

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO**

**FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA**



**DETERMINACION DE LAS FRECUENCIAS DE SEQUIAS EN LA SUB  
CUENCA DEL RIO HUENQUE CON FINES DE PLANEAMIENTO DE LOS  
RECURSOS HIDRICOS PARA USO EN ACTIVIDADES AGROPECUARIAS**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**ARMANDO LEON TICONA AGUILAR**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRICOLA**

**PUNO – PERÚ**

**2017**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO**

**FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA**

**DETERMINACION DE LAS FRECUENCIAS DE SEQUIAS EN LA SUB  
CUENCA DEL RIO HUENQUE CON FINES DE PLANEAMIENTO DE LOS  
RECURSOS HIDRICOS PARA USO EN ACTIVIDADES AGROPECUARIAS**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**ARMANDO LEON TICONA AGUILAR**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRICOLA**



**APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:**

**PRESIDENTE:**



M.Sc. OSCAR RAÚL MAMANI LUQUE

**PRIMER MIEMBRO:**

Ing. RICARDO LUIS BARDALES VASSI

**SEGUNDO MIEMBRO:**



Ing. PERCY ARTURO GINEZ CHOQUE

**DIRECTOR DE TESIS:**



M.Sc. ROBERTO ALFARO ALEJO

**ÁREA : Ingeniería y Tecnología.**

**TEMA : Estudios Hidrológicos.**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Recursos Hídricos.**

Fecha de sustentación 16 de Octubre del 2017

## DEDICATORIA

A la Universidad Nacional del Altiplano Puno, por haberme cobijado en sus claustros de la Facultad de Ingeniería Agrícola.

A mis estimados hermanos Luis y Walter, que siempre estuvieron brindándome su apoyo moral y perseverancia, en todo momento de mi formación profesional, para poder alcanzar este logro.

A mi Abuela, que siempre me brindaba su apoyo incondicional en los momentos más difíciles de mi vida y que me guiaba con sus sabios consejos; ahora soy, gracias a ella y se lo dedico por su preocupación y esfuerzo.

A mis padres quienes de una u otra forma me apoyaron, para culminar mis estudios superiores universitarios y así también a mis amigos de la Universidad del Altiplano Puno.

## AGRADECIMIENTOS

Ante todo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno por haberme dado la oportunidad de estudiar en la Facultad de Ingeniería Agrícola y así para lograr el propósito alcanzado.

A mi abuela, a mis padres, a mis hermanos mayores, que me dieron su apoyo incondicional durante los años de mi formación profesional, estuvieron siempre en las buenas y en las malas.

A todos y a cada uno de los docentes que me brindaron sus enseñanzas en la escuela profesional de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, que gracias a ellos logramos desarrollar este proyecto.

A los miembros del jurado revisor, dictaminador y evaluador: M.Sc. Oscar Raúl Mamani Luque, Ing. Ricardo Luis Bardales Vassi, Ing. Percy Arturo Ginez Choque y así también al Director de Tesis M.Sc. Roberto Alfaro Alejo por sus valiosos aportes realizados en el presente trabajo de investigación.

A nuestros buenos amigos y compañeros de la Facultad de Ingeniería Agrícola, y otras Facultades de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, que nos motivaron siempre a seguir adelante, hasta lograr los sueños anhelados en el estudio, durante muchos años.

## ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>i</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>ii</b>
<b>ÍNDICE GENERAL .....</b>	<b>iii</b>
<b>INDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>vi</b>
<b>INDICE DE TABLAS .....</b>	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE ACRÓNIMOS.....</b>	<b>x</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xii</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3. ANTECEDENTES.....	4
1.4. OBJETIVOS.....	7
1.4.1. Objetivo general.....	7
1.4.2. Objetivos específicos.....	7
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>8</b>
2.1. LAS SEQUÍAS.....	8
2.2. CLASES DE SEQUIA.....	12
2.2.1. Sequía meteorológica.....	12
2.2.2. Sequía agrícola.....	13
2.2.3. Sequía hidrológica.....	13
2.2.4. Sequía socioeconómica.....	14
2.3. MÉTODOS PARA CARACTERIZAR LAS SEQUÍAS.....	15
2.3.1. Porcentaje de la precipitación media.....	16
2.3.2. Cuantiles (quintiles, deciles y percentiles).....	17
2.3.3. Desviación estandarizada de precipitación.....	18
2.3.4. Índice de Severidad de la Sequía de Palmer (PDSI, Palmer Drought Severity Index).....	20
2.4. MODELOS MATEMÁTICOS EN HIDROLOGÍA.....	21
2.5. DEFINICIONES DE PARÁMETROS ESTADÍSTICOS.....	24

2.6. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD PARA VARIABLES HIDROLÓGICAS.....	25
2.7. PRECIPITACIÓN.....	26
2.8. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA.....	29
2.9. CUENCA HIDROGRÁFICA.....	30
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>33</b>
3.1. MATERIALES.....	33
3.1.1. Información cartográfica.....	33
3.1.2. Información pluviométrica.....	33
3.1.3. Equipos y materiales para el procesamiento.....	33
3.2. UBICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE INVESTIGACIÓN..	34
3.2.1. Ubicación del área en estudio.....	34
3.2.1.1. Ubicación Geográfica: .....	34
3.2.1.2. Ubicación Política: .....	34
3.2.1.3. Ubicación Hidrográfica:.....	35
3.2.2. CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS Y CLIMATOLÓGICAS....	39
3.2.2.1. Fisiografía.....	39
3.2.2.2. Climatología.....	39
3.2.2.3. Temperatura.....	40
3.2.2.4. Humedad relativa.....	40
3.2.2.5. Precipitaciones.....	40
3.2.2.6. Ecología.....	40
3.3. MÉTODOS.....	41
3.3.1. Análisis de consistencia de la información de precipitación.....	41
3.3.1.1. Análisis visual de hidrogramas de precipitación.....	41
3.3.1.2. Análisis de doble masa.....	42
3.3.1.3. Análisis estadístico.....	43
3.3.1.4. Consistencia de la media.....	43
3.3.1.5. Consistencia de la desviación estándar.....	46
3.3.1.6. Corrección de la información.....	47
3.3.2. Índice de precipitación estandarizada (IPE).....	48
3.3.3. Frecuencia de ocurrencia de eventos de sequías extremas.....	52
3.4. PROPUESTA DE MITIGACIÓN DE SEQUÍAS.....	52

<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>53</b>
4.1. DEL ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA PRECIPITACIÓN. ....	53
4.1.1. Análisis visual de hidrogramas de precipitación.....	54
4.1.2. Análisis de doble masa.....	62
4.1.3. Análisis estadístico. ....	71
4.2. DE LA ESTIMACION DEL INDICE DE PRECIPITACION ESTANDARIZADA. ....	72
4.2.1. De la Estimación de los parámetros de la distribución Gamma. ...	72
4.2.2. De la estimación del Índice de Precipitación Estandarizada.....	73
4.2.3. De la frecuencia de ocurrencia de eventos de sequía meteorológica.....	87
4.3. PROPUESTA PARA LA MITIGACIÓN DE LAS SEQUÍAS .....	101
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>105</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>107</b>
<b>VII. REFERENCIAS .....</b>	<b>108</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>113</b>
ANEXO A-1: Información de precipitación total mensual y anual –Estación Capazo.....	113
ANEXO A-2: Información de precipitación total mensual y anual – Estación Pizacoma. ....	114
ANEXO A-3: Información de precipitación total mensual y anual Estación Mazocruz.....	115
ANEXO A-4: Información de precipitación total mensual y anual – Estación Desaguadero.....	116
ANEXO A-5: Información de precipitación total mensual y anual – Estación Yunguyo. ....	117
ANEXO A-6: Información de precipitación total mensual y anual – Estación Juli.....	118
ANEXO A-7: Información de precipitación total mensual y anual – Estación llave. ....	119
ANEXO A-8: Información de precipitación total mensual y anual – Estación Laraqueri. ....	120

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1:	Ubicación geográfica y política de la sub cuenca Huenque..	36
FIGURA N° 2:	Ubicación de estaciones meteorológicas en zona de estudio de la cuenca llave y sub cuenca Huenque. ....	37
FIGURA N° 3:	Ubicación hidrográfica de la sub cuenca Huenque.....	38
FIGURA N° 4:	Hidrograma de precipitación total mensual (mm) – Estación Capazo –Periodo (1964 – 2010).....	55
FIGURA N° 5:	Hidrograma de precipitación total mensual (mm) – Estación Pizacoma – Periodo (1964 – 2010). ....	56
FIGURA N° 6:	Hidrograma de precipitación total mensual (mm) – Estación Mazo Cruz – Periodo (1964 – 2010).....	57
FIGURA N° 7:	Hidrograma de precipitación total mensual (mm) – Estación Desaguadero –Periodo (1964 – 2010).....	58
FIGURA N° 8:	Hidrograma de precipitación total mensual (mm) – Estación Yunguyo – Periodo (1964 – 2010).....	59
FIGURA N° 9:	Hidrograma de precipitación total mensual (mm) – Estación Juli –Periodo (1964 – 2010).....	60
FIGURA N° 10:	Hidrograma de precipitación total mensual (mm) – Estación llave –Periodo (1964 – 2010).....	61
FIGURA N° 11:	Hidrograma de precipitación total mensual (mm) – Estación Laraqueri –Periodo (1964 –2010).....	62
FIGURA N° 12:	Líneas de doble masa de precipitación total anual de las estaciones Capazo, Pizacoma y Mazo Cruz. ....	63
FIGURA N° 13:	Líneas de doble masa de precipitación total anual de las estaciones Desaguadero, Yunguyo y Juli. ....	66
FIGURA N° 14:	Líneas de doble masa de precipitación total anual de las estaciones llave y Laraqueri. ....	69
FIGURA N° 15:	Serie de tiempo de índice de precipitación estandarizada - Estación Capazo –Periodo 1964 al 2010.....	83
FIGURA N° 16:	Serie de tiempo de índice de precipitación estandarizada - Estación Pizacoma –Periodo 1964 al 2010 .....	83

FIGURA N° 17: Serie de tiempo de índice de precipitación estandarizada - Estación Mazo Cruz –Periodo 1964 al 2010.....	84
FIGURA N° 18: Serie de tiempo de índice de precipitación estandarizada - Estación Desaguadero –Periodo 1964 al 2010 .....	84
FIGURA N° 19: Serie de tiempo de índice de precipitación estandarizada - Estación Yunguyo –Periodo 1964 al 2010.....	85
FIGURA N° 20: Serie de tiempo de índice de precipitación estandarizada - Estación Juli –Periodo 1964 al 2010.....	85
FIGURA N° 21: Serie de tiempo de índice de precipitación estandarizada - Estación llave –Periodo 1964 al 2010 .....	86
FIGURA N° 22: Serie de tiempo de índice de precipitación estandarizada - Estación Laraqueri – Periodo 1964 al 2010.....	86
FIGURA N° 23: Frecuencia de eventos de sequía según categorías de IPE en la estación Capazo. ....	88
FIGURA N° 24: Frecuencia de eventos de sequía según categorías de IPE en la Estación Pizacoma. ....	89
FIGURA N° 25: Frecuencia de eventos de sequía según categorías de IPE en la estación Mazo Cruz. ....	91
FIGURA N° 26: Frecuencia de eventos de sequía según categorías de IPE en la Estación Desaguadero.....	92
FIGURA N° 27: Frecuencia de eventos de sequía según categorías de IPE en la estación Yunguyo. ....	94
FIGURA N° 28: Frecuencia de eventos de sequía según categorías de IPE en la Estación Juli.....	95
FIGURA N° 29: Frecuencia de eventos de sequía según categorías de IPE en la Estación llave.....	97
FIGURA N° 30: Frecuencia de eventos de sequía según categorías de IPE en la Estación Laraqueri. ....	99
FIGURA N° 31: Frecuencia de eventos de sequía promedio según categorías de IPE.....	101
FIGURA N° 32: Esquema hidráulico del sistema integral Huenque. (Fuente: GRP, 2013).....	104

## INDICE DE TABLAS

TABLA N° 1: Valores de IPE, probabilidad e interpretación.....	52
TABLA N° 2: Análisis de doble masa de precipitación total anual de las estaciones Capazo, Pizacoma y Mazo Cruz.....	64
TABLA N° 3: Análisis de doble masa de precipitación total anual de las estaciones Desaguadero, Yunguyo y Juli.....	67
TABLA N° 4: Análisis de doble masa de precipitación total anual de las estaciones llave y Laraqueri.....	70
TABLA N° 5: Resultados de las pruebas estadísticas T y F.....	71
TABLA N° 6: Resultados de los parámetros de la distribución gamma.....	73
TABLA N° 7: Índice de precipitación estandarizada – Estación Capazo.....	75
TABLA N° 8: Índice de precipitación estandarizada – Estación Pizacoma ....	76
TABLA N° 9: Índice de precipitación estandarizada – Estación Mazo Cruz...	77
TABLA N° 10: Índice de precipitación estandarizada–Estación Desaguadero.	78
TABLA N° 11: Índice de precipitación estandarizada – Estación Yunguyo.....	79
TABLA N° 12: Índice de precipitación estandarizada – Estación Juli.....	80
TABLA N° 13: Índice de precipitación estandarizada – Estación llave.....	81
TABLA N° 14: Índice de precipitación estandarizada – Estación Laraqueri.....	82
TABLA N° 15: Frecuencia de eventos de sequía según categorías de IPE, estación Capazo.....	87
TABLA N° 16: Frecuencia de eventos de sequía según categorías de IPE, Estación Pizacoma.....	89
TABLA N° 17: Frecuencia de eventos de sequía según categorías de IPE, Estación Mazo Cruz.....	90
TABLA N° 18: Frecuencia de eventos de sequía según categorías de IPE, Estación Desaguadero.....	92
TABLA N° 19: Frecuencia de eventos de sequía según categorías de IPE, Estación Yunguyo.....	93
TABLA N° 20: Frecuencia de eventos de sequía según categorías de IPE, Estación Juli.....	95
TABLA N° 21: Frecuencia de eventos de sequía según categorías de IPE, Estación llave.....	96

TABLA N° 22: Frecuencia de eventos de sequía según categorías de IPE, Estación Laraqueri. ....	98
TABLA N° 23: Resumen de frecuencia de ocurrencia de eventos según los rangos de IPE en las 08 estaciones – Periodo 1964 a 2010. .	100
TABLA N° 24: Proyectos de embalses en el ámbito de la sub Cuenca Huenque .....	103
TABLA N° 25: Proyectos de riego en el ámbito de la sub Cuenca Huenque.	103

## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>IPE</b>	: Índice de precipitación estandarizada.
<b>WMO</b>	: Organización meteorológica mundial.
<b>NDMC</b>	: Centro nacional de mitigación de sequias.
<b>CEIS</b>	: Centro de investigación sobre sequias.
<b>PDSI</b>	: Índice de severidad de sequias de Palmer.
<b>IGM</b>	: Instituto geográfico militar.
<b>SENAMHI</b>	: Servicio Nacional de meteorología e hidrología.
<b>GRP</b>	: Gobierno Regional Puno
<b>SPI</b>	: Standardized Precipitation Index
<b>PELT</b>	: Proyecto Especial Lago Titicaca

## RESUMEN

La sequía es considerada por muchos investigadores como el problema más complejo pero menos conocido de todos los peligros naturales que afectan a mucha gente, entre ellas se puede mencionar pérdida de vidas humanas a causa de desastres naturales, enfermedades y falta de agua, pérdida de las cosechas en la agricultura y consecuentemente conlleva a pérdidas económicas en diferentes sectores. Este trabajo de investigación tiene como objetivo determinar las sequías meteorológicas, mediante el método de Índice de Precipitación Estandarizada (IPE) en el ámbito de la sub cuenca del río Huenque y asegurar el agua proponiendo la construcción de obras hidráulicas para riego, necesarias en las actividades agrícolas y pecuarias en el ámbito de la sub cuenca del río Huenque. La metodología a utilizar fue lo siguiente: a) Análisis de consistencia de la información de precipitación total mensual, análisis visual de hidrogramas, análisis de doble masa, análisis estadístico, análisis de índices de precipitación estandarizada mensual de acuerdo al rango de valores de IPE, propuesto por McKee y b) Proponer alternativas de mitigación a la ocurrencia de sequías; Los resultados del estudio nos indican que en promedio para las 08 estaciones, considerando un periodo de 48 años (1964 al 2010) hubieron 564 eventos analizados, el 1.3 % representa eventos extremadamente húmedos, el 4.1 % eventos muy húmedos, 9.7 % eventos moderadamente húmedos, 67.1 % eventos normales, 9.8 % eventos ligeramente seco, 4.9 % eventos de sequías moderadas, 3.1 % eventos de sequías severas y el 3.1 % eventos de sequías extremas. Para mitigar las sequías se propone la construcción de 07 presas y 09 sistemas de riego en el ámbito de la sub cuenca del río Huenque.

**Palabras Clave:** Cuenca, McKee, Huenque, planeamiento, precipitación, sequía

## ABSTRACT

The drought is considered by many researchers to be the most complex but least known problem for all natural hazards affecting many people, including loss of life due to natural disasters, disease and lack of water, harvests in agriculture and consequently leads to economic losses in different sectors. The objective of the research work was analyze the meteorological droughts by means of the Standardized Precipitation Index (ISP) method in the sub-basin of the river Huenque and to assure water by proposing the construction of hydraulic works for irrigation necessary in agricultural activities and in the sub-basin of the Huenque River. The methodology to be used was as follows: a) Consistency analysis of monthly total rainfall information, visual analysis of hydrographs, double mass analysis, statistical analysis, analysis of monthly standardized precipitation indices according to the range of IPE values, proposed by Mc Kee and b) Propose mitigation alternatives to the occurrence of droughts; The results of the study indicated that in average for the 08 stations, considering a period of 48 years (1964 to 2010) there were 564 events analyzed, 1.3% represent extremely humid events, 4.1% humid events, 9.7% moderately wet events, 67.1% normal events, 9.8% slightly dry events, 4.9% moderate drought events, 3.1% severe drought events and 3.1% extreme drought events. To mitigate droughts, it is proposed to build 07 dams and 09 irrigation systems in the sub-basin of the river Huenque.

**Keywords:** Watershed, McKee, huenque, planning, precipitation, drought

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La sequía es un elemento normal del clima y su ocurrencia es inevitable; sin embargo, queda mucha confusión dentro de la comunidad científica y de tomadores de decisión acerca de sus características. La sequía es considerada por muchos investigadores como el problema más complejo pero menos conocido de todos los peligros naturales que afectan a mucha gente, entre ellas se puede mencionar pérdida de vidas humanas a causa de desastres naturales, enfermedades y falta de agua, pérdida de las cosechas en la agricultura y consecuentemente conlleva a pérdidas económicas en diferentes sectores. (Mishra & Singh, 2010).

Muchos fenómenos naturales se presentan en el mundo, en el Perú y en la Región Puno, los mismos pueden ser catalogados como eventos extremos; uno de estos fenómenos es la sequía, considerada erróneamente como fenómeno poco frecuente y aleatorio. 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.

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 meteorología que es la precipitación total mensual; este método también nos permite describir las sequías en forma temporal y espacial. (Mc Kee et al, 1993)

El problema de la sequía en la Región Puno, constituye uno de los aspectos más críticos para planificar el uso óptimo de los recursos hídricos, debido a que no se conoce ni en el tiempo ni en el espacio la ocurrencia de este fenómeno natural. Se deduce que las sequías son consecuencias de las alteraciones y anomalías del clima lo que motiva el déficit de precipitaciones pluviales especialmente es las vertientes andinas occidentales a 2200 m.s.n.m., en los valles interandinos y en la cuenca del Lago Titicaca 3820 m.s.n.m., nos referimos a estos lugares porque allí se ha producido pérdida de vidas humanas y económicas; Sin embargo las sequías se presentan en casi todas las zonas climáticas, aun cuando las características de cada región son diferentes. Las sequías se desarrollan en un periodo largo de tiempo (Meses, Años) por diferentes causas que dependen de las características climáticas propias de cada región, inclusive del uso del agua, del uso del suelo y de las actividades agrícolas que se desarrollan.

En zonas con limitaciones o excesos hídricos y alta variabilidad climática, los productores enfrentan diariamente el reto de producir al menos para la subsistencia de sus familias; el cambio climático agudiza aún más esta situación. Para sobrevivir en este ambiente socio ambiental y biofísico, recurren a diferentes estrategias, prácticas y tecnologías. Así los productores se adaptan por ejemplo, con el ajuste de las fechas de siembra, empleo de

variedades con ciclos diferenciados, uso de cultivos resistentes o tolerantes, riego, y manejo de cultivos.

La importancia de la investigación radica en la caracterización de las sequías meteorológicas en el tiempo y en el espacio de la sub cuenca del río Huenque, con la finalidad de formular una alternativa para la mitigación a los efectos adversos de las sequías en las actividades agropecuarias, los mismos que pueden ser adaptados por los agricultores de la región Puno.

Las preguntas a responder en la investigación son:

¿Es posible establecer un conjunto de teorías e indicadores que permitan determinar la frecuencia de las sequías en la sub cuenca del río Huenque con fines de planeamiento del uso de los recursos hídricos para las actividades agropecuarias?

¿Qué obras hidráulicas son necesarias para asegurar la disponibilidad de agua para las actividades agrícolas y pecuarias en la sub cuenca del río Huenque?

## **1.2. JUSTIFICACIÓN.**

El abastecimiento limitado de agua para las actividades agropecuarias y una demanda creciente de las mismas, tanto en el espacio como en el tiempo hacen que el problema de la sequía requiera mayor atención e investigación.

Las sequías son consecuencia de las alteraciones y anomalías del clima lo que motiva el déficit de precipitaciones especialmente en las vertientes andinas occidentales en los valles interandinos y en la cuenca del Lago

Titicaca, ocasionando pérdidas de vidas humanas, productivas y económicas, trayendo como consecuencia el crecimiento de la pobreza de los pobladores de la zona en estudio.

El análisis temporal y espacial de la sequía mediante los índices de precipitación estandarizada (IPE), nos permite identificar y describir su comportamiento en el tiempo y espacio, como también nos permite hacer un plan de manejo de agua para las actividades agropecuarias en forma óptima.

En el trabajo de investigación se pretende mitigar las sequías que se presentan con cierta frecuencia, teniendo en cuenta que históricamente la sequía de gran magnitud que se presentó fue en los años 1939 al 1957, fueron 11 años en donde las actividades agropecuarias fueron afectadas severamente; así mismo, esta sequía produjo una gran disminución en el nivel del lago Titicaca, hasta llegar a la cota de 3804 m.s.n.m., alterando el ecosistema del lago.

### **1.3. ANTECEDENTES.**

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, Garreaud et al (2003).

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

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

McKee et al. (1993), introduce un índice alternativo al popular PSDI en Colorado, Estado Unidos, al cual se le denominó índice de precipitación estandarizada (IPE). En él los registros históricos de precipitación total mensual en agrupaciones mensuales y estacionales, son ajustados a una función de distribución de probabilidad Gamma Incompleta que posteriormente se normaliza empleando función normal inversa (denominada Gaussiana). En los

últimos años el IPE a tomando gran popularidad a nivel mundial puesto que solo requiere disponer de series pluviométricas anuales largas y confiables.

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

Salas et al. (2005) caracterizan la severidad y el riesgo de sequía en el río Poudre, en Colorado (Estados Unidos), siguiendo una metodología análoga a la empleada en el análisis de crecientes. Partieron de 119 años de registros de escurrimiento anuales, que completaron con data generada sintéticamente por medio de un modelo estocástico de corta duración, seguido determinaron el periodo de retorno y el riesgo de ocurrencia de sequías. Adicionalmente, usaron un algoritmo matemático para determinar la distribución de los eventos secos en función del periodo de retorno.

Según WMO (2006), el índice de precipitación estandarizada (IPE) se ha convertido en el índice para detección y seguimiento de sequía más popular a nivel internacional. Esto se debe en parte, a que solo requiere registros de precipitación mensual, los cuales suelen ser las series climatológicas más largas, y algunas veces, las únicas disponibles en muchos países.

Quispe (2007), realizó un análisis espacial y temporal de las sequías en la cuenca del río Ramis, empleando el método de Índice de Precipitación Estandarizada, y concluye que se ha detectado tres eventos de sequías temporales más notorias, llegando a valores de IPE -3, que según la escala de

índice de precipitación estandarizada; los mismos que tienen una calificación de sequías extremas.

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

#### **1.4. OBJETIVOS.**

##### **1.4.1. Objetivo general.**

Determinar la frecuencia de las sequías a través del método de índice de precipitación estandarizada en la sub cuenca del río Huenque, con fines de planeamiento de los recursos hídricos para uso de las actividades agropecuarias.

##### **1.4.2. Objetivos específicos.**

- a. Determinar las sequías meteorológicas mediante el método de Índice de Precipitación Estandarizada (IPE) en el ámbito de la sub cuenca del río Huenque.
- b. Proponer alternativas de mitigación de las sequías con fines de asegurar el agua para las actividades agrícolas y pecuarias en la sub cuenca del río Huenque.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. LAS SEQUÍAS.

Existe un consenso general en distinguir entre el concepto de aridez y el de sequía; la aridez está referida a una condición climática de carácter permanente, mientras que la sequía es caracterizada por una “severa” reducción de la disponibilidad de agua comparada con los valores normales que se presentan sobre un considerable periodo de tiempo y sobre una determinada región. Estas consideraciones producen que en la definición de sequía exista mucha subjetividad. (Tsakiris y Vangelis, 2008).

Las sequías son percibidas como eventos extremos del sistema climático; sin embargo, deberían ser consideradas como sucesos de ocurrencia normal puesto que estos eventos han ocurrido muchas veces y continuarán presentándose, además que debido al continuo incremento de las necesidades de agua a nivel mundial serán más continuas en el futuro con adversas consecuencias en la sociedad. Por este motivo el manejo de los impactos de las sequías deberían ser abordados utilizando análisis de riesgo en vez de un manejo de la crisis, procedimiento que es la práctica actual de muchos países, Ponce et al (2000).

Las sequías son fenómenos naturales, recurrentes, de un comportamiento complejo, que han afectado a las civilizaciones a través de la historia. Influyen sobre los hábitats naturales, ecosistemas y muchos sectores económicos y sociales. La gran variedad de sectores que son afectados por las sequías, así como el amplio rango de demandas del recurso hacen que

sea muy complicado realizar una única definición de sequía. Sin embargo, existe un consenso en definir a las “sequías” como una condición de insuficiencia de la cantidad de recursos hídricos, causados por un déficit de precipitaciones sobre un determinado periodo de tiempo, Guevara y Cartaya (2004).

La disponibilidad del recurso hídrico incluye el contenido de humedad del suelo, el agua subterránea, la nieve, la escorrentía superficial y el almacenamiento en reservorios. Los impactos de las sequías pueden provocar que la demanda de agua exceda al suministro de las fuentes de recurso. Existe una gran variabilidad temporal de los procesos de transferencia de la precipitación hasta que el recurso hídrico esté disponible en cada una de las fuentes. Por el lado de la demanda, los usos del agua se manejan en diversas escalas temporales; en consecuencia, los impactos sobre los déficits de agua son el resultado de una compleja interacción entre las fuentes y los usos del agua, (McKee et al, 1993).

Sheffield & Wood (2011), mencionan que no existe una única definición para el concepto de sequía. La sequía meteorológica es entendida como la ausencia de lluvias o precipitaciones por debajo de lo normal, por un prolongado periodo de tiempo. La sequía hidrológica es un periodo extendido de bajos niveles de flujos en los ríos y de almacenamientos en fuentes superficiales y subterráneas. La sequía agrícola se presenta cuando el contenido de humedad del suelo es insuficiente para soportar la vegetación. La sequía ecológica se visualiza como un periodo en el cual la disminución los niveles en los recursos hídricos causa estrés en los ecosistemas afectando

adversamente la vida de animales y plantas. La sequía también es estudiada en un contexto de las ciencias económicas, políticas y sociales, delineando las consecuencias e impactos así como los producidos por las políticas de manejo de sequías.

Estos fenómenos complejos han sido definidos y estudiados de varias formas, Yevjevich (1972) desarrolló el concepto de “runs” para definir de forma objetiva a las sequías. Un “run” negativo se produce en el tiempo  $t$ , cuando la oferta de agua  $Y_t$  está por debajo de la demanda de agua o de un nivel de truncación  $Y_o$ , y la longitud  $L$  del run se define como los  $L$  consecutivos runs negativos hasta que un run positivo ocurre. El valor de  $L$  es llamado también duración de la sequía. Para definir las sequías mediante este procedimiento es necesario previamente establecer la variable que va a representar la oferta de agua, como puede ser el porcentaje de la precipitación, la demanda de agua o el nivel de truncación de la demanda, el periodo de tiempo usado en la discretización de la serie temporal y las aproximaciones para considerar los efectos regionales.

Villalobos (2007) indica que los efectos de las sequías generalmente se acumulan de forma gradual durante periodos de tiempo extensos, pudiendo durar incluso años después de que el evento ha terminado dificultando la determinación del inicio y el fin del evento. Los impactos de las sequías son de carácter no estructural y se producen sobre áreas extensas, en comparación con los impactos causados por otros desastres naturales, por lo que es complicado cuantificar sus efectos. Sin embargo, al comparar las sequías con otros desastres naturales, esta es la que presenta los impactos más

importantes con respecto a la duración del evento, grado de severidad, extensión superficial, pérdidas de vidas, pérdidas económicas, efectos sociales y tiempo necesario para su desarrollo o recuperación.

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 (2005) 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 (1967) 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 determinando, en el cual la demanda de agua para varias actividades humanas no es satisfecha.

## 2.2. CLASES DE SEQUIA

### 2.2.1. 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. (NDMC, 2016)

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

### **2.2.2. Sequía agrícola.**

Cadena (2005), afirma que por ser el primer sector económico que resulta afectado por la escasez de precipitaciones, la agricultura adquiere una especial relevancia en relación con la sequía. Así, se produce una sequía agrícola cuando no hay suficiente humedad en el suelo para permitir el desarrollo de un determinado cultivo en cualquiera de sus fases de crecimiento. 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.

### **2.2.3. Sequía hidrológica**

Valiente (2001) indica que la sequía hidrológica 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.

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.

#### **2.2.4. Sequía socioeconómica.**

NDMC (2016), menciona que una sequía socioeconómica 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.

### **2.3. MÉTODOS PARA CARACTERIZAR LAS SEQUÍAS.**

Peters (2003) define siete parámetros para caracterizar las sequías, uno independiente (magnitud), cuatro correspondientes al componente temporal (duración, frecuencia, velocidad de implantación y espaciado 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 es igual a la severidad por la 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.

### **2.3.1. Porcentaje de la precipitación media.**

Este cálculo simple 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.

### **2.3.2. 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.

### 2.3.3. Desviación estandarizada de precipitación

Según Lloyd Hughes & Saunders (2002), mencionan 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).

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).

#### 2.3.4. Índice de Severidad de la Sequía de Palmer (PDSI, Palmer Drought Severity Index)

El índice de severidad de la sequía de Palmer (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 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.

El PDSI ha sido escasamente utilizado fuera de Estados Unidos, y ofrece resultados poco satisfactorios en regiones donde la variabilidad pluviométrica es elevada. El valor del índice varía entre -6,00 y + 6.00, estableciendo situación de sequía en un 36 % de las situaciones, condiciones normales en un 30 %, y períodos húmedos en el 34 % restante.

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.

#### **2.4. MODELOS MATEMÁTICOS EN HIDROLOGÍA.**

Según Chow et al (1994): "Un modelo matemático es una formulación matemática que simula un fenómeno hidrológico, el cual es considerado como un proceso o como un sistema".

Un modelo hidrológico provee una forma de transferir conocimiento de un área estudiado o medido a otra área donde se requiere información y decisiones de orden hidrológico.

Según Clarke (1973), menciona que un modelo matemático es una representación simplificada de un sistema complejo, en el cual, el comportamiento del sistema está representado por una serie de ecuaciones y sentencias lógicas que expresan relaciones entre variables y parámetros.

Chavarri (2005), menciona que los modelos hidrológicos son representaciones simplificadas de los sistemas hidrológicos reales, a partir del cual podemos estudiar la relación causa-efecto de una cuenca a través de los datos de entrada y salida, con los cuales se logra un mejor entendimiento de los procesos físicos hidrológicos que tienen lugar dentro de la cuenca. Además nos permite simular y predecir el comportamiento hidrológico de los procesos físicos en la cuenca.

Según Aguirre (1992), existe una variedad de problemas hidrológicos, que requieren el uso de diferentes tipos de modelos matemáticos de simulación. Estos modelos pueden ser clasificados de acuerdo a diversos criterios tales como: la función, estructura, nivel de desagregación espacial, descripción del proceso hidrológico y nivel tecnológico.

Es importante la distinción entre los modelos que son construidos para proveer una predicción del comportamiento del sistema, de acuerdo a un determinado nivel de precisión, y aquellos modelos desarrollados por la teoría científica para proveer una visión al interior del modelo y explicar la naturaleza del sistema hidrológico. Esta distinción, divide el uso de modelos hidrológicos en dos diferentes categorías: modelos prescriptivos y modelos descriptivos:

Ponce (1989), menciona que en ingeniería hidrológica, existe cuatro tipos de modelos matemáticos: 1) Determinístico, 2) Probabilístico, 3) Conceptual y 4) Paramétrico. Un modelo conceptual es una representación simplificada del proceso físico, obtenida por las variaciones espacial y temporal, agregado, y descrito en términos de cualquiera de las ecuaciones diferenciales ordinarias o ecuaciones algebraicas. Un modelo paramétrico

representa procesos hidrológicos por medio de ecuaciones algebraicas, este contiene parámetros claves para ser determinados en forma empírica.

Chavarri (2005), menciona que los modelos matemáticos en hidrología se clasifican en :

- a. Modelo determinístico.- es aquel que tiende a establecer relaciones cuantitativas de causa-efecto, utilizando una relación directa para obtener una respuesta debida a un requerimiento, sea por medio de una ecuación empírica o por medio de un operador desarrollado a partir de criterios e hipótesis experimentales. Un modelo determinístico se utiliza en el caso que se disponga de poca información, caso frecuente de las obras de ingeniería hidráulica, en los cuales uno tiende a reconstruir indirectamente la evolución de los escurrimientos y flujos superficiales a partir del conocimiento de los eventos de lluvia diaria, de la cual se dispone generalmente de series temporales de datos.
- b. Modelos estadísticos,- se basan en los métodos y las técnicas estadísticas para hacer notar sus relaciones de entrada y salida, en concordancia con el interés secundario de los procesos físicos del sistema. El uso de los modelos estadísticos para una predicción, permite la explotación racional de la información disponible a corto y mediano plazo. Su uso es posible, cuando se dispone de series suficientemente grandes de información.
- c. Modelos probabilísticos.- utilizan la noción de frecuencia para analizar el comportamiento de un fenómeno hidrológico. La información utilizada para la calibración debe ser independiente del tiempo. Como la muestra

disponible para caracterizar la población y/o el proceso físico hidrológico es generalmente limitada, en la extrapolación de resultados se debe considerar un concepto de riesgo o error probable que el modelo debe cuantificar y considerar.

- d. Modelos estocásticos.- la información que se utiliza se trata como datos históricos a manera de secuencia cronológica. Este tipo de modelos se utiliza frecuentemente para la predicción a corto plazo y a largo plazo de series hidrológicas, pero es necesaria la comparación de las series observadas y simuladas.

