3	3.2	3.7	4.1	4.7
A	0.1	0.1	0.1	0.5	1.9	3.8	3.0	2.9	0.8	0.2	0.8	0.1
α	6.5	5.0	4.2	1.1	0.4	0.2	0.3	0.3	0.8	2.5	0.8	4.0
β	26.9	31.4	33.2	41.5	27.9	20.4	13.5	34.3	31.9	16.6	80.2	28.4

Cuadro 17. Resultados de los parámetros de la distribución Gamma – Estación Uros.

Parámetro	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
$\sum \ln(x)$	236.7	230.9	227.2	178.4	-2.3	-141.3	-120.8	22.5	106.2	164.1	176.0	210.9
$\sum \ln(x)/N$	4.9	4.8	4.7	3.7	0.0	-2.9	-2.5	0.5	2.2	3.4	3.7	4.4
$\ln(\bar{x})$	5.1	5.0	4.9	3.9	2.3	1.3	1.3	2.4	3.1	3.7	3.9	4.5
A	0.1	0.1	0.1	0.2	2.4	4.3	3.8	2.0	0.9	0.3	0.2	0.1
α	4.1	3.5	4.4	2.3	0.3	0.2	0.2	0.4	0.7	2.0	2.4	3.6
β	38.8	40.1	29.2	22.6	32.8	18.1	16.7	31.2	34.5	19.8	20.5	25.6

Cuadro 18. Resultados de los parámetros de la distribución Gamma – Estación Laraqueri.

Parámetro	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
$\sum \ln(x)$	243.8	237.8	214.5	161.2	-28.1	-150.9	-163.1	-6.8	93.4	134.1	165.8	219.3
$\sum \ln(x)/N$	5.1	5.0	4.5	3.4	-0.6	-3.1	-3.4	-0.1	1.9	2.8	3.5	4.6
$\ln(\bar{x})$	5.2	5.1	4.8	3.8	2.3	1.5	1.5	2.4	3.0	3.5	4.0	4.7
A	0.1	0.1	0.3	0.4	2.9	4.6	4.9	2.5	1.1	0.8	0.6	0.1
α	5.7	4.7	1.7	1.4	0.3	0.2	0.2	0.3	0.6	0.8	1.0	3.7
β	30.9	33.5	72.0	32.1	34.8	22.0	23.1	36.2	35.0	43.2	53.1	29.6

Cuadro 19. Resultados de los parámetros de la distribución Gamma – Estación Mañazo.

Parámetro	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
$\sum \ln(x)$	232.7	235.9	223.2	138.7	19.5	-164.3	-117.8	-20.2	67.1	125.0	174.9	217.9
$\sum \ln(x)/N$	4.8	4.9	4.7	2.9	0.4	-3.4	-2.5	-0.4	1.4	2.6	3.6	4.5
$\ln(\bar{x})$	5.0	5.0	4.7	3.5	2.0	0.9	0.7	2.1	2.8	3.3	4.0	4.6
A	0.1	0.1	0.1	0.7	1.6	4.3	3.2	2.5	1.4	0.7	0.3	0.1
α	3.6	5.2	5.3	0.9	0.4	0.2	0.3	0.3	0.5	0.8	1.6	6.0
β	41.4	28.8	21.7	38.4	16.0	12.1	7.8	25.4	31.7	33.0	33.1	17.1

4.2.2. De la estimación del Índice de Precipitación Estandarizada

La función gamma está definido para valores mayores a cero; sin embargo los registros de precipitación en las estaciones Puno, Capachica, Uros, Laraqueri y Mañazo contienen valores igual a cero, más aun en zonas donde se presenta fenómenos de sequía, es decir, si en un registro de precipitaciones se presenta un valor cero, la probabilidad acumulada de que se presente dicho valor según la función gamma es cero, lo cual no es correcto; entonces la probabilidad acumulada de que se presente un valor de precipitaciones igual a cero se describe en la metodología.

Para cada estación, se determina el valor de **Z** de la función de distribución Normal con media cero y varianza de uno para la probabilidad acumulada calculada. Los valores de **Z** encontrados para las estaciones Puno, Capachica, Uros, Laraqueri y Mañazo son los valores de los Índices de Precipitación Estandarizado (IPE), gracias a este ajuste para las cinco estaciones consideradas en la investigación el valor medio o el valor normal es el valor de cero. Los valores positivos y

negativos indican que las precipitaciones son respectivamente, mayores o menores que la media.

En los cuadros 20 al 24, se presentan los resultados de los valores de IPE mensual para la serie histórica de 48 años de las estaciones Puno, Capachica, Uros, Laraqueri y Mañazo

Con los valores de Índice de Precipitación Estandarizada se realizaron los gráficos de serie de tiempo de índice de precipitación estandarizada de las estaciones Puno, Capachica, Uros, Laraqueri y Mañazo, para un periodo de 48 años (1964 al 2011), los mismos que se muestran en las figuras 14 al 18.

En los gráficos de serie de tiempo de Índice de Precipitación Estandarizada, se puede apreciar la variación temporal de los periodos húmedos, periodos normales y periodos secos, de acuerdo a la clasificación de IPE (Tabla 1), los valores de IPE 0.5, 0.0 y -0.05 tienen una humedad casi normal, mientras que los valores de IPE - 1.0, -1.5 y < - 2.0, son considerados Moderadamente seco, Muy seco y Sequía extrema, respectivamente.

La sequía extrema de una u otra manera va a afectar a la productividad de los cultivos en la provincia de Puno por falta de humedad en el suelo; consecuentemente la pérdida de los cultivos y pérdidas económicas.

Cuadro 20. Índice de precipitación Estandarizada mensual (1964-2011) – Estación Puno.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	0.16	-0.53	-0.03	0.32	0.69	-1.07	-1.33	0.30	0.28	-1.59	0.20	-1.04
1965	-0.43	0.66	-0.91	-0.51	-0.57	-1.07	0.04	0.33	0.60	-1.08	0.12	1.69
1966	-2.51	-0.83	-2.50	-1.47	1.72	-1.07	-0.02	-1.89	-1.44	0.17	0.51	-1.90
1967	-1.27	-0.30	1.21	-1.48	0.75	-1.07	1.96	1.18	1.30	0.19	-2.61	0.80
1968	-0.43	-0.15	-0.05	0.56	0.60	1.30	0.82	-0.08	0.00	0.62	0.46	-0.97
1969	0.19	-0.47	-0.78	-0.36	-2.09	-0.19	0.74	-0.47	-0.76	-0.45	0.27	-0.92
1970	-0.11	-1.41	0.89	-0.43	0.40	-1.07	-1.33	-0.47	-0.27	-0.83	-1.40	0.31
1971	-0.76	1.66	-1.86	-0.73	-2.09	0.59	-1.33	0.46	-1.37	-0.75	1.28	0.45
1972	0.74	0.06	0.61	-0.23	0.33	-1.07	-1.33	-1.89	0.73	-0.18	0.07	1.01
1973	1.02	0.07	0.56	1.34	0.77	-1.07	0.47	0.26	0.60	-0.92	-0.55	-0.33
1974	1.17	1.03	-1.07	0.42	-0.99	0.53	-0.29	1.72	0.71	-1.18	-0.67	-1.03
1975	0.10	0.69	0.55	-0.21	1.81	0.12	-0.46	0.29	1.00	0.46	-0.79	2.52
1976	0.62	0.33	0.67	-0.71	0.57	-0.03	0.36	0.82	0.91	-1.46	-1.64	0.77
1977	-1.94	1.02	1.09	-2.21	0.50	-1.07	0.58	-1.89	0.99	0.48	0.18	0.55
1978	0.88	-0.53	0.29	-0.59	-0.79	-1.07	0.74	-0.70	0.09	-0.49	2.18	1.39
1979	-0.27	-2.06	0.37	0.01	-0.37	-1.07	0.19	-0.24	-0.40	0.25	-0.47	0.00
1980	-1.61	-1.36	1.52	-1.09	-0.40	-0.33	0.99	0.68	1.35	0.93	-0.74	-1.56
1981	-0.23	1.04	-0.05	0.71	0.15	-1.07	-1.33	1.44	0.24	-0.46	0.16	0.94
1982	0.96	-0.76	-0.22	0.86	-0.12	0.83	0.49	-1.89	1.09	1.70	1.47	-2.08
1983	-3.08	-1.04	-1.01	0.36	0.81	0.50	0.39	0.15	0.95	-0.41	-0.55	0.46
1984	1.76	-0.70	1.21	0.02	1.00	0.74	0.82	1.12	-3.35	2.33	0.84	0.29
1985	-0.29	2.26	-2.69	1.20	1.26	1.89	-1.33	0.40	0.80	-0.17	1.84	1.04
1986	-0.07	1.49	1.19	1.49	-1.17	-1.07	1.02	0.42	0.85	-2.06	-1.87	0.99
1987	0.88	-1.02	-0.67	0.02	-0.30	0.70	1.67	-1.89	-0.78	0.59	1.62	-2.03
1988	0.76	-0.97	1.26	0.81	1.20	-1.07	-0.17	-1.89	0.21	0.88	0.07	0.35
1989	0.66	0.05	0.30	1.40	-2.09	-0.03	0.44	0.74	0.09	-1.06	-0.97	-1.23
1990	0.22	-2.63	-0.96	-0.02	0.70	2.61	-1.33	0.60	-0.29	1.59	1.24	-0.55
1991	-0.38	-1.10	0.85	0.08	0.35	2.08	-1.33	-0.05	-0.04	-0.70	0.00	-0.96
1992	-1.48	-0.64	-2.46	-0.17	-2.09	0.03	0.58	1.54	-3.35	-0.11	-0.57	-0.80
1993	0.33	-0.43	-0.11	0.27	0.33	0.25	-1.33	1.44	0.11	0.85	0.97	0.61
1994	0.38	0.76	-0.02	1.68	1.42	-0.03	-1.33	-1.89	0.12	-0.04	0.27	-0.27
1995	-0.40	-0.39	0.13	-2.99	0.09	-1.07	-1.33	-0.05	0.26	-0.99	0.20	-0.09
1996	1.17	0.06	-0.94	0.89	-2.09	-1.07	0.69	0.65	-1.53	-1.34	1.17	0.74
1997	1.04	1.10	-0.24	1.15	-0.53	-1.07	-1.33	1.00	1.99	-0.27	0.56	-1.15
1998	0.58	-0.18	0.27	-0.72	-2.09	0.81	-1.33	0.10	-0.76	-0.40	-0.01	-0.71
1999	0.54	1.43	1.01	1.10	0.40	-1.07	0.39	-0.22	0.03	2.24	-0.46	-0.40
2000	0.22	1.07	-0.14	-0.11	-0.79	0.50	0.90	0.86	-0.04	1.38	-1.46	-0.38
2001	1.13	1.12	1.22	0.73	0.71	0.48	-1.33	0.64	0.44	0.83	0.07	-0.07
2002	-0.29	0.72	0.69	1.48	0.87	1.68	2.27	1.26	-0.20	0.77	-0.01	0.62
2003	0.32	-0.20	-0.02	0.08	1.62	0.80	-0.29	0.49	0.87	-0.47	-1.43	0.99
2004	0.72	-0.02	0.01	-0.55	0.30	-1.07	1.50	1.55	0.65	-1.85	-0.10	-0.67
2005	-0.72	0.44	0.26	0.07	-0.79	-1.07	-1.33	-1.89	-0.19	0.06	1.00	0.39
2006	1.52	-1.19	0.57	0.03	-0.53	-1.07	-1.33	-0.59	0.24	-0.01	0.31	0.40
2007	-1.07	0.61	1.33	0.19	0.62	-1.07	0.76	-0.28	1.26	1.02	0.00	-0.24
2008	0.72	-0.71	-0.30	-1.89	0.35	0.33	-0.29	-0.51	-1.07	1.07	-0.67	1.21
2009	0.05	0.14	0.43	1.04	-0.79	-1.07	0.62	-1.89	0.04	0.54	1.18	-0.57
2010	-0.79	0.87	-1.04	-1.52	0.90	-1.07	-1.33	0.33	-0.98	-0.15	-1.37	1.25
2011	-0.40	0.99	0.02	0.10	0.16	-1.07	1.16	0.56	0.39	0.27	0.21	0.18

