

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN  
CRISTÓBAL DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“CARACTERIZACIÓN DE LAS SEQUÍAS HIDROLÓGICAS EN  
LAS PRINCIPALES CUENCAS DE LA VERTIENTE DEL  
OCÉANO PACÍFICO”**

**Tesis para obtener el título profesional de:**

**INGENIERO AGRÍCOLA**

**Presentado por:**

**SAMUELSON CURI TAPAHUASCO**

**AYACUCHO – PERÚ**

**2014**

lesio  
IAG42  
Cur  
Ej. 2

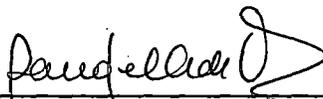
**“CARACTERIZACIÓN DE LAS SEQUÍAS HIDROLÓGICAS EN  
LAS PRINCIPALES CUENCAS DE LA VERTIENTE DEL OCÉANO  
PACÍFICO – 2013”**

**Recomendado : 24 de julio de 2014**  
**Aprobado : 15 de agosto de 2014**



---

**Ing. LEÓNIDAS ALEJANDRO ARIAS BALTAZAR**  
**Presidente del Jurado**



---

**M. Sc. SANDRA DEL AGUILA RÍOS**  
**Miembro del Jurado**



---

**Ing. EDUARDO PACORI QUISPE**  
**Miembro del Jurado**



---

**Ing. MOISES ANATOLIO QUISPE CADENAS**  
**Miembro del Jurado**



---

**Dr. ROMULO AGUSTIN SOLANO RAMOS**  
**Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias**

## *Dedicatoria.*

*A mi padre y hermanos por su apoyo y  
confianza para concluir la presente  
investigación.*

*A mi madre por sus consejos,  
enseñanzas y amor.*

*A todo el resto de mis familias y amigos  
que de una u otra manera me motivaron a  
terminar la presente investigación.*

### *Agradecimiento:*

*Durante estos años son muchas las personas e instituciones que han participado en este trabajo y a quienes quiero expresar mi gratitud por el apoyo y la confianza que me han prestado de forma desinteresada.*

- ✓ *A la UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA alma mater por haberme acogido y formado como profesional.*
  
- ✓ *A la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Agrícola, y a cada uno de sus docentes por su consecuencia y labor esmerada.*
  
- ✓ *Al servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú SENAMHI por el apoyo recibido en el desarrollado de esta investigación.*
  
- ✓ *A la M.Sc. Ing. Sandra del Aguila Rios, a quien agradezco por haberme asesorado, orientado y acompañado en la elaboración del presente trabajo de Tesis.*

## ÍNDICE

<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS .....	2
<b>II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>3</b>
2.1 EL CICLO HIDROLÓGICO Y LOS EXTREMOS .....	3
2.2 EVENTO EXTREMO.....	4
2.3 SEQUÍAS .....	4
2.4 TIPOS DE SEQUÍAS .....	7
2.4.1 Sequía Meteorológica o Climatológica .....	8
2.4.2 Sequía Edáfica o agrícola.....	8
2.4.3 Sequía Hidrológica .....	8
2.4.4 Sequía Socio Económica .....	9
2.5 CARACTERIZACIÓN DE SEQUÍAS.....	9
2.5.1 Extensión de la sequía .....	10
2.5.2 Duración de la sequía .....	10
2.5.3 Magnitud de la sequía.....	10
2.6 ÍNDICES DE SEQUÍAS.....	11
2.6.1 Porcentaje de la Precipitación Normal .....	12
2.6.2 Índices de Palmer (1965) .....	12
2.6.3 Índices de deciles de precipitación (1967).....	14
2.6.4 Índices de Humedad del cultivo (1968).....	16
2.6.5 Índice de Disponibilidad de Agua Superficial (1981).....	16
2.6.6 Índice de Precipitación Estandarizado (1993) .....	17
2.6.7 Índice de Condición de Vegetación (1995) .....	19
2.6.8 Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (1995).....	19
2.6.9 Índice de Sequías del Bureau of Reclamation (1996) .....	20
2.6.10 Índice Agregado de Sequías (2004) .....	20
2.6.11 Índice de Escorrentía Estandarizado(2008) .....	21
2.6.12 Índice de Sequías hidrológico (2009).....	21
2.6.13 Índice de sequía de caudales (2012).....	22
2.7 MÉTODO DE L-MOMENTOS .....	23
2.7.1 Propiedades de los L-momentos .....	25