## 2.5. DEFINICIONES DE PARÁMETROS ESTADÍSTICOS.

Según Chow et al (1994), 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 como son: la media, varianza, desviación estándar, coeficiente de asimetría.

El valor estimado de la muestra de la media está dado por la siguiente ecuación:

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

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

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

La desviación estándar  $\sigma$  es una medida de la variabilidad que tiene las mismas dimensiones de  $X$ . La cantidad de  $\sigma$  es la raíz cuadrada de la varianza y se estima por  $s$ , a medida que aumenta la desviación estándar, aumenta la dispersión de la información.

## **2.6. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD PARA VARIABLES HIDROLÓGICAS.**

Villon (2002), 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 2 parámetros.
- Distribución Pearson tipo III.
- Distribución Log-Pearson tipo III.
- Distribución Gumbel.
- Distribución Log Gumbel.

Para estimar los parámetros de las distribuciones teóricas tenemos los siguientes métodos: método gráfico, método de mínimos cuadrados, método de momentos y método de máxima verisimilitud. Los métodos de momentos y de máxima verisimilitud son los que tienen mayor aplicación en hidrología.

## 2.7. PRECIPITACIÓN.

Según Mejía (2006), La precipitación está constituida por toda el agua, que de una u otra forma, es depositada en la superficie terrestre, por la condensación del vapor de agua contenido en el aire atmosférico. La precipitación puede ser en forma líquida (lluvia, rocío), o en forma sólida (nieve, granizo). La forma más común, y la que mayor interés tiene en la ingeniería, es la lluvia que viene a ser la causa de los más importantes fenómenos hidrológicos y su cuantificación correcta es uno de los desafíos que el hidrólogo o el ingeniero enfrentan.

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.

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

Según Villon (2001) 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.

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.

La condensación se atribuye a una o más de las siguientes causas: (1) enfriamiento dinámico o adiabático; (2) mezcla de masas de aire de diferentes temperaturas; (3) enfriamiento por contacto; y (4) enfriamiento por radiación. Sin embargo, la causa más importante viene a ser el enfriamiento dinámico, la cual produce prácticamente toda la precipitación.

## 2.8. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA.

Villon (2001) menciona que, el hidrólogo o especialista que desea desarrollar un estudio hidrológico debe buscar la información de la cuenca en estudio en las instituciones encargadas de su recopilación, pero una vez obtenido ésta, una de las interrogantes que se debe hacer, ¿es confiable la información disponible?. La respuesta a esta pregunta, se obtiene realizando un análisis de consistencia de la información disponible mediante criterios físicos y métodos estadísticos que permitan identificar, evaluar y eliminar los posibles errores sistemáticos que han podido ocurrir, sea por causas naturales u ocasionadas por la intervención de la mano del hombre.

La no homogeneidad e inconsistencia, son los causales del cambio a que están expuestas las informaciones hidrológicas, por lo cual su estudio es de mucha importancia para determinar los errores sistemáticos que puedan afectarlas.

Inconsistencia es sinónimo de error sistemático y se presenta como saltos y tendencias, y no homogeneidad es definido como los cambios de datos vírgenes con el tiempo.

La no homogeneidad en una serie de tiempo hidrológico, se debe a factores humanos (tala indiscriminada de una cuenca, construcción de estructuras hidráulicas, etc.) o a factores naturales de gran significación, como los desastres naturales (inundaciones, derrumbes, etc.).

La inconsistencia de una serie de tiempo, está dada por la producción de errores sistemáticos (déficit de toma de datos, cambio de estación de registro, etc.). Esta inconsistencia y no homogeneidad se pone de manifiesto con la presencia de saltos y/o tendencias en las series hidrológicas afectando las características estadísticas de dichas series, tales como la media, desviación estándar y correlación serial.

De Piérola (1993) menciona que el análisis de consistencia de la información, es el proceso que consiste en la identificación o detección, descripción y remoción de la no homogeneidad e inconsistencia de una serie de tiempo hidrológica. Antes de utilizar la serie histórica para el moldeamiento es necesario efectuar el análisis de consistencia respectivo, a fin de obtener una serie confiable, es decir, homogénea y consistente.

El análisis de saltos de la información hidrológica, se realiza mediante los siguientes procesos:

- Análisis visual gráfico
- Análisis doble masa
- Análisis estadístico.

## **2.9. Cuenca Hidrográfica.**

Faustino (2006), define a la cuenca hidrográfica 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 CO<sup>2</sup>, 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.

Villon (2001), 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 *divertium 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 (2016). 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.

La cuenca hidrográfica es un ámbito geográfico natural donde ocurre el ciclo hidrológico; es el área drenada hacia un río, identificado por su topografía y delimitada por su divisoria de las aguas; en un sentido amplio incluye el agua, suelo, aire, la luz solar, 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.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. MATERIALES.

##### 3.1.1. Información cartográfica.

Los planos utilizados corresponden a sub cuenca del rio Huenque, cuenca del rio llave y Sistema Hídrico Titicaca-Desaguadero-Poopo y Salar de Coipasa escala de 1:100 000 los mismos que fueron proporcionados por el Proyecto Especial Lago Titicaca (PELT). Elaborados por el Instituto Geográfico Militar - IGM, el formato digital del plano base utilizado, está en el sistema de coordenadas UTM WGS84, proyectadas para la zona 18, que es donde se ubica la zona en estudio.

##### 3.1.2. Información pluviométrica.

La información meteorológica de precipitación, se obtuvo del Servicio Nacional de Meteorología (SENAMHI), se utilizó registros de precipitación total mensual y anual de las estaciones Capazo, Pizacoma, Mazo Cruz, Desaguadero, Yunguyo, Juli, llave y Laraqueri.

##### 3.1.3. Equipos y materiales para el procesamiento.

Los equipos y materiales utilizados en el procesamiento e impresión son:

- **Hardware:** Computadora, Impresora y accesorios.
- **Software:** Office 2013, Auto CAD v.13., Arc Gis v.4, HIDROESTA.
- Materiales de escritorio.

### 3.2. UBICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL AREA DE INVESTIGACIÓN.

#### 3.2.1. Ubicación del área en estudio.

La sub cuenca del río Huenque presenta la siguiente ubicación geográfica, política e hidrográfica:

##### 3.2.1.1. Ubicación Geográfica:

La ubicación geográfica de la sub cuenca del río Huenque es la siguiente:

- 70°22' y 69°27' de longitud oeste
- 15°50' y 17°08' de latitud sur
- Variación altitudinal de 3,825 a 5,800 msnm.

##### 3.2.1.2. Ubicación Política:

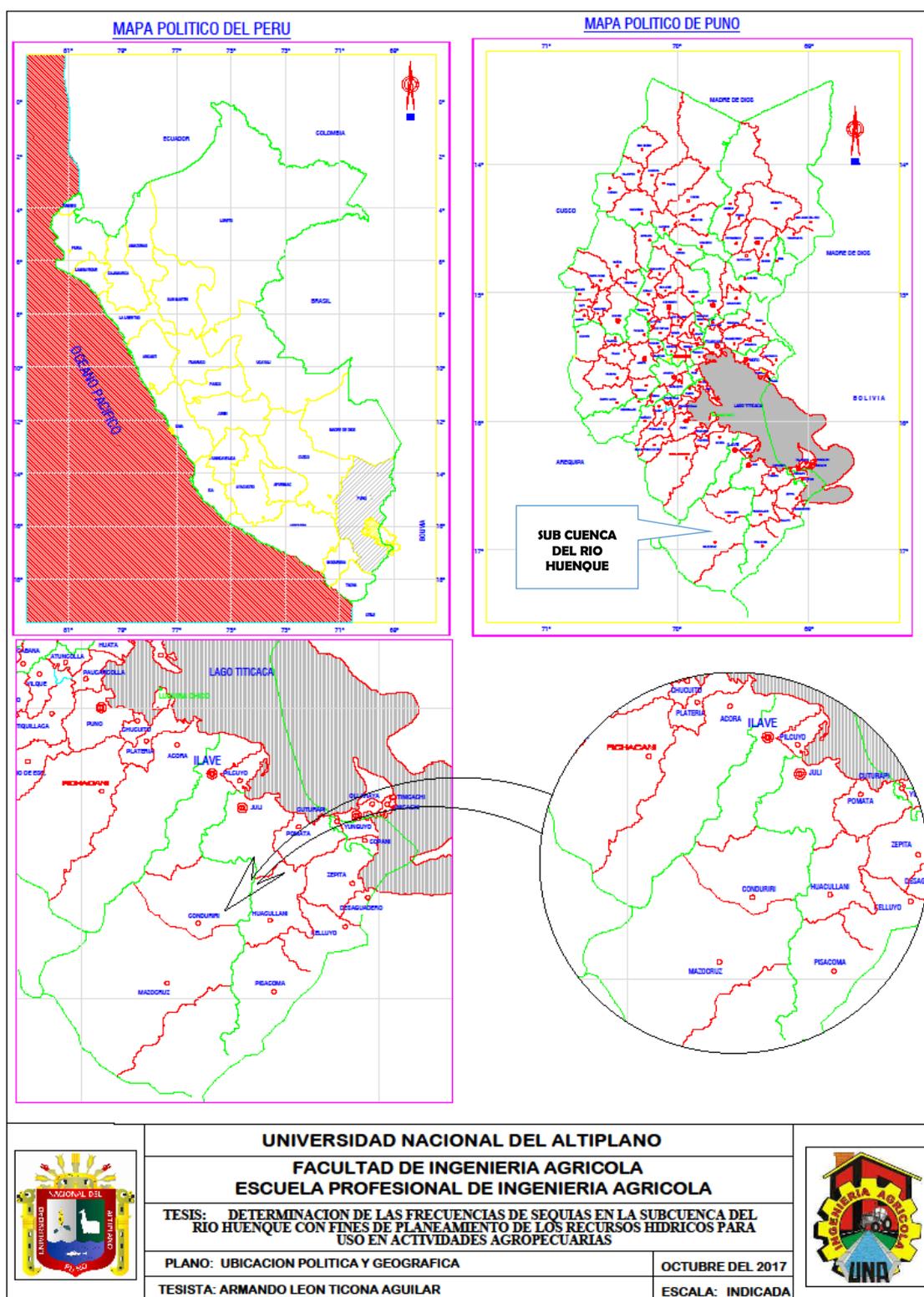
La sub cuenca del río Huenque, políticamente se encuentra en:

- **Región** : Puno.
- **Departamento** : Puno.
- **Provincias** : El Collao, Chucuito, Yunguyo y Puno
- **Distritos** : Ilave, Capazo, Desaguadero, Juli, Mazocruz, Pizacoma, Yunguyo y Pichacani.

### 3.2.1.3. Ubicación Hidrográfica:

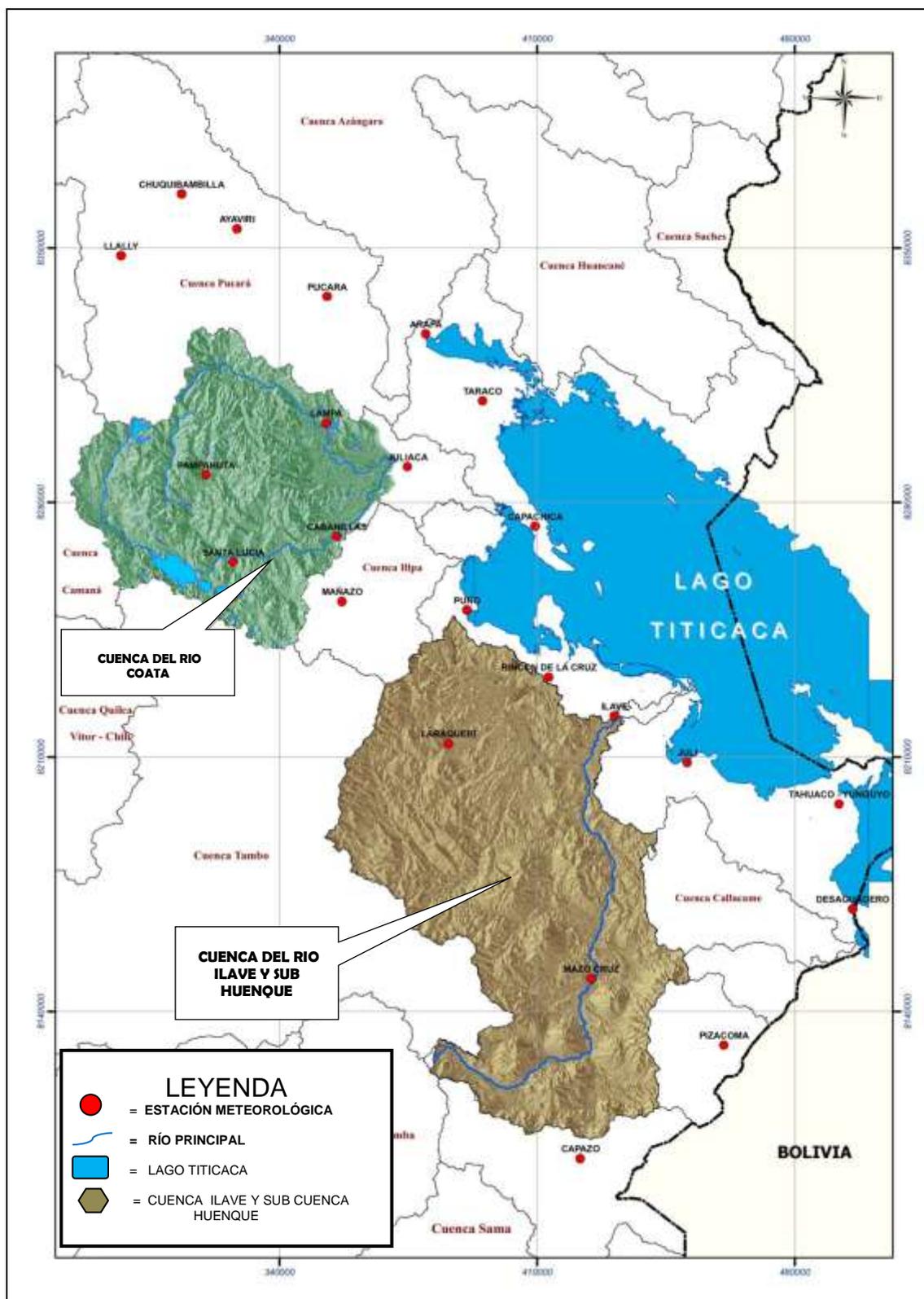
- **Sistema** : Titicaca–Desaguadero–Poopo–Salar de Coipasa (TDPS).
- **Cuenca endorreica** : Lago Titicaca.
- **Cuenca** : Río Ilave.
- **Sub cuenca** : Río Huenque.

**FIGURA N° 1:** Ubicación geográfica y política de la sub cuenca Huenque.



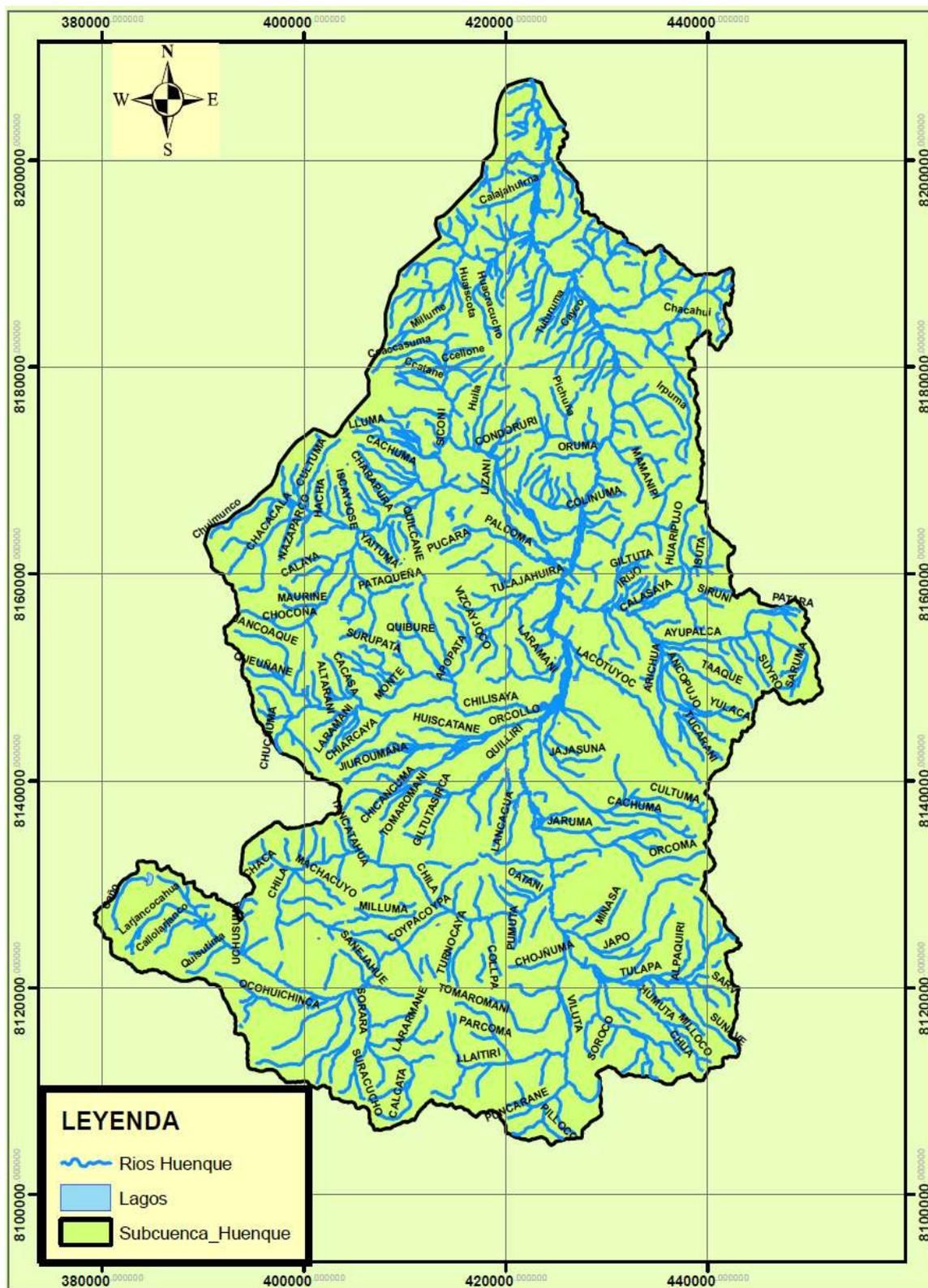
**Fuente:** Elaboración propia.

**FIGURA Nº 2:** Ubicación de estaciones meteorológicas en zona de estudio de la cuenca llave y sub cuenca Huenque.



Fuente: SENAMHI, (2013)

FIGURA Nº 3: Ubicación hidrográfica de la sub cuenca Huenque.



Fuente: Elaboración propia.

### **3.2.2. CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS Y CLIMATOLÓGICAS.**

#### **3.2.2.1. Fisiografía**

La fisiografía de la sub cuenca del río Huenque, tiene la forma de una pera conforme se acerca al río llave, su relieve terrestre se caracteriza por presentar terrenos planos, áreas con pendientes moderadas, y con ondulaciones. La parte alta del área de estudio se caracteriza por presentar pequeñas quebradas con afloramiento rocoso, de escasa vegetación y presencia de pocos manantiales temporales. Es necesario indicar, que los estudios realizados por; La Oficina Nacional de Evaluación de recursos Naturales, describe fisiográficamente a los lugares aledaños al Lago Titicaca pertenecen a la unidad geomorfológico denominada “Área del Altiplano” área que caracteriza por presentar terrenos planicies con laderas y cimas de cerro.

#### **3.2.2.2. Climatología**

El clima local en la región de Puno está profundamente afectado por la altitud, la proximidad al Lago Titicaca y la topografía local. El clima de la sub cuenca del río Huenque es frío y seco. En las épocas de mayor frío (Junio – Agosto), hay fuerte incidencia de las heladas, en los cuales las temperaturas mínimas pueden registrarse a 15° C bajo cero. Las granizadas son más frecuentes en las primeras lluvias de cada año, que coinciden con

los meses de Septiembre y Octubre, en condiciones normales puede presentarse en pleno verano.

#### **3.2.2.3. Temperatura**

La temperatura media mensual en la sub cuenca del río Huenque varía de 1.0 °C a 5.0 °C en los meses de junio y agosto, de 9.0° C a 9.3° C en los meses de noviembre a marzo.

#### **3.2.2.4. Humedad relativa.**

Los valores promedios más altos de humedad relativa en la sub cuenca del río Huenque registran durante los meses de verano, de Enero, Febrero y Marzo (humedad relativa mayor valor a 70%) los valores más bajos se dan durante los meses de invierno de Junio, Julio y Agosto (humedad relativa menor a 50%).

#### **3.2.2.5. Precipitaciones**

La precipitación pluvial media anual varía entre 397 mm y 867 mm, concentrándose en un 75%, entre los meses de diciembre a marzo.

#### **3.2.2.6. Ecología**

La sub cuenca del río Huenque se encuentra dentro de la clasificación bosque - húmedo montano sub-tropical (bh –ms), la zona se extiende desde las orillas del Lago Titicaca de 3812 msnm hasta los 4075 msnm, se observa la presencia de pastos naturales alto andinos, constituidos principalmente por las

especies de la familia de las gramíneas como festucas, mulenbergia, calamagrostis y poa, entre los más importantes, todas las plantas mencionadas pueden ser consideradas como indicadores de la parte alta de éstas formaciones ecológicas.

### **3.3. MÉTODOS.**

El método de índice de precipitación estandarizada para estimar las sequías meteorológicas utiliza la variable precipitación total mensual, para ello se va a realizar su análisis de consistencia de esta información a través del análisis de saltos.

#### **3.3.1. Análisis de consistencia de la información de precipitación.**

Para tener un mejor análisis de la consistencia de la información pluviométrica, se va a dividir en 03 grupos de estaciones meteorológicas, considerando que las estaciones estén ubicados en forma contigua, tengan altitudes similares y comportamiento hidrológico similar.

##### **3.3.1.1. Análisis visual de hidrogramas de precipitación.**

Consiste en analizar visualmente la información histórica un hidrograma 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 la variable precipitación mensual. 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.

#### **3.3.1.2. 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 total 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 total anual original 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.
- 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 acumuladas de cada estación en estudio.
- En estos gráficos se define los quiebres que pueden ser significativos o no para su posterior análisis estadístico.

#### **3.3.1.3. Análisis estadístico.**

Una vez obtenido de los hidrogramas de precipitación y del análisis de doble masa los periodos de posible corrección y los periodos de datos que se mantendrán con sus valores originales y cuales se modificaran, se procede a analizar estadísticamente tanto en la media como en la desviación estándar.

#### **3.3.1.4. Consistencia de la media.**

La consistencia de la media se realiza mediante la prueba estadística “T” de Student, se analiza si los valores promedios de los periodos seleccionados son estadísticamente iguales o diferentes con un nivel de significancia de 95 %, siguiendo el siguiente procedimiento:

**Prueba Estadística “T”:**

1) Planteamiento de las hipótesis:

$$H_p : \mu_1 = \mu_2 \text{ (media poblacional)}$$

$$H_a : \mu_1 \neq \mu_2$$

$$\alpha : 0.05$$

2) Cálculo de la desviación estándar de las diferencias de los promedios:

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

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

Donde:

$S_d$  : 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.

3) Cálculo del valor de  $T_c$ , según:

$$T_c = \frac{[(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)]}{\sqrt{\frac{S_d}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} x_i}}$$

Donde:

$T_c$  = T calculado.

$\mu_1 - \mu_2 = 0$ , por hipótesis.

- 4) Hallar el valor de “ $T_t$ ” de las tablas de T de Student con:  $\alpha = 0.05$  y G.L. =  $n_1 + n_2 - 2$

Donde:

G.L = grados de libertad.

$T_t$  = T tabulado.

$T_c$  = T calculado.

- 5) Conclusión:

Si  $(T_c) \leq T_t$  (95%), entonces la media del primer periodo es igual a la media del segundo periodo, estadísticamente.

Si  $(T_c) > T_t$  (95%), entonces la media del primer periodo no es igual a la media del segundo periodo, estadísticamente, en consecuencia se debe corregir la información de menor número de datos.

### 3.3.1.5. 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:

1) Planteamiento de las hipótesis:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 \text{ (varianzas poblacionales)}$$

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

$$\alpha : 0.05$$

2) Cálculo de  $F_c$ , según:

$$F_c = S_1 / S_2 \quad \text{si } S_1 > S_2$$

$$F_c = S_2 / S_1 \quad \text{si } S_2 > S_1$$

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

3) Determinar el valor de  $F_t$  en las tablas con:  $\alpha = 0.05$ ,  $GLN = n_1 - 1$  y  $GLD = n_2 - 1$

Donde:

$F_c$  = valor de F calculado

$F_t$  = valor de F tabular

$\alpha$  = nivel de significación

GLN = grados de libertad del numerador

GLD = grados de libertad del denominador.

#### 4) Conclusiones:

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

Si  $F_c > F_t$  (95%)  $\rightarrow S_1(x) \neq S_2(x)$ ; estadísticamente, en este caso se debe corregir la información.

#### 3.3.1.6. 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.

### 3.3.2. Índice de precipitación estandarizada (IPE).

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 da a continuación.

En 1966 Thom describió la distribución Gamma para la realización de ajustes en series temporales de precipitación. La distribución Gamma se define por su frecuencia o función de densidad de probabilidad.

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

Dónde:

$\alpha > 0$  Es un parámetro de uniformidad.

$\beta > 0$  Es un parámetro de escala.

$X > 0$  Es la cantidad de precipitación.

$$\Gamma_{(\alpha)} = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad \Gamma_{(\alpha)} \text{ Es la función Gamma.}$$

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.

$X$  = Variable precipitación media anual

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 aplicación 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 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:

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

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

$$C_0 = 2.515517$$

$$C_1 = 0.802853$$

$$C_2 = 0.010328$$

$$D_1 = 1.432788$$

$$D_2 = 0.189269$$

$$D_3 = 0.001308$$

El valor de Z encontrado es el valor del índice de precipitación estandarizado (IPE), el valor medio entonces, 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.

**TABLA N° 1:** valores de IPE, probabilidad e interpretación.

Valores de IPE	Probabilidad (%)	Interpretación
Mayor a 2	97.72	Humedad extrema
1.50	93.32	Muy húmedo
1.00	84.13	Humedad moderada
0.50	69.15	Normal
0.00	50.00	Normal
-0.50	30.85	Normal
-1.00	15.87	Moderadamente seco.
-1.50	6.68	Muy seco.
Menor a menos 2	2.28	Sequía extrema

Según McKee et al (1997).

### 3.3.3. Frecuencia de ocurrencia de eventos de sequías extremas.

Un fenómeno de sequía aplicando este índice se puede caracterizar de la siguiente manera, cada periodo de sequía tiene un comienzo y un final definido, la intensidad es diferente para cada mes, considerando la clasificación de Mc Kee, se va a determinar la frecuencia de ocurrencia para todas las categorías de sequias meteorológicas en el ámbito en estudio y el periodo considerado.

### 3.4. PROPUESTA DE MITIGACIÓN DE SEQUÍAS.

Con la finalidad de mitigar los efectos de las sequías y asegurar el agua necesaria para las actividades agrícolas y pecuarias de la sub cuenca del río Huenque, se realizará un diagnóstico y propuesta de la construcción de obras hidráulicas para riego, considerando las instituciones públicas y privadas que tienen intervención en el ámbito en estudio.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 4.1. DEL ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA PRECIPITACIÓN.

La determinación de las sequías meteorológicas mediante el método Índice de Precipitación Estandarizada se realizará a partir de la variable meteorológica precipitación total mensual, esta información es obtenida del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) Puno. Se va a emplear información pluviométrica de 08 estaciones meteorológicas ubicadas en la sub cuenca del río Huenque y zonas aledañas, entre ellas se tienen: Estación Capazo, Pizacoma, Mazo Cruz, Desaguadero, Yunguyo, Juli, llave y Laraqueri, todas ellas son de tipo climatológica ordinaria (CO).

Para tener un mejor análisis de la consistencia de la información pluviométrica, se va a dividir en 03 grupos de estaciones meteorológicas, considerando que las estaciones estén ubicados en forma contigua, tengan altitudes similares y comportamiento hidrológico similar.

Los grupos de las estaciones meteorológicas se presentan a continuación:

- **Grupo N° 1:** Este grupo está conformado por las estaciones Capazo, Pizacoma y Mazo Cruz. Estas estaciones se ubican en la parte alta de la cuenca, tienen un comportamiento hidrológico similar y son estaciones vecinas.
- **Grupo N° 2:** En este grupo está conformado por las estaciones Desaguadero, Yunguyo y Juli, estas estaciones se ubican en la parte

baja de la cuenca y también tienen un comportamiento hidrológico similar.

- **Grupo N° 3:** Están conformados por las estaciones de llave y Laraqueri, los mismos que se ubican en la parte media de la cuenca, son estaciones vecinas y tienen un comportamiento hidrológico similar.

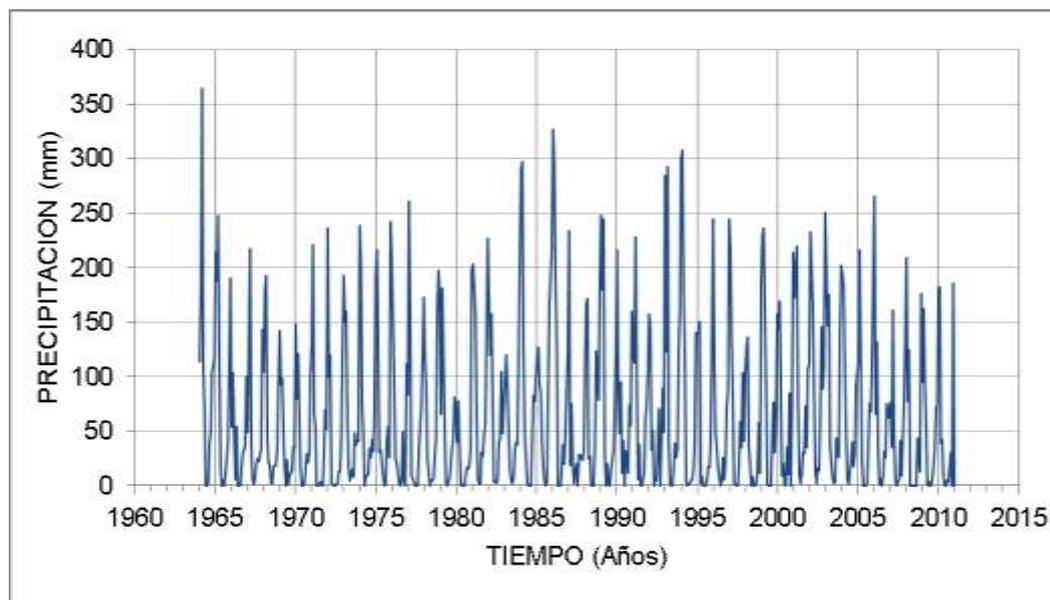
La serie histórica de la información pluviométrica de las estaciones Capazo, Pizacoma, Mazo Cruz, Desaguadero, Yunguyo, Juli, llave y Laraqueri, tienen un periodo de registro de 47 años, varía desde el año 1964 al 2010, los mismos se presentan en las Tablas N° A -1 al A - 8 del Anexo I.

El análisis de consistencia de la información pluviométrica se realizara a través del análisis de saltos; este análisis se realiza para comprobar la consistencia y homogeneidad de la información histórica de precipitación total registradas en las estaciones Capazo, Pizacoma, Mazo Cruz, Desaguadero, Yunguyo, Juli, llave y Laraqueri; así mismo se realiza para detectar si existen o no saltos o tendencias en las series históricas de precipitaciones totales mensuales consideradas.

#### **4.1.1. Análisis visual de hidrogramas de precipitación.**

En la Figura N° 4, se muestra el hidrograma de precipitación total mensual de la estación Capazo, en este grafico se puede observar que durante el periodo de 1964 al 2010, el comportamiento de las precipitaciones totales mensuales son homogéneos, con un mínimo de 0.0 mm y un máximo de 320.6 mm; no hay presencia de saltos; sin embargo, para su verificación se debe realizar el análisis de doble masa.

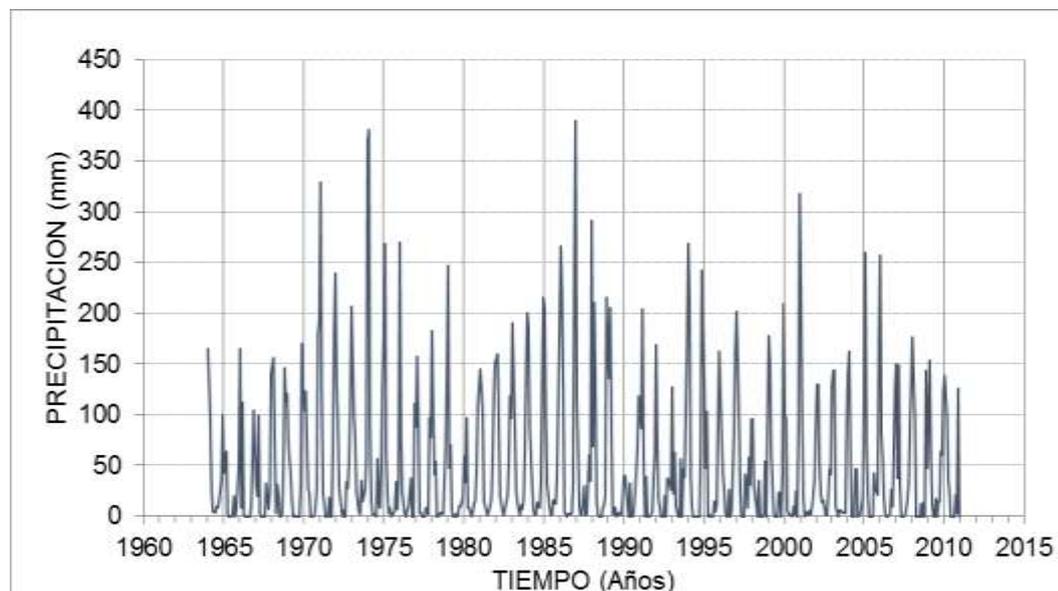
**FIGURA N° 4:** Hidrograma de precipitación total mensual (mm) – Estación Capazo – Periodo (1964 – 2010).



**Fuente:** Elaboración propia.

En la Figura N° 5, se muestra el hidrograma de precipitación total mensual de la estación Pizacoma, en este gráfico se puede apreciar visualmente que durante el periodo de 47 años (1964 al 2010), el comportamiento de las precipitaciones totales mensuales son homogéneos, con un mínimo de 0.0 mm y un máximo de 389.3 mm; no hay presencia de saltos; sin embargo, para su verificación se debe realizar el análisis de doble masa.