Cuadro 21. Índice de precipitación Estandarizada mensual (1964-2011) – Estación Capachica.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	-0.9	0.5	2.5	1.3	2.1	-1.2	-1.4	0.2	0.8	0.5	0.8	0.2
1965	0.7	0.5	1.4	1.4	0.8	-1.2	0.8	-1.6	-0.2	-0.5	0.0	1.3
1966	-2.4	-0.7	-1.7	-1.3	1.8	-1.2	0.1	-1.6	0.0	-0.3	0.0	-0.1
1967	-2.5	-0.2	1.1	0.1	0.2	0.1	1.1	1.1	0.4	-0.6	-0.1	0.6
1968	-1.1	0.4	0.8	0.2	1.0	1.4	0.3	0.0	0.1	-0.9	-0.1	-0.3
1969	-0.4	-0.9	-0.5	0.4	0.9	-0.1	1.9	-0.3	-0.4	-1.2	-0.1	-1.8
1970	-0.3	-1.2	-0.1	0.6	0.7	-0.3	-1.4	0.1	0.5	-0.7	-0.2	-0.1
1971	-0.6	0.9	-1.2	0.5	-0.7	-1.2	-1.4	0.2	-2.1	-0.2	0.5	-1.2
1972	0.9	-0.8	-0.2	-1.7	-0.5	-1.2	-0.4	0.0	-0.2	-1.3	0.1	0.2
1973	0.4	0.0	0.4	0.6	0.8	0.7	1.5	0.5	1.0	0.1	0.0	-1.6
1974	1.0	0.7	-1.0	0.3	-2.0	1.0	1.3	1.4	0.4	0.3	-0.1	-0.7
1975	0.4	0.9	-0.1	-0.1	1.3	1.0	-1.4	-0.3	0.8	0.7	-0.3	1.9
1976	0.5	0.1	-0.6	-0.3	1.0	0.5	-0.4	0.5	1.0	-2.6	-3.6	0.1
1977	-1.5	1.4	0.4	-1.0	0.0	-1.2	0.0	-1.6	0.5	0.7	0.5	0.2
1978	0.1	-0.5	-0.7	-0.3	-2.0	0.6	0.7	0.5	0.6	0.2	1.4	1.4
1979	0.1	-1.5	0.7	0.4	0.0	-1.2	-1.4	-1.6	0.9	0.1	0.4	1.2
1980	0.0	0.5	-0.3	-0.8	0.8	0.4	0.1	0.4	0.8	-0.7	1.1	0.5
1981	0.2	0.5	-0.3	-0.5	-1.1	0.2	0.4	0.0	0.6	0.7	0.9	0.2
1982	-0.1	0.2	-0.5	0.0	-0.1	0.5	0.5	-0.4	0.8	0.0	1.1	0.4
1983	0.2	0.7	-0.1	0.1	0.4	-0.1	-0.8	-0.2	0.9	-0.1	1.0	0.7
1984	0.7	0.4	-0.2	-0.8	0.5	0.4	-1.4	-1.6	-3.5	0.2	0.6	-0.6
1985	-0.8	-0.3	-0.6	1.0	1.6	1.5	0.8	-1.6	-0.9	1.5	1.4	1.6
1986	1.9	1.7	0.8	1.6	-0.8	-1.2	-1.4	0.9	0.7	-0.8	0.2	0.3
1987	0.9	-3.4	-1.0	-0.5	-0.2	1.3	1.7	-1.6	0.5	-0.3	-0.3	-1.9
1988	-1.0	0.3	0.6	-0.3	1.2	-1.2	0.5	-1.6	0.7	2.3	0.6	1.3
1989	1.1	0.4	1.4	-0.1	-2.0	1.5	0.2	-1.6	-0.1	-0.2	0.4	0.3
1990	0.7	-1.1	-1.7	1.1	0.6	2.2	-1.4	1.4	-0.2	1.3	0.3	0.9
1991	-0.7	-0.6	1.2	1.2	0.2	2.1	-0.1	-1.6	-0.2	0.9	0.5	0.0
1992	-0.1	0.0	-2.3	0.4	-2.0	0.8	0.8	2.1	-1.8	0.2	0.7	-1.3
1993	1.5	-0.4	1.9	0.1	-0.5	-0.1	-1.4	1.5	0.4	-0.1	1.0	0.9
1994	1.6	1.8	0.7	1.5	0.1	-1.2	0.5	0.3	-0.7	-1.1	0.0	0.6
1995	-0.4	-0.1	0.3	-1.9	0.4	-1.2	-0.1	0.3	0.1	-1.1	0.0	0.5
1996	1.0	-0.6	-1.7	0.0	0.7	-1.2	0.7	1.2	-0.7	-0.7	0.5	-0.3
1997	1.2	0.9	0.0	0.9	-0.2	-1.2	-1.4	1.1	1.2	0.0	0.8	-1.6
1998	-1.1	-0.4	0.1	0.1	-2.0	1.0	-1.4	-1.6	-1.2	-1.3	0.3	-3.1
1999	0.3	1.0	1.3	1.1	-0.5	-1.2	-1.4	-1.6	0.9	1.3	-0.2	-0.9
2000	-0.1	0.0	0.5	-1.0	0.9	-1.2	0.1	1.4	-0.3	1.5	-3.6	-0.8
2001	0.7	0.4	1.1	0.9	0.4	0.4	1.4	1.3	0.5	1.2	-0.1	0.0
2002	-0.9	1.1	0.5	1.0	0.6	0.3	1.6	0.8	1.3	2.7	0.7	0.1
2003	1.1	0.0	0.6	0.1	0.9	0.9	0.4	0.2	0.9	-0.2	-0.3	0.5
2004	0.5	0.5	-0.4	0.4	0.2	0.1	1.4	1.2	0.8	-1.0	-0.2	-0.3
2005	-0.9	0.9	-0.5	-0.4	-2.0	-1.2	-1.4	0.1	0.7	1.3	0.4	0.1
2006	1.3	-1.6	0.0	0.0	-0.7	0.8	-1.4	0.6	0.6	-0.4	0.5	-1.0
2007	-1.7	-2.6	0.4	0.3	0.1	-1.2	0.6	0.4	0.8	-1.7	0.5	0.4
2008	0.6	-1.3	-0.1	-4.4	-2.0	-1.2	-1.4	-1.6	-3.5	0.3	-0.7	1.1
2009	-1.3	0.2	-0.7	0.4	-0.6	-1.2	0.6	-1.6	-0.6	-0.2	0.5	-0.7
2010	0.2	0.5	-2.0	0.2	0.4	-1.2	-1.4	0.3	-1.0	-0.2	-3.6	1.2
2011	-0.8	1.0	-0.5	-0.7	-0.2	-1.2	1.0	0.6	0.4	0.2	0.4	0.2

Cuadro 22. Índice de precipitación Estandarizada mensual (1964-2011) – Estación Uros.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	-0.2	-0.3	-0.5	-1.1	-0.7	0.7	0.6	0.2	-1.0	-1.0	-0.3	0.0
1965	0.2	0.2	0.2	0.2	0.6	0.7	0.7	0.5	0.4	0.2	0.2	0.2
1966	0.2	0.8	-0.8	0.4	0.5	0.2	-0.4	0.4	0.0	-0.1	1.0	0.3
1967	-2.7	-1.5	1.3	-0.7	1.2	-1.1	1.3	0.0	1.6	-1.3	-1.1	-0.7
1968	-0.8	-0.6	-1.0	-0.9	0.9	1.0	0.2	-0.7	0.3	1.0	1.9	-0.6
1969	0.3	-0.7	-1.3	-0.2	-1.7	0.8	0.9	0.4	-0.7	-1.2	-0.9	-0.6
1970	-0.2	-0.6	1.1	-0.7	0.7	-1.1	-1.2	-2.0	0.0	-1.1	-0.8	0.7
1971	-0.4	1.3	-1.9	0.2	-1.7	0.4	-1.2	0.6	-0.5	0.1	1.4	0.5
1972	0.3	0.1	0.1	-0.3	1.3	-0.3	-0.2	-2.0	0.5	0.1	0.5	1.0
1973	0.9	0.2	0.5	1.8	1.1	-1.1	0.3	0.5	0.7	-0.3	-0.4	0.6
1974	1.6	0.8	-1.0	-0.6	-1.7	0.7	-1.2	2.1	0.4	0.2	-0.8	-0.8
1975	-0.2	0.4	0.1	0.4	1.6	-0.2	0.3	0.1	0.8	0.5	-0.1	2.4
1976	1.3	0.6	-0.1	0.4	0.8	-0.2	-0.1	1.4	1.1	-2.1	-1.7	0.3
1977	-1.9	1.2	0.7	-0.5	0.5	-1.1	0.9	-2.0	0.7	0.9	1.1	0.8
1978	1.0	-1.4	0.1	0.9	-1.7	0.2	0.6	0.2	0.4	-1.9	1.5	1.2
1979	-0.1	-1.6	-0.4	-0.4	0.0	-1.1	1.2	0.2	-0.7	-0.1	-0.7	0.1
1980	-0.9	-1.7	2.0	-2.0	-1.7	-1.1	-1.2	0.8	1.5	1.2	-0.6	-1.0
1981	0.4	0.7	-0.4	1.2	-1.7	-1.1	-1.2	1.4	0.5	0.0	-1.5	-1.3
1982	-2.5	-0.8	-0.7	-1.4	0.6	-1.1	-1.2	0.6	1.4	0.3	-1.2	-2.6
1983	-2.8	-1.0	-2.0	0.2	0.9	-1.1	-1.2	0.7	-3.1	0.2	-2.7	1.6
1984	1.9	2.4	1.4	0.1	0.8	0.2	1.0	0.2	-3.1	1.7	1.8	0.0
1985	-0.5	1.8	-0.2	0.8	0.9	2.0	-1.2	-2.0	0.8	-0.8	2.1	0.9
1986	0.5	1.5	2.3	2.1	0.3	-1.1	1.5	0.3	0.4	-2.2	-0.7	1.2
1987	-0.1	-1.6	-1.1	-1.7	0.5	1.0	2.0	-2.0	-0.2	0.2	0.5	-1.6
1988	0.7	-1.2	1.8	1.0	1.1	-1.1	-1.2	-2.0	0.7	0.9	-1.1	-1.2
1989	0.4	-0.3	0.7	0.3	0.0	1.2	0.7	0.0	-0.3	-0.9	-0.6	-0.8
1990	0.7	-1.8	-1.5	-0.1	0.0	2.1	-1.2	0.6	0.1	1.4	1.0	-0.3
1991	-0.7	-0.8	1.0	0.7	0.7	2.3	-1.2	-0.3	0.0	0.8	0.1	-0.9
1992	-0.2	0.3	-1.8	-0.6	-1.7	-1.1	0.4	1.5	-3.1	-0.2	-0.1	0.3
1993	0.4	-1.0	-0.5	0.8	-1.7	-1.1	-1.2	1.1	0.4	1.2	1.3	0.5
1994	0.6	0.5	-0.4	1.8	1.7	-1.1	-1.2	-2.0	-1.0	-0.9	0.8	-0.2
1995	-0.2	0.1	0.4	-2.7	-0.1	-1.1	-1.2	0.2	0.0	-0.4	0.5	0.7
1996	1.0	-0.4	-1.0	-0.4	-0.2	-1.1	-1.2	0.4	-0.1	-1.1	0.5	-1.0
1997	0.9	1.0	-0.9	0.8	-0.1	-1.1	-1.2	0.8	1.3	-0.4	0.8	-1.4
1998	-0.2	-0.2	-0.1	-0.8	-1.7	0.5	-1.2	-0.5	-1.0	-0.8	0.5	-1.9
1999	0.1	1.5	1.2	1.8	0.8	-1.1	-1.2	0.4	0.7	2.9	-0.6	-1.6
2000	0.4	0.6	-0.5	-0.3	0.2	-1.1	-1.2	0.8	-0.1	0.9	-1.5	-0.2
2001	1.1	1.1	1.2	0.7	0.6	0.2	0.1	0.5	0.6	0.7	0.0	0.3
2002	-0.3	0.3	0.4	0.9	1.0	1.6	1.9	1.0	0.1	1.0	0.6	1.3
2003	0.4	0.1	0.2	-0.2	1.2	0.9	0.2	0.3	1.1	-0.9	-0.9	0.9
2004	0.6	0.2	-0.6	-0.6	0.4	-1.1	1.7	1.6	0.6	-0.6	-0.2	-0.1
2005	-0.5	0.6	-0.1	-0.3	-1.7	-1.1	-1.2	-2.0	0.2	0.2	0.0	0.7
2006	1.1	-1.4	1.1	-0.3	-1.7	0.2	-1.2	-0.1	-0.1	0.3	0.5	0.1
2007	-1.3	0.1	1.2	0.8	0.5	-1.1	1.4	0.2	1.4	0.3	0.3	-0.4
2008	0.8	-0.8	-0.4	-1.8	0.3	0.5	-1.2	-0.4	-1.2	1.2	0.1	0.7
2009	-0.4	0.2	0.0	0.7	-1.7	-1.1	0.8	-2.0	-0.3	0.2	0.2	0.2
2010	0.2	0.2	0.2	0.2	0.6	0.7	0.7	0.5	0.4	-0.3	-1.1	1.5
2011	-0.6	1.0	0.0	-0.3	0.9	-1.1	1.0	0.5	0.4	0.2	0.2	0.2

Cuadro 23. Índice de precipitación Estandarizada mensual (1964-2011) – Estación Laraqueri.

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	-0.2	-0.2	-0.2	0.2	0.7	-1.0	-1.0	-0.3	1.4	0.3	-0.4	-1.7
1965	-1.7	-1.1	-0.5	0.1	0.2	0.4	0.7	0.4	0.8	0.5	0.2	1.4
1966	-1.6	0.1	-0.5	-0.3	1.7	-1.0	-1.0	-1.7	-0.2	0.4	1.1	-1.1
1967	-1.3	0.4	1.4	-0.1	1.0	-1.0	1.8	1.1	1.1	0.7	-4.2	0.8
1968	-0.3	0.6	0.3	0.1	1.4	1.5	0.5	-0.2	0.3	0.8	1.0	-0.3
1969	0.3	-1.0	0.1	0.4	-1.6	-1.0	0.4	-1.7	0.6	-0.4	-0.4	-0.4
1970	-0.9	-0.6	0.5	0.1	1.2	-1.0	-1.0	-1.7	-2.8	-0.5	-0.6	1.2
1971	-0.4	1.3	-0.7	-0.3	0.0	0.3	-1.0	0.0	-2.8	-1.0	0.3	0.5
1972	0.8	0.7	0.2	-0.7	0.2	-1.0	-1.0	-1.7	0.7	0.7	0.3	1.1
1973	0.4	-0.4	0.3	0.4	1.0	-1.0	0.8	0.7	1.3	-0.5	-0.3	-0.3
1974	1.3	1.2	0.0	0.5	-1.6	0.2	-1.0	1.8	0.4	-0.4	-0.7	-0.5
1975	-0.2	1.3	0.2	-0.3	1.4	0.6	-1.0	0.4	0.5	0.9	0.1	2.1
1976	2.0	-0.2	1.1	0.2	1.0	-1.0	1.8	1.2	1.5	-0.3	-0.9	-0.3
1977	-1.8	0.6	0.5	-1.3	0.3	-1.0	-1.0	-1.7	0.5	0.8	0.8	0.4
1978	0.6	0.0	0.0	0.3	-1.6	-1.0	1.5	-0.2	0.2	-0.6	1.6	0.1
1979	0.3	-0.5	0.3	-0.4	-1.6	0.3	1.1	-0.2	-0.4	0.2	0.3	-1.0
1980	0.9	-1.7	1.2	-1.2	-1.6	-1.0	0.7	0.8	1.0	1.3	-0.2	1.9
1981	1.0	1.5	0.3	0.5	0.0	-1.0	-1.0	1.2	0.8	-0.1	-0.5	0.9
1982	-0.1	-1.0	-0.2	-0.2	-1.6	-1.0	-1.0	0.2	0.9	1.0	0.8	-2.2
1983	-1.1	-1.2	-1.6	-1.2	-1.6	0.4	-1.0	-0.5	0.3	-0.3	-0.7	-0.5
1984	1.7	1.0	1.1	0.2	1.0	2.0	-1.0	0.9	-0.9	1.0	1.6	0.3
1985	-0.5	0.6	0.1	2.0	1.2	1.3	-1.0	-1.7	1.1	-0.7	1.5	1.5
1986	-0.1	1.5	1.2	1.4	0.6	-0.2	-1.0	0.5	0.1	-1.4	0.1	0.8
1987	1.3	-1.2	-0.3	-0.2	-1.6	-1.0	2.0	0.3	-0.1	0.1	0.4	-2.0
1988	0.4	-2.1	0.8	1.8	0.6	0.5	-1.0	-1.7	-0.3	0.6	-0.8	0.0
1989	0.8	-0.2	0.3	1.0	0.2	0.8	0.5	0.3	-0.4	-3.5	-0.3	-1.3
1990	-0.5	-2.4	-0.2	-1.0	0.9	2.5	-1.0	0.8	-0.1	1.5	1.4	0.5
1991	-0.5	-0.2	0.5	-0.2	0.1	2.2	-1.0	-0.5	0.5	0.2	-0.2	-0.8
1992	-0.7	-0.8	-0.6	0.2	-1.6	0.7	1.4	1.3	-2.8	0.9	0.2	0.0
1993	0.5	-1.5	0.4	0.7	0.8	0.3	-1.0	1.3	0.3	1.8	1.3	1.1
1994	0.5	0.6	0.5	1.5	0.8	0.3	0.4	-1.7	-0.3	-0.6	0.6	0.6
1995	-0.4	0.7	0.5	-0.9	-1.6	-1.0	-1.0	-1.7	0.0	-1.1	0.4	1.1
1996	1.3	-0.3	-5.7	0.5	1.0	-1.0	-1.0	1.7	0.1	-0.9	0.9	-0.1
1997	0.3	1.1	0.2	-0.1	-0.2	-1.0	-1.0	1.0	1.9	0.0	1.2	-1.2
1998	-1.3	-0.9	-0.1	-0.1	-1.6	1.1	-1.0	-1.7	-2.8	0.2	0.1	-2.1
1999	-0.5	0.3	1.3	1.0	1.0	-1.0	-1.0	0.6	-0.3	1.4	-2.1	-0.6
2000	1.0	1.1	0.3	-0.9	0.3	0.3	-1.0	0.6	-0.3	1.0	-1.2	0.6
2001	2.1	1.4	0.4	1.0	0.8	-1.0	0.6	0.2	0.1	0.1	0.1	-0.7
2002	-1.8	0.9	0.7	1.0	1.1	0.7	1.7	0.8	0.0	0.6	0.6	-0.8
2003	-0.3	-0.4	0.3	-0.2	0.8	-1.0	-1.0	0.3	0.4	-0.8	-0.4	0.5
2004	0.8	0.0	-0.4	-0.4	-1.6	0.4	1.2	1.5	-0.3	-3.5	-0.8	-0.9
2005	-0.8	1.5	-0.2	0.3	-1.6	-1.0	-1.0	-1.7	0.4	0.5	0.0	0.5
2006	0.9	-0.8	-0.1	0.0	0.4	0.6	-1.0	0.7	0.8	-0.1	0.3	-0.7
2007	-0.9	-0.8	0.7	0.4	0.3	-1.0	-1.0	0.6	1.1	0.9	0.6	0.2
2008	0.3	-0.7	-0.3	-4.8	-1.6	-1.0	-1.0	0.2	-0.8	0.4	-0.7	0.7
2009	-1.7	0.4	0.1	0.8	-1.6	-1.0	0.8	-1.7	0.0	-0.3	0.8	0.0
2010	0.0	0.5	-0.9	0.2	1.0	-1.0	0.7	0.0	-0.6	0.4	-1.5	0.7
2011	-0.2	1.1	0.3	0.4	0.2	-1.0	0.8	0.6	0.4	0.4	0.3	0.2

Cuadro 24. Índice de precipitación Estandarizada mensual (1964-2011) – Estación Mañazo.