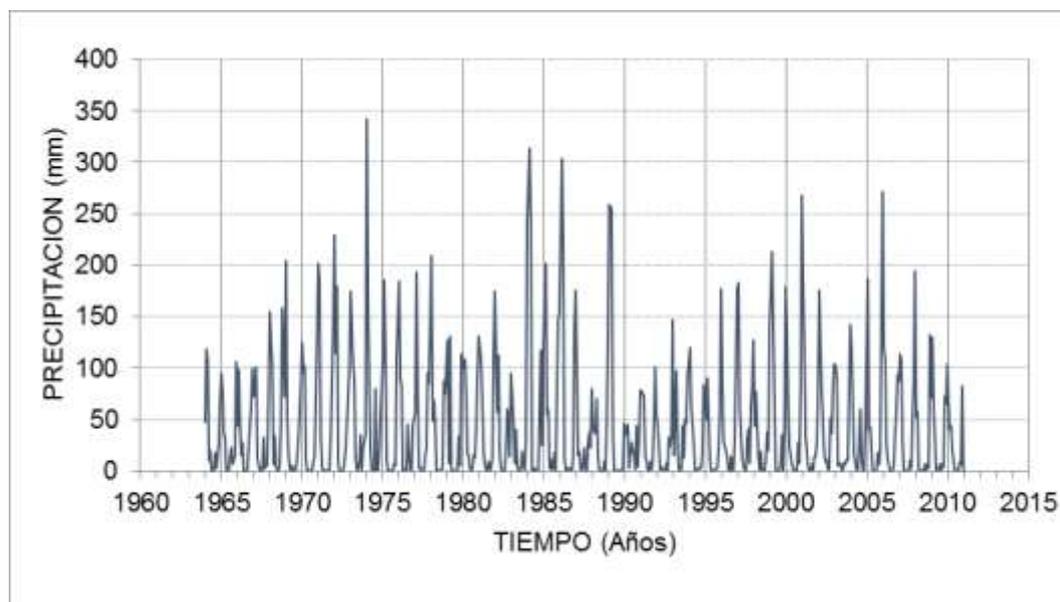
**FIGURA N° 5:** Hidrograma de precipitación total mensual (mm) – Estación Pizacoma – Periodo (1964 – 2010).



**Fuente:** Elaboración propia.

En la Figura N° 6, se presenta el hidrograma de precipitación total mensual de la estación Mazo Cruz, en este gráfico se puede observar que durante el periodo de 1964 al 2010, el comportamiento de las precipitaciones totales mensuales son homogéneos, con un mínimo de 0.0 mm y un máximo de 347.18 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.

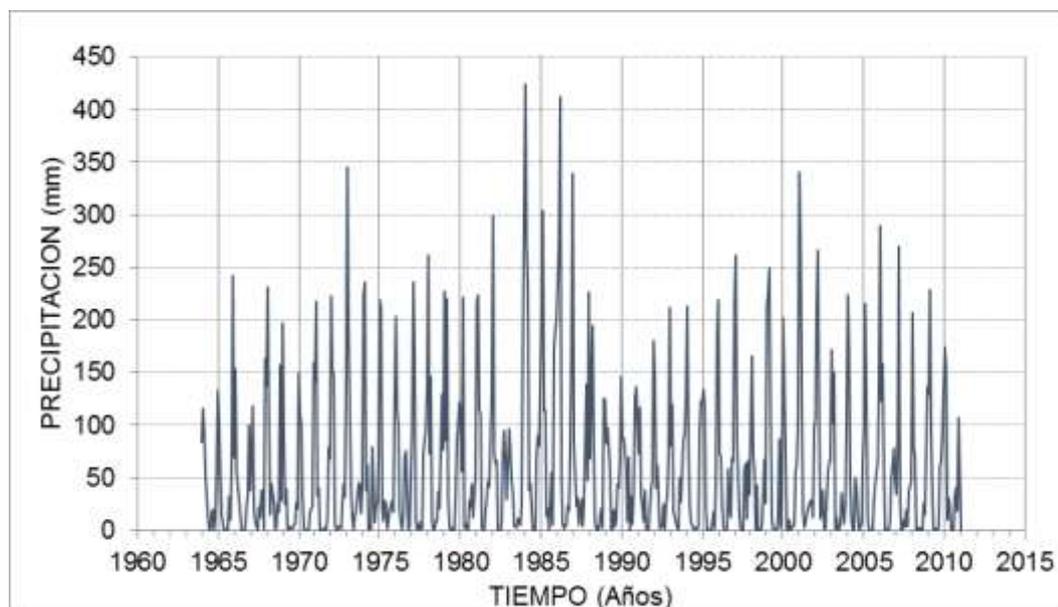
**FIGURA N° 6:** Hidrograma de precipitación total mensual (mm) – Estación Mazo Cruz  
– Periodo (1964 – 2010).



**Fuente:** Elaboración propia.

En la Figura N° 7, se muestra el hidrograma de precipitación total mensual de la estación Desaguadero, en ella se puede observar que durante el periodo de 1964 al 2010, el comportamiento de las precipitaciones totales mensuales son homogéneos, con un mínimo de 0.0 mm y un máximo de 424.40 mm; visualmente se puede apreciar el gráfico que no hay presencia de saltos; sin embargo, para su verificación se debe realizar el análisis de doble masa.

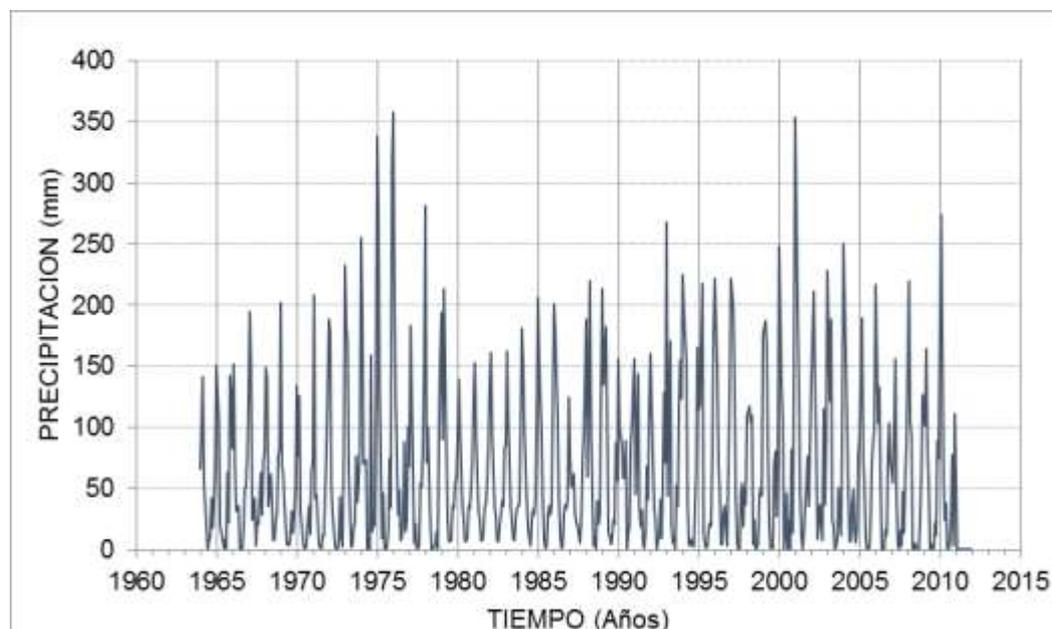
**FIGURA N° 7:** Hidrograma de precipitación total mensual (mm) – Estación Desaguadero –Periodo (1964 – 2010).



**Fuente:** Elaboración propia.

En la Figura N° 8, se presenta el hidrograma de precipitación total mensual de la estación Yunguyo, en este gráfico se puede observar que durante el periodo 1964 al 2010, el comportamiento de las precipitaciones totales mensuales son homogéneos, con un valor mínimo de 0.0 mm y un máximo de 357.40 mm; visualmente se puede observar en el gráfico que no existen saltos ni tendencias; para su verificación se realizará el análisis de doble masa y el análisis estadístico.

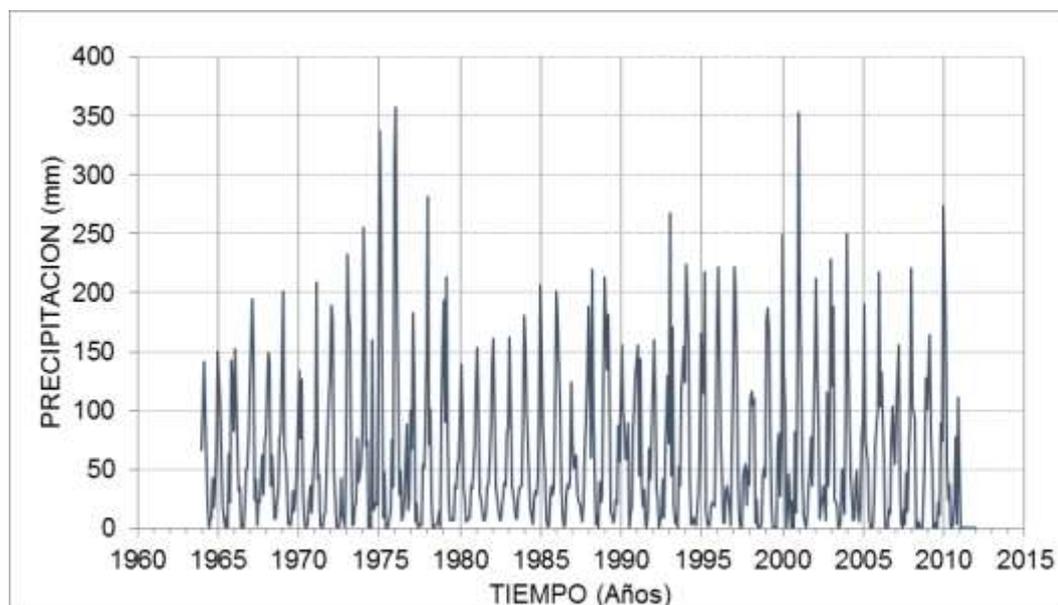
**FIGURA N° 8:** Hidrograma de precipitación total mensual (mm) – Estación Yunguyo – Periodo (1964 – 2010).



**Fuente:** Elaboración propia.

En la Figura N° 9, se muestra el hidrograma de precipitación total mensual de la Estación Juli, en este gráfico se puede observar que durante el periodo 1964 al 2010, el comportamiento de las precipitaciones totales mensuales son homogéneos, con un mínimo de 0.0 mm y un máximo de 357.90 mm; visualmente se puede observar que en el gráfico no hay presencia de saltos ni tendencias; para su verificación se realizará el análisis de doble masa y análisis estadístico.

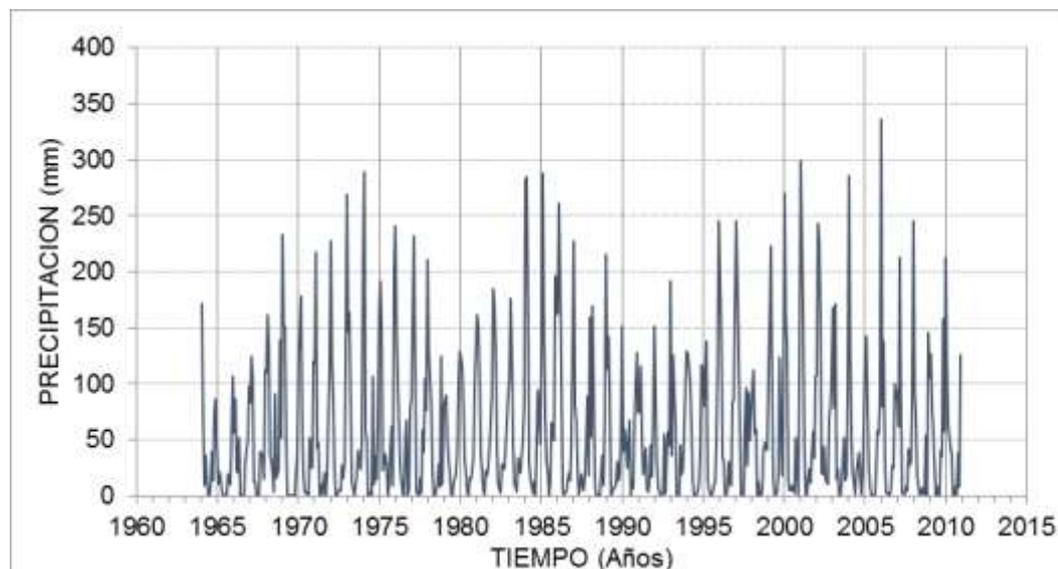
**FIGURA N° 9:** Hidrograma de precipitación total mensual (mm) – Estación Juli –  
Periodo (1964 – 2010).



**Fuente:** Elaboración propia.

En la Figura N° 10, se muestra el hidrograma de precipitación total mensual de la estación llave, en este gráfico se puede apreciar que durante el periodo de 47 años (1964 al 2010), el comportamiento temporal de las precipitaciones totales mensuales son homogéneos, con un mínimo de 0.0 mm y un máximo de 335.40 mm; visualmente se puede observar en el gráfico, que no existen saltos ni tendencias; sin embargo, para su verificación se debe realizar el análisis de doble masa.

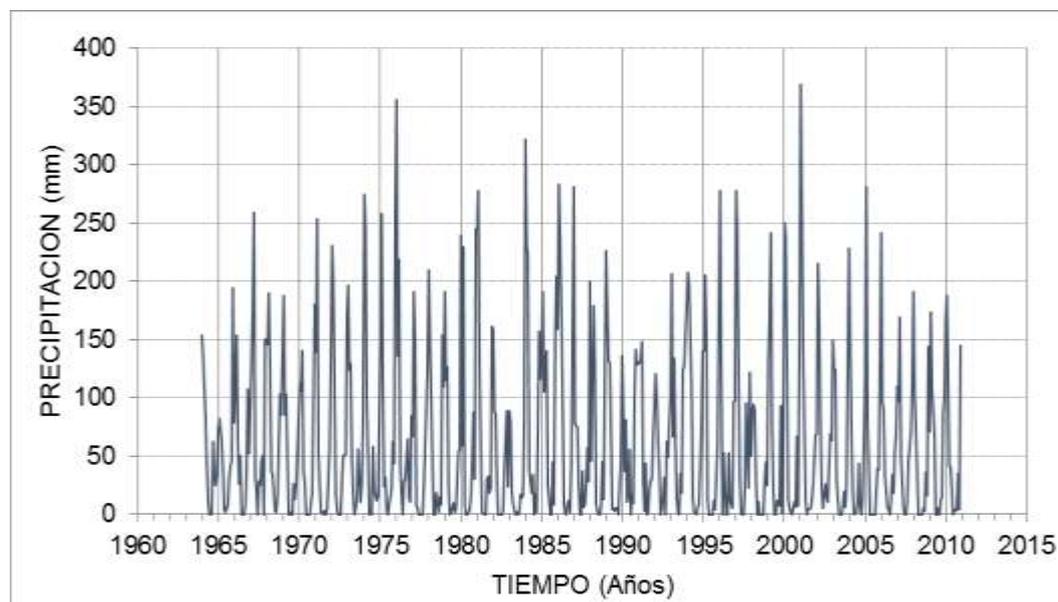
**FIGURA N° 10:** Hidrograma de precipitación total mensual (mm) – Estación llave –  
Periodo (1964 – 2010).



**Fuente:** Elaboración propia.

En la Figura N° 11, se muestra el hidrograma temporal de precipitación total mensual de la estación Laraqueri, en este gráfico se puede observar visualmente que durante el periodo 1964 al 2010, el comportamiento temporal de las precipitaciones totales mensuales son homogéneos, con un mínimo de 0.0 mm y un máximo de 368.50 mm; no hay presencia de saltos significativos; sin embargo, para su verificación se debe realizar el análisis de doble masa.

**FIGURA N° 11:** Hidrograma de precipitación total mensual (mm) – Estación Laraqueri  
–Periodo (1964 –2010).

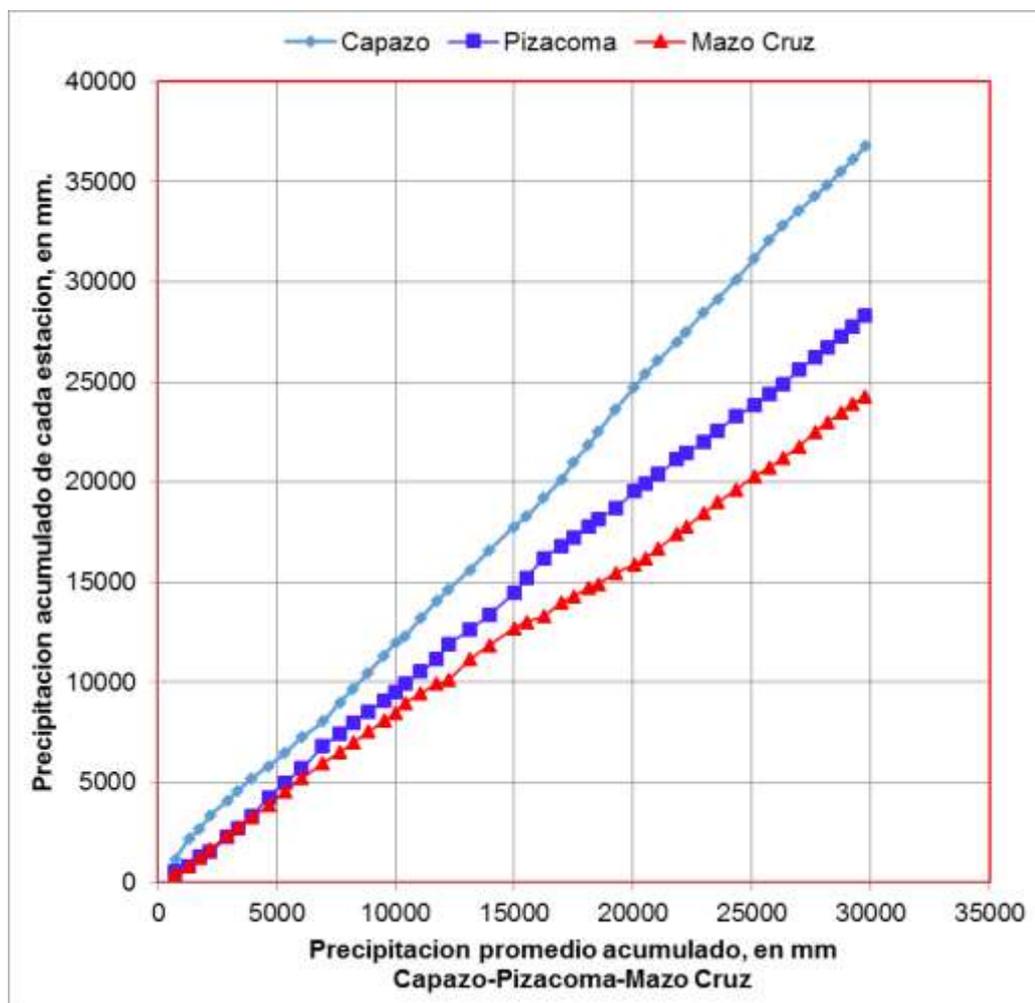


**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.1.2. Análisis de doble masa.

En la Tabla N°2, se presenta los datos de la precipitación total anual promedio acumulada de las estaciones Capazo, Pizacoma y Mazo Cruz y los datos de precipitación total anual acumulada de cada estación y en la Figura N°12 se muestran las líneas de doble masa, de las series históricas de precipitaciones totales mensuales de las estaciones Capazo, Pizacoma y Mazo Cruz; en estos gráficos se puede observar que las líneas de doble masa para las tres estaciones presentan pequeños quiebres que pueden ser o no significativos; en consecuencia es necesario realizar el análisis estadístico.

**FIGURA N° 12:** Líneas de doble masa de precipitación total anual de las estaciones Capazo, Pizacoma y Mazo Cruz.



**Fuente:** Elaboración propia.

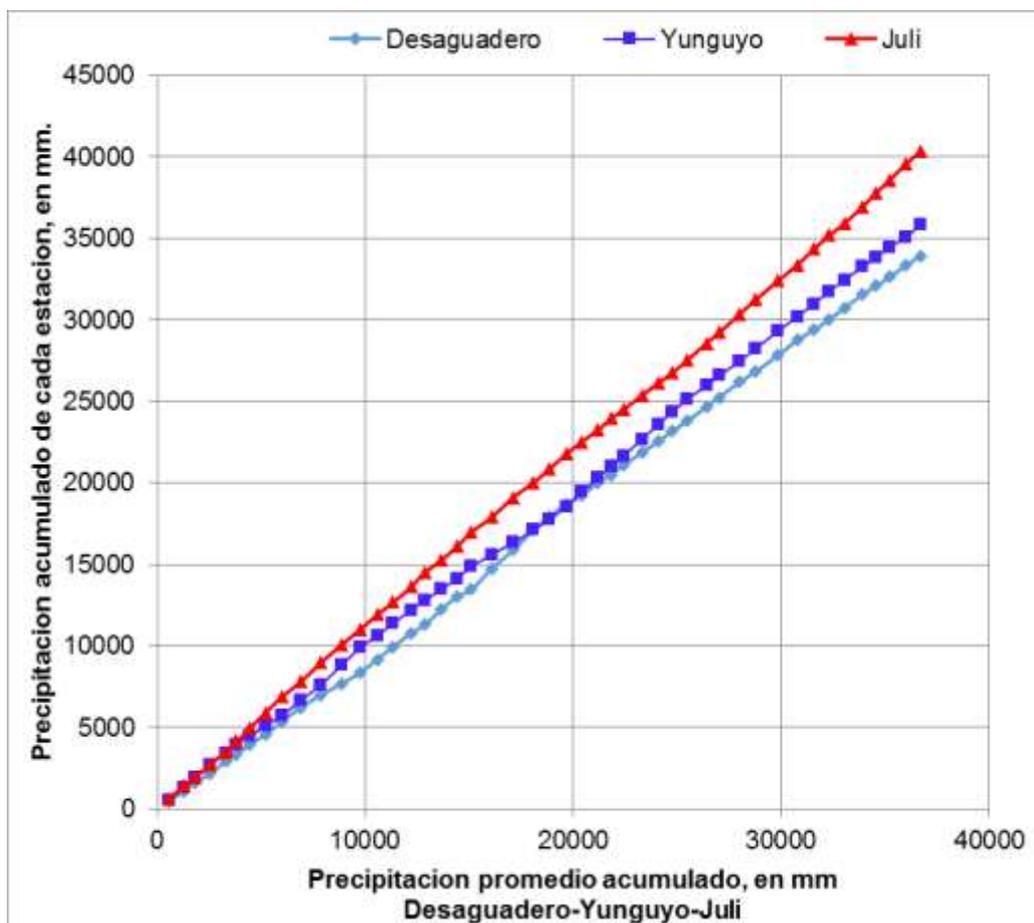
**TABLA Nº 2:** Análisis de doble masa de precipitación total anual de las estaciones Capazo, Pizacoma y Mazo Cruz.

AÑO	PRECIPITACION TOTAL ANUAL (mm)			PRECIPITACION TOTAL ANUAL ACUMULADO (mm)			
	Capazo	Pizacoma	Mazo Cruz	PROMEDIO	Capazo	Pizacoma	Mazo Cruz
1964	1149.2	597.9	424.8	723.9	1149.2	597.9	424.8
1965	1053.8	244.3	406.4	1292.1	2203.0	842.2	831.2
1966	450.4	458.2	420.9	1735.3	2653.4	1300.4	1252.1
1967	701.3	236.5	394.4	2179.3	3354.7	1536.9	1646.5
1968	721.9	732.4	717.6	2903.3	4076.6	2269.3	2364.1
1969	520.3	444.5	416.4	3363.7	4596.9	2713.8	2780.5
1970	607.7	617.6	490.2	3935.5	5204.6	3331.4	3270.7
1971	627.8	938.6	600.3	4657.8	5832.4	4270.0	3871.0
1972	650.8	719.7	708.4	5350.7	6483.2	4989.7	4579.4
1973	777.2	710.5	622.0	6054.0	7260.4	5700.2	5201.4
1974	784.4	1103.5	772.7	6940.8	8044.8	6803.7	5974.1
1975	970.9	632.5	541.9	7655.9	9015.7	7436.2	6516.0
1976	672.7	544.2	465.5	8216.7	9688.4	7980.4	6981.5
1977	790.3	530.8	550.0	8840.4	10478.7	8511.2	7531.5
1978	853.9	589.5	541.4	9502.0	11332.6	9100.7	8072.9
1979	672.8	412.3	421.5	10004.2	12005.4	9513.0	8494.4
1980	284.6	399.4	477.1	10391.3	12290.0	9912.4	8971.5
1981	927.1	609.0	468.3	11059.4	13217.0	10521.4	9439.8
1982	830.2	647.6	508.9	11721.7	14047.2	11169.1	9948.7
1983	593.3	744.9	194.2	12232.5	14640.5	11914.0	10142.9
1984	992.2	709.7	999.7	13133.0	15632.7	12623.7	11142.6
1985	955.8	755.4	704.6	13938.3	16588.5	13379.2	11847.2
1986	1186.9	1095.4	851.1	14982.8	17775.4	14474.6	12698.3
1987	496.0	739.5	331.0	15504.9	18271.4	15214.1	13029.3
1988	932.7	977.7	295.1	16240.1	19204.1	16191.8	13324.4
1989	958.3	628.0	685.0	16997.2	20162.4	16819.8	14009.4
1990	830.1	379.4	292.5	17497.9	20992.5	17199.2	14301.9
1991	855.8	585.7	420.2	18118.4	21848.3	17784.9	14722.1
1992	646.2	377.8	205.7	18528.3	22494.5	18162.7	14927.8
1993	1123.3	534.6	530.2	19257.7	23617.8	18697.3	15458.0
1994	1119.0	829.5	431.5	20051.0	24736.8	19526.8	15889.5
1995	655.2	402.9	306.8	20506.0	25392.0	19929.7	16196.3
1996	669.7	467.8	478.9	21044.8	26061.7	20397.5	16675.2
1997	949.0	719.3	731.0	21844.6	27010.7	21116.8	17406.2
1998	491.2	322.4	352.3	22233.2	27501.9	21439.2	17758.5
1999	956.9	573.8	685.1	22971.8	28458.8	22013.0	18443.6
2000	700.4	538.6	529.8	23561.4	29159.2	22551.6	18973.4
2001	980.9	736.1	668.7	24356.6	30140.1	23287.7	19642.1
2002	1045.7	555.0	651.1	25107.2	31185.8	23842.7	20293.2
2003	878.4	543.0	428.6	25723.9	32064.2	24385.7	20721.8
2004	760.5	489.0	482.8	26301.3	32824.7	24874.7	21204.6
2005	740.9	744.0	580.6	26989.8	33565.6	25618.7	21785.2
2006	707.3	581.7	732.1	27663.5	34272.9	26200.4	22517.3
2007	587.8	507.5	488.7	28191.5	34860.7	26707.9	23006.0
2008	644.2	579.9	454.3	28751.0	35504.9	27287.8	23460.3
2009	588.3	440.0	452.0	29244.4	36093.2	27727.8	23912.3
2010	672.9	567.5	371.5	29781.7	36766.1	28295.3	24283.8

**Fuente:** Elaboración propia.

En la Tabla N° 3, se presentan los datos de precipitación total anual acumulada promedio de las estaciones Desaguadero, Yunguyo y Juli, y los datos de precipitación total anual acumulada de cada estación. En la Figura N°13 se muestran las líneas de doble masa, de las series históricas de las precipitaciones totales mensuales de las estaciones Desaguadero, Yunguyo y Juli; en estos diagramas se puede observar que la línea de doble masa la estación Juli se asemeja a una línea recta en consecuencia se puede afirmar que los registros históricos de precipitación total mensual de la estación Juli son consistentes y homogéneos, no es necesario realizar el análisis estadístico; mientras que en las líneas de doble masa de las estaciones Desaguadero y Yunguyo se observan pequeños quiebres los mismos que pueden ser o no significativos; para su verificación es necesario realizar el análisis estadístico para ambas estaciones.

**FIGURA N° 13:** Líneas de doble masa de precipitación total anual de las estaciones Desaguadero, Yunguyo y Juli.



Fuente: Elaboración propia.

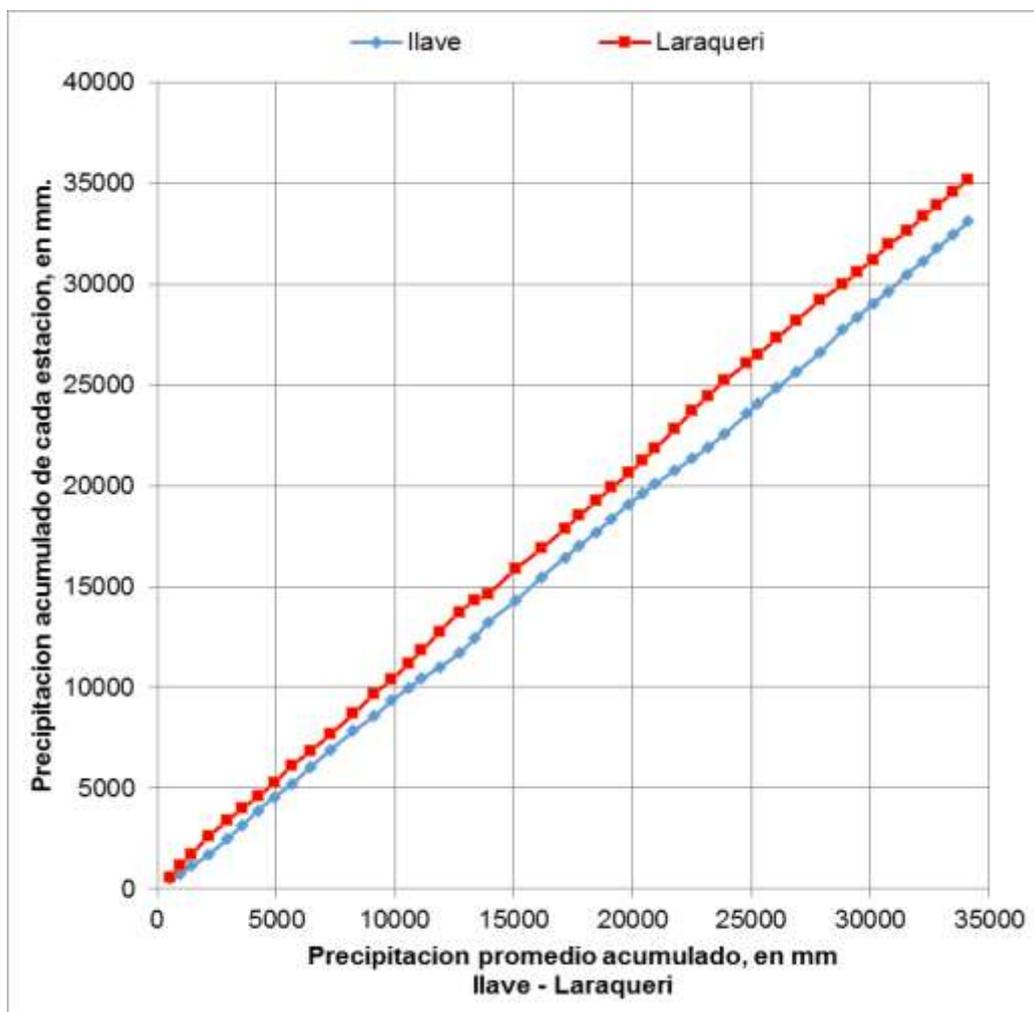
**TABLA Nº 3:** Análisis de doble masa de precipitación total anual de las estaciones  
Desaguadero, Yunguyo y Juli.

AÑO	PRECIPITACION TOTAL ANUAL (mm)			PRECIPITACION TOTAL ANUAL ACUMULADO (mm)			
	Desaguadero	Yunguyo	Juli	PROMEDIO	Desaguadero	Yunguyo	Juli
1964	464.7	567.0	627.3	553.0	464.7	567.0	627.3
1965	649.9	775.3	821.9	1302.0	1114.6	1342.3	1449.2
1966	510.1	568.8	489.4	1824.8	1624.7	1911.1	1938.6
1967	529.1	784.5	801.3	2529.8	2153.8	2695.6	2739.9
1968	790.6	734.5	761.8	3292.1	2944.4	3430.1	3501.7
1969	416.9	521.0	642.7	3818.9	3361.3	3951.1	4144.4
1970	618.8	518.3	830.1	4474.7	3980.1	4469.4	4974.5
1971	595.2	661.9	935.7	5205.6	4575.3	5131.3	5910.2
1972	776.4	587.1	956.7	5979.0	5351.7	5718.4	6866.9
1973	876.5	950.0	933.6	6899.0	6228.2	6668.4	7800.5
1974	764.6	944.7	1165.0	7857.1	6992.8	7613.1	8965.5
1975	717.0	1244.3	1137.4	8890.0	7709.8	8857.4	10102.9
1976	660.2	1031.9	910.6	9757.6	8370.0	9889.3	11013.5
1977	816.5	748.2	911.2	10582.9	9186.5	10637.5	11924.7
1978	771.0	755.6	759.4	11344.9	9957.5	11393.1	12684.1
1979	807.9	808.2	942.3	12197.7	10765.4	12201.3	13626.4
1980	550.5	600.2	898.9	12880.9	11315.9	12801.5	14525.3
1981	938.3	665.4	733.7	13660.0	12254.2	13466.9	15259.0
1982	772.7	675.4	848.0	14425.4	13026.9	14142.3	16107.0
1983	435.6	731.0	875.4	15106.1	13462.5	14873.3	16982.4
1984	1275.9	729.3	911.5	16078.3	14738.4	15602.6	17893.9
1985	1144.2	739.2	1220.0	17112.8	15882.6	16341.8	19113.9
1986	1244.8	801.2	923.4	18102.6	17127.4	17143.0	20037.3
1987	820.8	594.8	803.1	18842.1	17948.2	17737.8	20840.4
1988	735.9	837.0	959.2	19686.2	18684.1	18574.8	21799.6
1989	549.3	862.1	712.1	20394.0	19233.4	19436.9	22511.7
1990	797.3	899.5	750.1	21209.6	20030.7	20336.4	23261.8
1991	488.4	680.2	684.7	21827.4	20519.1	21016.6	23946.5
1992	588.7	660.8	565.8	22432.5	21107.8	21677.4	24512.3
1993	752.9	999.0	855.3	23301.6	21860.7	22676.4	25367.6
1994	680.9	900.9	766.4	24084.3	22541.6	23577.3	26134.0
1995	650.0	793.5	636.4	24777.6	23191.6	24370.8	26770.4
1996	619.7	782.9	767.9	25501.1	23811.3	25153.7	27538.3
1997	874.2	811.0	1037.5	26408.7	24685.5	25964.7	28575.8
1998	561.0	613.7	640.9	27013.9	25246.5	26578.4	29216.7
1999	944.6	888.3	1144.7	28006.4	26191.1	27466.7	30361.4
2000	656.3	805.7	894.3	28791.8	26847.4	28272.4	31255.7
2001	983.7	1037.9	1142.8	29846.6	27831.1	29310.3	32398.5
2002	944.3	907.4	1001.9	30797.8	28775.4	30217.7	33400.4
2003	611.3	776.7	940.8	31574.1	29386.7	30994.4	34341.2
2004	636.3	762.3	847.0	32322.6	30023.0	31756.7	35188.2
2005	725.2	708.5	743.1	33048.2	30748.2	32465.2	35931.3
2006	814.4	792.2	1040.3	33930.5	31562.6	33257.4	36971.6
2007	540.1	584.2	849.6	34588.5	32102.7	33841.6	37821.2
2008	536.7	639.2	778.2	35239.9	32639.4	34480.8	38599.4
2009	704.0	599.1	968.3	35997.0	33343.4	35079.9	39567.7
2010	590.6	786.2	794.7	36720.8	33934.0	35866.1	40362.4

**Fuente:** Elaboración propia.

En Tabla N° 4, se presentan los datos de precipitación total anual acumulada promedio de las estaciones llave y Laraqueri, y la información de precipitación total anual acumulado de cada estación. En la Figura N°14 se muestran las líneas de doble masa de las series históricas de las precipitaciones totales mensuales de las estaciones llave y Laraqueri; en ellas se puede observar que las líneas de doble masa de las estaciones llave y Laraqueri no presentan quiebres y se asemejan a dos líneas rectas; en consecuencia se puede afirmar que los registros históricos de precipitaciones totales mensuales de las estaciones llave y Laraqueri son consistentes y homogéneos, no es necesario realizar el análisis estadístico.