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	-1.9	-1.8	-0.6	0.7	1.1	-1.0	-1.2	0.4	0.3	-3.6	-0.4	-1.5
1965	-0.9	-1.8	-1.8	-3.8	-0.2	-0.1	0.3	-0.3	0.0	-1.1	-1.1	0.6
1966	-2.4	-0.8	-2.1	-1.2	1.3	-1.0	-1.2	-1.7	0.0	-0.2	0.0	-2.4
1967	-2.3	-1.8	0.2	-1.4	0.7	-1.0	1.4	-1.7	0.5	0.5	-3.0	-0.8
1968	-1.7	-0.9	-0.4	-0.9	1.2	1.4	-1.2	-1.7	0.5	0.6	1.5	-0.3
1969	0.7	-0.3	-1.3	-0.7	-2.2	-1.0	0.9	-1.7	0.0	1.2	1.1	0.5
1970	0.2	-0.6	1.2	-0.6	0.4	-1.0	-1.2	-1.7	-0.1	0.3	-1.6	1.6
1971	-0.5	1.0	-1.5	0.6	0.0	0.4	-1.2	-0.8	-2.5	-0.3	0.1	1.1
1972	0.9	0.1	0.7	0.1	0.6	-1.0	-1.2	-1.7	1.1	0.3	-0.4	-0.4
1973	1.2	0.0	0.9	0.7	0.8	0.4	0.8	0.2	1.2	0.2	0.2	0.0
1974	2.0	2.0	-0.6	0.5	-0.9	1.4	0.3	2.1	0.9	0.1	-0.3	-0.7
1975	0.7	1.6	0.6	-0.1	1.8	-0.1	-1.2	-0.3	0.8	1.2	-0.1	1.3
1976	0.7	0.1	1.0	0.4	0.1	-0.1	1.2	0.9	1.4	-1.1	-0.8	-0.1
1977	-1.9	1.5	0.8	0.3	0.1	-1.0	1.4	-1.7	-2.5	-3.6	0.7	0.4
1978	-0.6	0.4	0.9	0.4	-0.2	-1.0	0.9	0.3	-2.5	-0.6	1.1	1.8
1979	0.2	-1.4	1.0	0.4	-2.2	-1.0	-1.2	0.6	-2.5	0.2	-0.1	-0.5
1980	-0.6	-1.8	0.3	-1.5	-2.2	-1.0	-1.2	0.1	0.9	1.8	2.6	-2.5
1981	1.4	1.5	0.5	0.6	1.0	0.9	0.8	1.2	1.1	-0.2	-1.3	0.5
1982	0.9	1.5	0.4	0.3	0.8	0.8	0.8	1.3	0.8	0.1	-0.4	0.5
1983	-0.1	0.7	0.9	0.2	0.9	-1.0	0.9	-0.4	0.6	0.3	0.3	0.8
1984	-0.3	0.2	0.9	0.3	-1.1	-1.0	1.1	0.5	0.6	-0.4	0.6	0.3
1985	-0.6	0.4	0.7	0.2	-0.1	0.0	0.9	0.3	-0.4	0.2	1.1	0.4
1986	0.2	-0.2	0.7	0.2	0.1	0.3	0.4	0.7	0.3	0.6	1.0	0.4
1987	0.5	-0.1	0.6	0.1	0.3	0.5	0.3	0.8	0.7	0.8	0.8	-0.6
1988	0.5	0.6	0.5	0.1	0.6	0.6	0.7	0.8	0.9	0.9	1.1	-0.2
1989	0.8	1.3	0.7	0.5	0.8	0.7	0.9	1.0	0.8	-0.4	-0.6	0.7
1990	-0.4	-1.6	-2.2	0.2	0.8	3.0	-1.2	1.4	0.8	0.1	-0.1	0.2
1991	0.1	0.0	0.0	0.4	0.5	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.2	0.1
1992	0.5	0.8	0.1	0.4	0.8	1.9	0.8	1.2	0.8	-0.3	-0.6	0.7
1993	0.1	-1.6	-2.6	1.3	-0.5	-1.0	-1.2	0.9	0.0	1.4	0.3	0.8
1994	0.6	0.0	0.5	1.5	0.4	0.5	-1.2	-1.7	-0.3	-1.2	0.9	0.2
1995	-0.7	-0.5	0.5	-1.0	-2.2	-1.0	-1.2	-1.7	0.4	-0.6	-0.6	0.0
1996	0.9	0.0	-1.5	-0.1	-0.4	-1.0	0.1	1.0	-0.5	-0.5	0.7	0.9
1997	0.7	0.8	0.8	1.3	-0.4	-1.0	-1.2	1.3	1.4	0.2	0.6	-1.6
1998	0.6	0.0	-0.7	0.1	-2.2	0.9	-1.2	0.0	-2.5	0.6	0.2	-2.6
1999	-0.4	-0.1	1.2	1.3	0.7	-1.0	-1.2	0.4	0.7	1.7	-1.5	0.2
2000	0.1	0.7	-0.8	-0.2	0.4	-1.0	-1.2	0.2	0.1	1.4	-1.4	0.3
2001	2.1	1.2	0.8	1.1	0.3	-1.0	0.4	0.8	-0.6	0.5	-0.3	-0.7
2002	-0.9	0.3	0.0	1.1	1.4	1.4	1.9	0.5	0.2	1.5	0.6	0.0
2003	0.0	-1.2	0.6	0.0	1.0	0.9	-1.2	-0.1	0.7	-0.5	-0.2	0.0
2004	0.6	-0.1	-0.4	0.4	-2.2	0.4	1.7	1.3	0.6	-1.0	-1.3	-2.3
2005	-0.7	1.1	-1.1	0.8	-2.2	-1.0	-1.2	-1.7	-0.1	0.2	0.6	0.4
2006	1.0	-0.9	0.0	0.2	-0.4	-1.0	-1.2	0.0	0.9	0.2	0.5	0.2
2007	-0.3	-0.7	1.9	1.1	0.8	-1.0	0.7	0.5	0.7	0.5	0.8	0.4
2008	1.1	-0.7	-0.9	-3.8	0.3	-1.0	-1.2	-0.2	-0.8	0.4	-2.0	1.2
2009	-0.5	-0.1	0.0	0.3	-0.3	-1.0	0.8	-1.7	-0.3	-0.5	0.9	0.9
2010	-0.2	0.5	-0.7	0.1	1.1	-1.0	0.6	-1.7	-2.5	0.3	-0.2	0.2
2011	-0.8	0.7	-0.4	0.5	0.3	-1.0	1.0	0.5	0.4	0.4	0.2	0.1

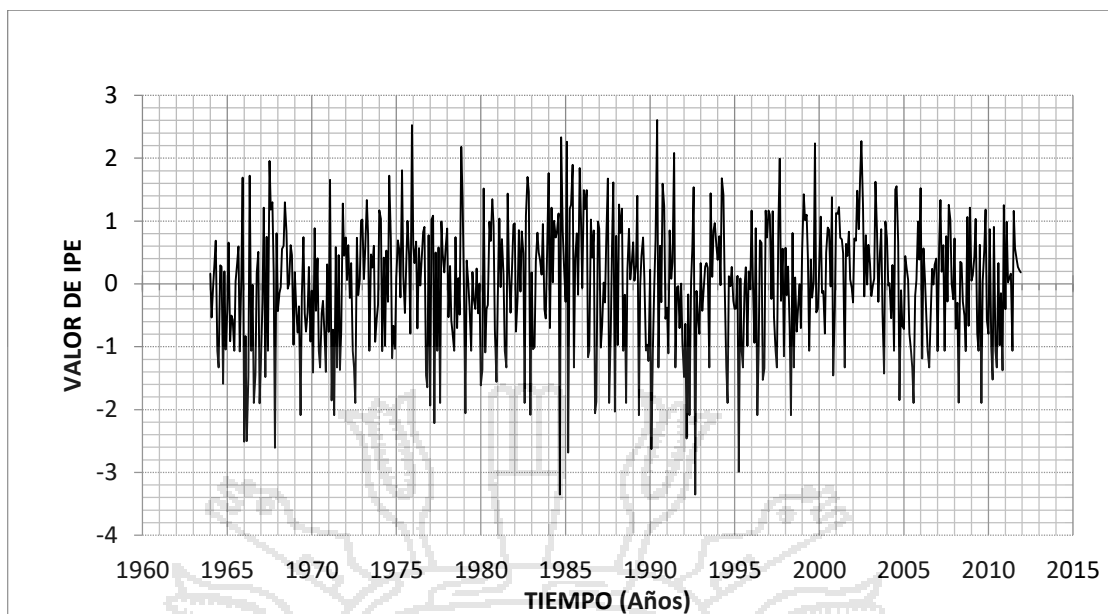


Figura 14. Serie de tiempo de Índice de Precipitación Estandarizada – periodo 1964-2011. Estación Puno.

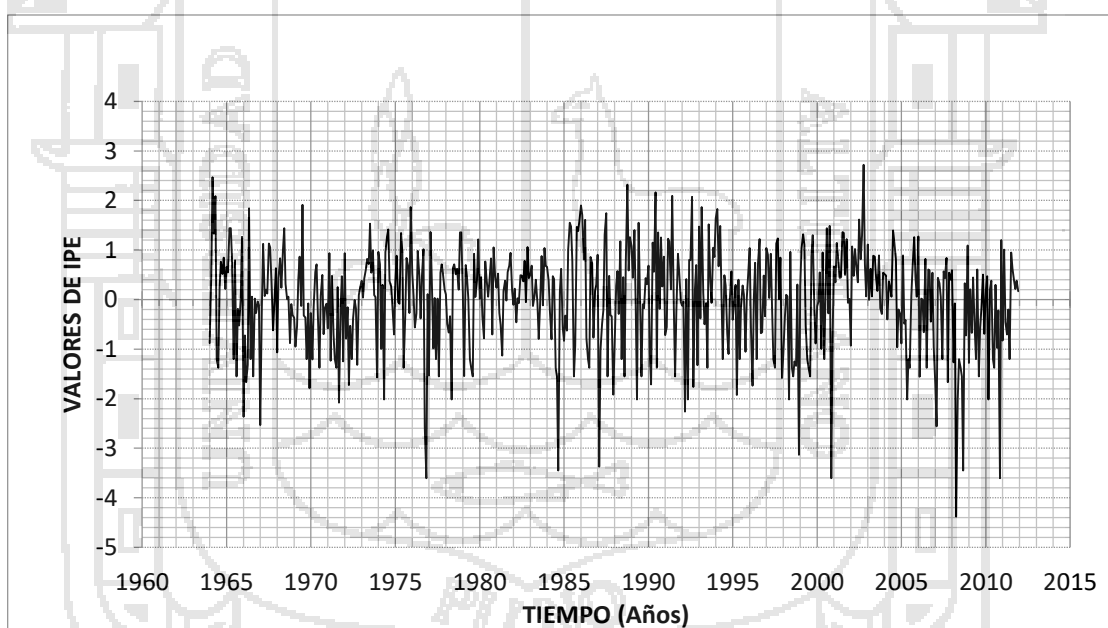


Figura 15. Serie de tiempo de Índice de Precipitación Estandarizada – periodo 1964-2011. Estación Capachica.

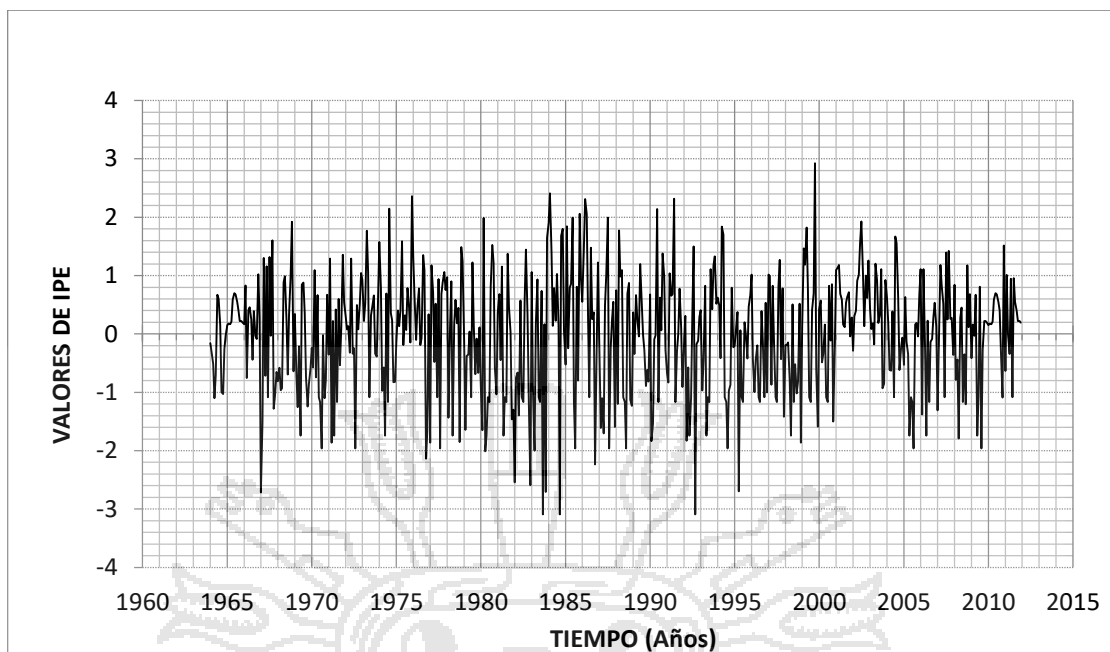


Figura 16. Serie de tiempo de Índice de Precipitación Estandarizada – periodo 1964-2011. Estación Uros.