**FIGURA N° 14:** Líneas de doble masa de precipitación total anual de las estaciones llave y Laraqueri.



Fuente: Elaboración propia.

**TABLA Nº 4:** Análisis de doble masa de precipitación total anual de las estaciones llave y Laraqueri.

AÑO	PRECIPITACION TOTAL ANUAL (mm)		PRECIPITACION TOTAL ANUAL ACUMULADO (mm)		
	llave	Laraqueri	PROMEDIO	llave	Laraqueri
1964	525.3	574.8	550.1	525.3	574.8
1965	206.3	584.6	945.5	731.6	1159.4
1966	418.2	574.5	1441.9	1149.8	1733.9
1967	542.7	868.1	2147.3	1692.5	2602.0
1968	819.9	813.5	2964.0	2512.4	3415.5
1969	645.3	571.3	3572.3	3157.7	3986.8
1970	752.9	628.5	4263.0	3910.6	4615.3
1971	658.2	665.1	4924.6	4568.8	5280.4
1972	660.3	860.2	5684.9	5229.1	6140.6
1973	846.7	710.4	6463.4	6075.8	6851.0
1974	845.9	853.0	7312.9	6921.7	7704.0
1975	914.1	977.3	8258.6	7835.8	8681.3
1976	731.8	1000.4	9124.7	8567.6	9681.7
1977	778.2	709.8	9868.7	9345.8	10391.5
1978	632.4	807.5	10588.6	9978.2	11199.0
1979	461.1	610.0	11124.2	10439.3	11809.0
1980	566.1	957.0	11885.7	11005.4	12766.0
1981	691.3	967.1	12714.9	11696.8	13733.1
1982	758.7	575.5	13382.0	12455.5	14308.6
1983	791.4	329.2	13942.4	13246.9	14637.8
1984	1030.9	1224.9	15070.3	14277.8	15862.7
1985	1192.4	1014.5	16173.7	15470.2	16877.2
1986	955.9	1008.0	17155.7	16426.1	17885.2
1987	612.6	619.1	17771.5	17038.7	18504.3
1988	635.9	731.6	18455.3	17674.6	19235.9
1989	696.4	654.8	19130.9	18371.0	19890.7
1990	709.1	729.4	19850.1	19080.1	20620.1
1991	529.3	628.4	20429.0	19609.4	21248.5
1992	481.2	584.2	20961.7	20090.6	21832.7
1993	660.1	963.0	21773.2	20750.7	22795.7
1994	601.8	909.6	22528.9	21352.5	23705.3
1995	539.0	753.1	23175.0	21891.5	24458.4
1996	683.2	740.0	23886.6	22574.7	25198.4
1997	992.4	884.2	24824.9	23567.1	26082.6
1998	471.4	409.2	25265.2	24038.5	26491.8
1999	819.4	820.8	26085.3	24857.9	27312.6
2000	771.5	862.4	26902.2	25629.4	28175.0
2001	989.4	1023.9	27908.9	26618.8	29198.9
2002	1104.9	776.7	28849.7	27723.7	29975.6
2003	642.1	620.3	29480.9	28365.8	30595.9
2004	666.3	607.8	30117.9	29032.1	31203.7
2005	607.3	740.6	30791.9	29639.4	31944.3
2006	839.1	655.7	31539.3	30478.5	32600.0
2007	637.6	724.5	32220.3	31116.1	33324.5
2008	640.8	571.3	32826.4	31756.9	33895.8
2009	670.3	639.9	33481.5	32427.2	34535.7
2010	656.6	647.0	34133.3	33083.8	35182.7

**Fuente:** Elaboración propia.

**4.1.3. Análisis estadístico.**

En la tabla N° 5, se presenta los resultados de las pruebas estadísticas T y F, aplicadas a las series históricas de precipitaciones totales anuales de las estaciones Capazo, Pizacoma, Mazo Cruz, Desaguadero y Yunguyo, en ellas se puede apreciar que para las cinco estaciones los valores de T calculado son menores a los valores de T tabular, así mismo los valores de F calculado son menores que los valores de F tabular, en consecuencia la series históricas de precipitaciones anuales de las estaciones Capazo, Pizacoma, Mazo Cruz, Desaguadero y Yunguyo son consistentes y homogéneos, los pequeños quiebres que se observan no son significativos estadísticamente.

**TABLA N° 5:** Resultados de las pruebas estadísticas T y F.

Estación	Periodo	n	Media	Desv.Est.	Prueba T		Prueba F		Conclusión
					Tc	Tt	Fc	Ft	
Capazo	1: 1964 - 1988	25	768.16	221.54	0.51	2.01	1.49	2.05	No significativo
	2: 1989 - 2010	22	798.27	181.55					
Pizacoma	1: 1964 - 1987	24	633.92	218.38	1.18	2.01	2.01	2.04	No significativo
	2: 1988 - 2010	23	568.75	153.90					
Mazo Cruz	1: 1964 - 1988	25	532.98	182.08	0.71	2.01	1.51	2.05	No significativo
	2: 1989 - 2010	22	498.15	148.32					
Desaguadero	1: 1964 - 1986	21	701.83	198.53	0.64	2.01	1.08	2.01	No significativo
	2: 1987 - 2010	26	738.29	191.29					
Yunguyo	1: 1964 - 1987	23	745.35	172.17	0.79	2.01	1.86	2.02	No significativo
	2: 1988 - 2010	24	780.13	126.11					

**Fuente:** Elaboración propia

## 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 cada una de las estaciones consideradas. Los parámetros alfa y beta de las estaciones en estudio se presentan en la Tabla N° 6.

**TABLA N° 6:** Resultados de los parámetros de la distribución gamma.

Parámetro	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
<b>Capazo</b>												
$\alpha$	5.38	4.24	4.12	1.10	0.37	0.23	0.27	0.29	0.79	2.39	1.02	3.62
$\beta$	32.50	36.26	34.66	45.41	30.70	20.95	13.60	36.51	30.32	17.16	56.48	30.02
<b>Pizacoma</b>												
$\alpha$	5.34	4.90	4.11	2.18	0.31	0.23	0.26	0.35	0.82	2.48	1.88	4.71
$\beta$	24.71	20.99	22.30	18.78	27.32	22.82	8.47	20.72	24.21	18.99	28.33	18.10
<b>Mazo Cruz</b>												
$\alpha$	4.95	4.70	4.74	0.81	0.29	0.18	0.18	0.23	0.63	1.45	1.14	3.62
$\beta$	27.22	21.87	18.88	46.37	22.54	28.99	10.87	31.60	36.00	26.23	45.77	23.84
<b>Desaguadero</b>												
$\alpha$	3.00	4.80	4.76	0.84	0.43	0.20	0.25	0.27	0.49	0.82	1.69	4.96
$\beta$	47.67	28.34	22.71	44.22	15.37	13.88	7.26	28.02	28.37	34.82	31.02	19.44
<b>Yunguyo</b>												
$\alpha$	4.62	4.75	4.85	1.61	0.27	0.19	0.22	0.29	0.64	1.65	1.21	4.26
$\beta$	31.74	28.06	22.31	26.93	20.89	13.23	7.57	29.28	27.93	22.82	45.37	22.55
<b>Juli</b>												
$\alpha$	4.05	4.99	1.32	0.31	0.21	0.25	0.22	0.40	1.92	0.99	3.56	3.89
$\beta$	30.92	22.09	25.81	33.01	17.95	19.43	25.65	33.73	13.92	53.98	30.69	20.97
<b>Ilave</b>												
$\alpha$	3.93	4.02	4.22	1.86	0.34	0.23	0.21	0.27	0.58	1.44	1.79	5.54
$\beta$	39.82	33.77	26.96	25.01	21.50	16.83	7.71	31.40	36.62	30.94	35.90	20.02
<b>Laraqueri</b>												
$\alpha$	5.75	5.93	5.24	1.64	0.35	0.21	0.22	0.31	1.11	2.06	3.11	6.13
$\beta$	27.30	21.48	22.92	31.33	23.51	24.67	12.65	28.45	20.15	28.02	21.65	19.25

**Fuente:** Elaboración propia

#### 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 Capazo, Pizacoma, Mazo Cruz, Desaguadero, Yunguyo, Juli, Ilave y Laraqueri tienen 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 uno, para la probabilidad acumulada calculada. Los valores de  $Z$  determinados para las estaciones Capazo, Pizacoma, Mazo Cruz, Desaguadero, Yunguyo, Juli, llave y Laraqueri, son los valores de los Índices de Precipitación Estandarizado (IPE), el valor medio o el valor normal es el valor de cero; los valores positivos o negativos indican que las precipitaciones son mayores o menores que la media, respectivamente.

En las Tablas 7 al 14, se presentan los resultados de los valores de Índice de Precipitación Estandarizada mensual para un periodo de 47 años (1964 al 2010), para las estaciones Capazo, Pizacoma, Mazo Cruz, Desaguadero, Yunguyo, Juli, llave y Laraqueri.

Con los valores estimados de Índice de Precipitación Estandarizada presentados en las Tablas 7 al 14, se elaboraron las Figuras 15 al 22 de series de tiempo de índice de precipitación estandariza para las estaciones Capazo, Pizacoma, Mazo Cruz, Desaguadero, Yunguyo, Juli, llave y Laraqueri, para un periodo de 47 años (1964 al 2010).

TABLA N° 7: Índice de precipitación estandarizada – Estación Capazo

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	-1.05	-0.39	-0.93	0.39	1.20	-0.80	-0.71	-0.97	0.33	0.81	0.50	-0.81
1965	-0.91	0.33	-1.08	0.42	-0.96	-0.80	-0.71	1.04	1.87	-1.36	0.26	-0.45
1966	-3.20	0.03	-0.44	-1.96	1.64	-0.80	-0.71	-0.97	-1.06	-0.15	0.76	-0.36
1967	-0.70	0.80	1.02	-1.96	0.67	-0.80	-0.71	-0.97	0.75	0.05	-0.57	-0.02
1968	-0.35	0.48	0.05	0.02	1.68	1.21	-0.71	-0.97	1.27	1.22	1.44	-0.21
1969	-0.52	-0.34	-0.59	-0.32	2.69	-0.80	-0.71	-0.97	1.34	-1.36	0.49	0.71
1970	0.09	-0.05	-0.26	0.17	0.69	-0.80	-0.71	-0.97	-1.06	-1.36	-1.94	-1.02
1971	0.07	1.36	0.43	0.44	-0.96	-0.80	-0.71	-0.97	-1.06	-1.36	0.83	0.29
1972	-0.03	-0.55	0.91	0.03	-0.96	-0.80	-0.71	-0.97	0.95	0.97	0.57	-0.43
1973	0.94	0.09	-1.26	-1.96	-0.96	-0.80	-0.71	1.17	1.44	-1.36	-0.22	-1.13
1974	1.60	0.90	-2.35	0.39	-0.96	0.20	-0.71	2.73	-1.06	-1.36	0.20	-1.43
1975	0.04	0.93	1.37	-0.14	-0.96	-0.80	-0.71	-0.97	1.51	-1.36	-1.94	1.99
1976	1.44	-0.35	-0.48	-1.96	-0.96	-0.80	-0.71	0.94	0.90	-1.36	-1.94	-1.54
1977	-0.88	1.44	1.00	-1.96	-0.96	-0.80	-0.71	-0.97	0.54	-1.36	1.00	0.41
1978	1.23	-0.78	1.12	1.43	-0.96	-0.80	-0.71	0.91	-1.06	-1.36	1.44	1.17
1979	0.91	-0.84	0.72	-1.96	-0.96	-0.80	-0.71	-0.97	-1.06	0.99	0.33	0.57
1980	-0.37	-0.65	2.33	1.04	-0.96	-0.80	-0.71	1.10	-1.06	1.43	-1.94	-0.30
1981	-0.22	1.69	1.39	0.54	-0.96	-0.80	-0.71	-0.97	-1.06	-1.36	0.14	1.32
1982	0.91	1.20	-0.59	0.08	-0.96	-0.80	-0.71	-0.97	0.12	1.24	1.03	-0.98
1983	-1.62	-2.13	-1.13	-1.96	-0.96	-0.80	1.19	-0.97	-1.06	0.55	-1.94	-0.47
1984	1.21	1.48	-0.01	-1.96	-0.96	-0.80	-0.71	-0.97	-1.06	1.97	1.24	1.40
1985	0.46	0.63	0.39	0.23	-0.96	1.19	-0.71	-0.97	-1.06	-1.36	1.32	2.12
1986	0.92	1.53	1.59	0.34	-0.96	-0.80	-0.71	0.60	0.86	-1.36	-1.94	0.62
1987	1.14	-0.26	-0.86	-0.10	-0.96	-0.80	2.59	-0.97	-1.06	-1.36	0.53	0.07
1988	0.32	-1.33	0.98	0.79	0.53	-0.80	-0.71	-0.97	-1.06	0.20	-1.94	-0.64
1989	-2.46	0.51	1.28	2.03	-0.96	1.13	-0.71	-0.97	-1.06	-1.36	-1.02	-1.89
1990	-0.08	-1.86	-0.36	0.51	-0.96	2.52	-0.71	-0.97	-1.06	1.06	1.35	1.42
1991	0.47	-0.54	0.78	0.90	0.78	1.94	-0.71	-0.97	-1.06	0.72	0.18	-0.75
1992	1.25	-2.58	-1.97	-0.66	-0.96	-0.80	-0.71	0.77	-1.06	0.89	0.83	1.29
1993	1.16	-0.03	-0.18	0.49	-0.96	-0.80	-0.71	1.78	-1.06	0.76	1.18	1.68
1994	1.02	1.54	-1.20	1.29	1.19	-0.80	-0.71	0.11	0.62	0.09	0.62	1.09
1995	-0.83	-1.34	0.03	-0.06	-0.96	-0.80	-0.71	-0.97	0.01	-0.37	0.59	-1.07
1996	0.23	-0.43	-0.97	0.58	0.66	-0.80	-0.71	0.54	-1.06	-0.66	0.66	-0.07
1997	0.58	0.82	-0.64	0.30	1.66	-0.80	-0.71	1.43	2.34	0.23	0.46	-0.84
1998	0.41	-0.69	-1.36	0.21	-0.96	0.57	-0.71	-0.06	-1.06	-0.52	0.65	-1.73
1999	-1.17	0.68	1.37	1.29	-0.25	-0.80	-0.71	0.46	0.40	0.94	-1.94	-0.90
2000	0.35	0.12	0.69	0.41	0.74	-0.80	-0.71	-0.97	0.24	0.95	-0.49	-0.20
2001	1.22	1.48	0.64	0.97	-0.96	0.72	-0.71	0.47	0.01	0.39	0.09	-0.98
2002	-1.02	0.49	0.91	1.43	1.04	1.18	1.81	0.46	-1.06	1.31	0.86	0.72
2003	-0.64	-0.64	-0.13	-1.96	0.97	-0.80	1.36	-0.97	-1.06	1.80	-0.38	-0.39
2004	0.19	-0.80	-0.44	0.30	-0.96	2.35	2.68	1.68	0.35	-1.36	-1.94	-0.80
2005	-0.57	0.81	-0.69	0.34	-0.96	-0.80	-0.71	-0.97	0.83	0.39	0.41	0.72
2006	0.57	-0.30	0.69	0.63	0.28	-0.80	-0.71	-0.97	-1.06	0.71	0.60	0.35
2007	-0.32	-0.29	0.10	0.53	0.48	-0.80	0.81	-0.97	0.77	0.35	0.68	-0.11
2008	0.14	-0.56	-0.59	-0.48	-0.96	-0.80	-0.71	0.90	-1.06	-1.36	-0.77	0.76
2009	-1.10	-0.73	-0.48	1.55	-0.96	-0.80	-0.71	-0.97	1.37	-0.06	1.33	-0.43
2010	-0.39	-0.75	-0.83	0.70	0.31	-0.80	-0.71	-0.97	-1.06	1.15	-0.30	1.06

Fuente: Elaboración propia

TABLA Nº 8: Índice de precipitación estandarizada – Estación Pizacoma

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	0.12	0.22	0.17	0.43	0.67	0.72	0.73	0.68	0.59	0.45	0.39	0.17
1965	-2.04	-0.93	-0.52	-1.21	-1.27	-1.03	-0.99	0.27	1.10	-2.69	-0.66	-0.78
1966	0.12	-2.65	0.53	-0.84	-1.27	-1.03	-0.99	-1.30	-1.71	0.14	0.77	0.25
1967	-2.46	-1.98	0.29	-0.70	-1.27	-1.03	-0.99	-1.30	1.47	0.69	-0.65	-1.66
1968	-0.16	0.46	-0.24	-0.78	1.82	1.62	-0.99	-1.30	0.06	1.43	1.82	0.38
1969	-0.45	-0.63	-1.32	-0.04	-1.27	0.29	-0.26	-1.30	-0.88	-1.66	0.25	1.10
1970	-0.46	-0.14	0.74	0.48	1.56	-1.03	-0.99	-1.30	-0.62	0.25	0.22	1.21
1971	0.47	1.82	0.76	0.35	-1.27	-1.03	-0.99	1.04	-1.71	-2.69	0.95	1.21
1972	0.90	0.20	0.19	0.49	0.60	-1.03	1.04	-1.30	1.50	0.94	0.72	0.20
1973	0.58	0.39	0.29	1.42	1.58	0.73	0.50	1.45	0.88	0.68	0.17	-0.68
1974	1.95	2.14	-0.03	0.04	0.22	0.34	-0.99	1.83	0.82	0.03	0.64	0.54
1975	0.31	1.42	-0.56	0.33	0.52	1.09	-0.99	0.30	0.41	1.14	-0.64	-1.23
1976	1.16	-0.53	-1.99	-0.16	0.17	-1.03	0.99	0.70	1.58	-2.69	-3.22	0.33
1977	-0.98	0.47	0.21	-0.83	0.54	-1.03	-0.99	-1.30	0.56	-0.75	1.31	-0.20
1978	0.34	-0.17	-1.20	1.05	-1.27	-1.03	0.64	0.23	0.07	-0.75	0.92	0.65
1979	0.97	-1.11	-0.35	-0.43	-1.27	-1.03	0.46	-1.30	-0.18	0.20	-0.46	-1.96
1980	-1.57	-1.47	0.23	-0.27	0.94	0.68	-0.99	0.37	0.79	0.50	0.60	0.33
1981	-0.12	0.11	0.29	0.04	1.02	0.73	0.05	0.51	0.66	0.63	0.76	0.49
1982	-0.05	0.50	0.09	0.24	1.10	0.78	0.24	0.66	0.82	0.65	0.70	0.45
1983	0.42	0.79	-0.03	0.39	1.17	0.84	0.36	0.78	0.50	0.56	0.86	0.72
1984	0.52	0.75	0.00	0.52	0.78	0.06	0.45	0.87	0.65	0.09	0.36	0.67
1985	0.68	0.92	0.24	0.58	0.91	0.23	0.51	0.96	0.80	0.32	0.46	0.42
1986	0.30	1.40	2.13	2.09	0.58	-1.03	0.57	0.20	0.00	-0.52	0.31	1.89
1987	2.07	-0.02	-0.39	-0.22	0.00	-0.01	2.13	-0.21	0.04	1.04	0.82	-1.26
1988	1.34	-0.67	1.99	2.13	1.26	0.52	-0.99	-1.30	0.56	0.22	-0.02	1.57
1989	0.21	0.24	1.92	1.48	0.17	0.40	1.15	-1.30	0.10	-0.83	-1.04	-1.96
1990	-2.17	-1.32	-1.77	-0.32	-1.27	2.04	-0.99	-1.30	0.27	1.40	0.93	0.45
1991	-0.77	-0.40	1.91	1.07	-1.27	2.20	-0.99	-1.30	-1.71	-0.24	0.42	-0.57
1992	0.18	-0.70	-2.38	-0.30	-1.27	-1.03	-0.99	1.09	-1.71	1.23	0.29	-1.58
1993	-0.35	-1.90	-0.55	-0.23	0.66	-1.03	-0.99	1.84	-1.71	1.47	0.44	1.06
1994	1.15	1.00	-1.27	-0.27	-1.27	-1.03	-0.99	-1.30	-1.71	-2.69	0.77	1.82
1995	-0.32	-1.12	0.36	-2.93	0.22	-1.03	-0.99	-1.30	0.89	-0.29	-0.33	0.01
1996	0.10	-0.57	-1.19	0.44	0.49	-1.03	-0.99	1.23	-1.71	-0.20	0.56	-0.09
1997	0.78	0.89	0.24	0.38	-1.27	-1.03	-0.99	1.58	1.46	0.05	0.79	-1.36
1998	-0.84	-0.25	-1.67	-0.20	-1.27	2.09	-0.99	-1.30	-1.71	-0.61	0.72	0.18
1999	-0.93	0.68	1.19	1.20	0.49	-1.03	-0.99	-1.30	1.21	0.77	-3.22	-1.01
2000	0.60	-0.21	0.23	-0.44	0.19	0.14	-0.99	0.70	-0.06	0.85	-3.22	0.02
2001	1.55	1.10	0.15	0.12	-1.27	0.78	0.05	0.48	-0.09	0.23	0.04	-1.15
2002	-1.02	0.17	0.85	1.02	1.56	1.32	1.58	0.00	-0.55	0.62	0.59	-1.06
2003	-0.35	0.33	1.07	-0.23	0.62	-1.03	0.95	0.49	0.06	-0.37	-1.07	0.08
2004	-0.19	0.53	-0.49	-2.93	-1.27	-1.03	2.62	1.67	-1.71	-0.70	-0.51	-1.93
2005	-0.41	1.35	-0.38	0.40	-1.27	-1.03	-0.99	-1.30	1.72	0.96	-0.01	1.17
2006	1.06	-0.47	-0.68	0.19	-1.27	-1.03	-0.99	-0.10	-0.04	0.91	-0.47	0.55
2007	-0.05	-1.38	1.13	0.55	-1.27	-1.03	-0.99	-0.10	0.51	0.55	0.31	-0.09
2008	0.25	0.25	0.29	-2.93	-1.27	-1.03	-0.99	0.79	-1.71	0.39	0.39	0.79
2009	-1.89	0.44	-0.71	-0.06	-1.27	-1.03	1.67	-1.30	0.91	0.45	0.88	-0.57
2010	-0.43	0.28	0.27	0.73	1.54	-1.03	-0.99	-1.30	-1.71	0.72	-1.05	0.55

Fuente: Elaboración propia

TABLA Nº 9: Índice de precipitación estandarizada – Estación Mazo Cruz.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	-1.62	0.25	0.55	-0.11	1.39	-0.89	-0.81	0.18	1.11	-0.37	0.37	0.04
1965	-0.54	-0.41	-0.88	0.76	-1.30	-0.89	-0.81	1.01	1.27	0.06	0.03	0.77
1966	-1.73	-0.02	-0.57	0.14	1.65	-0.89	-0.81	-1.22	-1.56	0.78	0.96	0.66
1967	-0.98	-0.30	0.45	0.03	0.67	-0.89	0.92	-0.01	1.56	-0.34	-0.34	0.13
1968	0.38	0.32	0.48	-0.35	1.79	1.24	-0.81	-1.22	0.55	1.40	1.86	0.12
1969	0.99	-0.83	-1.56	-0.84	-1.30	1.16	0.44	-1.22	0.04	0.44	0.49	0.34
1970	-0.04	-0.06	0.48	-0.04	-1.30	-0.89	-0.81	-1.22	-0.25	0.19	0.02	1.15
1971	0.97	0.98	-0.91	-0.64	-1.30	-0.89	-0.81	-1.22	-1.56	-2.24	0.50	1.32
1972	1.26	0.19	1.40	-0.17	-1.30	-0.89	-0.81	-1.22	0.69	0.71	0.70	0.66
1973	0.65	0.51	0.49	1.76	1.02	0.54	-0.81	0.79	1.60	-2.24	0.24	-0.91
1974	2.27	0.87	0.19	0.31	-1.30	-0.89	-0.81	2.24	-1.56	-0.71	0.17	-0.37
1975	-0.31	0.99	0.62	-0.04	-1.30	-0.89	-0.81	-1.22	-1.56	0.10	-0.48	0.85
1976	0.77	-0.16	0.18	-3.01	0.21	-0.89	-0.81	1.72	1.04	-2.24	-2.52	-0.65
1977	-1.36	1.06	0.00	-0.80	0.47	-0.89	-0.81	-1.22	0.98	0.75	1.32	0.39
1978	1.05	-0.93	-0.10	1.08	-1.30	-0.89	-0.81	-1.22	-0.08	-0.36	1.24	0.16
1979	0.01	-2.62	0.86	-3.01	-1.30	-0.89	-0.81	-1.22	-1.56	1.06	-0.40	0.90
1980	-0.44	0.12	-0.06	0.17	1.21	0.59	-0.08	0.31	1.00	0.36	0.65	0.50
1981	0.05	0.10	-0.13	0.24	0.84	-0.89	-0.81	0.74	-1.56	-0.20	-0.05	0.85
1982	0.64	-0.73	0.61	0.14	0.35	-0.89	0.24	-1.22	1.17	1.56	0.81	-1.99
1983	-2.14	-0.93	-2.24	0.92	0.65	-0.89	-0.81	0.29	1.14	0.06	-1.47	-1.20
1984	1.38	2.02	1.95	-3.01	-1.30	0.99	-0.81	-1.22	-1.56	1.55	1.53	-1.32
1985	-0.10	1.14	-0.38	1.32	0.43	1.73	-0.81	0.38	1.07	-2.24	1.19	1.42
1986	0.39	1.95	1.81	0.00	-1.30	-0.89	0.89	0.36	-1.56	-2.24	-0.02	1.29
1987	0.66	-2.09	-1.48	-1.07	-1.30	1.49	2.29	-1.22	-1.56	0.87	0.56	-1.48
1988	-0.82	-1.11	-0.86	1.49	1.08	-0.89	-0.81	-1.22	-1.56	0.20	-2.52	-0.60
1989	0.12	1.62	2.09	0.76	-1.30	-0.89	-0.81	-1.22	-1.56	-1.17	-2.52	-3.47
1990	-1.67	-1.28	-0.62	-0.85	1.26	2.50	2.12	1.05	0.07	1.26	-0.55	-1.04
1991	-0.86	-0.36	-0.01	0.08	0.94	-0.89	-0.81	0.72	-0.08	0.26	0.71	0.67
1992	-1.45	-1.01	-3.29	-0.61	-1.30	-0.89	-0.81	0.69	-0.34	1.01	0.28	-0.92
1993	0.29	-2.08	0.39	0.30	0.26	-0.89	-0.81	1.70	0.89	1.40	0.72	0.56
1994	-0.36	0.27	-0.20	0.59	-0.30	0.02	0.71	0.13	0.31	-0.27	0.15	0.36
1995	-0.97	-0.91	0.29	-0.06	-0.30	-0.89	-0.81	-1.22	0.26	-0.39	0.22	-0.36
1996	0.67	-0.18	-1.09	0.30	1.12	-0.89	-0.81	0.96	-1.56	-0.71	0.50	0.70
1997	1.38	0.97	-0.25	0.04	0.60	-0.89	-0.81	1.46	1.76	0.12	0.96	0.31
1998	-0.01	-1.05	0.06	0.08	-1.30	2.11	-0.81	-0.14	-0.44	0.32	0.58	-1.57
1999	0.18	0.91	1.73	1.39	0.17	-0.89	-0.81	-1.22	0.64	1.08	-2.52	-0.58
2000	0.70	0.46	-0.18	0.42	0.71	0.54	-0.81	0.03	-0.34	0.91	-0.28	0.32
2001	1.63	0.97	0.67	0.74	0.58	0.31	-0.81	0.59	-0.61	0.42	0.00	-1.27
2002	-1.04	0.89	0.72	1.58	1.27	1.54	1.58	0.21	0.04	1.41	0.56	0.30
2003	-0.39	0.05	0.33	-0.45	0.82	-0.89	0.79	0.66	0.55	0.33	-0.15	0.19
2004	0.23	0.25	-0.18	0.17	-1.30	0.40	2.40	1.95	0.84	-2.24	-2.52	-0.70
2005	-0.29	1.01	-0.75	0.97	-1.30	-0.89	-0.81	-1.22	1.10	0.03	0.12	1.56
2006	1.67	0.24	0.57	0.55	1.02	0.02	-0.81	-0.24	0.40	1.14	0.88	0.56
2007	-0.68	0.18	0.54	0.63	-1.30	0.20	-0.81	-0.39	0.78	-0.30	0.76	0.43
2008	0.88	-0.84	-0.31	-1.09	-1.30	-0.89	-0.81	0.59	-1.56	0.01	-0.67	1.19
2009	-1.03	0.39	-0.23	0.74	-0.08	-0.89	1.30	-1.22	0.51	-0.14	1.08	-0.06
2010	-0.38	-0.61	-0.73	1.00	1.40	-0.89	-0.81	-1.22	-0.25	0.21	-0.38	0.32

Fuente: Elaboración propia

**TABLA Nº 10:** Índice de precipitación estandarizada–Estación Desaguadero.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	-1.18	-0.39	-0.10	0.68	0.92	-1.18	-1.21	0.72	0.47	-3.17	-1.14	-0.61
1965	-0.41	-0.65	-0.81	-0.44	-0.54	-1.18	0.23	-0.46	0.81	-0.34	0.42	2.15
1966	-1.46	0.17	-0.76	0.44	1.54	-1.18	-1.21	-1.67	-0.51	0.14	-0.17	0.26
1967	-2.28	-1.21	0.24	-0.18	0.59	-1.18	1.44	0.58	0.94	0.50	-2.44	1.23
1968	-0.34	1.10	0.05	-0.47	1.92	1.42	-1.21	0.08	0.66	-0.02	1.75	-1.61
1969	0.35	-0.85	-1.62	0.38	-0.62	0.47	0.15	-0.19	-0.30	-0.62	-0.43	-2.02
1970	-0.18	-0.48	0.00	0.22	0.05	-1.18	-1.21	-0.29	0.35	0.12	-0.55	1.19
1971	-0.30	0.96	-1.33	0.40	-0.62	-0.05	-1.21	0.00	-2.52	-0.24	0.75	-0.39
1972	0.59	0.18	0.58	-0.95	-1.73	0.09	0.51	-0.24	0.61	0.69	-0.26	0.93
1973	1.61	0.67	0.12	0.40	0.77	-1.18	1.14	0.76	1.11	0.67	-0.83	-1.10
1974	0.61	1.15	-1.19	0.86	-0.48	0.37	0.04	1.87	-0.10	0.18	-0.43	-0.45
1975	0.56	0.89	-1.80	-0.80	1.47	1.41	0.13	0.40	0.46	0.32	-0.81	0.76
1976	0.41	-0.42	-0.01	-0.30	0.61	-1.18	1.28	1.75	1.61	-3.17	-1.70	-0.84
1977	-1.01	1.15	0.79	-0.92	-0.72	-1.18	0.85	-0.16	-0.68	1.19	1.01	0.80
1978	0.95	-1.20	0.57	-0.85	-1.73	-1.18	0.96	0.41	0.91	0.09	1.44	-0.18
1979	0.65	-0.96	1.28	0.10	0.31	-1.18	0.35	-0.76	-2.52	0.48	0.83	0.63
1980	-0.84	-1.62	1.30	-1.45	0.46	-0.19	-1.21	1.03	0.56	0.69	-1.05	-0.76
1981	0.54	1.01	0.21	1.61	0.15	-1.18	-1.21	0.82	0.81	0.75	0.00	0.76
1982	1.27	-1.25	-0.62	0.95	-1.73	-0.13	-1.21	0.30	1.57	1.49	0.56	-1.59
1983	-2.29	-1.22	-0.94	0.28	0.24	0.48	0.36	0.53	0.02	-0.75	-0.49	1.46
1984	2.14	1.53	1.36	0.35	1.93	1.29	-1.21	-0.21	-2.52	1.15	0.92	-0.13
1985	-0.41	1.80	0.17	1.67	0.91	1.27	-1.21	0.93	1.27	-0.66	1.90	1.57
1986	0.37	1.53	2.61	0.63	0.45	0.21	0.61	0.21	0.58	0.01	0.69	1.37
1987	1.56	-1.00	-1.68	0.13	0.42	1.24	1.68	0.11	0.60	1.22	1.55	-0.91
1988	0.64	-1.31	1.06	1.07	0.54	-0.34	0.49	-1.67	0.23	0.09	-2.03	0.69
1989	-0.52	-1.01	-0.04	0.81	-0.18	-1.18	1.38	0.04	0.03	0.69	-0.02	-0.39
1990	-0.23	-0.93	-0.18	0.83	0.65	2.24	-1.21	1.12	-0.15	0.60	1.40	0.85
1991	-0.80	-1.22	0.23	0.23	0.62	1.70	0.29	-1.67	-1.00	0.12	-0.02	-0.91
1992	0.16	0.08	-1.14	0.88	-0.26	0.45	0.54	0.94	-2.52	0.24	-0.26	-0.33
1993	0.49	-1.06	0.26	-0.33	0.56	0.32	-1.21	1.45	0.67	0.99	0.85	0.14
1994	-0.53	0.91	-0.25	-0.04	0.69	0.24	0.33	-1.67	-0.74	-0.82	0.97	0.65
1995	-0.56	-0.10	0.25	-0.20	-1.73	-1.18	-1.21	-1.67	0.36	-1.39	0.05	1.52
1996	0.56	-1.20	-0.50	0.04	0.37	-1.18	0.19	1.59	0.48	-0.22	0.57	-0.45
1997	0.71	1.40	-0.22	0.57	0.94	-1.18	-1.21	1.59	1.42	-0.29	0.52	-1.37
1998	-0.99	0.33	-0.45	0.79	-1.73	1.78	-1.21	-1.67	-0.47	0.44	0.55	-1.74
1999	0.50	1.04	1.52	1.61	0.79	0.01	0.10	-1.67	0.29	1.38	-1.91	-1.51
2000	0.40	0.00	-0.44	-2.23	-1.73	0.83	-1.21	-0.03	-0.32	0.90	0.49	0.35
2001	1.57	1.56	0.47	-0.33	0.17	0.73	1.19	0.85	0.73	0.34	-1.06	0.18
2002	-0.78	0.91	1.65	1.45	0.82	1.25	1.89	-0.21	-0.78	0.88	0.51	-0.42
2003	0.07	-0.62	0.60	-1.64	0.89	-1.18	-1.21	0.17	0.90	-0.64	-0.55	0.33
2004	0.62	0.46	-0.96	-0.75	-0.38	-1.18	2.16	1.32	0.28	-3.17	-1.40	-0.47
2005	-0.93	0.93	0.30	-0.64	-1.73	-1.18	-1.21	-1.67	0.77	0.70	0.51	0.88
2006	1.19	-0.28	0.71	0.78	-0.42	0.24	-1.21	-1.67	0.11	0.79	0.74	-0.97
2007	-2.42	-0.97	1.67	0.16	-1.73	-1.18	0.96	0.02	0.45	-0.83	-0.11	-0.93
2008	0.45	-1.10	-0.47	-4.06	-1.73	0.27	-1.21	-0.12	-2.52	0.26	-0.91	0.85
2009	-0.46	1.07	-0.15	0.09	-1.73	-1.18	0.25	-1.67	-0.42	1.01	0.55	0.15
2010	0.10	0.16	-2.40	0.16	1.29	-1.18	-1.21	-1.67	0.84	0.63	-0.70	0.40