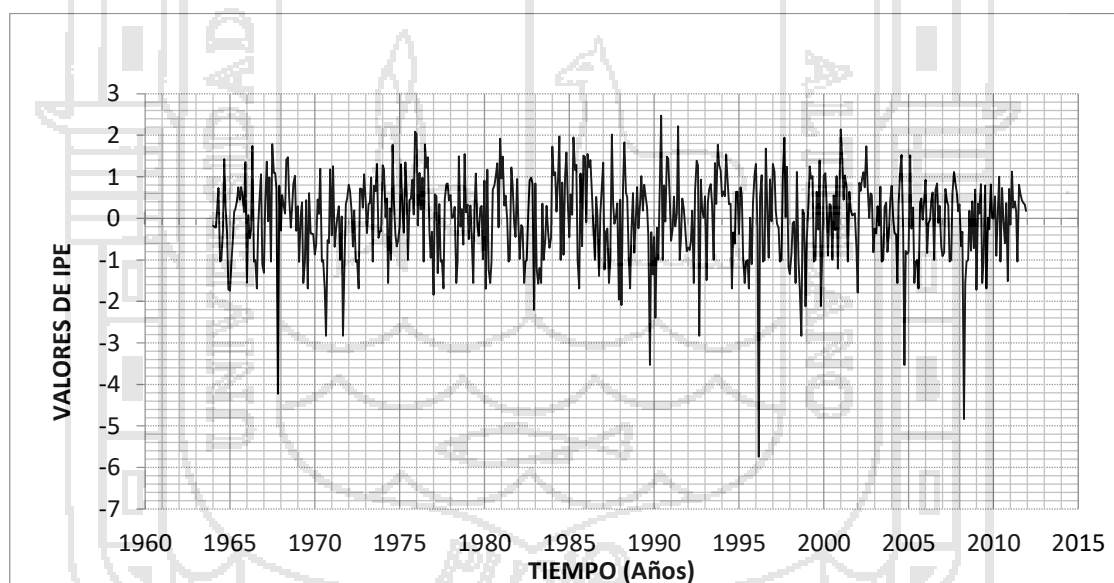


Figura 17. Serie de tiempo de Índice de Precipitación Estandarizada – periodo 1964-2011. Estación Laraqueri.

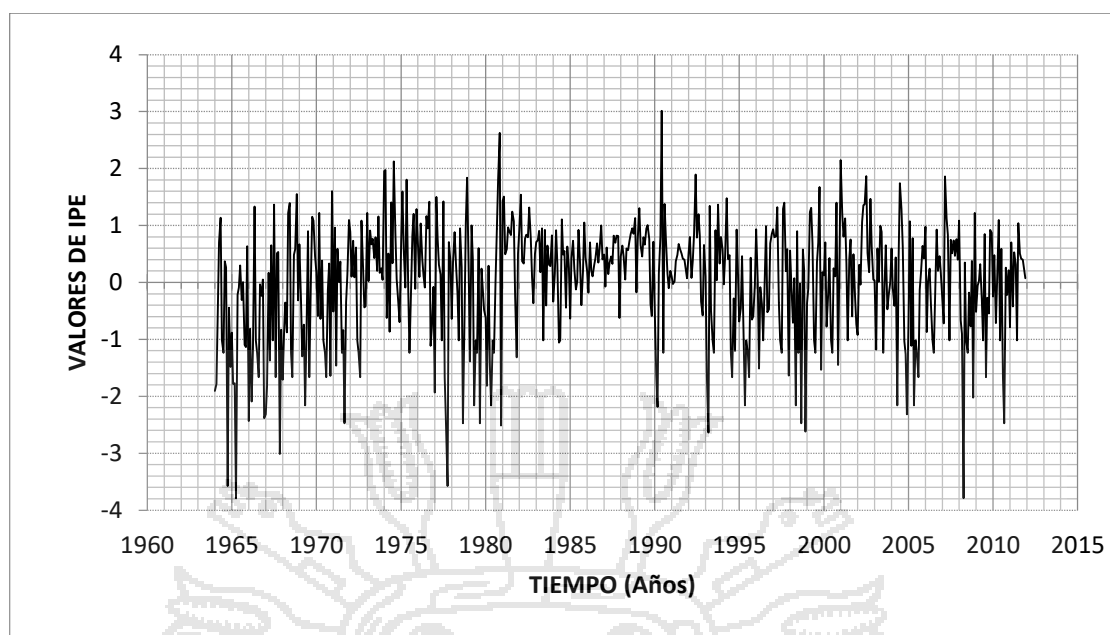


Figura 18. Serie de tiempo de Índice de Precipitación Estandarizada – periodo 1964-2011. Estación Mañazo.

Los resultados y su discusión del objetivo específico 3, se presenta en el ítem 4.3.

4.3. Frecuencia de ocurrencia de eventos de sequía por estaciones

En el cuadro 25 se presentan el número de eventos o frecuencia observada para diferentes valores de índice de precipitación estandarizada durante el periodo de 1964 al 2011 de la estación Puno, del cuadro se puede observar que en total ocurrieron 576 eventos, de los cuales 75 eventos están en la categoría de sequía moderada que representa el 13 %, 21 eventos corresponde a la categoría sequía severa, que representa un 3.6 % y 19 eventos que corresponden a la categoría sequía extrema, que representa un 3.3 % del total de eventos, estos 19 eventos pueden causar problemas a la actividad agrícola y afectar a los cultivos por falta de humedad.

En la figura 19 se observa el diagrama de frecuencia de ocurrencia de eventos de sequía según las Magnitudes del Índice de Precipitación Estandarizada (IPE) de la Estación Puno para un Período de 48 años (1964–2011).

Cuadro 25. Frecuencia de ocurrencia de eventos según la Magnitud de IPE – Estación Puno.

VALOR IPE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
2.00 a mas	0	1	0	0	0	2	1	0	0	2	1	1	8
1.50 a 1.99	2	1	1	1	3	2	3	3	0	2	2	1	21
1.00 a 1.49	6	7	8	7	4	1	2	6	5	3	5	6	60
0.00 a 0.99	20	14	17	19	22	14	19	19	24	16	19	17	220
-0.99 a 0.00	14	16	15	14	12	5	6	11	13	17	14	15	152
-1.00 a -1.49	3	7	4	3	1	24	17	0	3	5	4	4	75
-1.50 a -1.99	2	0	1	2	0	0	0	9	1	2	2	2	21
-2.00 a menos	1	2	2	2	6	0	0	0	2	1	1	2	19
TOTAL	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	576

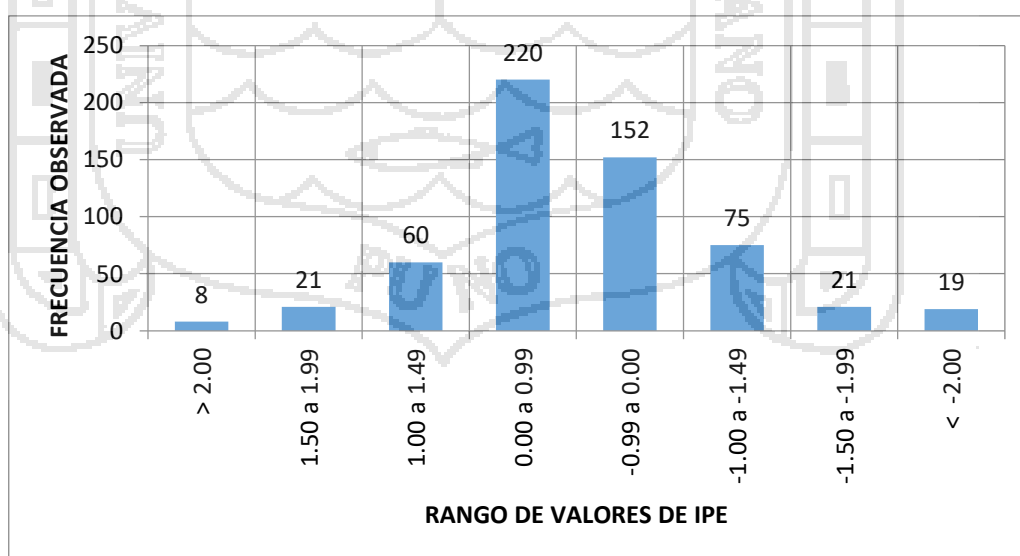


Figura 19. Frecuencia de ocurrencia de eventos según las Magnitudes de IPE de la Estación Puno - Período 1964–2011.

En el cuadro 26 se presentan el número de eventos o frecuencia observada para diferentes valores de índice de precipitación estandarizada durante el periodo de 1964 al 2011 de la estación Capachica, del cuadro se puede observar que en total ocurrieron 576 eventos, de los cuales 55 eventos están en la categoría de sequía moderada que representa el 9.5 %, 29 eventos corresponde a la categoría sequía severa, que representa un 5.0 % y 19 eventos que corresponden a la categoría sequía extrema, que representa un 3.3 % del total de eventos, estos 19 eventos pueden causar problemas a la actividad agrícola y afectar a los cultivos por falta de humedad.

En la figura 20 se observa el diagrama de frecuencia de ocurrencia de eventos de sequía según las Magnitudes del Índice de Precipitación Estandarizada (IPE) de la Estación Capachica para el Período de 1964 al 2011.

Cuadro 26. Frecuencia de ocurrencia de eventos según la Magnitud de IPE – Estación Capachica.

VALOR IPE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
2.00 a mas	0	0	1	0	1	2	0	1	0	2	0	0	7
1.50 a 1.99	2	2	1	1	2	1	4	1	0	0	0	2	16
1.00 a 1.49	6	4	7	8	2	3	4	8	3	6	6	6	63
0.00 a 0.99	19	21	16	21	23	17	19	19	27	14	25	21	242
-0.99 a 0.00	15	14	17	14	12	4	5	5	13	19	15	12	145
-1.00 a -1.49	3	3	2	1	1	21	16	0	1	5	0	2	55
-1.50 a -1.99	2	2	3	2	0	0	0	14	1	1	0	4	29
-2.00 a mas	1	2	1	1	7	0	0	0	3	1	2	1	19
TOTAL	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	576

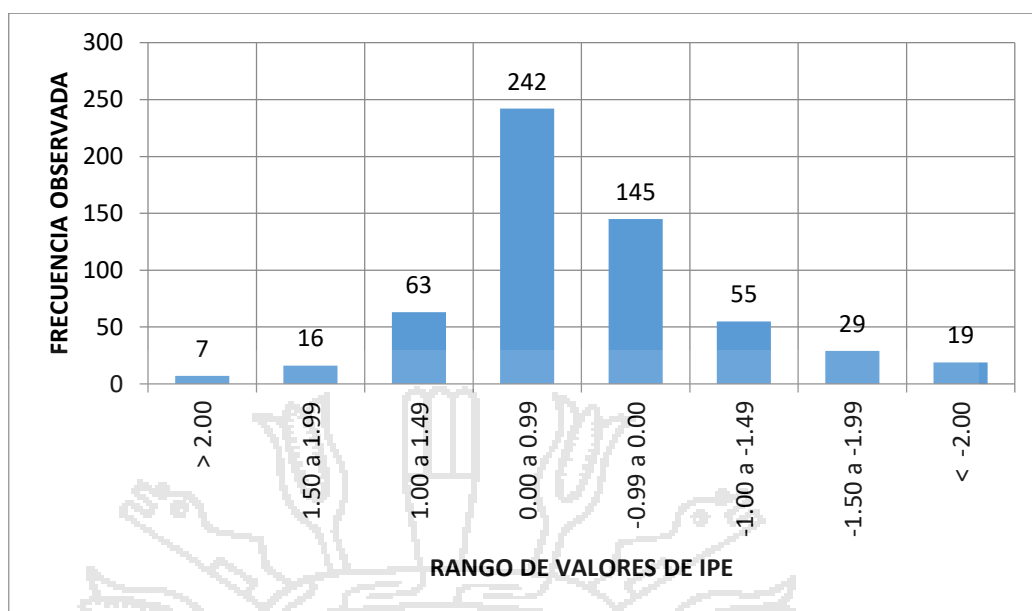


Figura 20. Frecuencia de ocurrencia de eventos según las Magnitudes de IPE de la Estación Capachica - Período 1964–2011.

En el cuadro 27 se presentan el número de eventos o frecuencia observada para diferentes valores de índice de precipitación estandarizada durante el periodo de 1964 al 2011 de la estación Uros, del cuadro 27 se puede indicar que en total ocurrieron 576 eventos, de los cuales 72 eventos están en la categoría de sequía moderada que representa el 12.5 %, 38 eventos corresponde a la categoría sequía severa, que representa un 6.6 % y 13 eventos que corresponden a la categoría sequía extrema, que representa un 2.3 % del total de eventos, los mismos que pueden afectar a las actividades agrícolas. En la figura 21 se observa el diagrama de frecuencia de ocurrencia de las sequias en la estación Uros.

Cuadro 27. Frecuencia de ocurrencia de eventos según la Magnitud de IPE – Estación Uros.

VALOR IPE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
2.00 a mas	0	1	1	1	0	2	0	1	0	1	1	1	9
1.50 a 1.99	2	1	2	3	2	1	2	1	2	1	2	2	21
1.00 a 1.49	4	6	8	1	6	2	5	4	5	4	5	4	54
0.00 a 0.99	20	19	12	19	23	15	15	25	22	19	16	20	225
-0.99 a 0.00	17	13	19	18	5	4	4	8	14	14	16	12	144
-1.00 a -1.49	1	3	2	2	0	24	22	0	2	6	5	5	72
-1.50 a -1.99	1	5	3	2	12	0	0	9	0	1	2	3	38
-2.00 a mas	3	0	1	2	0	0	0	0	3	2	1	1	13
TOTAL	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	576

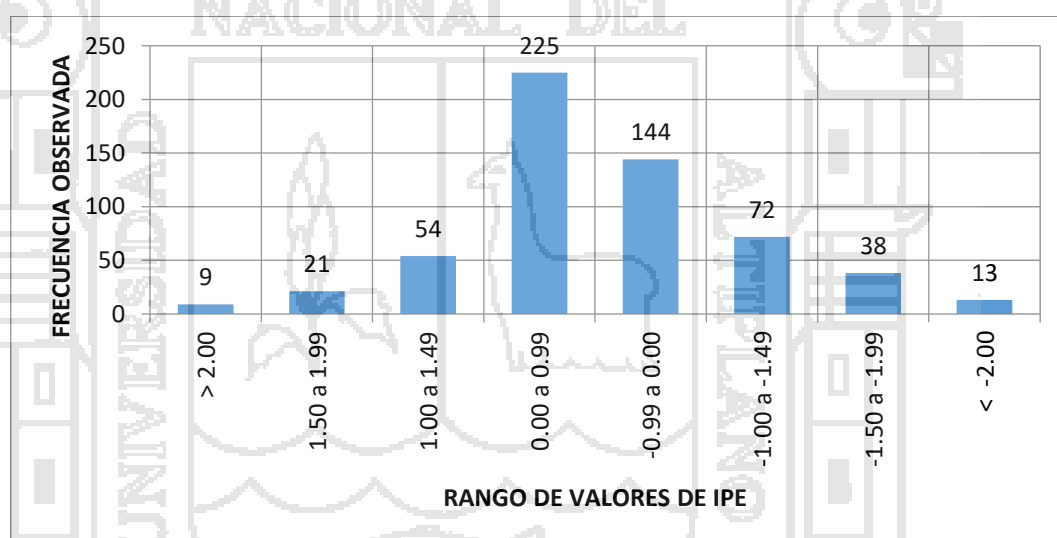


Figura 21. Frecuencia de ocurrencia de eventos según las Magnitudes de IPE de la Estación Uros - Período 1964–2011.