Fuente: Elaboración propia

**TABLA N° 11:** Índice de precipitación estandarizada – Estación Yunguyo.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	-1.74	-0.66	0.63	0.60	0.58	-1.52	0.63	0.11	0.68	-0.56	-0.31	-0.86
1965	-0.22	-0.18	-0.08	-0.33	0.12	-0.19	0.73	-2.40	1.14	-0.36	1.78	0.64
1966	-1.36	0.29	-1.03	0.05	1.06	-1.52	-0.20	-2.40	-0.11	0.49	0.10	-0.61
1967	-0.66	0.95	0.79	-0.19	1.20	0.17	1.35	0.62	0.69	0.76	-0.64	-0.72
1968	-1.41	0.24	0.60	0.17	1.59	1.58	0.66	0.06	0.08	-0.03	0.69	-0.45
1969	0.42	-1.53	-1.31	0.23	-0.28	0.37	0.20	0.36	0.37	-0.74	-0.64	-1.48
1970	-0.46	-1.33	0.32	0.04	0.09	-1.52	-1.63	-0.12	0.14	0.12	-1.43	-1.02
1971	-1.57	1.16	-2.05	0.40	-0.40	0.03	-1.63	0.23	-0.43	0.42	0.84	0.80
1972	0.27	0.71	-1.68	-0.03	-0.35	-1.52	-1.63	0.12	0.69	-0.94	-2.91	-0.72
1973	0.76	0.79	1.13	0.78	-0.47	0.26	1.22	0.64	1.39	0.21	0.23	-0.48
1974	1.00	0.93	-1.04	0.94	-2.39	0.65	-1.63	2.70	-0.27	-0.36	-1.03	0.70
1975	1.74	2.04	0.44	-0.87	1.30	-1.52	-1.63	-0.55	-0.24	1.00	-0.38	3.62
1976	1.90	1.08	0.26	-0.04	1.34	0.52	0.84	0.76	1.58	-0.67	-0.79	0.07
1977	-1.71	0.79	0.30	-1.19	0.64	-1.52	0.27	-0.55	0.96	0.52	0.85	1.16
1978	1.24	-1.48	-0.22	-0.21	-2.39	-1.52	0.11	-0.24	-0.31	-4.68	1.17	1.26
1979	0.33	-0.96	1.80	1.07	0.76	0.48	0.69	-0.02	0.50	0.06	0.15	-1.14
1980	-1.26	0.06	-0.30	0.13	0.74	0.45	0.65	0.15	0.51	0.06	0.15	-0.76
1981	-0.61	0.31	-0.43	0.01	0.74	0.52	0.61	0.31	0.48	0.16	0.24	-0.35
1982	-0.42	0.44	-0.35	0.14	0.82	0.58	0.54	0.52	0.29	0.23	-0.35	-0.39
1983	-0.03	0.45	-0.08	0.18	0.70	0.64	0.63	0.69	0.44	0.11	-0.33	-0.12
1984	0.17	0.30	-0.30	0.26	0.51	0.66	0.24	0.68	0.40	-0.13	-0.15	0.13
1985	0.48	0.34	-0.46	0.27	-0.01	-0.13	0.17	0.76	0.50	-0.11	-0.36	0.30
1986	0.42	0.69	-0.15	0.26	0.26	-0.09	0.26	0.81	0.53	0.05	-0.19	0.63
1987	-1.53	-2.12	-1.29	0.00	0.67	1.12	0.93	-0.16	0.14	0.87	1.03	0.73
1988	0.27	-1.82	1.90	1.25	1.30	0.23	0.84	-2.40	0.61	-0.38	-0.62	0.63
1989	0.55	-0.01	1.32	1.42	0.35	0.76	0.38	0.07	0.11	-0.41	0.89	-1.27
1990	-0.15	-0.71	-0.63	0.67	1.54	2.44	-1.63	0.27	-0.08	1.17	1.20	0.78
1991	-0.15	-2.35	0.66	0.17	0.58	1.45	0.43	-0.90	-0.26	0.87	-0.17	0.50
1992	-0.09	-0.43	-2.45	-0.18	-2.39	0.52	0.88	1.12	-0.64	0.71	1.59	-0.75
1993	1.12	-2.37	1.14	-0.33	-0.18	0.70	-1.63	1.35	0.49	1.63	1.95	0.61
1994	0.68	0.97	0.86	0.25	-0.28	0.24	0.72	-0.24	-1.38	0.04	0.46	1.45
1995	-0.78	-0.31	1.86	-0.60	-0.21	-0.04	0.23	0.50	0.03	-0.50	0.79	1.69
1996	0.64	0.23	-1.01	0.46	-0.21	0.30	1.59	1.01	-0.15	-1.77	0.55	0.71
1997	0.72	1.00	0.41	0.34	-0.05	-0.29	-0.47	1.19	0.96	-0.46	0.07	-2.10
1998	-0.87	-0.37	-0.15	1.46	-0.23	1.23	-1.63	-0.74	-1.01	0.35	0.10	-1.78
1999	0.13	0.85	1.05	1.07	0.67	-0.19	0.00	-0.90	1.26	1.10	-0.67	-0.65
2000	0.93	-0.05	-0.16	-4.16	0.37	1.74	-1.63	0.67	-3.96	1.12	-1.39	1.01
2001	1.86	0.99	0.41	0.42	0.19	-1.52	0.99	0.99	0.90	1.03	-0.35	-0.26
2002	-0.42	1.20	0.52	1.18	0.09	1.26	1.75	0.55	-0.79	1.63	-0.33	-0.34
2003	0.72	-0.29	1.42	-0.19	0.62	-1.52	0.02	0.05	0.87	-0.13	-1.49	-0.07
2004	0.94	0.31	-0.35	0.42	-0.06	0.57	1.79	1.28	-0.27	-1.39	-1.11	-0.56
2005	-1.16	0.89	-0.90	0.58	0.21	-1.52	-1.63	-0.64	0.15	0.94	0.92	0.05
2006	0.60	-0.65	0.46	0.63	-2.39	-1.52	-1.63	0.44	-0.43	1.05	1.19	-0.72
2007	-2.05	-0.69	0.88	0.29	-0.23	-1.52	1.07	-0.35	0.79	-0.74	0.34	-0.30
2008	0.63	-0.64	-0.43	-4.16	-2.39	0.42	-1.63	-2.40	-3.96	-0.14	0.37	0.68
2009	-1.00	0.50	-0.78	0.57	-2.39	-1.52	0.38	-2.40	0.03	-0.91	0.94	-0.67
2010	1.17	0.60	-1.47	-0.19	1.10	-1.52	-1.63	-0.04	0.15	1.04	-2.53	0.32

Fuente: Elaboración propia

**TABLA Nº 12:** Índice de precipitación estandarizada – Estación Juli.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	-1.39	-0.43	-0.40	-1.07	-0.01	0.55	0.05	-1.86	0.47	-0.65	0.34	0.40
1965	0.15	0.15	-1.04	-1.74	-0.18	-1.44	0.44	-1.86	0.85	-0.73	0.67	1.61
1966	-2.32	-1.20	-1.84	-0.57	0.48	-1.44	-1.67	-1.86	-0.22	0.82	0.52	-0.26
1967	-2.23	0.03	0.71	0.57	1.50	-1.44	-1.67	-1.86	0.83	-0.07	-1.95	1.19
1968	-0.80	0.52	0.73	-0.59	-2.21	1.73	-0.14	-0.28	0.47	-2.06	0.88	-1.98
1969	-0.21	-0.08	-0.96	-0.40	0.26	0.72	0.08	0.31	0.19	-0.39	-1.04	-0.26
1970	-0.57	0.34	0.37	0.01	-0.13	-0.49	0.38	-1.86	0.46	0.07	-0.70	1.20
1971	-0.28	1.83	-1.34	0.75	-2.21	0.23	-1.67	0.43	-3.50	-0.10	1.11	0.48
1972	1.21	0.63	0.41	-1.02	0.52	0.29	0.42	-0.35	0.34	-0.96	0.13	0.72
1973	1.03	0.26	0.07	1.37	-0.23	-1.44	0.84	0.64	0.82	0.46	-0.45	-1.03
1974	1.00	1.93	-1.62	2.50	1.72	0.47	-0.62	2.06	0.19	0.02	-0.50	-2.07
1975	-0.03	1.11	0.24	-1.09	1.48	0.90	-1.67	0.45	0.61	1.66	-0.28	2.56
1976	1.63	0.40	-0.07	-0.86	1.48	-0.06	0.20	1.27	1.21	-1.27	-1.92	-1.59
1977	-1.64	1.19	1.08	-2.04	-2.21	-1.44	1.24	-1.86	1.10	1.03	0.43	0.09
1978	0.80	-1.13	-0.38	-0.92	-2.21	-1.44	0.44	0.29	0.21	-2.91	0.93	0.70
1979	0.14	-0.80	1.15	0.86	-0.36	-1.44	1.22	-0.25	-0.91	0.51	1.37	0.45
1980	0.05	-1.28	1.41	-2.37	-0.32	0.05	1.09	1.07	1.80	0.57	-0.62	0.48
1981	-0.94	0.53	-0.59	0.30	0.75	0.78	-0.04	-0.01	0.05	-0.12	-0.14	0.06
1982	-0.29	0.83	-0.06	0.43	0.77	0.82	-0.62	0.35	0.33	-0.36	-0.25	0.21
1983	0.21	0.89	-0.19	0.30	0.41	0.87	0.08	0.57	0.27	-0.26	0.11	-0.07
1984	0.43	0.85	-0.35	0.44	0.61	0.16	0.30	0.71	0.33	0.10	-0.16	0.38
1985	-0.90	1.47	0.32	1.38	1.24	1.61	-1.67	0.80	1.64	-0.96	2.02	0.97
1986	-0.85	1.04	0.45	1.33	-0.07	-1.44	0.39	1.15	-0.11	-0.09	-0.74	0.56
1987	1.29	-1.76	-1.07	-0.21	0.04	0.84	1.47	-0.41	0.04	0.97	1.91	-1.87
1988	1.33	-1.76	1.38	1.60	0.30	-0.49	-0.14	-1.86	0.20	0.83	-0.58	-0.31
1989	-0.38	0.09	0.75	-1.45	0.67	0.43	0.68	0.65	0.02	-2.02	-0.01	-1.34
1990	0.07	-2.30	-1.88	0.10	0.55	2.18	-1.67	0.70	0.10	1.10	0.46	1.14
1991	-0.59	-1.08	0.18	0.66	0.37	1.75	0.38	-0.63	-0.28	0.59	-0.45	-0.87
1992	-0.40	-0.57	-2.26	-0.36	-2.21	-0.16	0.40	1.22	-3.50	-0.35	0.63	-1.27
1993	0.43	-1.35	0.63	-0.44	0.21	0.32	-1.67	1.10	0.14	1.18	1.46	-0.99
1994	0.00	-0.29	-0.52	0.31	0.46	0.63	0.04	-0.55	-0.60	-1.91	0.57	1.00
1995	-0.90	-1.00	-0.10	-0.91	0.10	-1.44	-0.31	0.21	0.01	-0.22	0.61	0.14
1996	0.12	-0.63	-0.05	-0.38	0.77	-1.44	0.91	1.16	-0.86	-0.23	0.73	-0.19
1997	0.95	0.62	0.32	0.56	0.42	-1.44	-1.67	1.60	1.48	0.15	0.76	-1.49
1998	-0.84	-1.59	0.15	0.46	-2.21	1.10	-1.67	-1.86	-0.26	1.24	0.50	-1.58
1999	-0.41	1.22	1.97	0.45	1.08	0.21	0.32	-0.29	1.11	2.25	-0.97	-0.37
2000	1.07	0.79	-0.04	-1.09	0.41	1.14	-0.31	0.64	-1.48	0.92	-2.67	0.19
2001	1.56	0.96	1.27	0.36	0.23	0.16	1.14	1.01	0.05	1.06	-1.24	0.12
2002	-0.61	0.58	1.26	1.75	0.28	1.23	2.28	0.40	-0.96	0.27	-0.23	-0.07
2003	0.55	-0.39	1.93	-0.15	0.93	-1.44	0.65	0.47	0.77	-0.32	-0.65	-0.47
2004	1.54	-0.82	-1.40	0.29	0.45	0.18	2.03	1.38	0.29	-1.13	-0.64	0.32
2005	-0.72	0.25	-1.15	-0.49	-0.50	-1.44	-1.67	-0.49	0.27	0.90	0.23	0.99
2006	1.78	0.34	0.48	0.01	0.17	0.37	-1.67	-0.23	-0.17	0.40	1.34	-0.37
2007	-1.48	-0.48	1.18	1.21	0.14	0.00	0.85	0.06	0.45	0.43	-0.47	0.87
2008	1.17	-0.94	-0.93	0.01	-0.71	0.26	-0.07	-0.68	-1.69	0.65	-1.11	1.19
2009	-0.36	0.50	0.43	0.79	-2.21	-1.44	0.71	-1.86	1.02	0.07	1.52	0.36
2010	0.63	0.59	-0.57	-0.67	1.44	-1.44	0.59	0.31	-0.90	-0.68	-1.29	0.14

**Fuente:** Elaboración propia

**TABLA N° 13:** Índice de precipitación estandarizada – Estación Ilave.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	0.16	-1.08	-2.76	-0.08	0.73	-1.37	-1.29	0.21	0.85	-0.40	0.74	0.11
1965	-3.75	-2.68	-2.30	-1.96	-0.64	-1.37	-1.29	-1.92	0.28	-0.37	-1.10	0.56
1966	-1.75	-0.70	-1.91	-0.77	1.74	-1.37	-1.29	-1.92	-3.04	0.28	0.27	0.38
1967	-1.15	-0.03	0.08	-1.32	0.61	-1.37	-1.29	-1.92	0.85	0.45	-0.85	0.68
1968	-0.67	0.50	0.50	-0.08	1.24	1.31	0.61	1.82	0.13	0.04	1.60	-0.89
1969	0.83	0.38	0.70	0.30	-2.11	-1.37	-1.29	-1.92	-3.04	-3.89	-0.56	-1.34
1970	-0.40	0.25	1.01	0.63	0.79	0.25	0.56	-1.92	1.10	0.12	-0.42	0.85
1971	-0.55	1.16	-1.21	0.31	-0.36	0.89	-0.51	0.65	-3.04	-0.16	0.69	0.65
1972	0.77	-0.10	-0.25	-0.73	-2.11	-1.37	0.82	-0.06	0.54	-0.28	-0.30	0.88
1973	1.16	0.30	0.85	1.27	0.55	-1.37	1.06	0.65	0.87	0.23	-0.48	-1.03
1974	0.60	1.87	-0.76	0.37	-2.11	0.45	-1.29	1.99	-0.18	0.40	-0.84	-0.44
1975	0.05	0.87	0.69	-0.66	1.39	1.54	-1.29	0.28	0.88	1.01	-1.21	2.19
1976	0.90	0.35	0.01	-0.56	0.53	0.33	0.08	1.22	1.40	-3.89	-1.47	-0.11
1977	-1.07	0.43	1.55	-2.35	-0.48	-1.37	1.35	-0.23	1.23	0.52	1.18	-0.14
1978	0.60	0.04	-0.33	-0.66	-2.11	-1.37	0.70	0.35	0.56	-0.70	1.43	-3.27
1979	-1.21	-0.63	-1.00	-0.24	0.91	0.28	-1.29	0.35	0.12	-0.10	0.04	0.39
1980	-0.39	-0.17	-0.34	-0.27	0.85	0.45	-0.07	0.52	0.07	0.02	-0.14	0.38
1981	0.05	0.37	0.10	0.01	0.95	0.57	0.25	0.71	0.22	0.12	0.14	0.25
1982	0.32	0.60	0.44	0.12	0.48	0.67	0.42	0.86	0.50	0.05	0.13	0.18
1983	0.49	0.69	0.45	0.31	0.48	0.75	0.54	0.99	0.42	-0.07	0.32	0.02
1984	1.27	1.83	1.03	-0.39	0.75	0.84	0.47	0.40	-1.25	1.55	0.72	-1.11
1985	-0.31	1.86	0.62	0.95	1.18	1.42	-1.29	0.35	1.36	0.76	2.19	1.88
1986	0.06	1.61	1.18	1.83	0.14	-1.37	0.52	-0.07	0.29	-0.37	0.16	1.10
1987	0.77	-0.83	-0.56	-0.35	-0.54	0.72	1.50	-0.03	0.29	0.68	0.96	-2.53
1988	0.01	-1.48	0.92	1.64	0.63	-0.29	0.31	-1.92	0.28	0.44	-1.21	-0.29
1989	0.64	-0.21	0.59	1.44	-0.93	0.41	0.92	0.26	0.62	-0.36	-0.69	-0.92
1990	-0.08	-1.92	-0.77	0.37	1.06	2.44	-1.29	0.50	-0.35	1.09	1.13	0.99
1991	-1.33	-0.93	0.22	0.42	0.89	1.96	0.82	-0.10	0.04	0.67	-0.73	-0.52
1992	-0.08	-0.65	-1.63	-1.74	-2.11	0.11	0.19	1.36	-0.90	0.50	0.42	-1.13
1993	0.40	-2.01	0.37	0.83	-0.43	-0.04	-1.29	1.20	0.28	0.05	0.37	0.29
1994	-0.38	0.01	0.00	0.64	0.68	-1.37	-1.29	-1.92	-0.54	-0.55	0.01	0.78
1995	-0.63	-0.83	0.54	-1.17	0.13	0.07	-1.29	-0.08	-0.20	-0.53	0.21	0.71
1996	0.94	0.22	-1.47	-0.26	-0.32	-1.37	0.88	0.91	-0.07	-0.64	0.87	0.10
1997	1.32	0.86	0.36	0.71	-0.45	-1.37	-1.29	1.45	1.82	0.16	1.00	-0.95
1998	-0.89	-0.22	-0.89	0.69	-2.11	1.04	-1.29	-1.12	-0.60	0.56	0.20	-1.29
1999	-0.72	0.40	1.47	1.40	0.68	-0.18	0.21	-0.11	0.32	1.94	-0.70	-0.55
2000	1.16	0.49	0.51	-1.19	0.06	0.49	1.02	0.08	-0.77	0.80	-2.42	0.63
2001	1.41	1.32	0.83	0.21	-0.23	-0.60	1.33	0.75	-0.05	0.94	-0.14	0.57
2002	-0.70	1.43	1.52	2.59	0.92	1.31	2.26	0.49	-0.14	1.16	0.83	0.59
2003	0.13	-0.85	0.94	-1.18	1.03	-0.23	-1.29	0.30	1.12	-0.36	-0.70	0.17
2004	1.30	0.09	-0.94	-0.86	0.45	0.11	1.62	1.07	0.12	-1.51	-0.51	-0.52
2005	-0.44	0.24	-0.38	-0.63	0.33	-1.37	-1.29	-1.92	0.49	0.95	0.38	0.16
2006	1.70	-0.83	0.54	-0.29	-0.13	0.33	-1.29	0.23	0.54	0.11	1.11	0.11
2007	-0.97	-1.25	1.37	0.86	-0.23	0.20	0.92	0.00	0.89	0.18	-0.23	0.12
2008	0.94	-0.54	-0.58	-1.01	-0.36	0.07	0.88	-0.18	-1.12	0.85	-2.64	1.32
2009	-0.75	0.01	-0.32	0.62	-2.11	-1.37	0.95	-1.92	0.87	0.41	1.81	-0.70
2010	0.62	-0.14	-0.67	0.14	1.40	-1.37	-1.29	0.22	-1.18	0.51	-1.30	0.95

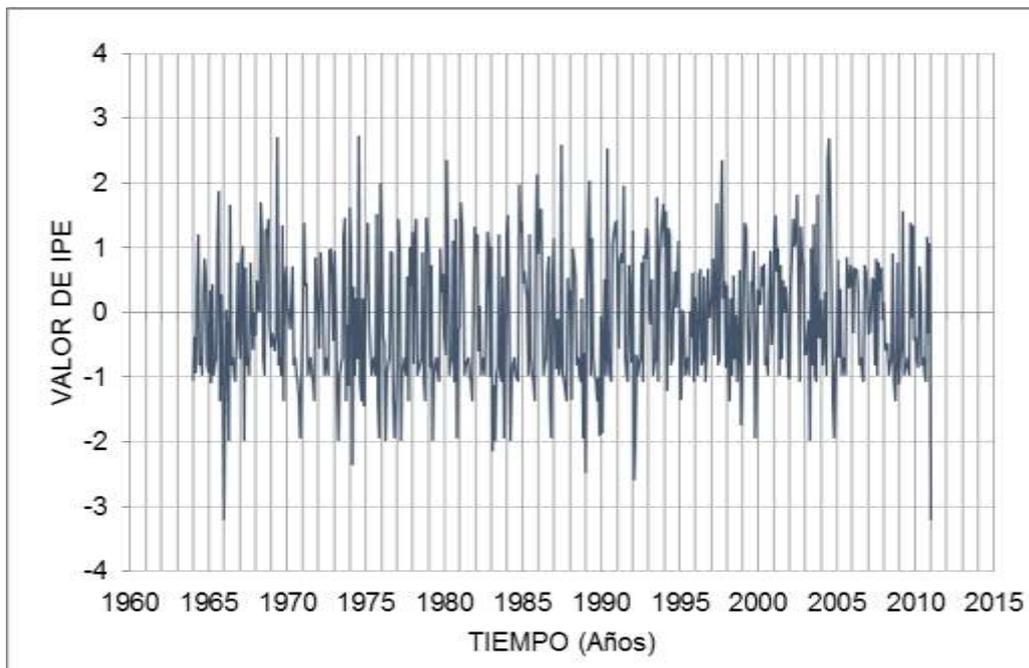
Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 14: Índice de precipitación estandarizada – Estación Laraqueri

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1964	-0.18	-0.18	-0.22	0.24	0.73	-1.05	-0.98	-0.29	1.42	0.30	-0.37	-1.69
1965	-1.73	-1.10	-0.49	0.16	0.23	0.42	0.76	0.45	0.76	0.53	0.16	1.35
1966	-1.54	0.10	-0.47	-0.26	1.72	-1.05	-0.98	-1.67	-0.19	0.43	1.06	-1.10
1967	-1.30	0.38	1.36	-0.07	0.98	-1.05	1.79	1.09	1.09	0.71	-4.18	0.78
1968	-0.29	0.58	0.30	0.12	1.40	1.46	0.50	-0.22	0.26	0.83	1.02	-0.29
1969	0.28	-1.03	0.07	0.39	-1.54	-1.05	0.45	-1.67	0.61	-0.35	-0.36	-0.37
1970	-0.86	-0.63	0.45	0.12	1.18	-1.05	-0.98	-1.67	-2.80	-0.51	-0.58	1.17
1971	-0.41	1.28	-0.67	-0.28	0.00	0.28	-0.98	0.05	-2.80	-0.97	0.35	0.48
1972	0.80	0.68	0.16	-0.66	0.19	-1.05	-0.98	-1.67	0.72	0.71	0.26	1.05
1973	0.39	-0.33	0.35	0.38	0.98	-1.05	0.79	0.66	1.31	-0.46	-0.31	-0.30
1974	1.26	1.21	0.03	0.48	-1.54	0.23	-0.98	1.77	0.42	-0.40	-0.66	-0.53
1975	-0.18	1.33	0.17	-0.34	1.34	0.57	-0.98	0.45	0.48	0.93	0.10	2.07
1976	2.01	-0.15	1.09	0.22	0.97	-1.05	1.78	1.22	1.46	-0.27	-0.93	-0.32
1977	-1.83	0.60	0.53	-1.30	0.35	-1.05	-0.98	-1.67	0.46	0.82	0.84	0.43
1978	0.55	0.03	0.05	0.28	-1.54	-1.05	1.49	-0.19	0.23	-0.62	1.54	0.15
1979	0.32	-0.48	0.31	-0.39	-1.54	0.26	1.08	-0.15	-0.41	0.25	0.30	-0.98
1980	0.90	-1.68	1.17	-1.21	-1.54	-1.05	0.70	0.80	0.99	1.32	-0.21	1.90
1981	0.95	1.52	0.31	0.55	-0.03	-1.05	-0.98	1.23	0.80	-0.13	-0.44	0.94
1982	-0.12	-0.96	-0.16	-0.21	-1.54	-1.05	-0.98	0.18	0.91	0.98	0.83	-2.18
1983	-1.12	-1.19	-1.55	-1.18	-1.54	0.34	-0.98	-0.51	0.31	-0.33	-0.69	-0.46
1984	1.71	1.07	1.11	0.17	0.98	1.96	-0.98	0.87	-0.86	1.03	1.58	0.26
1985	-0.46	0.60	0.09	1.94	1.15	1.28	-0.98	-1.67	1.07	-0.66	1.50	1.47
1986	-0.09	1.58	1.23	1.40	0.55	-0.20	-0.98	0.52	0.06	-1.37	0.11	0.80
1987	1.33	-1.21	-0.31	-0.23	-1.54	-1.05	2.02	0.35	-0.12	0.06	0.36	-1.94
1988	0.44	-2.08	0.79	1.82	0.61	0.49	-0.98	-1.67	-0.33	0.61	-0.81	0.01
1989	0.74	-0.22	0.34	1.01	0.18	0.79	0.51	0.27	-0.43	-3.50	-0.33	-1.33
1990	-0.45	-2.38	-0.22	-0.98	0.86	2.46	-0.98	0.80	-0.07	1.48	1.43	0.46
1991	-0.54	-0.22	0.53	-0.18	0.12	2.20	-0.98	-0.46	0.48	0.22	-0.21	-0.78
1992	-0.70	-0.75	-0.54	0.19	-1.54	0.66	1.39	1.27	-2.80	0.93	0.22	0.02
1993	0.52	-1.47	0.39	0.70	0.82	0.32	-0.98	1.33	0.35	1.76	1.28	1.14
1994	0.53	0.68	0.53	1.54	0.84	0.32	0.36	-1.67	-0.33	-0.60	0.64	0.64
1995	-0.37	0.77	0.55	-0.90	-1.54	-1.05	-0.98	-1.67	0.03	-1.09	0.40	1.06
1996	1.29	-0.27	-5.69	0.52	1.03	-1.05	-0.98	1.67	0.07	-0.93	0.94	-0.06
1997	0.29	1.15	0.19	-0.13	-0.22	-1.05	-0.98	1.00	1.93	0.03	1.23	-1.17
1998	-1.33	-0.85	-0.11	-0.07	-1.54	1.11	-0.98	-1.67	-2.80	0.21	0.12	-2.10
1999	-0.50	0.35	1.24	0.95	1.01	-1.05	-0.98	0.64	-0.26	1.39	-2.09	-0.61
2000	1.01	1.12	0.32	-0.88	0.35	0.30	-0.98	0.56	-0.28	1.01	-1.19	0.63
2001	2.12	1.43	0.44	1.03	0.78	-1.05	0.65	0.21	0.08	0.10	0.13	-0.69
2002	-1.77	0.88	0.66	0.97	1.10	0.73	1.73	0.77	0.01	0.60	0.56	-0.81
2003	-0.25	-0.34	0.29	-0.16	0.75	-1.05	-0.98	0.29	0.38	-0.79	-0.38	0.46
2004	0.77	0.02	-0.35	-0.38	-1.54	0.38	1.18	1.52	-0.31	-3.50	-0.77	-0.85
2005	-0.80	1.55	-0.24	0.27	-1.54	-1.05	-0.98	-1.67	0.38	0.48	-0.03	0.45
2006	0.91	-0.81	-0.12	-0.01	0.42	0.61	-0.98	0.69	0.84	-0.10	0.30	-0.67
2007	-0.90	-0.81	0.71	0.41	0.31	-1.05	-0.98	0.60	1.11	0.86	0.60	0.17
2008	0.33	-0.65	-0.32	-4.79	-1.54	-1.05	-0.98	0.20	-0.76	0.41	-0.70	0.69
2009	-1.71	0.38	0.12	0.83	-1.54	-1.05	0.80	-1.67	0.03	-0.26	0.81	0.02
2010	-0.01	0.56	-0.89	0.22	0.99	-1.05	0.74	-0.01	-0.59	0.37	-1.49	0.71

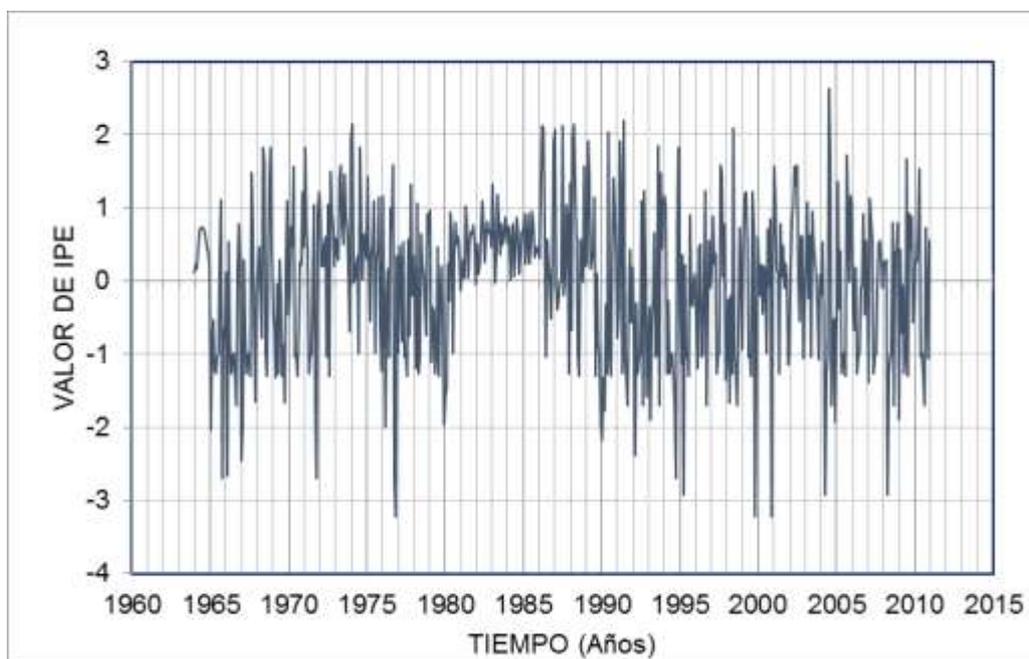
Fuente: Elaboración propia

**FIGURA N° 15:** Serie de tiempo de índice de precipitación estandarizada - Estación Capazo –Periodo 1964 al 2010.



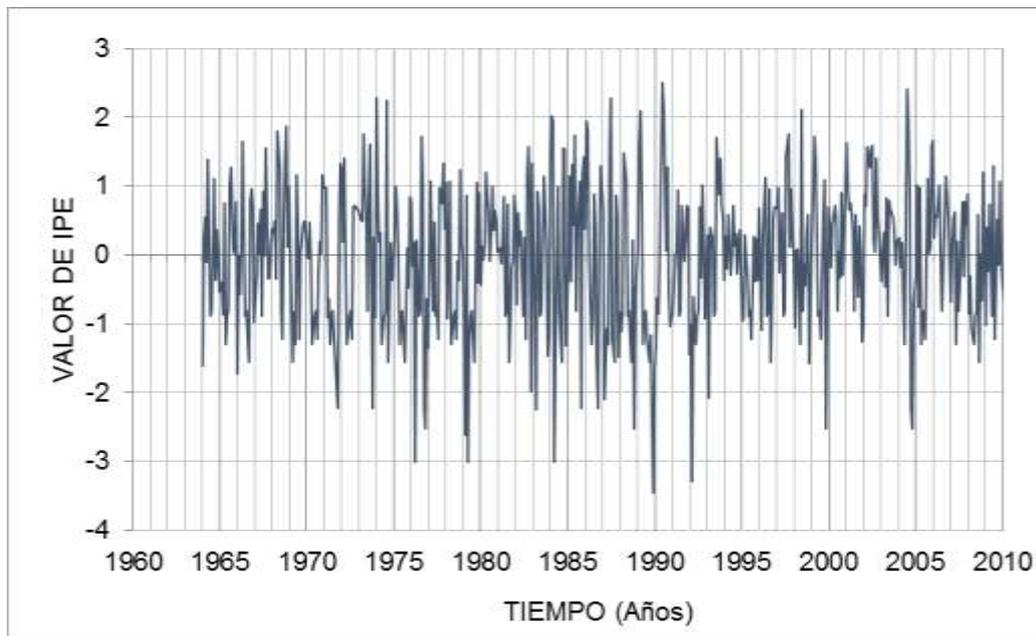
**Fuente:** Elaboración propia.

**FIGURA N° 16:** Serie de tiempo de índice de precipitación estandarizada - Estación Pizacoma –Periodo 1964 al 2010



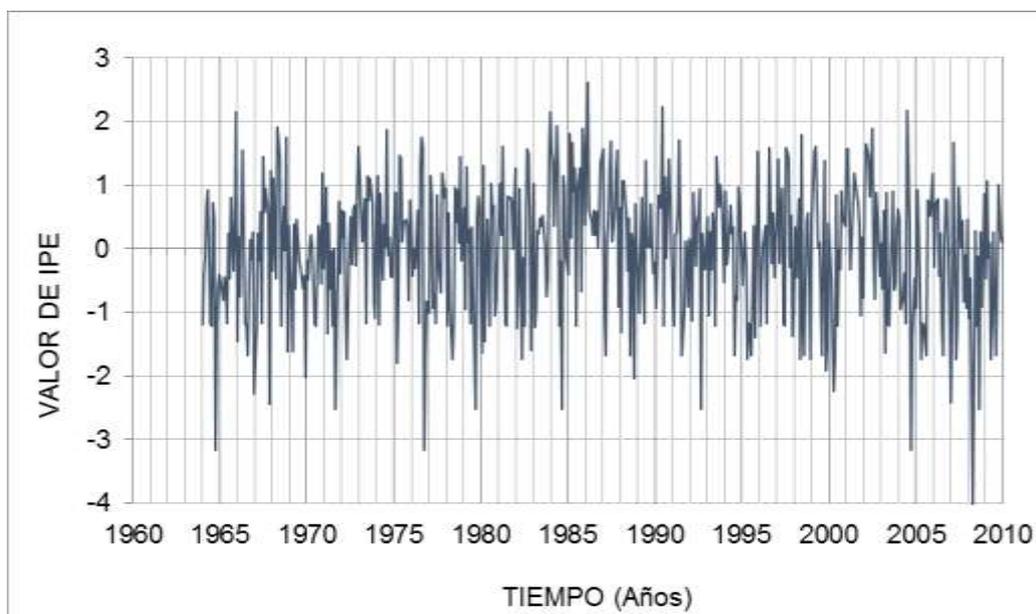
**Fuente:** Elaboración propia.