En el cuadro 28 se presentan el número de eventos o frecuencia observada para diferentes valores de índice de precipitación estandarizada durante el periodo de 1964 al 2011 de la estación Laraqueri, de los resultados del cuadro 28 se puede indicar que en total ocurrieron 576 eventos, de los cuales 73 eventos están en la categoría

de sequía moderada que representa el 12.7 %, 37 eventos corresponde a la categoría sequia severa, que representa un 6.4 % y 14 eventos que corresponden a la categoría sequía extrema, que representa un 2.3 % del total de eventos, estos 14 eventos pueden causar problemas a la actividad agrícola y pecuaria por falta de humedad.

En la figura 22 se observa el diagrama de frecuencia de ocurrencia de eventos de sequía según las Magnitudes del Índice de Precipitación Estandarizada (IPE) de la Estación Laraqueri, para el Período de 1964 al 2011.

Cuadro 28. Frecuencia de ocurrencia de eventos según la Magnitud de IPE – Estación Laraqueri.

VALOR IPE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
2.00 a mas	2	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	1	6
1.50 a 1.99	1	2	0	3	1	1	3	3	1	1	3	1	20
1.00 a 1.49	4	8	6	3	7	3	3	5	6	5	5	7	62
0.00 a 0.99	15	14	26	21	22	15	11	20	24	23	20	19	230
-0.99 a 0.00	18	16	14	17	3	1	2	7	13	14	16	13	134
-1.00 a -1.49	3	5	0	3	0	26	28	1	0	3	1	3	73
-1.50 a -1.99	5	1	1	0	15	0	0	12	0	0	1	2	37
-2.00 a mas	0	2	1	1	0	0	0	0	4	2	2	2	14
TOTAL	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	576

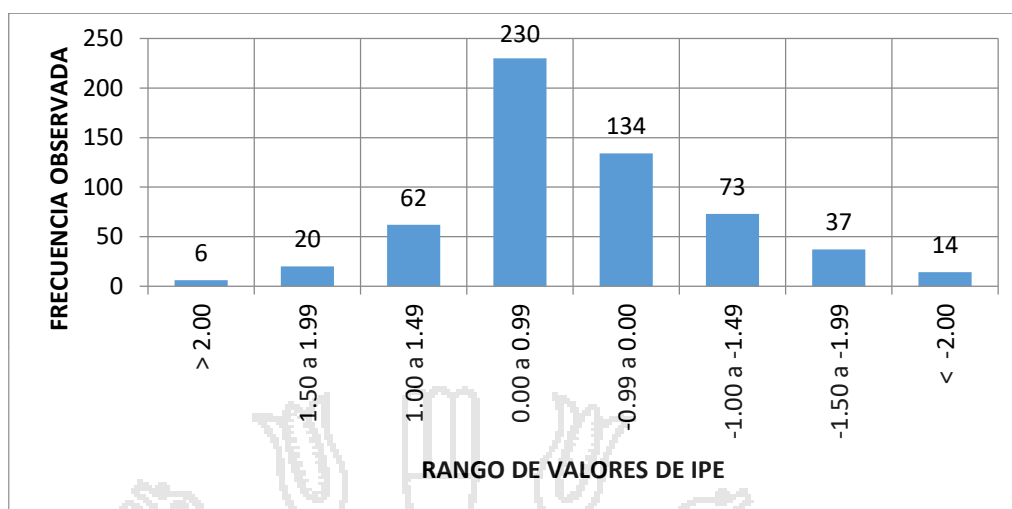


Figura 22. Frecuencia de ocurrencia de eventos según las Magnitudes de IPE de la Estación Laraqueri - Período 1964–2011.

En el cuadro 29 se presentan el número de eventos o frecuencia observada para diferentes valores de índice de precipitación estandarizada durante el periodo de 1964 al 2011 de la estación Mañazo, del cuadro 29 se puede indicar que en total ocurrieron 576 eventos, de los cuales 66 eventos están en la categoría de sequía moderada que representa el 11.5 %, 26 eventos corresponde a la categoría sequia severa, que representa un 4.5 % y 22 eventos que corresponden a la categoría sequía extrema, que representa un 3.8 % del total de eventos, estos 22 eventos pueden causar problemas a la actividad agrícola y pecuaria por falta de humedad. En la figura 23 se observa el diagrama de frecuencia de ocurrencia de eventos para diferentes magnitudes del Índice de Precipitación Estandarizada (IPE) de la Estación Mañazo para el Período de 1964 a 2010.

Cuadro 29. Frecuencia de ocurrencia de eventos según la Magnitud de IPE – Estación Mañazo.

VALOR IPE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
2.00 a mas	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	4
1.50 a 1.99	1	5	1	0	1	1	2	0	0	2	1	2	16
1.00 a 1.49	3	3	3	7	5	3	5	7	5	5	5	3	54
0.00 a 0.99	22	16	25	29	24	14	20	20	28	24	19	27	268
-0.99 a 0.00	17	16	12	7	10	3	0	8	10	12	14	11	120
-1.00 a -1.49	0	2	3	4	1	26	21	0	0	4	4	1	66
-1.50 a -1.99	3	6	2	0	0	0	0	12	0	0	2	1	26
-2.00 a mas	1	0	2	1	7	0	0	0	5	1	2	3	22
TOTAL	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	576

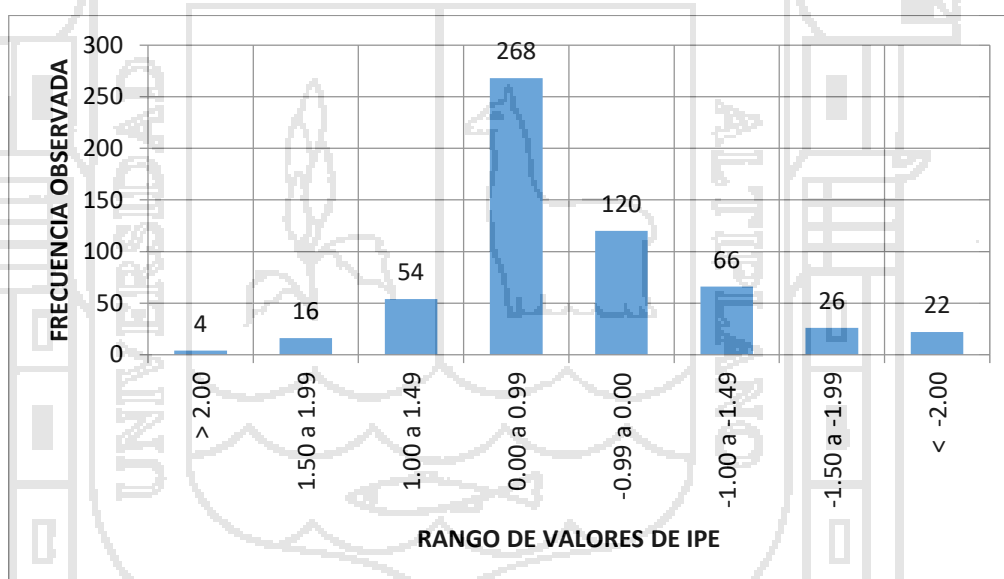


Figura 23. Frecuencia de ocurrencia de eventos según las Magnitudes de IPE de la Estación Mañazo - Período 1964–2011.

En el cuadro 30 se presenta el resumen del número de eventos para diferentes valores de índice de precipitación estandarizada durante el periodo de 1964 al 2011 de las estaciones Puno, Capachica, Uros, Laraqueri y Mañazo, en los resultados del cuadro 30 se puede observar

que para valores de IPE de -1.00 a -1.49, en las 05 estaciones el rango de eventos de sequias varían de 55 a 75 eventos, que corresponden a las estaciones Capachica y Puno respectivamente, para valores de IPE entre -1.50 a -1.99, en las 05 estaciones el rango de eventos de sequias varían de 21 a 38 eventos que corresponden a las estaciones de Puno y Uros respectivamente y para valores de IPE mayores a -2.00, en las 05 estaciones el rango de eventos de sequias varían de 13 eventos que corresponden a la estación Uros y un máximo de 19 eventos que corresponden a las estaciones Puno y Capachica.

En la figura 24 se observa el diagrama de frecuencia de ocurrencia de eventos para diferentes magnitudes del Índice de Precipitación Estandarizada (IPE) de las estación Puno, Capachica, Uros, Laraqueri y Mañazo, para un Período de 48 años (1964–2011); en ella se puede observar que el comportamiento de los eventos para los diferentes valores de IPE, en las 05 estaciones tienen un comportamiento similar.

Cuadro 30. Resumen de frecuencia de ocurrencia de eventos según los rangos de IPE en las 05 estaciones – Período 1964 a 2011.

VALOR IPE	PUNO		CAPACHICA		UROS		LARAQUERI		MAÑAZO	
	F.Obs.	%	F.Obs.	%	F.Obs.	%	F.Obs.	%	F.Obs.	%
2.00 a mas	8	1.4	7	1.2	9	1.6	6	1.0	4	0.7
1.50 a 1.99	21	3.6	16	2.8	21	3.6	20	3.5	16	2.8
1.00 a 1.49	60	10.4	63	10.9	54	9.4	62	10.8	54	9.4
0.00 a 0.99	220	38.2	242	42.0	225	39.1	230	39.9	268	46.5
-0.99 a 0.00	152	26.4	145	25.2	144	25.0	134	23.3	120	20.8
-1.00 a -1.49	75	13.0	55	9.5	72	12.5	73	12.7	66	11.5
-1.50 a -1.99	21	3.6	29	5.0	38	6.6	37	6.4	26	4.5
-2.00 a menos	19	3.3	19	3.3	13	2.3	14	2.4	22	3.8
TOTAL	576	100	576	100	576	100	576	100	576	100

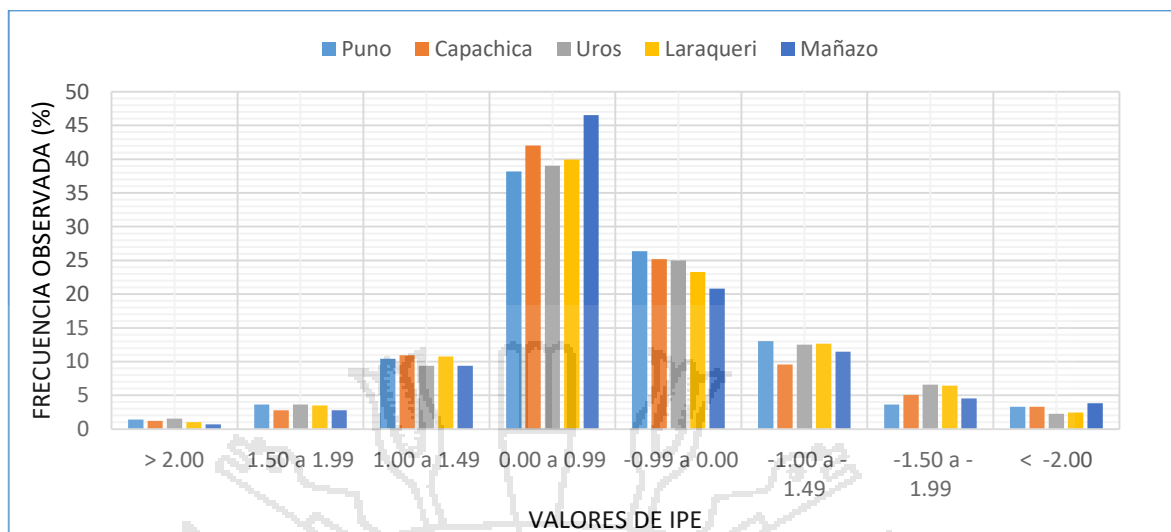


Figura 24. Diagrama de frecuencias de ocurrencia de eventos según los rangos de IPE en las 05 estaciones – Periodo 1964 a 2011.



CONCLUSIONES

Para el objetivo específico 1:

1. La serie histórica de las precipitaciones medias mensuales y anuales registradas en las estaciones Puno, Capachica, Uros, Laraqueri y Mañazo, son consistentes y homogéneos porque no presentan saltos ni tendencias en los histogramas ni desviaciones en las líneas de doble masa.

Para el objetivo específico 2:

2. El método de índice de precipitación estandarizada (IPE), es un método apropiado para determinar las sequías en la provincia de Puno porque utiliza información de precipitación total mensual, el mismo que se cuenta con esta información y permite realizar un análisis temporal de los eventos de sequías enfatizando en las sequías moderadas, sequías severas y sequías extremas.
3. Para la escala de valores de IPE de -1.00 a -1.49 se ha detectado 75, 55, 72, 73 y 66 eventos sequía moderada para las estaciones Puno, Capachica, Uros, Laraqueri y Mañazo, respectivamente, los mismos que no influyen en la actividad agropecuaria.

4. Para la escala de valores de IPE de -1.49 a -1.99 se ha detectado 21, 29, 38, 37 y 26 eventos con características de sequía severa para las estaciones Puno, Capachica, Uros, Laraqueri y Mañazo, respectivamente; los mismos que influyen un poco en la actividad agropecuaria, hay la necesidad de complementar la humedad a través del riego.

Para el objetivo específico 3:

5. Para la escala de valores de IPE menores a - 2.00 se ha detectado 19, 19, 13, 14 y 22 eventos con características de sequía extrema, para las estaciones Puno, Capachica, Uros, Laraqueri y Mañazo, respectivamente; los mismos que influyen significativamente en la actividad agropecuaria y es necesario dotar de agua al suelo a través del riego.

Para el objetivo general:

6. En promedio para las estaciones Puno, Capachica, Uros, Laraqueri y Mañazo para un periodo de 48 años (1964 al 2011), de los 576 eventos analizados, el 1.2 % corresponde eventos extremadamente húmedos, el 3.3 % a eventos muy húmedos, 10.2 % a eventos moderadamente húmedos, 41.1 % a eventos ligeramente húmedos, 24.1 % a eventos ligeramente seco, 11.8 % a eventos de sequias moderadas, 5.2 % a eventos de sequias severas y al 3 % a eventos de sequias extremas, estas últimas afectan a las actividades agrícolas por falta de humedad en el suelo.

RECOMENDACIONES

Para complementar al estudio realizado es necesario tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Los resultados obtenidos en el estudio, van a servir como referencia a las posteriores investigaciones relacionados a la determinación de sequías meteorológicas mensuales en la provincia de Puno.
- Motivar a los estudiantes de la Maestría, la aplicación de modelos matemáticos, en el área de hidrología, que permitirá solucionar problemas medioambientales de carácter natural o inducidos por el hombre.
- Realizar estudios de determinación de sequías meteorológicas utilizando modelos estocásticos y realizar comparaciones con los resultados obtenidos en esta investigación.
- Usar la metodología del Índice de Precipitación Estandarizada para hacer seguimiento y monitorear la ocurrencia de sequías meteorológicas en la Región Puno.