**FIGURA N° 17:** Serie de tiempo de índice de precipitación estandarizada - Estación Mazo Cruz –Periodo 1964 al 2010



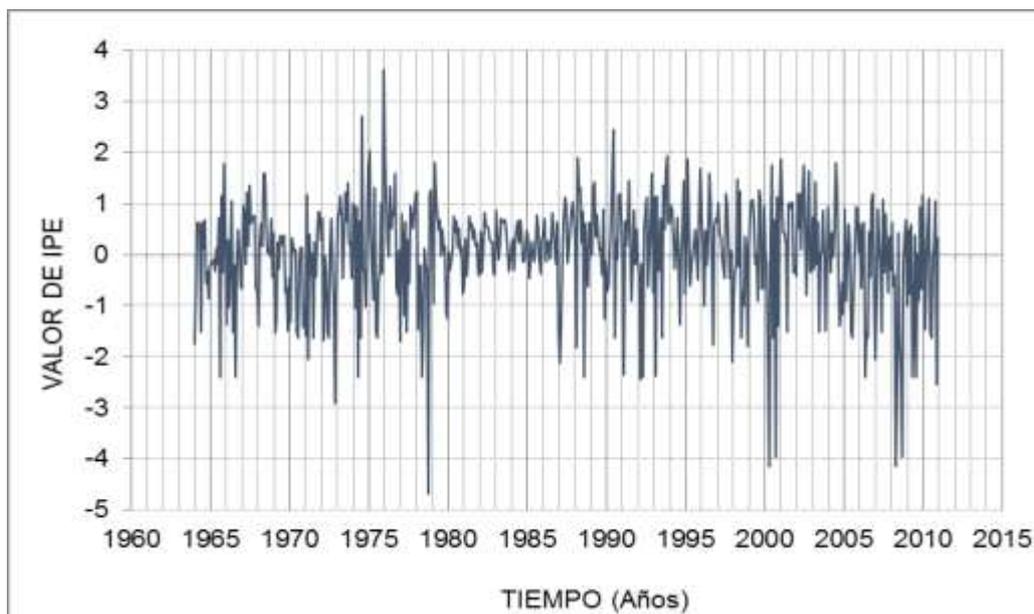
**Fuente:** Elaboración propia.

**FIGURA N° 18:** Serie de tiempo de índice de precipitación estandarizada - Estación Desaguadero –Periodo 1964 al 2010



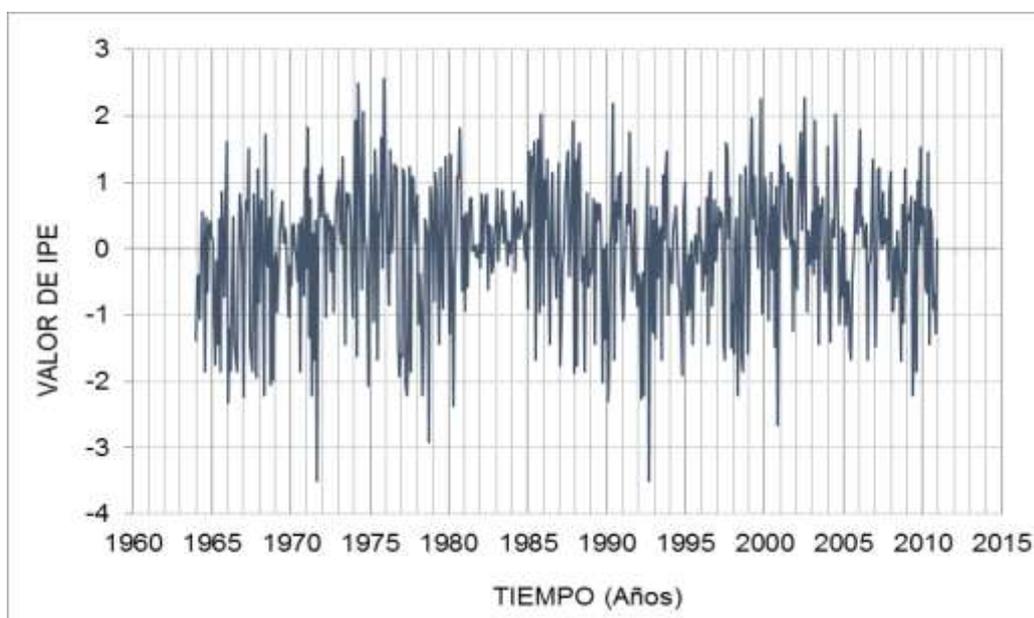
**Fuente:** Elaboración propia.

**FIGURA N° 19:** Serie de tiempo de índice de precipitación estandarizada - Estación Yunguyo –Periodo 1964 al 2010



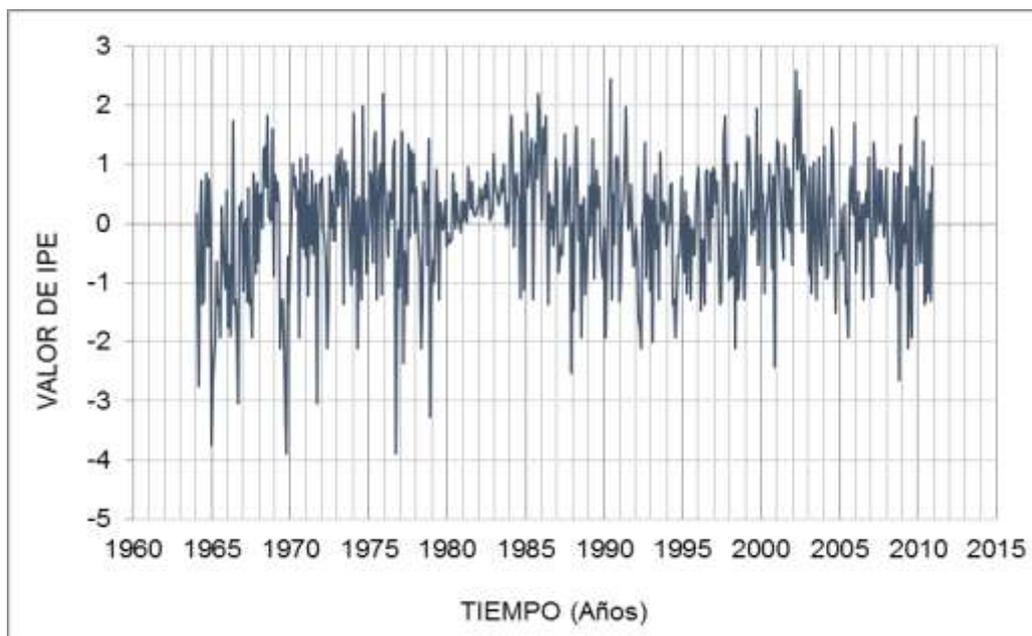
**Fuente:** Elaboración propia.

**FIGURA N° 20:** Serie de tiempo de índice de precipitación estandarizada - Estación Juli –Periodo 1964 al 2010



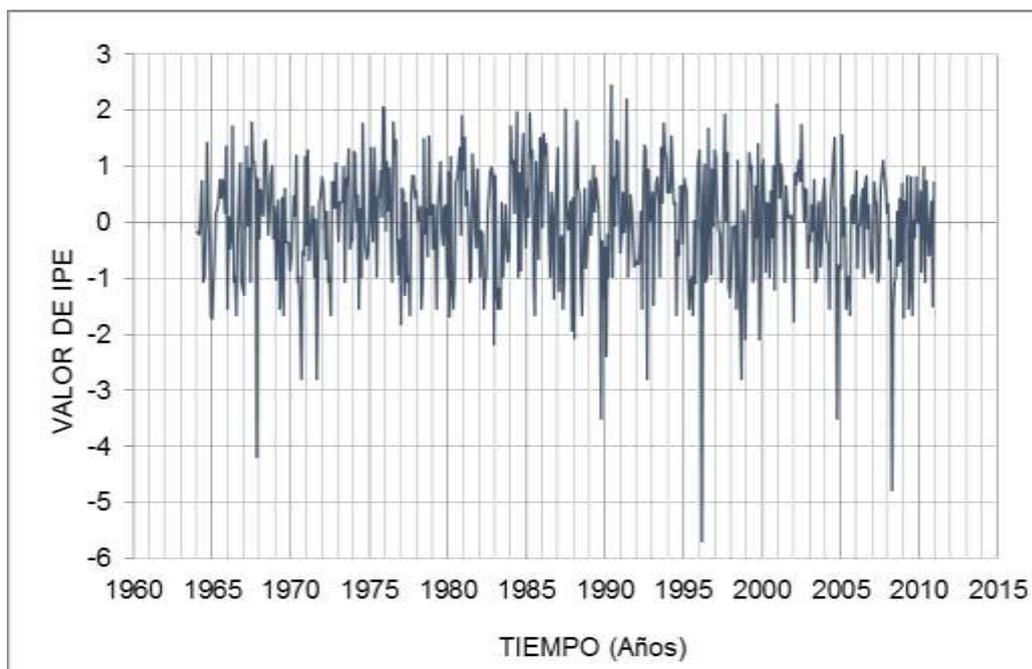
**Fuente:** Elaboración propia.

**FIGURA N° 21:** Serie de tiempo de índice de precipitación estandarizada - Estación Ilave –Periodo 1964 al 2010



**Fuente:** Elaboración propia.

**FIGURA N° 22:** Serie de tiempo de índice de precipitación estandarizada - Estación Laraqueri – Periodo 1964 al 2010



**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.2.3. De la frecuencia de ocurrencia de eventos de sequía meteorológica.

En la Tabla N° 15, se presentan el número de eventos o frecuencia observada para diferentes valores de índice de precipitación estandarizada durante el periodo de 1964 al 2010 de la estación Capazo, de ella se puede indicar que en total ocurrieron 564 eventos, de los cuales 58 eventos están en la categoría de moderadamente seco que representa el 10.2 %, 24 eventos corresponde a la categoría muy secos , que representa un 4.3 % y 5 eventos que corresponden a la categoría extremadamente seco, que representa un 0.9 % del total de eventos, estos 5 eventos pueden causar problemas a la actividad agrícola y afectar el desarrollo normal de los cultivos por falta de humedad.

**TABLA N° 15:** Frecuencia de eventos de sequía según categorías de IPE, estación Capazo.

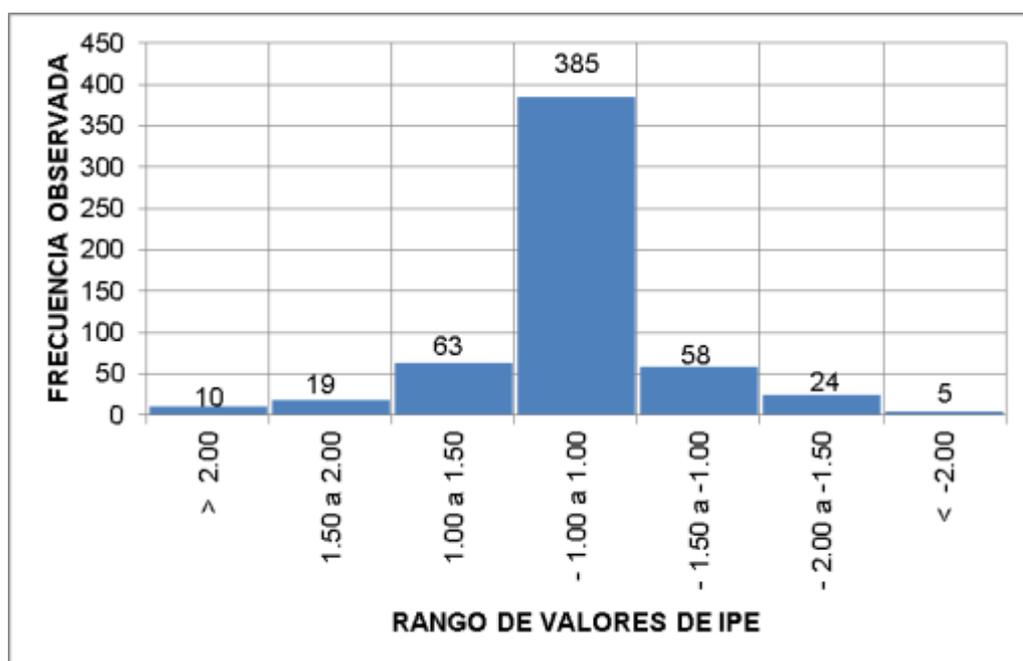
VALOR IPE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
> 2.00	0	0	1	1	1	2	2	1	1	0	0	1	10
1.50 a 2.00	1	3	1	1	3	1	1	2	2	2	0	2	19
1.00 a 1.50	8	5	7	5	3	4	2	4	4	6	8	7	63
- 1.00 a 1.00	31	34	31	31	40	40	42	40	15	22	29	30	385
- 1.50 a -1.00	4	2	5	0	0	0	0	0	25	17	1	4	58
- 2.00 a -1.50	1	1	1	9	0	0	0	0	0	0	9	3	24
< -2.00	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
<b>TOTAL</b>	<b>47</b>	<b>564</b>											

**Fuente:** Elaboración propia.

En la Figura N° 23, se observa el diagrama de frecuencia de ocurrencia de eventos de sequía, según las magnitudes de Índice de

Precipitación Estandarizada (IPE), de la Estación Capazo para un Período de 47 años (1964–2010).

**FIGURA N° 23:** Frecuencia de eventos de sequía según categorías de IPE en la estación Capazo.



**Fuente:** Elaboración propia.

En la Tabla N° 16, se presentan el número de eventos o frecuencia observada para diferentes valores de índice de precipitación estandarizada durante el periodo de 1964 al 2010 de la estación Pizacoma, de ella se puede indicar que en total ocurrieron 564 eventos, de los cuales 85 eventos están en la categoría de moderadamente seco que representa el 15.1 %, 24 eventos corresponde a la categoría muy secos , que representa un 4.3 % y 15 eventos que corresponden a la categoría extremadamente seco, que representa un 2.7 % del total de eventos, estos 15 eventos pueden causar problemas a la actividad agrícola y afectar en la productividad de los cultivos.

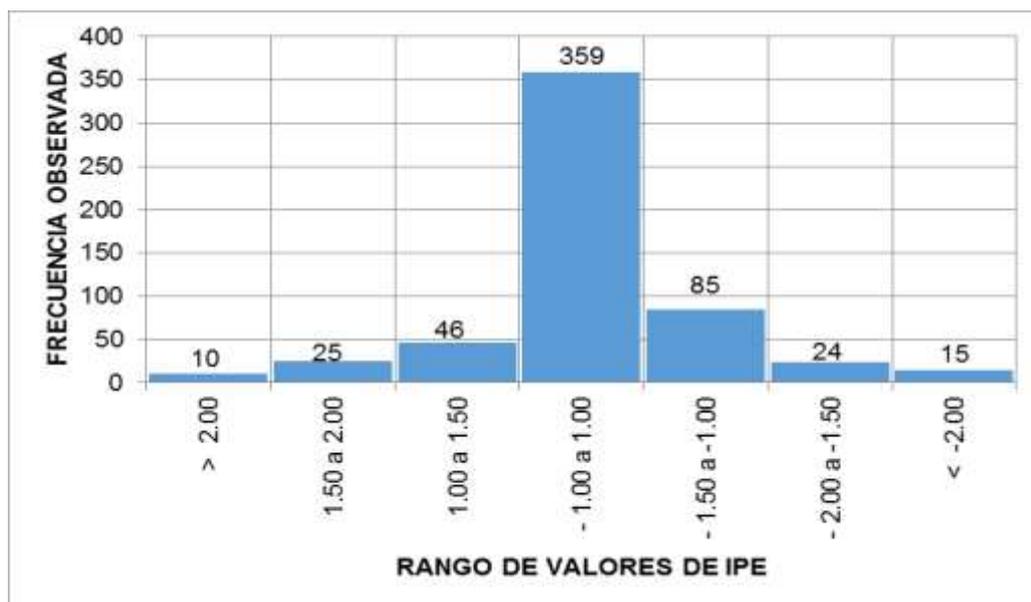
**TABLA N° 16:** Frecuencia de eventos de sequía según categorías de IPE, Estación Pizacoma.

VALOR IPE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
> 2.00	1	1	1	2	0	3	2	0	0	0	0	0	10
1.50 a 2.00	2	1	3	0	5	1	2	4	3	0	1	3	25
1.00 a 1.50	4	5	3	6	4	2	2	4	4	6	1	5	46
- 1.00 a 1.00	34	32	32	35	18	15	41	20	29	36	39	28	359
- 1.50 a - 1.00	1	5	4	1	20	26	0	19	0	0	3	6	85
- 2.00 a - 1.50	2	2	3	0	0	0	0	0	11	1	0	5	24
< -2.00	3	1	1	3	0	0	0	0	0	4	3	0	15
<b>TOTAL</b>	<b>47</b>	<b>564</b>											

**Fuente:** Elaboración propia.

En la Figura N° 24, se observa el diagrama de frecuencia de ocurrencia de eventos de sequía, según las magnitudes de Índice de Precipitación Estandarizada (IPE), de la Estación Pizacoma para un Período de 47 años.

**FIGURA N° 24:** Frecuencia de eventos de sequía según categorías de IPE en la Estación Pizacoma.



**Fuente:** Elaboración propia.

En la Tabla N° 17, se presentan el número de eventos o frecuencia observada para diferentes valores de índice de precipitación estandarizada durante el periodo de 1964 al 2010 de la estación Mazo Cruz, de ella se puede indicar que en total ocurrieron 564 eventos, de los cuales 58 eventos están en la categoría de moderadamente seco que representa el 10.2 %, 19 eventos corresponde a la categoría muy secos , que representa un 3.4 % y 21 eventos que corresponden a la categoría extremadamente seco, que representa un 3.7 % del total de eventos, estos 21 eventos pueden causar problemas a la actividad agrícola, afectar el desarrollo normal de los cultivos por falta de humedad y disminuir la productividad.

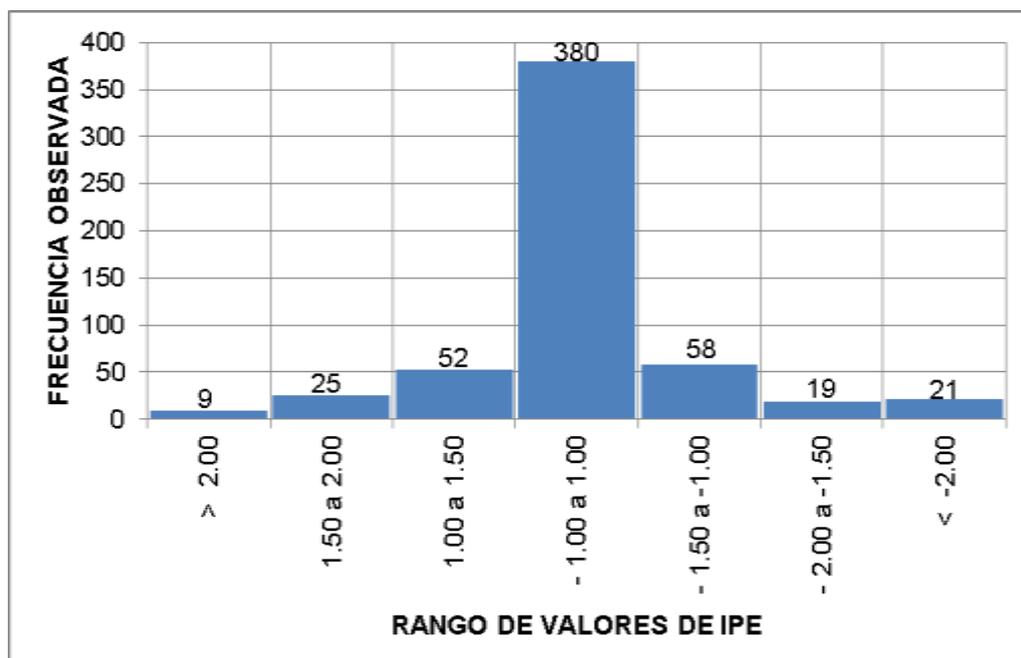
**TABLA N° 17:** Frecuencia de eventos de sequía según categorías de IPE, Estación Mazo Cruz.

VALOR IPE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
> 2.00	1	1	1	0	0	2	3	1	0	0	0	0	9
1.50 a 2.00	2	2	3	2	2	2	1	3	3	2	2	1	25
1.00 a 1.50	4	3	1	4	9	3	1	3	7	8	4	5	52
- 1.00 a 1.00	32	34	37	36	17	40	42	20	24	30	35	33	380
- 1.50 a -1.00	4	4	2	2	19	0	0	20	0	1	1	5	58
- 2.00 a -1.50	3	0	1	0	0	0	0	0	13	0	0	2	19
< -2.00	1	3	2	3	0	0	0	0	0	6	5	1	21
<b>TOTAL</b>	<b>47</b>	<b>564</b>											

**Fuente:** Elaboración propia.

En la Figura N° 25, se observa el diagrama de frecuencia de ocurrencia de eventos de sequía, según las magnitudes de Índice de Precipitación Estandarizada (IPE), de la Estación Mazo Cruz para un Período de 47 años (1964–2010).

**FIGURA N° 25:** Frecuencia de eventos de sequía según categorías de IPE en la Estación Mazo Cruz.



**Fuente:** Elaboración propia.

En la Tabla N° 18, se presentan el número de eventos o frecuencia observada para diferentes valores de índice de precipitación estandarizada durante el periodo de 1964 al 2010 de la estación Desaguadero, de ella se puede indicar que en total ocurrieron 564 eventos, de los cuales 66 eventos están en la categoría de moderadamente seco que representa el 11.7 %, 32 eventos corresponde a la categoría muy secos , que representa un 5.7 % y 17 eventos que corresponden a la categoría extremadamente seco, que representa un 3.0 % del total de eventos, estos 17 eventos pueden causar problemas a la actividad agrícola y afectar el desarrollo normal de los cultivos por falta de humedad.

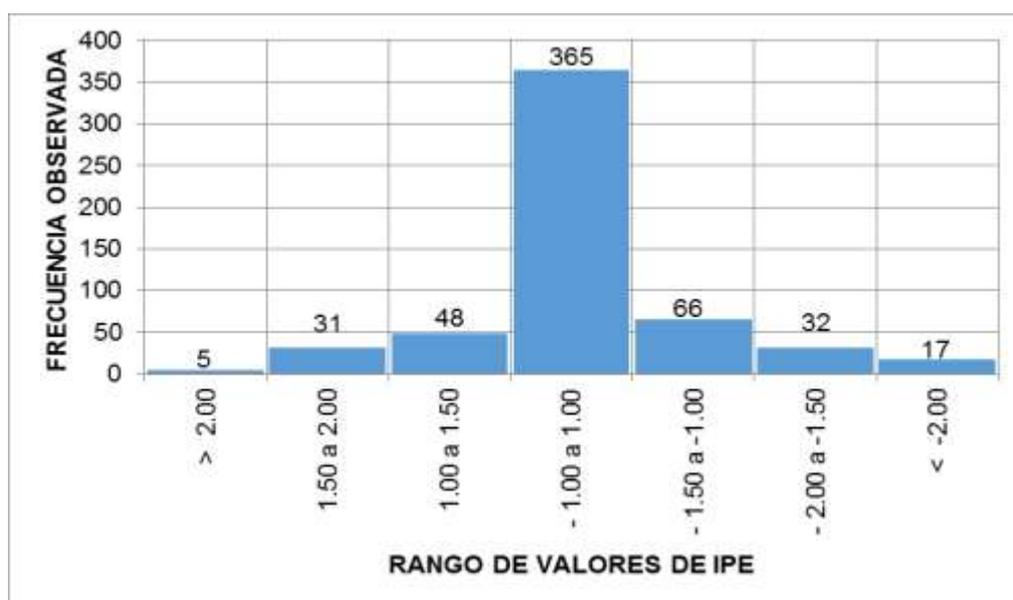
**TABLA N° 18:** Frecuencia de eventos de sequía según categorías de IPE, Estación Desaguadero.

VALOR IPE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
> 2.00	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	5
1.50 a 2.00	3	4	3	3	3	2	2	4	2	0	3	2	31
1.00 a 1.50	2	7	4	2	2	6	5	4	3	6	3	4	48
- 1.00 a 1.00	35	25	32	38	32	17	18	28	37	37	33	33	365
- 1.50 a -1.00	3	10	3	1	0	21	21	0	0	1	4	2	66
- 2.00 a -1.50	0	1	3	1	10	0	0	11	0	0	2	4	32
< -2.00	3	0	1	2	0	0	0	0	5	3	2	1	17
<b>TOTAL</b>	<b>47</b>	<b>564</b>											

**Fuente:** Elaboración propia.

En la Figura N° 26, se observa el diagrama de frecuencia de ocurrencia de eventos de sequía, según las magnitudes de Índice de Precipitación Estandarizada (IPE), de la Estación Desaguadero para un Período de 47 años (1964–2010).

**FIGURA N° 26:** Frecuencia de eventos de sequía según categorías de IPE en la Estación Desaguadero.



**Fuente:** Elaboración propia.

En la Tabla N° 19, se presentan el número de eventos o frecuencia observada para diferentes valores de índice de precipitación estandarizada durante el periodo de 1964 al 2010 de la estación Yunguyo, de ella se puede indicar que en total ocurrieron 564 eventos, de los cuales 26 eventos están en la categoría de moderadamente seco que representa el 4.6 %, 36 eventos corresponde a la categoría muy secos , que representa un 6.4 % y 25 eventos que corresponden a la categoría extremadamente seco, que representa un 4.4 % del total de eventos, estos 25 eventos pueden causar problemas a la actividad agrícola y afectar el desarrollo normal de los cultivos por falta de humedad.

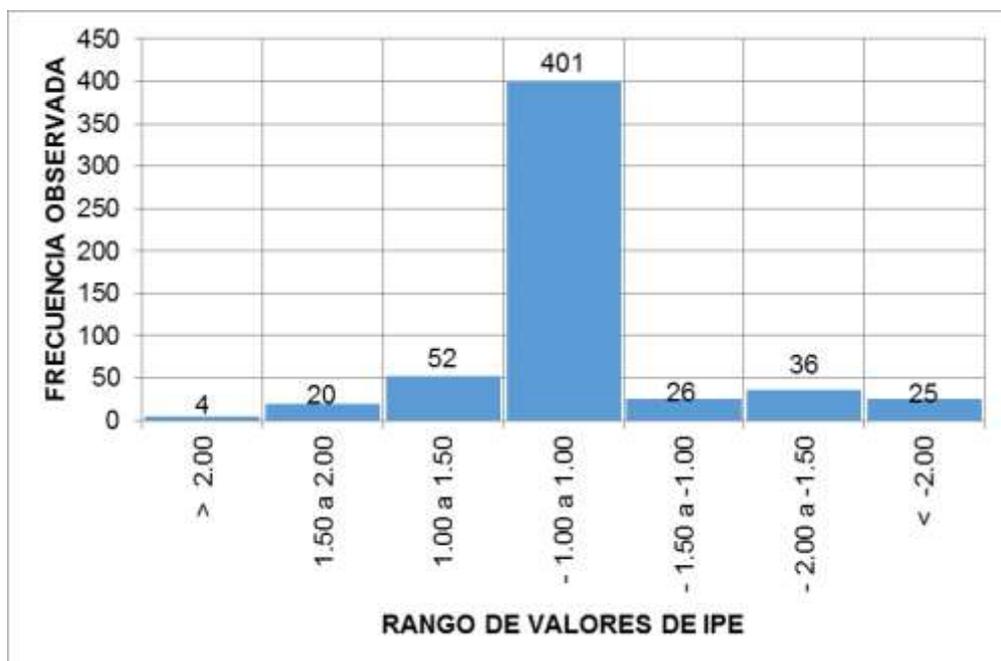
**TABLA N° 19:** Frecuencia de eventos de sequía según categorías de IPE, Estación Yunguyo.

VALOR IPE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
> 2.00	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	4
1.50 a 2.00	3	0	3	0	2	2	3	0	1	2	3	1	20
1.00 a 1.50	3	3	5	6	6	4	3	5	3	6	4	4	52
- 1.00 a 1.00	31	36	30	38	33	26	28	36	39	36	33	35	401
- 1.50 a - 1.00	5	2	6	1	0	0	0	0	2	1	5	4	26
- 2.00 a - 1.50	4	2	1	0	0	14	13	0	0	1	0	1	36
< -2.00	1	3	2	2	6	0	0	5	2	1	2	1	25
<b>TOTAL</b>	<b>47</b>	<b>564</b>											

**Fuente:** Elaboración propia.

En la Figura N° 27, se observa el diagrama de frecuencia de ocurrencia de eventos de sequía, según las magnitudes de Índice de Precipitación Estandarizada (IPE), de la Estación Yunguyo para un Período de 47 años (1964–2010).

**FIGURA N° 27:** Frecuencia de eventos de sequía según categorías de IPE en la estación Yunguyo.



**Fuente:** Elaboración propia.

En la Tabla N° 20, se presentan el número de eventos o frecuencia observada para diferentes valores de índice de precipitación estandarizada durante el periodo de 1964 al 2010 de la estación Juli, de ella se puede indicar que en total ocurrieron 564 eventos, de los cuales 44 eventos están en la categoría de moderadamente seco que representa el 7.8 %, 36 eventos corresponde a la categoría muy secos , que representa un 6.4 % y 20 eventos que corresponden a la categoría extremadamente seco, que representa un 3.5 % del total de eventos, estos 20 eventos pueden causar problemas a la actividad agrícola y afectar el desarrollo normal de los cultivos por falta de humedad.

**TABLA N° 20:** Frecuencia de eventos de sequía según categorías de IPE, Estación Juli.

VALOR IPE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
> 2.00	0	0	0	1	0	1	2	1	0	1	1	1	8
1.50 a 2.00	4	2	2	2	2	3	0	1	2	1	2	1	22
1.00 a 1.50	7	5	7	4	5	3	5	8	5	5	4	5	63
- 1.00 a 1.00	31	30	29	32	33	25	29	28	36	34	33	31	371
- 1.50 a - 1.00	2	6	5	5	0	15	0	0	1	2	4	4	44
- 2.00 a - 1.50	1	3	3	1	0	0	11	9	1	1	2	4	36
< -2.00	2	1	1	2	7	0	0	0	2	3	1	1	20
<b>TOTAL</b>	<b>47</b>	<b>564</b>											

**Fuente:** Elaboración propia.

En la Figura N° 28, se observa el diagrama de frecuencia de ocurrencia de eventos de sequía, según las magnitudes de Índice de Precipitación Estandarizada (IPE), de la Estación Juli para un Período de 47 años (1964–2010).

**FIGURA N° 28:** Frecuencia de eventos de sequía según categorías de IPE en la Estación Juli.



**Fuente:** Elaboración propia.

En la Tabla N° 21, se presentan el número de eventos o frecuencia observada para diferentes valores de índice de precipitación estandarizada durante el periodo de 1964 al 2010 de la estación llave, de ella se puede indicar que en total ocurrieron 564 eventos, de los cuales 63 eventos están en la categoría de moderadamente seco que representa el 11.2 %, 16 eventos corresponde a la categoría muy secos , que representa un 2.8 % y 22 eventos que corresponden a la categoría extremadamente seco, que representa un 3.9 % del total de eventos, estos 22 eventos pueden causar problemas a la actividad agrícola y afectar el desarrollo normal de los cultivos por falta de humedad.

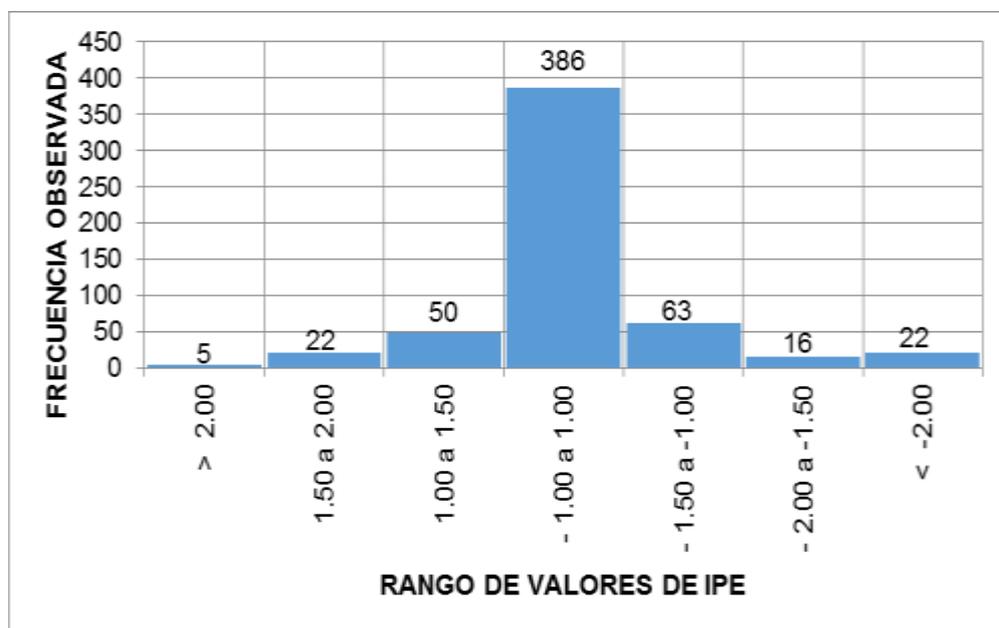
**TABLA N° 21:** Frecuencia de eventos de sequía según categorías de IPE, Estación llave.

VALOR IPE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
> 2.00	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	5
1.50 a 2.00	1	4	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	22
1.00 a 1.50	6	3	5	3	6	4	4	5	5	3	4	2	50
- 1.00 a 1.00	34	34	34	33	33	24	21	30	35	39	33	36	386
- 1.50 a - 1.00	4	3	2	5	0	16	19	1	3	0	5	5	63
- 2.00 a - 1.50	1	1	2	2	0	0	0	9	0	1	0	0	16
< -2.00	1	2	2	1	7	0	0	0	3	2	2	2	22
<b>TOTAL</b>	<b>47</b>	<b>564</b>											

**Fuente:** Elaboración propia.

En la Figura N° 29, se observa el diagrama de frecuencia de ocurrencia de eventos de sequía, según las magnitudes de Índice de Precipitación Estandarizada (IPE), de la Estación llave para un Período de 47 años (1964–2010).

**FIGURA N° 29:** Frecuencia de eventos de sequía según categorías de IPE en la Estación llave.



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla N° 22, se presentan el número de eventos o frecuencia observada para diferentes valores de índice de precipitación estandarizada durante el periodo de 1964 al 2010 de la estación Laraqueri, de ella se puede indicar que en total ocurrieron 564 eventos, de los cuales 43 eventos están en la categoría de moderadamente seco que representa el 7.6 %, 36 eventos corresponde a la categoría muy secos , que representa un 6.4 % y 14 eventos que corresponden a la categoría extremadamente seco, que representa un 2.5 % del total de eventos, estos 14 eventos pueden causar problemas a la actividad agrícola y afectar el desarrollo normal de los cultivos por falta de humedad.

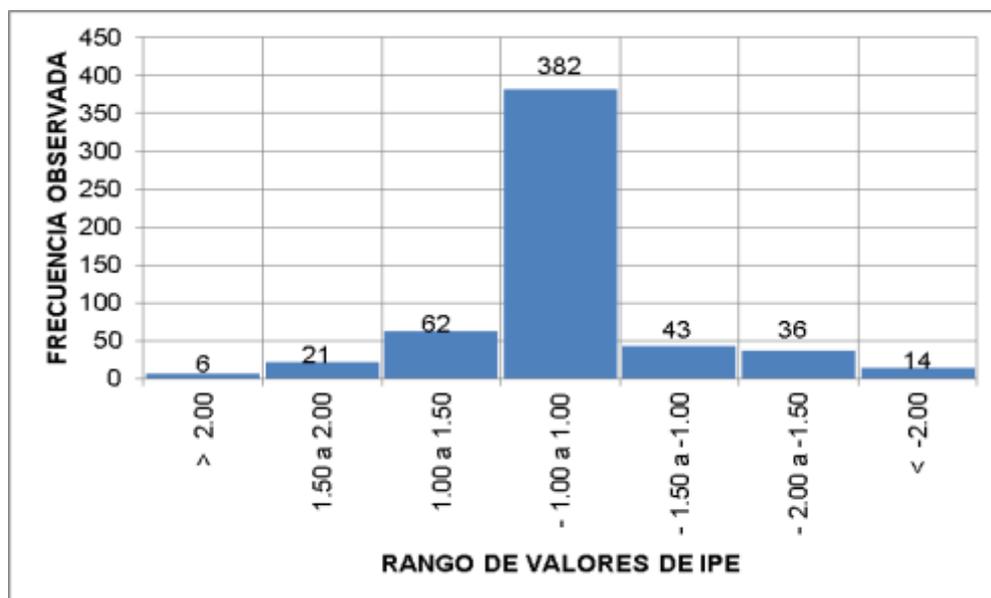
**TABLA N° 22:** Frecuencia de eventos de sequía según categorías de IPE,  
Estación Laraqueri.

VALOR IPE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
> 2.00	2	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	1	6
1.50 a 2.00	1	3	0	3	1	1	3	3	1	1	3	1	21
1.00 a 1.50	4	7	6	3	7	3	4	6	6	5	5	6	62
- 1.00 a 1.00	32	29	39	37	24	16	39	26	36	37	35	32	382
- 1.50 a - 1.00	3	5	0	3	0	25	0	0	0	2	2	3	43
- 2.00 a - 1.50	5	1	1	0	15	0	0	12	0	0	0	2	36
< -2.00	0	2	1	1	0	0	0	0	4	2	2	2	14
<b>TOTAL</b>	<b>47</b>	<b>564</b>											

**Fuente:** Elaboración propia.

En la Figura N° 30, se observa el diagrama de frecuencia de ocurrencia de eventos de sequía, según las magnitudes de Índice de Precipitación Estandarizada (IPE), de la Estación Laraqueri para un Período de 47 años (1964–2010).

**FIGURA N° 30:** Frecuencia de eventos de sequía según categorías de IPE en la Estación Laraqueri.



**Fuente:** Elaboración propia.

En la Tabla N° 23, se presenta el resumen del número de eventos para diferentes valores de índice de precipitación estandarizada durante el periodo de 1964 al 2010 de las estaciones Capazo, Pizacoma, Mazo Cruz, Desaguadero, Yunguyo, Juli, llave y Laraqueri, en ella se puede observar que para valores de IPE de -1.50 a -1.00 (Moderadamente seca), en las 8 estaciones el rango de eventos de sequias varían de 26 a 85 eventos, que corresponden a las estaciones Yunguyo y Pizacoma, respectivamente; para valores de IPE entre -2.00 a -1.50 (Muy seca), el rango de eventos de sequias varían de 16 a 36 eventos que corresponden a la estación llave y estaciones Yunguyo, Juli y Laraqueri, respectivamente y para valores de IPE mayores a -2.00 (Extremadamente seca), el rango de eventos de sequias varían de 5 a 25 eventos que corresponden a las estaciones Capazo y Yunguyo, respectivamente.

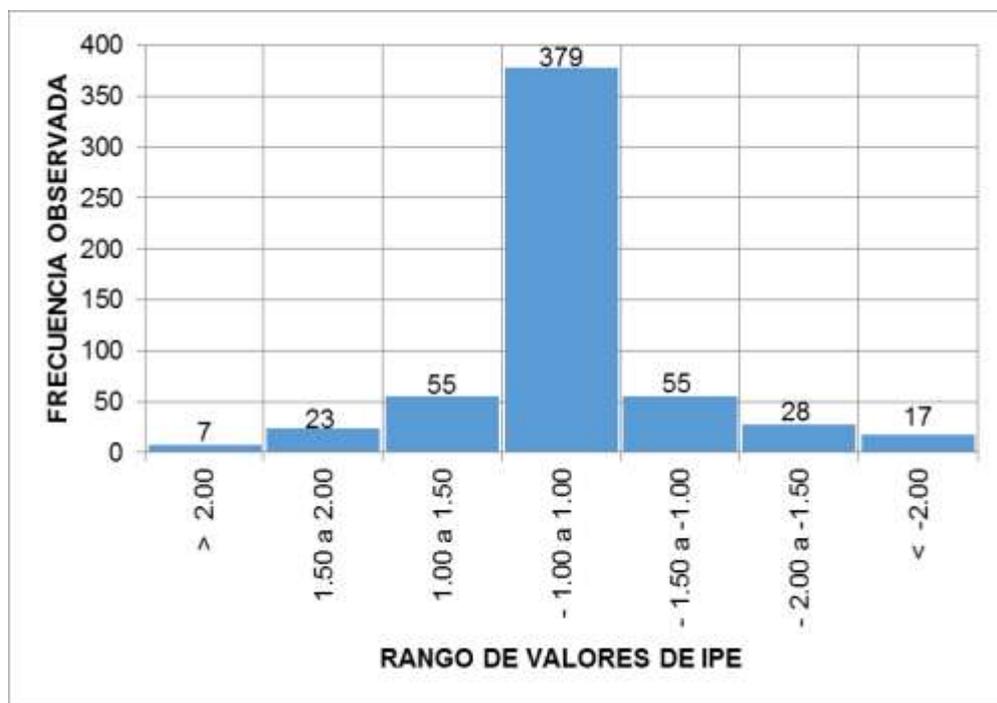
**TABLA N° 23:** Resumen de frecuencia de ocurrencia de eventos según los rangos de IPE en las 08 estaciones – Periodo 1964 a 2010.

ESTACIÓN	FRECUENCIA OBSERVADA	VALORES DE IPE							TOTAL
		> 2.00	1.50 a 2.00	1.00 a 1.50	- 1.00 a 1.00	- 1.50 a -1.00	- 2.00 a -1.50	< -2.00	
CAPAZO	N° Eventos	10	19	63	385	58	24	5	564
	%	1.8	3.4	11.2	68.3	10.3	4.3	0.9	100
PIZACOMA	N° Eventos	10	25	46	359	85	24	15	564
	%	1.8	4.4	8.2	63.7	15.1	4.3	2.7	100
MAZO CRUZ	N° Eventos	9	25	52	380	58	19	21	564
	%	1.6	4.4	9.2	67.4	10.3	3.4	3.7	100
DESAGUADERO	N° Eventos	5	31	48	365	66	32	17	564
	%	0.9	5.5	8.5	64.7	11.7	5.7	3.0	100
YUNGUYO	N° Eventos	4	20	52	401	26	36	25	564
	%	0.7	3.5	9.2	71.1	4.6	6.4	4.4	100
JULI	N° Eventos	8	22	63	371	44	36	20	564
	%	1.4	3.9	11.2	65.8	7.8	6.4	3.5	100
ILAVE	N° Eventos	5	22	50	386	63	16	22	564
	%	0.9	3.9	8.9	68.4	11.2	2.8	3.9	100
LARAQUERI	N° Eventos	6	21	62	382	43	36	14	564
	%	1.1	3.7	11.0	67.7	7.6	6.4	2.5	100
PROMEDIO	N° Eventos	7	23	55	379	55	28	17	564
	%	1.3	4.1	9.7	67.1	9.8	4.9	3.1	100

**Fuente:** Elaboración propia

En la Figura N° 31, se observa el diagrama de frecuencia de ocurrencia de eventos de sequía en promedio de las 08 estaciones, según las magnitudes de Índice de Precipitación Estandarizada (IPE), para un Período de 47 años (1964–2010).

**FIGURA N° 31:** Frecuencia de eventos de sequía promedio según categorías de IPE



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3. PROPUESTA PARA LA MITIGACIÓN DE LAS SEQUÍAS

Para mitigar las sequías y combatir la falta de agua en la sub cuenca del río Huenque, se propone las siguientes medidas:

- Mejoramiento y ampliación de los sistemas de riego actualmente existentes en el ámbito de la sub cuenca del río Huenque mediante una gestión a las instituciones públicas y privadas como: Gobierno Regional Puno, Gobiernos provinciales de El Collao, Chucuito y Yunguyo.
- Evaluar y reestructurar la cédula de cultivos y el calendario de siembras para una mejor eficiencia del uso del agua.
- Apoyar a los pequeños agricultores que practican la agricultura en seco.

- Explotar los recursos de agua subterránea, con el fin de combatir las sequías agrícolas.
- Forestación en las partes altas de la sub cuenca del río Huenque con el propósito de conservar el suelo y el agua.
- Considerar las técnicas de cosecha de agua en las partes altas de las cuencas.
- Construir nuevos sistemas de riego y drenaje para las actividades agrícolas y pecuarias.
- Aumentar la eficiencia de los sistemas de riego, propender a los sistemas presurizados, para que los cultivos optimicen el agua.
- Para solucionar los problemas de las sequías meteorológicas en el ámbito en estudio, de acuerdo al estudio de aprovechamiento hídrico para riego en la región Puno, elaborado por el Programa Regional de Riego y Drenaje (PRORRIDRE) del Gobierno Regional Puno, en la Tabla N° 24 se presenta los 07 embalses proyectados para dotar agua para los sistemas de riego proyectado y en la Tabla N° 25 se presentan los 09 proyectos de riego proyectados en el ámbito de la cuenca del río Huenque, para irrigar 14,070 hectareas, con un caudal total de 13.50 m<sup>3</sup>/s y que beneficiara a 3,670 familias, en la Figura N° 32 se presenta el esquema hidráulico del sistema integral Huenque.

**TABLA Nº 24:** Proyectos de embalses en el ámbito de la sub Cuenca Huenque

Embalse	Estado	Río y/o Quebrada	Volumen (MMC)	Distrito
Coypa coypa	Proyectado	Coypa Coypa	18.0	Mazo cruz
Chila	Proyectado	Chila	19.8	Mazo cruz
Lacotuyo	Proyectado	Huenque	68.6	Mazo cruz
Piaque	Proyectado	Huanacamaya	27.4	Mazo cruz
Chilligua	Proyectado	Huenque	8.8	Conduriri
Paspa	Estudio	Huenque	8.0	Conduriri
Untave	Proyectado	Huenque	5.0	Conduriri

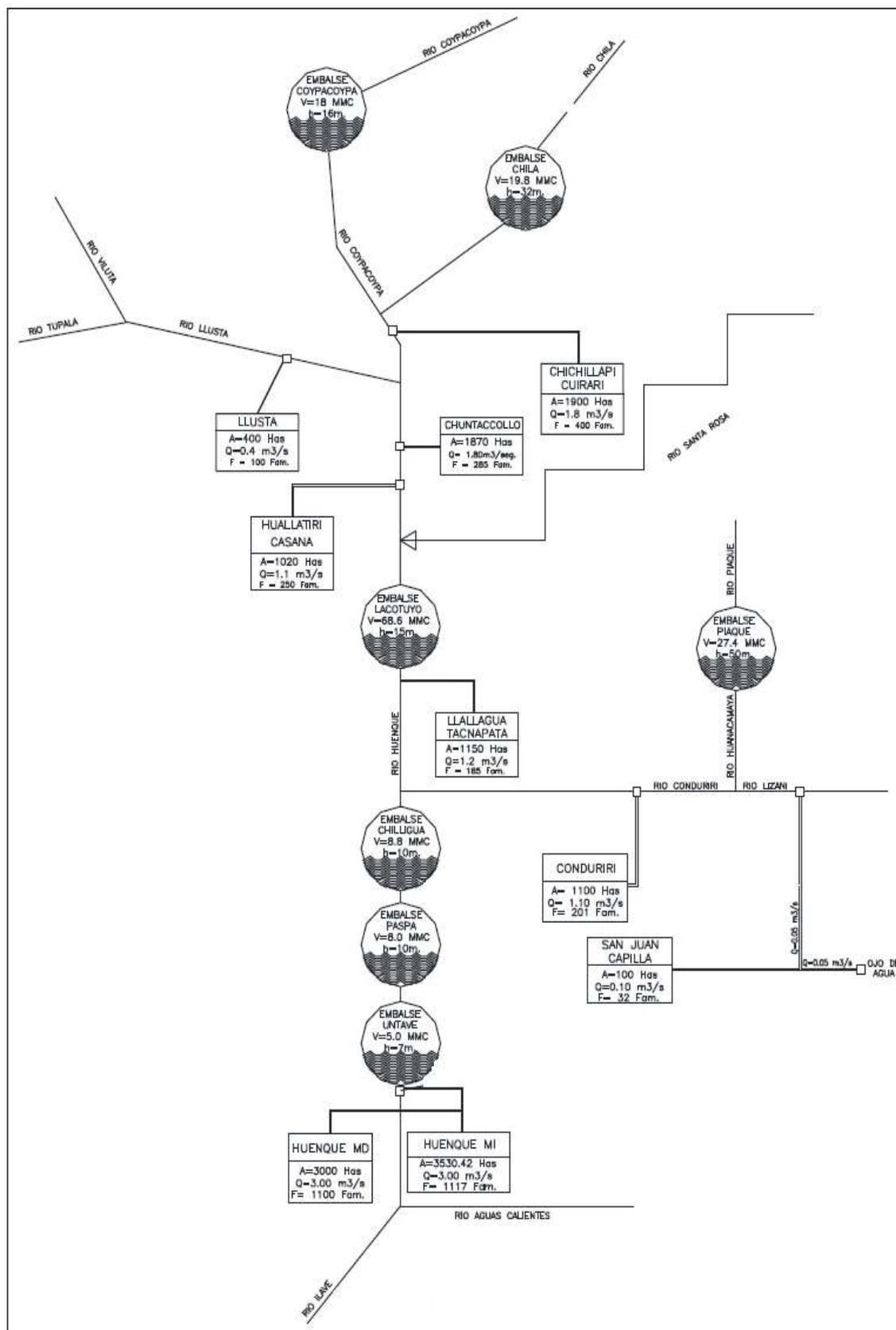
Fuente: GRP, (2013)

**TABLA Nº 25:** Proyectos de riego en el ámbito de la sub Cuenca Huenque.

Irrigación	Estado	Río o Manantial	Área (Has)	Caudal (m3/s)	Familias Beneficiadas	Distrito
Huenque Margen derecha	Estudio	Huenque	3,000	3.00	1,100	llave
Huenque Margen izquierda	Estudio	Huenque	3,530	3.00	1,117	llave
San Juan Capilla	Proyectado	Manantial	100	0.10	32	Conduriri
Conduriri	Estudio	Lizani	1,100	1.10	201	Conduriri
Chichillapi Cuirari	Proyectado	Chichillapi	1,900	1.80	400	Mazo cruz
Huallatiri Casana	Proyectado	Llusta	1,020	1.10	250	Mazo cruz
Llallagua Tacnapata	Proyectado	Huenque	1,150	1.20	185	Mazo cruz
Chuntacollo	Construido	Llusta	1,870	1.80	285	Mazo cruz
Llusta	Proyectado	Chichillapi	400	0.40	100	Mazo cruz
<b>TOTAL</b>			<b>14,070</b>	<b>13.50</b>	<b>3,670</b>	

Fuente: GRP, (2013)

FIGURA Nº 32: Esquema hidráulico del sistema integral Huenque.



Fuente: GRP, (2013)

## V. CONCLUSIONES

Las conclusiones de la investigación son:

- Para la escala de valores de IPE de menores a  $-2.00$  se ha detectado 05, 15, 21, 17, 25, 20 22 y 17 eventos con características de sequía extrema, para la escala de valores de IPE de  $-1.50$  a  $-2.00$  se ha detectado 24, 24, 19, 32, 36, 36,16 y 36 eventos con características de sequía severa y para la escala de valores de IPE de  $-1.00$  a  $-1.50$  se ha identificado 58, 85, 58, 66, 26, 44, 63 y 43 eventos con características de sequía moderada que corresponden a las estaciones Capazo, Pizacoma, Mazocruz, Desaguadero, Yunguyo, Juli, llave y Laraqueri, respectivamente; para la primera escala; estos eventos influyen significativamente en la actividad agropecuaria y es necesario dotar agua al suelo con riego, para la segunda escala; así mismo influyen un poco en la actividad agropecuaria, hay la necesidad de complementar la humedad del suelo a través del riego y para la tercera escala; los mismos que no influyen a la actividad agropecuaria. En la Cuenca del río Huenque, en promedio considerando las estaciones Capazo, Pizacoma, Mazocruz, Desaguadero, Yunguyo, Juli, llave y Laraqueri, para un periodo de 47 años (1964 al 2010), de los 564 eventos analizados, el 1.3 % corresponde eventos extremadamente húmedos, el 4.1 % a eventos muy húmedos, 9.7 % a eventos moderadamente húmedos, 67.1 % a eventos normales, 9.8 % a sequías moderadas, 4.9 % a eventos de sequías severas, 3.1 % a eventos de sequías extremas,

estas últimas afectan a las actividades agrícolas por falta de humedad en el suelo.

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

## VI. RECOMENDACIONES

Para complementar a la investigación se recomienda:

- 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 sub cuenca del río Huenque.
  
- 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 permanentemente la ocurrencia de las sequías meteorológicas en la sub cuenca del río Huenque.

## VII. REFERENCIAS

- Aguirre M. (1992). Análisis y aplicación de modelos matemáticos para la generación de caudales en cuencas de la región Cusco.
- 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.
- Aparicio M. (1992). "Fundamentos de Hidrología de Superficie" Editores Noriega (Limusa) México.
- 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.
- Chavarri E. (2010). Separatas de hidrología para estudiantes de ingeniería agrícola. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú.
- Chereque W. (1989). Hidrología para estudiantes de Ingeniería Civil. Pontificia Universidad Católica del Perú. CONCYTEC. Lima-Peru. 146 p.
- Chow V., Maidment D. y. Mays R. (1994). Hidrología Aplicada. McGraw Hill Interamericana S.A. Santa Fe de Bogotá-Colombia. 584 p.
- Clark, R.T. 1973 "Mathematical Models in Hydrology". FAO Rome.

- De Piérola N. (1993). "Análisis de consistencia de series hidrometeorológicas"  
Librería la Carpa U.N.I., Lima-Peru, 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.
- Faustino J. (2006). Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. Universidad  
Nacional Agraria la Molina. Escuela de Post Grado. Lima-Peru. 365 p.
- Garreaud, R., Vuille, M., & Clement, A. C. (2003). The climate of the Altiplano:  
observed current conditions and mechanisms of past changes.  
Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 194(1-3), 5-22.  
doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0031-0182\(03\)00269-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0031-0182(03)00269-4)
- Guerrero P. and Yevjevich V. (1975). "analysis of Drought Caracteriscas by  
the theory of run" Hydrology paper N° 80, Colorado State University Fort  
Collins, Colorado, U.S.A.
- Guevara, E. y Cartaya, H. (2004) Hidrología ambiental. Facultad de Ingeniería.  
Universidad de Carabobo. pp. 35-98
- Linsley R, Kohler M. y Paulhus J. (1975). Hidrología para Ingenieros. McGraw  
Hill. 350 p.
- Lloyd-Hughes, B., Saunders, M.A. (2002). A drought climatology for Europe. Int.  
J. Climatol. 22 (13): 1571- 1592.
- Mc Kee, (1993) McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J. (1993). The relationship  
of drought frequency and duration to time scales. In Proceedings of the

Eight Conference *on Applied Climatology*, Anaheim, CA, American Meteorological Society, 179-184.

Mejía, A. (2006). *Hidrología Aplicada*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Peru. 214 p.

Navarro, L. (2002) *Aproximación metodológica al estudio de secuencias secas de larga duración: el caso de las Islas Baleares*. Grupo de Climatología. Departamento de Geografía. Universidad de Barcelona.

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*. Research Paper N° 45. U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington DC. 58 pp.

Peters, E. (2003). *Propagation of drought through groundwater systems: illustrated in the Pang (UK) and Upper-Guadiana (ES) catchments*. ( PhD Thesis), Wageningen University, Netherlands.

- Ponce V. (1989). Engineering Hydrology – Principles and Practices. Prentice Hall. San Diego State University. EEUU.
- Ponce, V., Pandey, R., y Ercan, S. (2000) Characterization of drought across Climatic Spectrum. Journal of Hydrologic Engineering, (5)2, pp. 222-224
- Salas, J., Fu, Ch., Cancelliere, A., Dustin D., Bode, D., Pineda, A., y Vincent, E. (2005) Characterizing the Severity and Risk of Drought in the Poudre River, Colorado. Journal of Water Resources Planning and Management. (131) 5 pp. 383-393
- Sheffield, J., & Wood, E. F. (2011). Drought: Past Problems and Future Scenarios.
- Tsakiris, G., Nalbantis, I., Pangalou, D., Tigkas, D., & Vangelis, H. (2008). Drought meteorological monitoring network design for the reconnaissance drought index (RDI) Paper presented at the 1st International Conference Drought Management: Scientific and Technological Innovations, Zaragoza-Spain.
- Valiente, O. (2001). Sequía: Definiciones, Topologías y Métodos de Cuantificación. Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico 162 Regional, Revista Investigaciones Geográficas Nº 26 Universidad de Barcelona, España. 59-80 pp.
- Vásquez A. Faustino M. Terán R. Vásquez I. Díaz J. Vásquez C. Castro A. Tapia M. Alcántara J. (2016). Manejo y gestión de cuencas hidrográficas. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima Perú.

- Villalobos, A. 2007. Análisis y seguimiento de distintos tipos de sequía en la cuenca del Júcar. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Villon M. (2001). "Hidrología". Instituto Tecnológico de Costa Rica. Ediciones Villon. Lima-Peru. 436 p.
- Villon M. (2002). "Hidrología Estadística", Instituto Tecnológico de Costa Rica. Ediciones Villon. Lima-Peru. 478 p.
- Wilhite, D. y Glantz, M. (1985) Understanding the drought phenomenon; the role of definitions. Water International. vol. 10 pp. 111-120
- Yevjevich V. (1972). "Stochastic Proceses in Hydrology". Water Resources Publications Fort Collins, Colorado, U.S.A.
- Yevjevich, V. (1967) An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic drought. Colorado State University, Hydrologic Paper N° 23.

### ANEXOS

#### ANEXO A-1: Información de precipitación total mensual y anual –Estación Capazo.

AÑOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOS.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1964	63.3	96.6	38.8	14.2	10.0	0.0	0.0	0.0	1.2	15.2	22.7	39.0	301.0
1965	70.3	146.2	33.6	15.0	0.0	0.0	0.0	9.0	22.2	0.0	13.8	51.2	361.3
1966	6.8	123.8	60.5	0.0	19.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	36.3	54.4	302.7
1967	82.9	186.8	170.8	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0	3.7	2.1	1.3	69.0	519.8
1968	105.9	158.5	89.6	6.3	21.0	9.8	0.0	0.0	9.8	31.0	92.1	60.6	584.6
1969	94.0	99.6	53.2	2.5	60.2	0.0	0.0	0.0	11.0	0.0	22.3	107.6	450.4
1970	141.1	118.2	70.2	9.0	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.9	374.8
1971	139.6	244.6	117.1	15.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.6	84.1	641.7
1972	131.5	87.2	160.1	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	20.5	25.9	51.9	489.2
1973	230.3	128.4	27.8	0.0	0.0	0.0	0.0	11.5	12.8	0.0	4.1	30.0	444.9
1974	320.6	196.4	7.3	14.2	0.0	0.5	0.0	75.8	0.0	0.0	12.1	23.0	649.9
1975	137.1	199.7	209.8	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	0.0	0.0	205.8	770.6
1976	297.1	98.9	58.3	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2	5.0	0.0	0.0	20.8	487.3
1977	72.3	253.0	169.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	52.1	90.5	639.5
1978	268.2	74.9	182.2	67.6	0.0	0.0	0.0	6.8	0.0	0.0	92.8	138.1	830.6
1979	226.5	71.9	142.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.1	16.0	99.5	577.3
1980	104.8	81.5	341.9	41.2	0.0	0.0	0.0	10.1	0.0	42.4	0.0	57.0	678.9
1981	115.8	282.4	212.1	18.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.6	149.3	788.8
1982	227.1	226.8	52.9	7.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	31.9	54.4	33.9	634.9
1983	38.8	26.3	31.8	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	8.5	0.0	50.2	160.1
1984	264.7	257.8	85.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	80.8	72.7	155.5	916.6
1985	176.9	171.3	114.0	10.1	0.0	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0	80.2	218.0	779.9
1986	227.8	263.7	236.3	12.7	0.0	0.0	0.0	3.2	4.6	0.0	0.0	102.2	850.5
1987	255.5	104.8	41.4	4.6	0.0	0.0	28.5	0.0	0.0	0.0	24.1	73.2	532.1
1988	163.0	50.6	167.0	28.4	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	0.0	44.2	458.8
1989	16.7	161.4	199.5	123.6	0.0	8.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	14.7	524.5
1990	127.0	33.4	64.4	17.7	0.0	56.0	0.0	0.0	0.0	24.1	82.7	156.7	562.0
1991	178.3	87.8	147.9	33.7	4.2	30.2	0.0	0.0	0.0	12.7	11.5	40.6	546.9
1992	270.4	17.3	12.3	0.8	0.0	0.0	0.0	4.9	0.0	17.6	40.5	146.9	510.7
1993	258.2	120.0	74.9	17.2	0.0	0.0	0.0	28.9	0.0	13.7	67.3	177.8	758.0
1994	240.8	264.7	29.8	57.0	9.8	0.0	0.0	0.6	2.7	2.4	28.5	132.6	768.9
1995	75.1	50.3	87.7	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4	27.1	31.6	277.8
1996	154.6	94.3	37.3	20.0	3.1	0.0	0.0	2.7	0.0	0.1	30.2	66.6	408.9
1997	189.1	189.0	50.8	11.8	20.5	0.0	0.0	17.7	36.0	3.7	21.2	37.9	577.7
1998	171.5	79.6	25.1	9.7	0.0	2.0	0.0	0.3	0.0	0.2	29.9	17.3	335.6
1999	57.3	175.9	209.2	57.0	0.1	0.0	0.0	2.1	1.5	19.5	0.0	36.3	558.9
2000	165.7	130.7	139.8	14.8	3.8	0.0	0.0	0.0	0.9	19.6	1.7	61.0	538.0
2001	266.8	257.8	134.7	37.4	0.0	3.1	0.0	2.2	0.4	5.8	9.4	33.8	751.4
2002	64.8	159.3	160.4	67.1	7.4	9.2	12.2	2.1	0.0	35.7	42.4	108.1	668.7
2003	86.2	82.2	78.1	0.0	6.4	0.0	6.2	0.0	0.0	66.9	2.5	53.5	382.0
2004	150.4	73.9	60.5	11.7	0.0	47.8	31.0	25.5	1.3	0.0	0.0	39.3	441.4
2005	91.0	187.8	48.4	12.9	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	5.7	19.1	108.2	477.5
2006	188.0	101.9	139.1	22.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.4	27.4	87.2	579.0
2007	108.3	102.4	92.4	18.3	1.9	0.0	1.9	0.0	3.8	5.2	31.4	65.0	430.6
2008	145.8	86.9	53.2	1.5	0.0	0.0	0.0	6.6	0.0	0.0	0.6	110.7	405.3
2009	60.4	77.3	58.4	77.1	0.0	0.0	0.0	0.0	11.4	1.4	80.7	51.8	418.5
2010	103.5	76.4	42.5	24.8	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	27.9	3.2	130.6	410.0

Fuente: SENAMHI

**ANEXO A-2: Información de precipitación total mensual y anual – Estación Pizacoma.**

AÑOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOS.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1964	164.4	133.5	93.2	25.8	5.1	4.0	3.2	9.1	8.8	14.7	36.4	99.7	597.9
1965	42.2	56.2	63.4	1.0	0.0	0.0	0.0	3.2	20.3	0.0	6.8	51.2	244.3
1966	164.4	8.8	111.8	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.3	56.8	104.5	458.2
1967	30.1	20.1	99.1	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	32.4	20.2	7.0	24.0	236.5
1968	141.5	155.9	74.8	3.0	30.8	19.8	0.0	0.0	2.7	44.7	145.9	113.3	732.4
1969	120.6	71.7	38.3	12.8	0.0	1.2	0.1	0.0	0.1	0.1	30.2	169.4	444.5
1970	120.2	104.0	123.6	27.5	22.4	0.0	0.0	0.0	0.3	11.0	29.1	179.5	617.6
1971	195.5	328.6	124.5	23.2	0.0	0.0	0.0	18.4	0.0	0.0	68.4	180.0	938.6
1972	239.0	132.0	94.2	28.0	4.4	0.0	6.4	0.0	33.7	27.0	53.8	101.2	719.7
1973	206.1	148.7	98.8	76.1	23.2	4.1	1.8	35.0	14.6	20.0	27.1	55.0	710.5
1974	371.1	380.6	83.8	14.6	1.6	1.4	0.0	56.0	13.2	7.8	49.0	124.4	1103.5
1975	181.2	268.7	62.2	22.6	3.6	8.6	0.0	3.5	6.2	33.6	7.1	35.2	632.5
1976	269.2	77.6	23.4	10.4	1.4	0.0	5.8	9.6	36.8	0.0	0.0	110.0	544.2
1977	87.8	157.1	95.0	2.7	3.8	0.0	0.0	0.0	8.3	1.6	96.6	77.9	530.8
1978	183.2	102.2	41.6	53.4	0.0	0.0	2.6	2.8	2.8	1.6	66.3	133.0	589.5
1979	247.2	47.7	70.0	6.4	0.0	0.0	1.6	0.0	1.4	10.2	10.0	17.8	412.3
1980	59.2	34.2	96.2	8.6	8.7	3.6	0.0	4.3	12.5	15.8	46.8	109.5	399.4
1981	144.6	124.2	99.0	14.6	10.1	4.1	0.4	6.2	10.1	18.8	56.3	120.9	609.0
1982	150.5	159.4	89.4	19.7	11.5	4.6	0.8	8.7	13.1	19.3	52.4	118.3	647.6
1983	191.1	190.6	83.9	24.3	13.0	5.2	1.2	11.2	7.4	17.1	62.2	137.9	744.9
1984	200.5	185.7	85.2	29.0	6.4	0.5	1.5	13.6	9.8	8.7	35.0	133.9	709.7
1985	215.8	204.6	96.3	31.0	8.3	1.0	1.9	16.0	12.7	12.3	39.5	115.9	755.4
1986	179.8	265.7	222.6	130.2	4.2	0.0	2.2	2.6	2.3	2.7	32.9	250.2	1095.4
1987	389.3	113.8	68.4	9.4	0.8	0.4	29.5	0.6	2.6	30.2	60.0	34.5	739.5
1988	290.8	69.5	211.0	134.4	14.9	2.4	0.0	0.0	8.3	10.6	20.8	215.0	977.7
1989	171.8	135.4	205.0	79.8	1.4	1.7	7.8	0.0	3.0	1.3	3.0	17.8	628.0
1990	38.1	39.3	27.7	7.9	0.0	32.9	0.0	0.0	4.5	43.5	67.2	118.3	379.4
1991	99.7	86.1	204.6	54.2	0.0	38.7	0.0	0.0	0.0	4.8	37.8	59.8	585.7
1992	169.2	68.2	17.1	8.2	0.0	0.0	0.0	20.2	0.0	37.0	32.1	25.8	377.8
1993	127.5	21.8	62.4	9.3	5.0	0.0	0.0	56.9	0.0	46.4	38.9	166.4	534.6
1994	267.9	214.6	39.6	8.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	56.5	242.2	829.5
1995	129.8	47.4	102.7	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	14.8	4.4	12.5	89.7	402.9
1996	162.2	75.4	41.7	26.1	3.4	0.0	0.0	25.4	0.0	5.2	44.6	83.8	467.8
1997	226.4	201.4	96.4	24.1	0.0	0.0	0.0	41.4	32.3	8.1	57.6	31.6	719.3
1998	96.0	96.0	29.9	9.7	0.0	34.7	0.0	0.0	0.0	2.2	53.9	0.0	322.4
1999	90.9	177.8	151.4	62.1	3.4	0.0	0.0	0.0	23.6	22.2	0.0	42.4	573.8
2000	208.6	99.4	95.8	6.2	1.5	0.7	0.0	9.6	2.0	24.6	0.0	90.2	538.6
2001	317.3	226.5	92.1	16.5	0.0	4.6	0.4	5.6	1.8	10.7	22.7	37.9	736.1
2002	85.7	129.5	130.0	51.8	22.5	12.8	15.4	1.3	0.4	18.4	46.3	40.9	555.0
2003	127.7	143.6	143.5	9.2	4.6	0.0	5.3	5.8	2.7	3.7	2.8	94.1	543.0
2004	139.4	162.3	64.7	0.0	0.0	0.0	46.6	46.8	0.0	1.8	9.1	18.3	489.0
2005	123.6	259.1	68.8	24.8	0.0	0.0	0.0	0.0	43.0	27.8	21.0	175.9	744.0
2006	257.6	81.8	57.8	18.3	2.0	0.0	0.0	0.9	2.1	26.3	9.8	125.1	581.7
2007	150.1	37.1	147.9	30.0	0.0	0.0	0.0	0.9	7.5	17.0	32.9	84.1	507.5
2008	175.8	136.4	99.2	0.0	0.0	0.0	0.0	11.6	0.0	13.5	0.0	143.4	579.9
2009	47.1	153.4	56.7	12.4	0.0	0.0	17.2	0.0	15.2	14.7	63.5	59.8	440.0
2010	122.0	139.0	97.9	37.6	21.8	0.0	0.0	0.0	0.0	20.9	2.9	125.4	567.5