BIBLIOGRAFÍA

- Antúnez 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.
- Aliaga, V. (1985) *Hidrología Estadística*. Lima, Perú. 328p.
- Aparicio, M. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Editores Noriega (Limusa) México.
- Autoridad Nacional del Agua. (ANA, 2010). *Diagnóstico de la Cuenca del Mantaro bajo la visión del cambio climático*. Lima, Perú.
- Benson, L., Petersen, K. y Stein, J. (2007). *Anasazi (Pre-Columbian Native-American) migrations during the middle-12th and late-13th centuries. Were they drought induced?* *Clim. Change* 83 (1, 2): 187-213.
- Francou, B. y Pizarro, L. (1985). *El Niño y la Sequía en los Altos Andes Centrales: (Perú y Bolivia)*, Bull. Inst. Fr. Et. And. XIV, No 1-2, pp 1-18.
- Burton, I., R.W. Kates, and G.F. White, (1978): *The environment as hazard*. Oxford University Press. Nueva York, 240 pp.
- Cadena, M. (2005). *Estudio de diversos índices de sequía para la región Caribe colombiana*. Tesis para optar el título de Magíster en Ciencias-Meteorología. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.
- CEISS, (2004). *Centro de Investigaciones Sobre la Sequía del Instituto de Ecología*, A. C. Ciudad Aldama, Chihuahua, México.

- Chereque, W. (1989). *Hidrología para estudiantes de Ingeniería Civil*. Pontificia Universidad Católica del Perú. CONCYTEC. Lima, Perú. 146 p.
- Chow, V., Maidment D. y. Mays R. (2000). *Hidrología Aplicada*. McGraw Hill Interamericana S.A. Santa Fe de Bogotá-Colombia. 584 p.
- De Piérola, N. (1993). *Análisis de consistencia de series hidrometeorológicas* Librería la Carpa U.N.I. Lima, Perú. 43p.
- Edwards, D.C. and McKee, T.B., (1997): *Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales*. Atmospheric Science Paper No. 634.
- FAO. (2007). *El cambio climático, el agua y la seguridad alimentaria*. Roma.
- Faustino, J. (2006). *Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas*. Universidad Nacional Agraria la Molina. Escuela de Post Grado. Lima, Perú. 365 p.
- Garreaud et al (2003). *The climate of the Altiplano: observed current conditions and mechanisms*. Universidad de Chile, Santiago. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 3054 (2003) 1-18
- Guerrero, P. and Yevjevich, V. (1975). *Analysis of Drought Characteristics by the theory of run*. Hydrology paper N° 80, Colorado State University Fort Collins, Colorado, U.S.A.
- Guevara, E. (2004). *Hidrología Ambiental*. Universidad de Carabobo. Venezuela.
- Hurtado, G., Cadena, M. C. (2002). *Aplicación de Índices de Sequía en Colombia*. *Meteorología Colombiana* (5), pp.131-137.
- Keyantash, J. and J. A. Dracup. (2002). *The quantification of drought: an evaluation of drought indices*. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8):1167-1180.

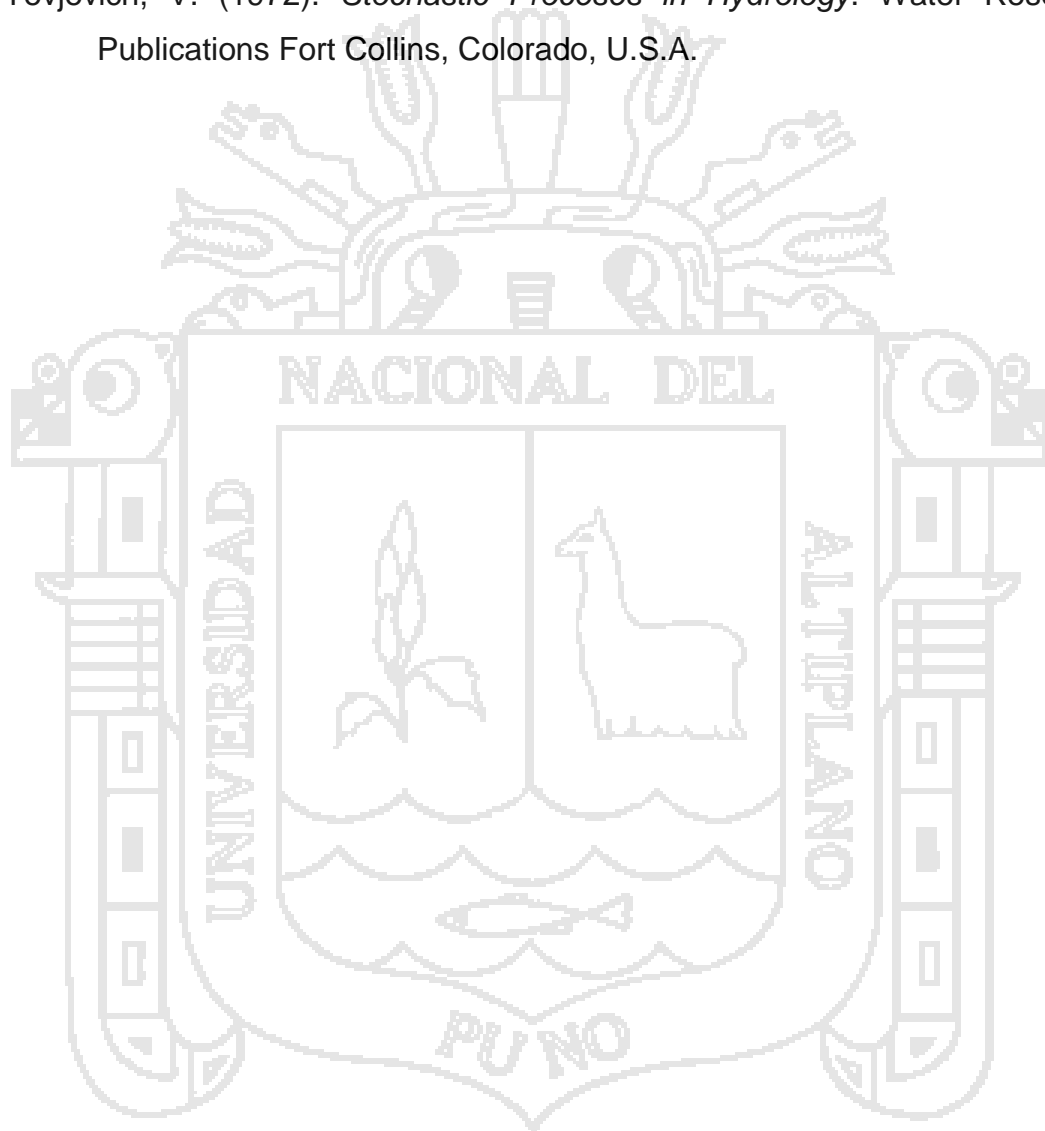
- Linsley, R., Kohler M. y Paulhus, J. (1975). *Hidrología para Ingenieros*. McGraw Hill. 350 p.
- Lloyd-Hughes, B. and Saunders, M.A. (2002). *A drought climatology for Europe*. *Int. J. Climatol.* 22 (13): 1571- 1592.
- McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J. (1993). *The relationship of drought frequency and duration to time scales*. In *Proceedings of the Eight Conference on Applied Climatology*, Anaheim, CA, American Meteorological Society, 179-184.
- McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist, (1995). *Drought monitoring with multiple time scales*. Preprints, 9th Conference on Applied Climatology, 15-20 January, Dallas, TX, pp. 233-236.
- Mejía, A. (2006). *Hidrología Aplicada*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 214 p.
- Millan, J. (1972). *Probabilidades de Sequías*. V Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Lima, Perú.
- Ministerio de Agricultura. (2010). *Plan de Prevención ante la presencia de fenómenos naturales por inundaciones, deslizamientos, huaycos y sequías*. Lima. Autoridad Nacional del Agua.
- Mishra, A.K. and Singh, V.P. (2010). *A review of drought concepts*. *Journal of Hydrology* **391**: 202-216.
- Monsalve, G. (1998). *Hidrología en la Ingeniería*. ALFA OMEGA GRUPO EDITOR S.A. Santafe Bogota-Colombia. 358 p.
- Organización de las Naciones Unidas (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. Paris.

- Organización Meteorológica Mundial. (2006). *Drought monitoring and early warning: concepts, progress and future challenges*. WMO-No. 1006, 40 p. ISBN: 92-63-11006-9.
- Organización Meteorológica Mundial. (2012). *El tiempo, el clima y el agua, motores de nuestro futuro*. OMM-N° 1084, 40 p. ISBN: 978-92-31084-2.
- Palmer, W. (1965). *Meteorological drought*. U:S: Weather Bureau, Reserch Paper N° 45, Washington.
- Scian, B. (1997). *Comparación entre el índice de precipitación estandarizado y otros índices hidrológicos para la región pampeana*. Meteorológica 22 (2): 37-47.
- Scian, B. y Reimers, W. (2005). *Algunos factores meteorológicos relacionados con la sequía de 2003 en el centro de Argentina*. Actas del IX Congreso Argentino de Meteorología. Buenos Aires, Argentina.
- Valiente, O. (2001). *Sequía: Definiciones, Topologías y Métodos de Cuantificación*. Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico 162 Regional, Revista Investigaciones Geográficas N° 26 Universidad de Barcelona, España. 59-80 pp.
- Vásquez, A. (1993). *Manejo de Cuencas Alto andinas*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú. 292 p.
- Vásquez, A. (2000). *Manejo de Cuencas Alto andinas*. Tomo I. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú. 512 p.
- Vicente-Serrano, S.M. and López-Moreno, J.I.(2005). *Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the Standardized Precipitation Index in a mountainous Mediterranean basin*. Hydrology and Earth System Sciences 9: 523-533.
- Villon, M. (2002). *Hidrología Estadística*, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Ediciones Villon. Lima, Peru. 478 p.

Wilhite, D.A. and Glantz, M. H., (1985). *Understanding the drought phenomenon: the role of definitions*. Water international, vol. 10: 111-120.

World Meteorological Organization (WMO). (1992). *Drought and Agriculture*. Technical Note N° 138. WMO Ginebra, Suiza. p 32.

Yevjevich, V. (1972). *Stochastic Processes in Hydrology*. Water Resources Publications Fort Collins, Colorado, U.S.A.



ANEXOS



Anexo 1. Estimación de parámetros de la distribución gamma - Estación Puno

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	5.09	4.55	4.73	3.99	2.47	-6.91	-6.91	1.89	3.10	2.05	3.92	3.87
1965	4.79	5.16	4.13	3.40	-0.22	-6.91	-0.51	1.96	3.47	2.64	3.86	5.16
1966	3.48	4.38	2.71	2.56	3.70	-6.91	-0.69	-6.91	0.00	3.76	4.11	3.33
1967	4.32	4.68	5.41	2.55	2.56	-6.91	2.83	3.33	4.15	3.78	1.39	4.80
1968	4.79	4.77	4.71	4.14	2.34	2.51	1.31	1.03	2.74	4.08	4.08	3.91
1969	5.10	4.59	4.23	3.52	-6.91	-1.61	1.16	-0.11	1.50	3.25	3.96	3.94
1970	4.96	4.02	5.24	3.47	2.01	-6.91	-6.91	-0.11	2.34	2.89	2.68	4.58
1971	4.62	5.59	3.35	3.23	-6.91	1.06	-6.91	2.21	0.18	2.97	4.54	4.64
1972	5.35	4.87	5.10	3.62	1.89	-6.91	-6.91	-6.91	3.62	3.48	3.83	4.89
1973	5.47	4.88	5.07	4.58	2.59	-6.91	0.59	1.81	3.48	2.80	3.39	4.26
1974	5.53	5.33	4.01	4.05	-1.61	0.92	-1.61	3.94	3.60	2.53	3.31	3.87
1975	5.06	5.18	5.07	3.62	3.78	-0.36	-2.30	1.87	3.89	3.98	3.21	5.46
1976	5.30	5.01	5.13	3.24	2.29	-0.92	0.34	2.83	3.79	2.21	2.45	4.79
1977	3.89	5.33	5.35	1.76	2.17	-6.91	0.83	-6.91	3.87	3.99	3.91	4.69
1978	5.41	4.56	4.91	3.34	-0.92	-6.91	1.16	-0.92	2.86	3.21	4.97	5.04
1979	4.88	3.56	4.96	3.79	0.34	-6.91	-0.11	0.59	2.14	3.82	3.46	4.43
1980	4.11	4.05	5.55	2.92	0.26	-2.30	1.59	2.60	4.19	4.29	3.25	3.55
1981	4.90	5.33	4.71	4.23	1.55	-6.91	-6.91	3.63	3.05	3.24	3.89	4.86
1982	5.45	4.42	4.60	4.32	0.96	1.65	0.64	-6.91	3.96	4.74	4.63	3.20
1983	3.03	4.25	4.05	4.02	2.65	0.83	0.41	1.57	3.84	3.28	3.39	4.65
1984	5.76	4.46	5.41	3.79	2.91	1.44	1.31	3.25	-6.91	5.06	4.30	4.57
1985	4.87	5.82	2.51	4.51	3.21	3.31	-6.91	2.10	3.69	3.49	4.82	4.90
1986	4.98	5.53	5.40	4.66	-2.30	-6.91	1.65	2.13	3.74	1.44	2.22	4.88
1987	5.41	4.27	4.30	3.79	0.53	1.34	2.53	-6.91	1.46	4.07	4.71	3.23
1988	5.36	4.30	5.43	4.29	3.15	-6.91	-1.20	-6.91	3.02	4.26	3.83	4.60
1989	5.32	4.87	4.92	4.61	-6.91	-0.92	0.53	2.69	2.87	2.65	3.06	3.76
1990	5.12	3.11	4.09	3.76	2.49	4.00	-6.91	2.47	2.31	4.68	4.52	4.14
1991	4.82	4.22	5.22	3.83	1.92	3.51	-6.91	1.10	2.69	3.02	3.79	3.92
1992	4.19	4.50	2.75	3.66	-6.91	-0.69	0.83	3.74	-6.91	3.54	3.38	4.01
1993	5.17	4.61	4.67	3.96	1.89	0.10	-6.91	3.63	2.89	4.24	4.37	4.71
1994	5.19	5.21	4.73	4.76	3.40	-0.92	-6.91	-6.91	2.91	3.60	3.96	4.29
1995	4.81	4.63	4.82	0.74	1.41	-6.91	-6.91	1.10	3.09	2.73	3.92	4.38
1996	5.53	4.87	4.11	4.33	-6.91	-6.91	1.06	2.55	-0.22	2.34	4.48	4.77
1997	5.48	5.36	4.59	4.48	-0.11	-6.91	-6.91	3.09	4.68	3.40	4.14	3.80
1998	5.28	4.75	4.91	3.23	-6.91	1.59	-6.91	1.46	1.50	3.29	3.78	4.06
1999	5.27	5.50	5.31	4.45	2.01	-6.91	0.41	0.64	2.78	5.01	3.47	4.23
2000	5.12	5.35	4.65	3.70	-0.92	0.83	1.44	2.88	2.68	4.56	2.63	4.23
2001	5.52	5.37	5.41	4.25	2.50	0.79	-6.91	2.53	3.30	4.23	3.83	4.39
2002	4.86	5.19	5.14	4.66	2.73	3.05	3.12	3.42	2.45	4.19	3.78	4.72
2003	5.16	4.74	4.73	3.83	3.60	1.57	-1.61	2.26	3.76	3.23	2.66	4.88
2004	5.34	4.83	4.75	3.37	1.82	-6.91	2.32	3.76	3.54	1.72	3.72	4.08
2005	4.64	5.06	4.90	3.82	-0.92	-6.91	-6.91	-6.91	2.47	3.68	4.39	4.61
2006	5.67	4.16	5.07	3.80	-0.11	-6.91	-6.91	-0.51	3.05	3.62	3.99	4.62
2007	4.44	5.14	5.47	3.91	2.36	-6.91	1.19	0.47	4.12	4.34	3.79	4.31
2008	5.35	4.45	4.55	2.13	1.92	0.34	-1.61	-0.22	0.88	4.37	3.30	4.97
2009	5.04	4.91	5.00	4.42	-0.92	-6.91	0.92	-6.91	2.80	4.03	4.49	4.14
2010	4.60	5.26	4.03	2.51	2.78	-6.91	-6.91	1.96	1.06	3.51	2.71	4.99
2011	4.81	5.31	4.76	3.85	1.57	-6.91	1.86	2.40	3.24	3.84	3.93	4.52
∑ln(x)	238.6	230.3	224.7	177.5	24.3	-144.7	-97.1	14.8	116.7	169.1	178.2	210.6
∑ln(x)/N	5.0	4.8	4.7	3.7	0.5	-3.0	-2.0	0.3	2.4	3.5	3.7	4.4
ln(x̄)	5.1	4.9	4.9	3.9	2.2	1.4	0.9	2.4	3.2	3.8	3.9	4.5
A	0.1	0.1	0.2	0.2	1.7	4.4	3.0	2.1	0.8	0.3	0.2	0.1
α	4.5	4.0	2.9	2.4	0.4	0.2	0.3	0.4	0.8	1.8	2.5	4.4
β	36.3	34.2	44.4	21.5	22.1	19.1	9.4	30.9	33.5	24.8	20.3	20.6

Anexo 2. Estimación de parámetros de la distribución gamma - Estación Capachica

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	4.74	5.21	5.90	4.69	4.21	-6.91	-6.91	1.39	3.65	3.90	4.64	4.77
1965	5.36	5.24	5.51	4.76	2.77	-6.91	1.61	-6.91	2.51	3.19	3.68	5.25
1966	3.99	4.64	3.90	1.74	4.00	-6.91	-0.11	-6.91	2.79	3.38	3.61	4.60
1967	3.90	4.91	5.38	3.59	1.74	0.00	2.17	3.02	3.22	3.12	3.53	4.97
1968	4.65	5.19	5.26	3.76	3.06	2.87	0.59	0.74	2.84	2.91	3.54	4.50
1969	4.96	4.53	4.59	3.93	2.88	-0.92	3.14	-0.36	2.24	2.64	3.55	3.58
1970	5.00	4.39	4.80	4.06	2.65	-1.61	-6.91	0.96	3.37	3.06	3.42	4.62
1971	4.87	5.40	4.18	3.99	-0.69	-6.91	-6.91	1.41	-1.61	3.45	4.24	3.95
1972	5.46	4.61	4.79	0.99	-0.11	-6.91	-1.61	0.69	2.52	2.53	3.78	4.78
1973	5.26	5.01	5.07	4.11	2.82	1.61	2.71	2.09	3.87	3.63	3.73	3.73
1974	5.47	5.30	4.33	3.82	-6.91	2.09	2.37	3.52	3.23	3.74	3.46	4.28
1975	5.26	5.38	4.84	3.43	3.49	2.08	-6.91	-0.36	3.72	3.99	3.27	5.49
1976	5.32	5.03	4.57	3.21	3.04	1.06	-1.61	1.90	3.89	1.19	-6.91	4.72
1977	4.43	5.56	5.05	2.26	1.39	-6.91	-0.22	-6.91	3.42	4.01	4.28	4.76
1978	5.15	4.76	4.52	3.14	-6.91	1.44	1.46	2.03	3.50	3.70	5.09	5.29
1979	5.16	4.19	5.20	3.96	1.39	-6.91	-6.91	-6.91	3.81	3.60	4.14	5.23
1980	5.12	5.19	4.69	2.56	2.74	0.90	-0.12	1.70	3.71	3.05	4.83	4.88
1981	5.21	5.23	4.73	2.92	-2.30	0.17	0.74	0.67	3.43	4.00	4.73	4.75
1982	5.07	5.09	4.63	3.55	1.14	1.08	0.99	1.70	3.67	3.54	4.84	4.88
1983	5.20	5.29	4.80	3.61	2.13	-0.67	-3.47	0.25	3.76	3.49	4.82	4.99
1984	5.36	5.17	4.74	2.54	2.25	0.87	-6.91	-6.91	-6.91	3.67	4.41	4.36
1985	4.76	4.84	4.54	4.44	3.71	2.92	1.57	-6.91	1.25	4.42	5.12	5.38
1986	5.79	5.69	5.25	4.88	-0.92	-6.91	-6.91	2.70	3.61	3.01	3.89	4.81
1987	5.45	2.94	4.31	2.95	0.79	2.68	2.97	-6.91	3.35	3.35	3.18	3.48
1988	4.70	5.12	5.14	3.19	3.29	-6.91	0.92	-6.91	3.63	4.82	4.37	5.25
1989	5.51	5.19	5.50	3.39	-6.91	3.02	0.18	-6.91	2.63	3.45	4.20	4.82
1990	5.37	4.47	3.87	4.55	2.42	3.71	-6.91	3.45	2.51	4.31	4.00	5.07
1991	4.81	4.73	5.43	4.57	1.76	3.64	-0.69	-6.91	2.44	4.14	4.31	4.63
1992	5.06	4.98	3.48	3.93	-6.91	1.79	1.61	4.25	-0.69	3.70	4.49	3.89
1993	5.65	4.82	5.68	3.66	0.00	-0.69	-6.91	3.66	3.23	3.53	4.83	5.07
1994	5.70	5.73	5.19	4.79	1.50	-6.91	0.99	1.50	-1.70	2.73	3.66	4.94
1995	4.94	4.95	5.01	0.59	2.13	-6.91	-0.69	1.50	2.90	2.77	3.71	4.89
1996	5.50	4.71	3.85	3.54	2.70	-6.91	1.48	3.26	1.72	3.09	4.25	4.48
1997	5.54	5.38	4.88	4.37	0.92	-6.91	-6.91	3.13	4.08	3.57	4.64	3.72
1998	4.63	4.82	4.92	3.59	-6.91	2.10	-6.91	-6.91	0.59	2.52	4.05	2.49
1999	5.22	5.43	5.46	4.52	-0.11	-6.91	-6.91	-6.91	3.76	4.34	3.42	4.17
2000	5.06	4.98	5.13	2.25	3.00	-6.91	0.00	3.56	2.37	4.43	-6.91	4.23
2001	5.37	5.15	5.39	4.32	2.20	0.96	2.50	3.43	3.37	4.29	3.58	4.67
2002	4.71	5.45	5.10	4.45	2.48	0.69	2.82	2.62	4.13	4.98	4.50	4.69
2003	5.52	4.99	5.16	3.59	2.91	1.92	0.88	1.22	3.78	3.45	3.24	4.93
2004	5.31	5.21	4.66	3.89	1.82	-0.22	2.54	3.17	3.68	2.84	3.37	4.51
2005	4.73	5.38	4.62	3.05	-6.91	-6.91	-6.91	0.96	3.54	4.32	4.22	4.69
2006	5.58	4.19	4.88	3.52	-0.51	1.82	-6.91	2.22	3.47	3.25	4.32	4.13
2007	4.34	3.55	5.08	3.85	1.44	-6.91	1.16	1.86	3.73	2.20	4.32	4.86
2008	5.34	4.35	4.83	-6.91	-6.91	-6.91	-6.91	-6.91	-6.91	3.78	2.52	5.17
2009	4.55	5.09	4.51	3.96	-0.22	-6.91	1.25	-6.91	1.92	3.46	4.28	4.28
2010	5.19	5.20	3.66	3.73	2.09	-6.91	-6.91	1.53	1.16	3.42	-6.91	5.22
2011	4.76	5.43	4.63	2.67	0.83	-6.91	1.89	2.26	3.24	3.71	4.14	4.74
$\sum \ln(x)$	244.04	238.07	231.66	159.98	24.47	-109.76	-80.51	-29.09	118.85	167.68	161.46	221.58
$\sum \ln(x)/N$	5.08	4.96	4.83	3.33	0.51	-2.29	-1.68	-0.61	2.48	3.49	3.36	4.62
$\ln(\bar{x})$	5.16	5.06	4.95	3.84	2.37	1.53	1.30	2.26	3.24	3.71	4.14	4.74
A	0.08	0.10	0.12	0.51	1.86	3.82	2.98	2.86	0.76	0.22	0.78	0.13
α	6.50	5.03	4.25	1.13	0.38	0.23	0.27	0.28	0.80	2.47	0.78	4.05
β	26.86	31.43	33.17	41.49	27.87	20.41	13.51	34.33	31.90	16.57	80.20	28.41

Anexo 3. Estimación de parámetros de la distribución gamma - Estación Uros

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	4.89	4.68	4.51	2.92	-1.34	1.25	1.14	1.67	0.69	2.62	3.56	4.43
1965	5.05	4.96	4.85	3.94	2.35	1.31	1.31	2.44	3.13	3.68	3.89	4.55
1966	5.06	5.29	4.38	4.07	2.09	0.08	-2.52	2.15	2.53	3.45	4.37	4.59
1967	3.18	3.89	5.36	3.25	3.26	-6.91	2.48	1.25	4.35	2.37	2.91	4.07
1968	4.53	4.52	4.26	3.07	2.86	1.93	0.18	-0.69	3.04	4.19	4.83	4.07
1969	5.15	4.45	4.09	3.65	-6.91	1.65	1.74	2.08	1.25	2.41	3.09	4.10
1970	4.85	4.53	5.27	3.23	2.48	-6.91	-6.91	-6.91	2.54	2.56	3.16	4.79
1971	4.79	5.50	3.69	3.95	-6.91	0.59	-6.91	2.53	1.67	3.57	4.55	4.73
1972	5.12	4.90	4.84	3.56	3.43	-2.30	-1.61	-6.91	3.25	3.57	4.08	4.96
1973	5.42	4.98	5.02	4.83	3.12	-6.91	0.41	2.29	3.44	3.25	3.47	4.75
1974	5.69	5.26	4.25	3.37	-6.91	1.31	-6.91	4.36	3.08	3.68	3.12	3.96
1975	4.89	5.08	4.84	4.07	3.78	-1.61	0.41	1.48	3.58	3.84	3.64	5.51
1976	5.58	5.19	4.72	4.10	2.69	-1.61	-0.92	3.58	3.89	1.36	2.35	4.62
1977	3.84	5.45	5.11	3.44	2.21	-6.91	1.86	-6.91	3.47	4.12	4.40	4.83
1978	5.44	3.95	4.84	4.37	-6.91	-0.22	1.10	1.74	3.18	1.72	4.62	5.05
1979	4.92	3.80	4.58	3.54	1.13	-6.91	2.34	1.69	1.36	3.45	3.25	4.50
1980	4.49	3.79	5.62	1.99	-6.91	-6.91	-6.91	2.86	4.28	4.31	3.32	3.82
1981	5.16	5.21	4.55	4.51	-6.91	-6.91	-6.91	3.60	3.21	3.54	2.55	3.65
1982	3.32	4.42	4.43	2.64	2.31	-6.91	-6.91	2.47	4.22	3.75	2.84	2.62
1983	3.10	4.28	3.60	3.91	2.93	-6.91	-6.91	2.75	-6.91	3.63	1.13	5.22
1984	5.82	5.95	5.40	3.90	2.69	0.00	2.01	1.67	-6.91	4.57	4.77	4.47
1985	4.69	5.74	4.65	4.31	2.82	3.37	-6.91	-6.91	3.61	2.84	4.90	4.91
1986	5.24	5.57	5.73	4.96	1.86	-6.91	2.71	1.89	3.09	1.22	3.25	5.05
1987	4.92	3.82	4.18	2.32	2.15	1.99	3.33	-6.91	2.22	3.69	4.10	3.43
1988	5.34	4.12	5.54	4.42	3.17	-6.91	-6.91	-6.91	3.47	4.11	2.86	3.69
1989	5.16	4.67	5.09	3.97	0.92	2.30	1.25	1.28	2.13	2.76	3.29	3.96
1990	5.31	3.65	3.91	3.74	0.96	3.53	-6.91	2.56	2.67	4.40	4.35	4.29
1991	4.61	4.36	5.25	4.23	2.52	3.70	-6.91	0.59	2.59	4.05	3.81	3.91
1992	4.88	5.03	3.72	3.37	-6.91	-6.91	0.53	3.74	-6.91	3.38	3.66	4.60
1993	5.18	4.28	4.54	4.33	-6.91	-6.91	-6.91	3.28	3.16	4.29	4.54	4.71
1994	5.28	5.12	4.56	4.86	3.91	-6.91	-6.91	-6.91	0.74	2.78	4.24	4.31
1995	4.87	4.89	4.95	1.13	1.19	-6.91	-6.91	1.77	2.57	3.18	4.05	4.78
1996	5.46	4.61	4.24	3.48	0.47	-6.91	-6.91	2.15	2.40	2.57	4.09	3.84
1997	5.40	5.36	4.31	4.33	0.64	-6.91	-6.91	2.88	4.06	3.17	4.24	3.56
1998	4.88	4.76	4.70	3.19	-6.91	0.83	-6.91	-0.11	0.64	2.83	4.08	3.23
1999	5.03	5.58	5.31	4.86	2.65	-6.91	-6.91	2.20	3.48	5.14	3.30	3.44
2000	5.19	5.16	4.53	3.55	1.44	-6.91	-6.91	2.88	2.40	4.09	2.51	4.32
2001	5.49	5.43	5.30	4.25	2.35	-0.22	-0.22	2.42	3.41	4.01	3.72	4.59
2002	4.82	5.02	4.96	4.38	3.04	2.86	3.26	3.18	2.77	4.19	4.14	5.06
2003	5.19	4.91	4.86	3.67	3.31	1.79	0.00	2.05	3.91	2.72	3.10	4.91
2004	5.28	4.96	4.45	3.33	1.95	-6.91	2.96	3.80	3.38	3.01	3.58	4.41
2005	4.69	5.19	4.71	3.55	-6.91	-6.91	-6.91	-6.91	2.81	3.65	3.72	4.78
2006	5.50	3.99	5.28	3.59	-6.91	0.00	-6.91	0.99	2.44	3.72	4.09	4.51
2007	4.22	4.91	5.31	4.33	2.21	-6.91	2.60	1.87	4.20	3.70	3.93	4.24
2008	5.38	4.39	4.55	2.23	1.70	0.69	-6.91	0.41	0.18	4.29	3.82	4.79
2009	4.76	4.95	4.76	4.24	-6.91	-6.91	1.59	-6.91	2.14	3.68	3.89	4.55
2010	5.05	4.96	4.85	3.94	2.35	1.31	1.31	2.44	3.13	3.27	2.90	5.17
2011	4.63	5.37	4.77	3.55	2.95	-6.91	1.89	2.44	3.13	3.68	3.89	4.55
∑ln(x)	236.71	230.86	227.22	178.40	-2.34	-141.27	-120.84	22.48	106.17	164.05	175.96	210.90
∑ln(x)/N	4.93	4.81	4.73	3.72	-0.05	-2.94	-2.52	0.47	2.21	3.42	3.67	4.39
ln(x̄)	5.06	4.96	4.85	3.95	2.34	1.33	1.33	2.44	3.14	3.69	3.89	4.54
A	0.13	0.15	0.12	0.23	2.39	4.28	3.84	1.97	0.93	0.27	0.22	0.14
α	4.06	3.55	4.39	2.30	0.32	0.21	0.23	0.37	0.67	2.02	2.39	3.64
β	38.76	40.09	29.17	22.57	32.76	18.08	16.65	31.22	34.49	19.79	20.49	25.64