Fuente: SENAMHI

**ANEXO A-3:** Información de precipitación total mensual y anual Estación  
Mazocruz.

AÑOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOS.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1964	48.2	118.4	107.6	10.6	20.2	0.0	0.0	2.0	18.4	2.6	27.6	69.2	424.8
1965	94.8	74.6	35.6	34.2	0.0	0.0	0.0	15.6	23.2	7.0	15.2	106.2	406.4
1966	44.4	99.2	46.6	15.4	28.4	0.0	0.0	0.0	0.0	23.8	63.3	99.8	420.9
1967	73.0	81.0	101.0	13.2	5.8	0.0	3.0	1.0	33.4	2.8	7.0	73.2	394.4
1968	154.2	124.6	103.2	7.0	33.6	5.8	0.0	0.0	7.0	50.6	158.6	73.0	717.6
1969	204.4	53.2	17.8	2.6	0.0	5.0	0.8	0.0	2.0	14.2	33.2	83.2	416.4
1970	124.6	96.5	103.0	11.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	9.0	14.8	129.7	490.2
1971	202.4	184.4	34.5	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.0	141.0	600.3
1972	229.2	114.4	179.2	9.6	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	21.4	45.4	100.0	708.4
1973	175.0	140.0	103.4	87.4	11.4	1.2	0.0	10.2	35.2	0.0	22.4	35.8	622.0
1974	341.8	173.3	84.2	19.8	0.0	0.0	0.0	79.8	0.0	1.0	19.8	53.0	772.7
1975	107.8	185.9	113.0	11.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.6	5.0	110.8	541.9
1976	184.8	89.6	83.6	0.0	1.8	0.0	0.0	45.4	16.7	0.0	0.0	43.6	465.5
1977	57.4	193.6	73.8	2.8	3.7	0.0	0.0	0.0	15.2	22.8	95.2	85.5	550.0
1978	209.7	48.9	68.4	47.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	2.7	87.7	74.8	541.4
1979	127.8	8.1	131.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.3	6.0	114.0	421.5
1980	100.4	109.2	70.4	16.1	15.5	1.4	0.1	3.0	15.6	12.4	41.9	91.1	477.1
1981	130.5	107.8	66.8	18.0	8.2	0.0	0.0	9.0	0.0	4.0	13.0	111.0	468.3
1982	174.0	58.0	112.0	15.6	2.7	0.0	0.4	0.0	20.2	60.0	52.0	14.0	508.9
1983	32.8	49.2	7.8	40.8	5.6	0.0	0.0	2.8	19.4	7.0	0.2	28.6	194.2
1984	241.5	314.0	238.0	0.0	0.0	3.6	0.0	0.0	0.0	59.2	117.6	25.8	999.7
1985	120.8	202.0	54.8	60.1	3.3	12.0	0.0	3.7	17.4	0.0	82.3	148.2	704.6
1986	154.5	303.4	221.8	12.6	0.0	0.0	2.8	3.5	0.0	0.0	13.9	138.6	851.1
1987	176.3	15.4	19.4	1.5	0.0	8.6	23.4	0.0	0.0	26.8	37.2	22.4	331.0
1988	80.4	41.9	36.0	69.9	12.6	0.0	0.0	0.0	0.0	9.3	0.0	45.0	295.1
1989	135.3	258.8	254.1	34.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	2.5	685.0
1990	46.3	35.7	44.8	2.5	16.9	27.4	19.6	16.9	2.2	43.7	4.1	32.4	292.5
1991	78.7	77.3	73.1	14.1	10.0	0.0	0.0	8.7	1.4	10.4	45.9	100.6	420.2
1992	53.9	45.6	1.6	4.2	0.0	0.0	0.0	8.2	0.6	32.3	23.8	35.5	205.7
1993	147.3	15.6	97.2	19.4	2.1	0.0	0.0	44.6	13.0	50.7	46.1	94.2	530.2
1994	105.0	120.4	63.1	28.1	0.3	0.2	1.8	1.7	4.1	3.4	19.0	84.4	431.5
1995	73.6	49.9	90.5	11.4	0.3	0.0	0.0	0.0	3.6	2.5	21.6	53.4	306.8
1996	177.0	88.2	29.0	19.5	13.6	0.0	0.0	14.2	0.0	1.0	34.1	102.3	478.9
1997	241.7	183.5	60.9	13.3	5.0	0.0	0.0	32.2	41.8	8.0	63.1	81.5	731.0
1998	126.8	44.2	77.0	14.2	0.0	18.6	0.0	0.6	0.4	11.6	38.1	20.8	352.3
1999	139.6	177.5	212.8	64.2	1.6	0.0	0.0	0.0	8.4	35.2	0.0	45.8	685.1
2000	179.2	135.8	64.1	22.9	6.4	1.2	0.0	1.2	0.6	28.3	7.9	82.2	529.8
2001	267.5	184.1	116.3	33.6	4.8	0.6	0.0	6.4	0.2	13.8	14.4	27.0	668.7
2002	70.4	175.4	120.3	75.6	17.0	9.2	10.0	2.2	2.0	51.1	36.8	81.1	651.1
2003	103.3	103.7	92.8	5.8	8.0	0.0	2.2	7.5	7.0	11.8	10.6	75.9	428.6
2004	142.8	118.8	64.4	16.2	0.0	0.8	26.2	59.6	12.1	0.0	0.0	41.9	482.8
2005	109.2	187.5	40.0	42.8	0.0	0.0	0.0	0.0	18.2	6.6	18.0	158.3	580.6
2006	271.5	118.1	109.5	26.9	11.4	0.2	0.0	0.4	5.0	37.7	57.2	94.2	732.1
2007	87.4	113.4	107.0	29.4	0.0	0.4	0.0	0.2	10.8	3.1	49.2	87.8	488.7
2008	194.4	52.7	57.9	1.4	0.0	0.0	0.0	6.4	0.0	6.3	3.0	132.2	454.3
2009	71.0	130.0	61.8	33.4	0.7	0.0	6.4	0.0	6.4	4.6	72.7	65.0	452.0
2010	103.5	63.8	40.6	44.2	20.5	0.0	0.0	0.0	0.8	9.4	6.3	82.4	371.5

Fuente: SENAMHI

**ANEXO A-4: Información de precipitación total mensual y anual – Estación  
Desaguadero**

AÑOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1964	83.6	115.6	93.3	52.2	13.4	0.0	0.0	16.7	20.0	0.0	10.7	59.2	464.7
1965	132.8	100.8	53.8	15.1	0.4	0.0	1.7	0.7	31.9	10.3	59.9	242.5	649.9
1966	69.6	153.2	56.1	41.8	30.0	0.0	0.0	0.0	3.1	21.9	34.6	99.8	510.1
1967	38.3	73.3	118.0	21.0	7.7	0.0	21.6	12.8	37.3	35.2	1.1	162.8	529.1
1968	137.7	231.2	104.0	14.5	44.2	26.4	0.0	4.0	26.1	17.3	156.7	28.5	790.6
1969	197.3	90.4	25.1	39.2	0.3	3.9	1.3	1.8	5.0	6.1	26.2	20.3	416.9
1970	150.2	110.5	100.3	33.2	2.4	0.0	0.0	1.3	16.8	21.4	22.8	159.9	618.8
1971	140.9	217.8	33.6	40.0	0.3	0.7	0.0	3.2	0.0	12.2	78.6	67.9	595.2
1972	221.9	153.5	146.8	7.1	0.0	1.2	3.7	1.5	24.6	43.6	31.4	141.1	776.4
1973	345.4	192.7	108.9	40.2	10.6	0.0	13.6	18.0	45.6	43.0	16.3	42.2	876.5
1974	223.7	236.1	38.1	61.6	0.5	3.0	0.9	78.8	7.5	23.1	26.0	65.3	764.6
1975	218.3	211.3	20.7	9.0	27.8	26.1	1.2	8.8	19.7	27.8	16.7	129.6	717.0
1976	203.4	114.2	99.5	18.2	8.0	0.0	17.0	69.2	75.5	0.0	4.5	50.7	660.2
1977	93.2	235.8	166.4	7.5	0.2	0.0	8.0	2.0	2.0	72.8	96.0	132.6	816.5
1978	261.3	73.4	145.9	8.4	0.0	0.0	10.0	9.0	36.3	20.4	129.0	77.3	771.0
1979	227.3	84.9	220.3	29.3	4.4	0.0	2.4	0.2	0.0	34.1	83.5	121.5	807.9
1980	103.3	56.5	221.7	2.9	6.0	0.4	0.0	27.8	22.7	43.6	12.2	53.4	550.5
1981	216.8	223.2	115.9	109.7	3.1	0.0	0.0	19.9	32.0	46.8	41.0	129.9	938.3
1982	299.4	71.6	63.0	66.4	0.0	0.5	0.0	7.0	72.9	95.0	67.8	29.1	772.7
1983	37.9	72.6	48.1	35.5	3.8	4.1	2.5	11.5	9.4	4.7	24.5	181.0	435.6
1984	424.4	275.2	229.6	38.3	44.8	21.7	0.0	1.7	0.0	70.6	89.8	79.8	1275.9
1985	132.6	304.4	113.0	114.5	13.1	21.1	0.0	23.7	54.4	5.7	171.1	190.6	1144.2
1986	199.7	274.3	412.3	49.9	5.9	1.8	4.7	5.6	23.4	18.1	75.0	174.1	1244.8
1987	338.8	82.8	23.5	30.2	5.6	20.0	29.6	4.3	24.2	75.0	138.6	48.2	820.8
1988	226.6	68.8	194.6	73.0	7.0	0.2	3.5	0.0	13.7	20.4	2.5	125.6	735.9
1989	124.4	82.5	97.4	58.8	1.3	0.0	19.8	3.6	9.7	44.0	39.9	67.9	549.3
1990	146.2	86.0	87.8	60.1	8.6	69.1	0.0	31.8	6.8	39.5	125.7	135.7	797.3
1991	105.9	72.7	117.1	33.7	8.2	38.5	2.0	0.0	0.8	21.2	40.2	48.1	488.4
1992	179.8	146.4	40.1	62.3	1.0	3.7	4.0	24.2	0.0	25.2	31.5	70.5	588.7
1993	211.2	80.0	119.6	17.6	7.3	2.6	0.0	49.5	26.5	60.4	85.1	93.1	752.9
1994	123.8	213.3	83.8	25.0	9.2	2.0	2.3	0.0	1.7	4.1	93.1	122.6	680.9
1995	121.9	134.4	119.1	20.5	0.0	0.0	0.0	6.8	16.9	1.0	43.1	186.3	650.0
1996	218.6	73.5	69.3	27.3	5.0	0.0	1.5	58.3	20.2	12.7	67.9	65.4	619.7
1997	233.7	260.9	85.7	47.3	13.7	0.0	0.0	58.6	63.2	11.2	65.5	34.4	874.2
1998	94.7	165.1	72.0	57.7	0.0	42.4	0.0	0.0	3.4	32.7	67.2	25.8	561.0
1999	212.0	225.7	248.8	109.5	10.9	0.9	1.1	0.0	15.2	86.5	3.1	30.9	944.6
2000	202.1	140.7	72.3	0.5	0.0	9.4	0.0	2.9	4.8	55.2	63.5	104.9	656.3
2001	340.0	278.2	136.9	17.5	3.2	7.5	14.8	20.7	28.7	28.6	12.0	95.6	983.7
2002	107.5	213.9	266.3	98.1	11.5	20.4	37.8	1.7	1.5	53.8	64.9	66.9	944.3
2003	171.9	102.2	149.2	2.0	12.8	0.0	0.0	5.1	35.9	5.9	22.8	103.5	611.3
2004	224.2	175.3	47.2	9.8	0.7	0.0	50.4	42.1	14.8	0.0	7.3	64.5	636.3
2005	98.1	215.2	123.0	11.4	0.0	0.0	0.0	0.0	30.4	44.2	64.8	138.1	725.2
2006	289.6	122.5	158.6	57.3	0.6	2.0	0.0	0.0	11.1	48.7	77.8	46.2	814.4
2007	34.3	84.2	269.3	31.2	0.0	0.0	9.9	3.4	19.4	4.0	36.8	47.6	540.1
2008	207.2	78.2	70.5	0.0	0.0	2.2	0.0	2.2	0.0	25.7	14.6	136.1	536.7
2009	129.2	228.1	89.8	29.0	0.0	0.0	1.8	0.0	3.8	61.5	67.1	93.7	704.0
2010	174.2	152.2	10.2	31.2	22.2	0.0	0.0	0.0	33.4	40.8	19.0	107.4	590.6

Fuente: SENAMHI

**ANEXO A-5: Información de precipitación total mensual y anual – Estación Yunguyo.**

AÑOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1964	66.5	103.0	141.5	55.0	19.0	0.0	7.5	9.5	42.5	17.5	37.0	68.0	567.0
1965	150.4	126.5	107.0	20.0	9.0	1.0	9.0	0.0	63.0	22.0	142.5	124.9	775.3
1966	83.0	152.0	70.5	31.3	35.5	0.0	1.0	0.0	18.5	50.0	51.0	76.0	568.8
1967	121.0	194.0	150.2	24.0	42.0	3.0	23.0	21.5	43.0	62.5	28.0	72.3	784.5
1968	81.0	149.0	140.0	36.0	62.0	38.0	8.0	8.5	23.0	31.0	76.5	81.5	734.5
1969	201.5	69.0	61.5	38.0	4.0	5.0	3.0	14.5	31.5	14.0	28.0	51.0	521.0
1970	134.2	76.0	126.0	31.0	8.5	0.0	0.0	6.0	24.5	35.7	13.0	63.4	518.3
1971	73.5	208.5	42.0	45.5	3.0	2.0	0.0	11.6	12.2	47.2	84.1	132.3	661.9
1972	188.6	177.7	51.1	28.8	3.4	0.0	0.0	9.6	42.8	10.8	1.8	72.5	587.1
1973	232.3	183.2	170.2	64.4	2.5	3.8	19.2	22.4	76.5	39.2	55.8	80.5	950.0
1974	255.1	192.8	70.2	73.8	0.0	9.2	0.0	159.4	15.0	22.0	19.6	127.6	944.7
1975	337.4	277.9	131.7	9.4	46.6	0.0	0.0	2.2	15.7	74.8	35.0	313.6	1244.3
1976	357.4	202.6	122.7	28.3	48.4	7.0	11.0	26.4	87.7	15.2	24.6	100.6	1031.9
1977	67.8	182.8	124.6	5.6	20.8	0.0	3.6	2.2	54.3	51.3	84.7	150.5	748.2
1978	281.2	70.9	101.0	23.2	0.0	0.0	2.4	4.6	14.4	0.0	102.2	155.7	755.6
1979	193.3	90.4	213.2	82.0	24.6	6.4	8.4	7.3	35.8	34.0	53.0	59.8	808.2
1980	87.9	139.0	97.7	34.2	23.7	6.0	7.8	10.1	36.2	33.7	52.7	71.2	600.2
1981	124.5	153.2	92.5	30.1	23.8	7.0	7.3	13.4	35.1	37.3	56.2	85.0	665.4
1982	136.9	160.9	95.5	34.7	26.4	7.9	6.4	18.7	28.9	39.8	36.0	83.3	675.4
1983	164.2	161.9	107.0	36.2	22.5	9.0	7.6	23.8	33.8	35.4	36.5	93.1	731.0
1984	180.5	152.6	97.9	39.5	17.2	9.4	3.3	23.4	32.3	28.0	42.3	102.9	729.3
1985	206.0	154.8	91.4	39.7	7.0	1.2	2.8	26.4	35.7	28.7	35.6	109.9	739.2
1986	200.9	176.8	104.2	39.4	11.4	1.4	3.5	27.9	36.9	33.6	40.9	124.3	801.2
1987	75.3	51.1	62.2	29.8	21.8	20.5	12.7	5.5	24.6	67.9	94.1	129.3	594.8
1988	188.1	59.8	219.9	94.2	46.5	3.5	11.0	0.0	39.7	21.5	28.5	124.3	837.0
1989	212.8	135.3	181.5	106.9	13.3	11.3	4.6	8.7	23.8	20.8	86.6	56.5	862.1
1990	155.7	100.8	84.5	58.4	59.2	89.0	0.0	12.5	19.0	85.0	104.0	131.4	899.5
1991	155.8	45.0	143.2	35.8	19.1	32.5	5.1	0.8	15.2	67.8	41.4	118.5	680.2
1992	160.3	113.7	33.6	24.2	0.0	6.9	11.6	41.1	9.1	59.9	129.0	71.4	660.8
1993	267.5	44.4	170.5	20.2	4.9	10.1	0.0	52.4	35.6	115.0	154.8	123.6	999.0
1994	224.3	195.1	154.2	39.0	4.0	3.6	8.9	4.6	2.6	33.2	65.8	165.6	900.9
1995	114.3	119.6	217.1	14.1	4.6	1.6	3.2	18.0	21.7	18.8	81.4	179.1	793.5
1996	221.2	148.7	71.2	48.0	4.6	4.2	30.5	36.0	17.6	3.0	69.9	128.0	782.9
1997	227.9	197.2	130.2	42.8	6.5	0.7	0.4	44.5	54.2	19.5	50.0	37.1	811.0
1998	109.0	116.8	104.0	109.9	4.4	24.4	0.0	1.3	5.1	44.2	50.8	43.8	613.7
1999	176.8	187.0	164.9	82.1	21.6	1.0	1.8	0.8	69.5	80.6	27.4	74.8	888.3
2000	248.3	132.9	103.7	0.0	13.9	45.9	0.0	23.1	0.0	81.8	13.5	142.6	805.7
2001	353.0	196.4	130.4	46.2	10.2	0.0	13.9	35.3	51.6	76.8	35.9	88.2	1037.9
2002	136.9	211.4	136.0	89.4	8.4	25.2	36.4	19.4	7.2	115.3	36.5	85.3	907.4
2003	227.9	120.9	188.0	23.8	20.3	0.0	1.9	8.4	50.3	28.0	12.1	95.1	776.7
2004	250.0	153.4	95.6	46.0	6.4	7.7	37.8	49.1	15.1	5.6	18.1	77.5	762.3
2005	93.3	189.7	74.8	53.7	10.5	0.0	0.0	1.7	24.9	72.0	88.1	99.8	708.5
2006	216.9	103.8	132.9	56.3	0.0	0.0	0.0	16.4	12.2	77.8	103.3	72.6	792.2
2007	55.0	101.8	155.4	40.4	4.4	0.0	15.6	3.6	46.8	14.0	60.6	86.6	584.2
2008	220.1	104.3	92.6	0.0	0.0	5.6	0.0	0.0	0.0	27.7	61.9	127.0	639.2
2009	101.3	164.4	79.3	53.4	0.0	0.0	4.6	0.0	21.7	11.2	89.1	74.1	599.1
2010	273.7	170.6	57.0	23.8	37.4	0.0	0.0	7.1	25.0	77.5	3.2	110.9	786.2

Fuente: SENAMHI

**ANEXO A-6:** Información de precipitación total mensual y anual – Estación Juli.

AÑOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1964	103.2	140.0	116.7	17.0	4.9	5.0	1.6	0.0	30.9	18.2	58.9	130.8	627.3
1965	198.0	181.8	84.0	8.0	3.4	0.0	4.0	0.0	46.1	16.8	74.5	205.3	821.9
1966	64.8	95.5	52.7	27.5	12.2	0.0	0.0	0.0	13.0	58.2	66.9	98.6	489.4
1967	68.0	172.1	191.7	66.4	45.1	0.0	0.0	0.0	44.9	30.3	5.7	177.1	801.3
1968	134.3	212.0	193.8	27.0	0.0	30.7	1.0	2.0	30.9	3.5	85.5	41.1	761.8
1969	172.1	164.0	87.4	31.8	8.3	7.0	1.8	9.1	22.4	23.1	17.3	98.4	642.7
1970	148.5	196.7	166.3	44.5	3.8	0.2	3.5	0.0	30.7	34.0	24.4	177.5	830.1
1971	166.8	345.9	71.0	74.9	0.0	2.3	0.0	11.5	0.0	29.5	98.9	134.9	935.7
1972	288.9	221.0	169.2	17.8	12.9	2.7	3.8	1.6	26.9	13.4	50.0	148.5	956.7
1973	271.4	189.9	145.4	109.2	3.0	0.0	8.1	17.1	44.6	45.4	30.9	68.6	933.6
1974	269.0	357.9	60.3	193.2	55.6	4.2	0.2	101.2	22.5	32.6	29.4	38.9	1165.0
1975	184.3	266.3	156.7	16.6	44.0	9.7	0.0	12.1	36.0	95.9	35.7	280.1	1137.4
1976	331.2	201.2	136.3	21.0	44.0	1.0	2.4	43.6	63.4	9.5	5.9	51.1	910.6
1977	91.9	275.2	222.5	5.4	0.0	0.0	14.5	0.0	57.6	66.4	62.8	114.9	911.2
1978	250.9	99.2	117.5	19.7	0.0	0.0	4.0	8.7	22.9	0.9	88.2	147.4	759.4
1979	197.2	117.3	229.1	80.4	2.2	0.0	14.1	2.2	4.1	47.1	115.5	133.1	942.3
1980	190.3	91.4	253.2	3.4	2.4	1.4	11.9	33.7	101.0	49.2	26.2	134.8	898.9
1981	126.7	212.5	106.2	55.2	18.3	7.8	1.3	4.2	18.8	29.0	40.4	113.3	733.7
1982	166.4	239.2	137.0	60.4	18.9	8.4	0.2	9.9	26.3	23.8	36.7	120.8	848.0
1983	202.5	245.4	128.7	55.3	10.8	9.2	1.8	15.0	24.6	25.9	49.2	107.0	875.4
1984	219.5	242.0	119.4	61.1	14.9	1.9	3.0	19.2	26.4	34.8	39.7	129.6	911.5
1985	128.8	304.8	162.6	110.1	34.1	26.8	0.0	22.3	89.7	13.3	164.2	163.3	1220.0
1986	131.5	260.1	171.7	107.0	4.3	0.0	3.6	37.3	15.2	29.8	23.4	139.5	923.4
1987	296.3	70.3	82.6	37.3	5.5	8.7	19.2	1.3	18.6	64.2	155.4	43.7	803.1
1988	300.3	70.4	249.5	124.0	9.0	0.2	1.0	0.0	22.6	58.7	27.3	96.2	959.2
1989	160.2	176.5	195.1	11.3	16.4	3.8	6.3	17.3	18.1	3.7	45.0	58.4	712.1
1990	192.0	50.8	51.4	47.7	13.6	48.5	0.0	18.9	19.9	69.3	64.3	173.7	750.1
1991	147.1	101.8	152.8	70.8	10.1	31.5	3.5	0.6	11.8	49.8	30.9	74.0	684.7
1992	159.3	130.9	40.2	32.8	0.0	0.7	3.7	40.9	0.0	24.0	72.6	60.7	565.8
1993	219.6	88.2	185.2	30.8	7.6	2.9	0.0	35.1	21.1	73.0	122.0	69.8	855.3
1994	186.5	149.1	109.5	55.4	11.7	5.9	1.6	0.8	7.1	4.3	69.2	165.3	766.4
1995	128.9	105.9	134.5	19.9	6.1	0.0	0.6	7.2	17.8	26.7	71.6	117.2	636.4
1996	195.5	127.0	137.3	32.3	18.8	0.0	9.1	38.0	4.5	26.6	77.2	101.6	767.9
1997	264.1	220.8	162.3	66.1	11.1	0.0	0.0	64.0	79.7	36.2	79.2	54.0	1037.5
1998	132.4	77.3	150.6	62.0	0.0	13.6	0.0	0.0	12.3	75.4	66.0	51.3	640.9
1999	158.7	278.2	309.8	61.5	28.4	2.2	3.1	1.9	58.1	130.3	18.5	94.0	1144.7
2000	275.3	236.3	138.4	16.7	10.9	14.3	0.6	17.0	1.2	62.2	1.9	119.5	894.3
2001	324.0	251.9	239.6	57.4	7.9	1.9	12.7	30.9	18.8	67.7	13.8	116.2	1142.8
2002	145.8	216.8	239.1	134.2	8.6	16.5	42.4	10.9	3.7	39.4	37.4	107.1	1001.9
2003	229.7	142.7	304.8	39.3	23.4	0.0	5.9	12.6	42.6	24.6	25.6	89.6	940.8
2004	322.0	115.8	68.4	54.9	11.6	2.0	34.0	49.9	25.3	11.1	25.7	126.3	847.0
2005	139.1	189.2	78.7	29.5	1.5	0.0	0.0	1.0	24.7	61.2	54.0	164.2	743.1
2006	347.2	196.8	174.1	44.6	7.1	3.3	0.0	2.3	13.9	43.5	113.6	93.9	1040.3
2007	99.1	136.4	231.3	99.6	6.6	1.2	8.3	5.1	30.4	44.4	30.3	156.9	849.6
2008	284.7	109.5	88.7	44.4	0.8	2.5	1.2	0.5	0.7	52.0	15.9	177.3	778.2
2009	161.7	210.5	170.1	77.0	0.0	0.0	6.6	0.0	54.0	34.0	125.9	128.5	968.3
2010	236.2	217.6	107.0	25.1	42.5	0.0	5.3	9.1	4.2	17.6	13.1	117.0	794.7

Fuente: SENAMHI

**ANEXO A-7: Información de precipitación total mensual y anual – Estación llave.**

AÑOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1964	171.3	69.0	9.5	36.0	16.0	0.0	0.0	8.5	39.5	13.5	75.5	86.5	525.3
1965	10.6	21.8	15.7	6.4	0.8	0.0	0.0	0.0	20.0	14.0	10.5	106.5	206.3
1966	56.0	86.5	23.0	21.0	52.4	0.0	0.0	0.0	0.0	30.9	50.2	98.2	418.2
1967	83.2	124.2	105.8	12.7	13.3	0.0	0.0	0.0	39.8	36.7	14.8	112.2	542.7
1968	110.4	161.8	134.9	36.0	31.3	19.9	4.2	91.0	16.1	23.6	139.0	51.7	819.9
1969	233.4	152.6	151.3	46.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.3	39.9	645.3
1970	127.9	143.3	177.7	57.7	17.4	2.4	3.7	0.0	51.5	25.9	24.9	120.5	752.9
1971	117.8	217.3	42.5	47.2	1.8	10.1	0.1	20.3	0.0	18.4	72.2	110.5	658.2
1972	227.2	120.2	85.9	21.7	0.0	0.0	6.4	4.5	27.7	15.7	28.6	122.4	660.3
1973	269.3	146.8	163.9	83.5	12.2	0.0	9.9	20.1	40.6	29.1	23.4	47.9	846.7
1974	211.0	288.8	60.0	49.0	0.0	4.0	0.0	107.1	10.0	35.0	15.0	66.0	845.9
1975	162.0	191.1	150.0	23.0	37.0	27.0	0.0	10.0	41.0	62.0	9.0	202.0	914.1
1976	241.0	150.0	101.0	25.0	11.8	3.0	1.0	47.0	68.0	0.0	6.0	78.0	731.8
1977	87.0	156.0	232.0	4.0	1.3	0.0	15.6	2.8	58.4	39.4	104.8	76.9	778.2
1978	211.0	128.7	81.4	23.0	0.0	0.0	5.1	11.4	28.6	8.7	124.5	10.0	632.4
1979	79.9	90.0	50.4	32.1	20.6	2.6	0.0	11.4	16.0	19.8	40.5	98.5	461.7
1980	129.1	115.8	80.8	31.3	19.0	4.0	0.6	16.0	14.7	22.9	33.9	98.0	566.0
1981	161.7	151.9	107.2	38.4	21.7	5.3	1.7	22.4	18.2	25.7	44.6	92.5	691.3
1982	184.8	169.2	130.5	41.5	10.9	6.5	2.7	28.5	26.6	23.9	44.1	89.6	758.7
1983	199.9	176.2	131.3	46.9	10.8	7.8	3.6	34.5	23.9	20.6	52.9	83.1	791.4
1984	282.0	284.1	179.8	28.5	16.6	9.2	3.0	12.6	1.0	94.4	73.9	45.8	1030.9
1985	134.4	287.6	144.8	69.8	29.2	23.0	0.0	11.4	65.2	49.4	196.6	181.0	1192.4
1986	162.3	261.1	194.3	111.3	5.8	0.0	3.4	4.3	20.3	13.9	45.5	133.7	955.9
1987	227.6	80.1	69.5	29.5	1.1	7.3	19.1	4.8	20.2	46.1	89.3	18.0	612.6
1988	158.7	53.3	169.8	101.3	13.7	0.4	2.0	0.0	19.8	36.5	9.0	71.4	635.9
1989	214.8	113.2	142.0	91.3	0.3	3.6	7.8	9.6	30.6	14.2	18.1	50.9	696.4
1990	151.2	39.1	59.5	48.9	25.0	67.7	0.0	15.5	7.4	65.9	101.1	127.8	709.1
1991	74.2	75.2	115.1	50.6	20.0	43.4	6.4	4.0	14.2	45.5	17.3	63.4	529.3
1992	151.9	88.8	29.7	8.2	0.0	1.6	1.4	55.5	2.4	38.8	57.8	45.1	481.2
1993	191.7	36.7	125.3	65.3	1.5	1.0	0.0	45.3	20.0	23.8	55.3	94.2	660.1
1994	129.4	126.7	100.2	58.1	14.8	0.0	0.0	0.0	5.2	10.8	39.5	117.1	601.8
1995	112.9	80.2	138.3	14.6	5.7	1.4	0.0	4.2	9.6	11.2	47.5	113.4	539.0
1996	245.6	141.1	34.3	31.5	2.0	0.0	7.2	30.5	12.0	9.5	83.2	86.3	683.2
1997	288.0	190.8	124.7	60.7	1.4	0.0	0.0	61.7	96.1	27.1	91.7	50.2	992.4
1998	97.3	112.6	54.7	59.9	0.0	13.0	0.0	0.1	4.6	41.0	47.1	41.1	471.4
1999	107.1	153.8	223.4	89.7	14.9	0.6	1.5	3.9	21.0	123.3	17.9	62.3	819.4
2000	269.9	161.1	135.6	14.4	4.9	4.4	9.3	6.4	3.2	51.5	1.0	109.8	771.5
2001	298.9	231.8	162.2	44.1	2.5	0.1	15.0	23.9	12.2	58.0	33.8	106.9	989.4
2002	108.2	242.7	228.5	156.8	20.9	19.8	43.6	15.2	10.7	69.8	80.7	108.0	1104.9
2003	168.1	78.9	172.0	14.5	24.3	0.5	0.0	10.3	52.2	14.1	17.9	89.3	642.1
2004	286.1	132.5	52.6	19.4	10.2	1.6	22.1	38.3	15.9	2.0	22.4	63.2	666.3
2005	125.1	142.5	78.7	23.6	8.3	0.0	0.0	0.0	26.2	58.7	55.7	88.5	607.3
2006	335.4	80.1	138.3	30.8	3.2	3.0	0.0	8.9	27.7	25.6	99.6	86.5	839.1
2007	92.9	61.8	212.4	66.2	2.5	2.1	7.8	5.2	41.5	27.5	30.6	87.1	637.6
2008	245.1	94.7	68.5	17.0	1.8	1.4	7.2	3.2	1.4	53.7	0.6	146.2	640.8
2009	105.1	126.7	81.7	57.5	0.0	0.0	8.2	0.0	40.5	35.2	158.0	57.4	670.3
2010	212.9	117.5	64.4	42.0	37.2	0.0	0.0	8.7	1.2	39.0	7.8	125.9	656.6

Fuente: SENAMHI

**ANEXO A-8: Información de precipitación total mensual y anual – Estación  
Laraqueri.**

AÑOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1964	153.2	133.6	80.9	41.4	12.0	0.0	0.0	1.1	61.7	31.7	24.8	34.4	574.8
1965	70.6	82.1	62.4	38.4	4.0	2.0	4.6	8.1	31.0	41.3	46.1	194.0	584.6
1966	78.5	152.8	63.9	25.4	50.5	0.0	0.0	0.0	7.7	36.8	106.7	52.2	574.5
1967	89.2	173.7	258.4	31.1	18.5	0.0	27.7	25.0	44.7	49.8	0.0	150.0	868.1
1968	145.7	189.6	124.5	37.1	34.1	17.7	2.3	1.4	16.0	56.2	103.2	85.7	813.5
1969	187.3	85.7	103.3	47.2	0.0	0.0	2.0	0.0	25.8	13.0	25.0	82.0	571.3
1970	111.4	106.5	140.3	37.0	25.5	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	18.5	179.3	628.5
1971	138.5	252.8	52.2	25.0	2.1	1.3	0.0	3.1	0.0	4.3	56.2	129.6	665.1
1972	230.2	197.8	111.7	16.3	3.6	0.0	0.0	0.0	29.6	49.7	51.0	170.3	860.2
1973	195.9	123.7	129.7	46.7	18.7	0.0	5.0	12.2	55.7	10.9	26.7	85.2	710.4
1974	274.1	245.8	100.5	51.0	0.0	1.1	0.0	57.4	20.0	12.1	16.5	74.5	853.0
1975	153.1	258.0	112.4	23.5	31.7	3.1	0.0	8.1	21.7	61.8	43.1	260.8	977.3
1976	355.5	135.4	218.3	40.8	18.4	0.0	27.6	29.8	64.4	14.6	11.0	84.6	1000.4
1977	66.8	191.0	148.3	7.0	5.3	0.0	0.0	0.0	21.1	55.6	88.3	126.4	709.8
1978	209.0	147.5	101.9	43.1	0.0	0.0	18.6	1.5	15.2	8.4	153.1	109.2	807.5
1979	190.2	115.0	125.6	22.3	0.0	1.2	9.3	1.7	5.0	29.7	53.5	56.5	610.0
1980	239.5	58.4	229.5	8.0	0.0	0.0	4.0	15.7	40.2	87.5	30.1	244.1	957.0
1981	244.1	277.0	125.5	54.0	1.9	0.0	0.0	30.2	32.4	18.0	22.5	161.5	967.1
1982	157.3	88.9	85.2	26.9	0.0	0.0	0.0	4.3	36.7	64.6	88.1	23.5	575.5
1983	97.8	78.1	18.7	8.4	0.0	1.6	0.0	0.5	17.1	13.4	15.8	77.8	329.2
1984	321.2	232.1	220.8	38.8	18.7	33.6	0.0	17.6	1.8	67.8	156.9	115.6	1224.9
1985	135.2	190.9	105.3	140.6	24.4	13.4	0.0	0.0	44.0	7.8	148.7	204.2	1014.5
1986	159.3	283.3	238.3	100.7	8.4	0.2	0.0	9.4	11.7	1.8	43.7	151.2	1008.0
1987	280.9	77.1	74.3	26.2	0.0	0.0	36.5	6.5	8.6	23.5	57.0	28.5	619.1
1988	199.5	45.1	179.1	130.7	9.6	2.5	0.0	0.0	5.9	44.6	13.2	101.4	731.6
1989	225.5	130.9	129.0	77.3	3.5	5.3	2.4	5.4	4.8	0.0	26.1	44.6	654.8
1990	135.7	36.7	80.8	11.0	15.3	55.3	0.0	15.7	9.5	99.4	141.5	128.5	729.4
1991	130.1	131.0	148.2	27.6	2.9	43.6	0.0	0.6	21.8	28.5	30.1	64.0	628.4
1992	120.7	100.0	59.5	39.5	0.0	3.9	15.8	31.9	0.0	61.9	48.9	102.1	584.2
1993	206.4	66.2	133.8	61.0	14.1	1.5	0.0	34.6	18.3	123.4	126.8	176.9	963.0
1994	206.8	197.2	148.8	110.0	14.8	1.5	1.5	0.0	5.9	8.7	74.3	140.1	909.6
1995	140.5	205.5	150.2	12.1	0.0	0.0	0.0	0.0	11.1	3.4	59.3	171.0	753.1
1996	277.3	127.4	0.0	52.6	20.2	0.0	0.0	52.0	12.0	4.7	96.3	97.5	740.0
1997	187.9	240.2	114.6	29.3	1.0	0.0	0.0	21.8	94.9	22.6	122.0	49.9	884.2
1998	87.7	94.3	88.8	31.0	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	28.3	44.0	25.1	409.2
1999	132.7	170.7	240.7	73.9	19.5	0.0	0.0	11.9	6.7	92.5	1.1	71.1	820.8
2000	250.3	236.7	126.3	12.5	5.3	1.4	0.0	10.1	6.5	66.7	7.1	139.5	862.4
2001	368.5	267.6	139.4	78.2	13.1	0.0	3.5	4.7	12.1	24.5	44.5	67.8	1023.9
2002	68.9	214.8	163.0	74.8	22.6	4.6	25.9	15.0	10.9	44.3	68.9	63.0	776.7
2003	148.6	123.4	124.0	28.2	12.6	0.0	0.0	5.6	19.1	6.1	24.3	128.4	620.3
2004	228.3	146.8	71.8	22.5	0.0	1.8	11.1	43.9	6.1	0.0	14.1	61.4	607.8
2005	115.1	280.3	79.3	42.5	0.0	0.0	0.0	0.0	19.1	39.0	37.5	127.8	740.6
2006	240.8	96.5	88.3	32.7	6.3	3.4	0.0	12.9	34.0	18.7	53.5	68.6	655.7
2007	109.3	96.8	168.9	48.0	4.9	0.0	0.0	11.0	45.8	57.8	71.4	110.6	724.5
2008	190.9	105.0	73.6	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	2.3	35.9	15.6	143.5	571.3
2009	71.4	173.4	107.9	67.2	0.0	0.0	5.1	0.0	11.1	15.0	86.7	102.1	639.9
2010	165.0	187.4	41.4	40.6	19.0	0.0	4.4	2.6	3.4	34.3	4.1	144.8	647.0

Fuente: SENAMHI