**Anexo 4. Estimación de parámetros de la distribución gamma - Estación
Laraqueri**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	5.03	4.89	4.39	3.72	2.48	-6.91	-6.91	0.10	4.12	3.46	3.21	3.54
1965	4.26	4.41	4.13	3.65	1.39	0.69	1.53	2.09	3.43	3.72	3.83	5.27
1966	4.36	5.03	4.16	3.23	3.92	-6.91	-6.91	-6.91	2.04	3.61	4.67	3.96
1967	4.49	5.16	5.55	3.44	2.92	-6.91	3.32	3.22	3.80	3.91	-6.91	5.01
1968	4.98	5.24	4.82	3.61	3.53	2.87	0.83	0.34	2.77	4.03	4.64	4.45
1969	5.23	4.45	4.64	3.85	-6.91	-6.91	0.69	-6.91	3.25	2.56	3.22	4.41
1970	4.71	4.67	4.94	3.61	3.24	-6.91	-6.91	-6.91	-6.91	2.30	2.92	5.19
1971	4.93	5.53	3.96	3.22	0.74	0.26	-6.91	1.13	-6.91	1.46	4.03	4.86
1972	5.44	5.29	4.72	2.79	1.28	-6.91	-6.91	-6.91	3.39	3.91	3.93	5.14
1973	5.28	4.82	4.87	3.84	2.93	-6.91	1.61	2.50	4.02	2.39	3.28	4.45
1974	5.61	5.50	4.61	3.93	-6.91	0.10	-6.91	4.05	3.00	2.49	2.80	4.31
1975	5.03	5.55	4.72	3.16	3.46	1.13	-6.91	2.09	3.08	4.12	3.76	5.56
1976	5.87	4.91	5.39	3.71	2.91	-6.91	3.32	3.39	4.17	2.68	2.40	4.44
1977	4.20	5.25	5.00	1.95	1.67	-6.91	-6.91	-6.91	3.05	4.02	4.48	4.84
1978	5.34	4.99	4.62	3.76	-6.91	-6.91	2.92	0.41	2.72	2.13	5.03	4.69
1979	5.25	4.74	4.83	3.10	-6.91	0.18	2.23	0.53	1.61	3.39	3.98	4.03
1980	5.48	4.07	5.44	2.08	-6.91	-6.91	1.39	2.75	3.69	4.47	3.40	5.50
1981	5.50	5.62	4.83	3.99	0.64	-6.91	-6.91	3.41	3.48	2.89	3.11	5.08
1982	5.06	4.49	4.45	3.29	-6.91	-6.91	-6.91	1.46	3.60	4.17	4.48	3.16
1983	4.58	4.36	2.93	2.13	-6.91	0.47	-6.91	-0.69	2.84	2.60	2.76	4.35
1984	5.77	5.45	5.40	3.66	2.93	3.51	-6.91	2.87	0.59	4.22	5.06	4.75
1985	4.91	5.25	4.66	4.95	3.19	2.60	-6.91	-6.91	3.78	2.05	5.00	5.32
1986	5.07	5.65	5.47	4.61	2.13	-1.61	-6.91	2.24	2.46	0.59	3.78	5.02
1987	5.64	4.35	4.31	3.27	-6.91	-6.91	3.60	1.87	2.15	3.16	4.04	3.35
1988	5.30	3.81	5.19	4.87	2.26	0.92	-6.91	-6.91	1.77	3.80	2.58	4.62
1989	5.42	4.87	4.86	4.35	1.25	1.67	0.88	1.69	1.57	-6.91	3.26	3.80
1990	4.91	3.60	4.39	2.40	2.73	4.01	-6.91	2.75	2.25	4.60	4.95	4.86
1991	4.87	4.88	5.00	3.32	1.06	3.78	-6.91	-0.51	3.08	3.35	3.40	4.16
1992	4.79	4.61	4.09	3.68	-6.91	1.36	2.76	3.46	-6.91	4.13	3.89	4.63
1993	5.33	4.19	4.90	4.11	2.65	0.41	-6.91	3.54	2.91	4.82	4.84	5.18
1994	5.33	5.28	5.00	4.70	2.69	0.41	0.41	-6.91	1.77	2.16	4.31	4.94
1995	4.95	5.33	5.01	2.49	-6.91	-6.91	-6.91	-6.91	2.41	1.22	4.08	5.14
1996	5.63	4.85	-6.91	3.96	3.01	-6.91	-6.91	3.95	2.48	1.55	4.57	4.58
1997	5.24	5.48	4.74	3.38	0.00	-6.91	-6.91	3.08	4.55	3.12	4.80	3.91
1998	4.47	4.55	4.49	3.43	-6.91	2.30	-6.91	-6.91	-6.91	3.34	3.78	3.22
1999	4.89	5.14	5.48	4.30	2.97	-6.91	-6.91	2.48	1.90	4.53	0.10	4.26
2000	5.52	5.47	4.84	2.53	1.67	0.34	-6.91	2.31	1.87	4.20	1.96	4.94
2001	5.91	5.59	4.94	4.36	2.57	-6.91	1.25	1.55	2.49	3.20	3.80	4.22
2002	4.23	5.37	5.09	4.31	3.12	1.53	3.25	2.71	2.39	3.79	4.23	4.14
2003	5.00	4.82	4.82	3.34	2.53	-6.91	-6.91	1.72	2.95	1.81	3.19	4.86
2004	5.43	4.99	4.27	3.11	-6.91	0.59	2.41	3.78	1.81	-6.91	2.65	4.12
2005	4.75	5.64	4.37	3.75	-6.91	-6.91	-6.91	-6.91	2.95	3.66	3.62	4.85
2006	5.48	4.57	4.48	3.49	1.84	1.22	-6.91	2.56	3.53	2.93	3.98	4.23
2007	4.69	4.57	5.13	3.87	1.59	-6.91	-6.91	2.40	3.82	4.06	4.27	4.71
2008	5.25	4.65	4.30	-6.91	-6.91	-6.91	-6.91	1.50	0.83	3.58	2.75	4.97
2009	4.27	5.16	4.68	4.21	-6.91	-6.91	1.63	-6.91	2.41	2.71	4.46	4.63
2010	5.11	5.23	3.72	3.70	2.94	-6.91	1.49	0.96	1.22	3.54	1.41	4.98
2011	5.04	5.48	4.79	3.88	1.22	-6.91	1.67	2.40	3.03	3.55	4.01	4.71
$\sum \ln(x)$	243.84	237.79	214.52	161.19	-28.14	-150.87	-163.15	-6.80	93.42	134.13	165.82	219.30
$\sum \ln(x)/N$	5.08	4.95	4.47	3.36	-0.59	-3.14	-3.40	-0.14	1.95	2.79	3.45	4.57
$\ln(\bar{x})$	5.17	5.06	4.80	3.77	2.27	1.48	1.49	2.40	3.03	3.55	4.01	4.71
A	0.09	0.11	0.33	0.41	2.86	4.62	4.89	2.54	1.08	0.75	0.56	0.14
α	5.69	4.73	1.68	1.35	0.28	0.20	0.19	0.30	0.59	0.80	1.04	3.74
β	30.93	33.45	72.04	32.13	34.76	22.00	23.15	36.19	35.04	43.22	53.14	29.63

**Anexo 5. Estimación de parámetros de la distribución gamma - Estación
Mañazo**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	3.64	4.03	4.43	3.90	2.81	-6.91	-6.91	1.61	2.42	-6.91	3.36	3.88
1965	4.37	4.03	3.78	-6.91	0.59	-1.61	-0.11	-0.22	1.96	1.10	2.62	4.82
1966	3.19	4.56	3.59	1.34	3.03	-6.91	-6.91	-6.91	1.89	2.56	3.81	3.38
1967	3.30	4.00	4.76	0.92	2.19	-6.91	1.92	-6.91	2.80	3.50	-0.36	4.20
1968	3.79	4.51	4.52	1.86	2.91	2.20	-6.91	-6.91	2.76	3.56	4.86	4.43
1969	5.25	4.81	4.04	2.08	-6.91	-6.91	1.19	-6.91	2.03	4.09	4.57	4.76
1970	5.00	4.67	5.18	2.24	1.76	-6.91	-6.91	-6.91	1.69	3.28	1.97	5.17
1971	4.60	5.35	3.96	3.79	1.06	0.00	-6.91	-2.30	-6.91	2.40	3.88	5.00
1972	5.35	4.99	4.99	3.25	2.13	-6.91	-6.91	-6.91	3.54	3.20	3.36	4.39
1973	5.50	4.96	5.06	3.87	2.34	0.18	0.99	1.22	3.62	3.09	3.97	4.59
1974	5.82	5.72	4.39	3.71	-1.20	2.22	0.00	4.05	3.26	2.95	3.45	4.26
1975	5.25	5.59	4.93	3.03	3.49	-1.61	-6.91	-0.36	3.22	4.13	3.67	5.06
1976	5.27	4.99	5.11	3.60	1.28	-1.61	1.63	2.67	3.89	1.06	3.02	4.54
1977	3.61	5.56	5.01	3.50	1.34	-6.91	1.99	-6.91	-6.91	-6.91	4.32	4.72
1978	4.53	5.10	5.05	3.54	0.64	-6.91	1.28	1.39	-6.91	2.00	4.55	5.25
1979	5.00	4.25	5.10	3.59	-6.91	-6.91	-6.91	2.08	-6.91	3.17	3.66	4.36
1980	4.54	4.01	4.81	0.74	-6.91	-6.91	-6.91	0.88	3.36	4.61	5.42	3.30
1981	5.60	5.56	4.90	3.79	2.61	1.29	1.07	3.09	3.52	2.56	2.40	4.77
1982	5.36	5.57	4.84	3.52	2.35	1.21	1.00	3.18	3.15	2.98	3.43	4.77
1983	4.82	5.26	5.06	3.35	2.58	-6.91	1.23	-0.56	2.99	3.25	4.00	4.90
1984	4.71	5.02	5.07	3.51	-1.84	-6.91	1.54	1.86	2.86	2.25	4.26	4.67
1985	4.53	5.13	4.99	3.41	0.80	-1.19	1.23	1.49	1.12	3.11	4.55	4.75
1986	5.01	4.87	4.98	3.38	1.26	-0.18	0.23	2.23	2.55	3.57	4.52	4.73
1987	5.16	4.92	4.94	3.31	1.70	0.27	-0.03	2.47	3.06	3.79	4.39	4.30
1988	5.14	5.23	4.88	3.20	2.10	0.57	0.85	2.51	3.38	3.82	4.60	4.50
1989	5.29	5.48	4.96	3.65	2.38	0.81	1.27	2.76	3.15	2.35	3.22	4.86
1990	4.65	4.12	3.53	3.32	2.41	3.86	-6.91	3.26	3.15	3.06	3.68	4.65
1991	4.96	4.94	4.69	3.56	1.93	0.84	0.60	1.88	2.66	3.36	3.96	4.60
1992	5.17	5.29	4.72	3.57	2.45	2.85	0.98	3.03	3.21	2.41	3.23	4.83
1993	4.96	4.12	3.23	4.46	-0.11	-6.91	-6.91	2.62	2.03	4.27	4.04	4.89
1994	5.21	4.93	4.88	4.56	1.81	0.34	-6.91	-6.91	1.39	0.88	4.47	4.65
1995	4.50	4.74	4.88	1.63	-6.91	-6.91	-6.91	-6.91	2.69	1.92	3.21	4.55
1996	5.37	4.96	3.93	3.03	0.18	-6.91	-0.69	2.73	0.83	2.21	4.30	4.91
1997	5.26	5.28	5.02	4.44	0.26	-6.91	-6.91	3.16	3.87	3.12	4.23	3.80
1998	5.19	4.93	4.35	3.22	-6.91	1.34	-6.91	0.64	-6.91	3.55	3.94	3.23
1999	4.69	4.90	5.19	4.43	2.23	-6.91	-6.91	1.57	3.06	4.50	2.12	4.64
2000	4.97	5.25	4.32	2.87	1.84	-6.91	-6.91	1.34	2.15	4.29	2.23	4.68
2001	5.89	5.44	5.02	4.28	1.69	-6.91	0.18	2.35	0.64	3.46	3.54	4.25
2002	4.35	5.08	4.67	4.22	3.05	2.16	2.52	1.92	2.27	4.35	4.26	4.59
2003	4.92	4.37	4.94	3.15	2.65	1.31	-6.91	0.47	3.00	2.21	3.56	4.57
2004	5.21	4.90	4.50	3.64	-6.91	0.10	2.38	3.15	2.98	1.22	2.47	3.42
2005	4.48	5.39	4.14	3.97	-6.91	-6.91	-6.91	-6.91	1.70	3.10	4.27	4.74
2006	5.39	4.53	4.69	3.42	0.18	-6.91	-6.91	0.59	3.35	3.13	4.14	4.64
2007	4.72	4.61	5.41	4.28	2.43	-6.91	0.92	1.90	3.11	3.43	4.35	4.73
2008	5.44	4.63	4.25	-6.91	1.70	-6.91	-6.91	0.18	0.18	3.33	1.41	5.04
2009	4.60	4.92	4.69	3.51	0.41	-6.91	1.10	-6.91	1.41	2.09	4.46	4.91
2010	4.76	5.16	4.35	3.23	2.77	-6.91	0.59	-6.91	-6.91	3.19	3.57	4.66
2011	4.43	5.25	4.49	3.73	1.65	-6.91	1.44	1.88	2.66	3.36	3.96	4.60
$\sum \ln(x)$	232.74	235.87	223.23	138.75	19.47	-164.26	-117.76	-20.19	67.12	124.97	174.90	217.94
$\sum \ln(x)/N$	4.85	4.91	4.65	2.89	0.41	-3.42	-2.45	-0.42	1.40	2.60	3.64	4.54
$\ln(\bar{x})$	5.00	5.01	4.75	3.55	1.96	0.92	0.70	2.06	2.75	3.32	3.98	4.63
A	0.15	0.10	0.10	0.66	1.55	4.34	3.16	2.48	1.35	0.72	0.34	0.09
α	3.57	5.22	5.32	0.90	0.44	0.21	0.26	0.31	0.49	0.84	1.62	5.98
β	41.35	28.77	21.67	38.43	15.98	12.06	7.77	25.40	31.67	33.04	33.05	17.07