2.7.2	Estimación de parámetros mediante el método de L-momentos .....	26
2.8	SELECCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD .....	29
2.8.1	La distancia mínima ortogonal.....	29
2.8.2	Mejor ajuste mensual(BMF) .....	31
2.9	ANÁLISIS DE SERIES DE TIEMPO.....	32
2.9.1	Descripción de los tests estadísticos.....	33
<b>III.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>39</b>
3.1	ÁREA DE ESTUDIO .....	39
3.1.1	Ubicación geográfica y política.....	39
3.2	MATERIALES .....	48
3.2.1	Información cartográfica.....	48
3.2.2	Datos del ANA .....	48
3.2.3	Software .....	51
3.2.4	Equipos .....	51
3.3	METODOLOGÍA .....	52
3.3.1	Tratamiento de datos .....	54
3.3.2	Calculo de un índice de sequía de caudales estandarizado(SSI).....	56
3.3.3	Caracterización de las sequías.....	60
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>63</b>
4.1	Tratamiento de datos .....	63
4.1.1	Análisis exploratorio de datos.....	63
4.1.2	Estimación y completación de datos de caudal faltantes.....	69
4.1.3	Análisis de Tendencia y quiebres.....	79
4.2	Cálculo de un índice de sequía de caudales estandarizado (SSI) .....	84
4.2.1	Cálculo de un índice de sequía de caudales estandarizado (SSI) usando una única distribución de probabilidad .....	95
4.2.2	Cálculo de un índice de sequía de caudal estandarizado (SSI) usando diferentes distribuciones de probabilidad.....	100
4.2.3	Elección de un índice de sequía de caudal estandarizado (SSI).....	118
4.3	Caracterización de la sequía hidrológica en la Vertiente del Pacífico .....	121
4.3.1	Duración.....	123
4.3.2	Intensidad y Magnitud .....	126
4.3.3	Extensión espacial .....	131
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>140</b>

<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>142</b>
<b>VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>143</b>
<b>VIII. ANEXOS.....</b>	<b>147</b>

### RELACIÓN DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> El ciclo hidrológico.....	<b>3</b>
<b>Figura 2.2</b> Característica de los tipos de sequía .....	<b>7</b>
<b>Figura 2.3</b> Interacción entre las sequías Meteorológicas, Agrícola, Hidrológica y Económica .....	<b>9</b>
<b>Figura 2.4</b> Serie cronológica de oferta - demanda para la identificación y caracterización de las sequías.....	<b>10</b>
<b>Figura 2.5</b> Diagrama de L-momentos ratios de dos y tres parámetros, basado en L-sesgo y L-kurtosis.....	<b>26</b>
<b>Figura 2.6</b> Gráfica del mejor ajuste considerando la mínima distancia ortogonal de la data observada a la curva teórica.....	<b>31</b>
<b>Figura 3.1</b> Unidades Hidrográficas de la Vertiente del Océano Pacífico. ....	<b>41</b>
<b>Figura 3.2</b> Modelo de elevación del terreno de la Región Hidrográfica del Pacífico. ..	<b>47</b>
<b>Figura 3.3</b> Red de estaciones hidrométricas.....	<b>50</b>
<b>Figura 3.4</b> Proceso metodológico para fines de Caracterización de sequías. ....	<b>52</b>
<b>Figura 3.5</b> Esquema de la serie cronológica de oferta - demanda para la identificación y caracterización de la duración y magnitud de la sequía bajo un nivel de truncamiento definido. ....	<b>62</b>
<b>Figura 4.1</b> Diagrama de cajas de caudal anual por estaciones .....	<b>66</b>
<b>Figura 4.2</b> Gráfica de caja, caudal mensual Est. El Tigre (Río Tumbes) .....	<b>67</b>
<b>Figura 4.3</b> Gráfica de caja, caudal mensual Est. Coranchay (Río Locumba) .....	<b>67</b>
<b>Figura 4.4</b> Gráfica del Test de Grubbs a un paso de tiempo anual.....	<b>68</b>
<b>Figura 4.5</b> Método del Vector regional con las mejores estaciones para la región 1 ....	<b>71</b>
<b>Figura 4.6</b> Gráfica de doble masa de la región 1.....	<b>71</b>

<b>Figura 4.7</b> Método del Vector regional con las mejores estaciones para la región 2 ....	73
<b>Figura 4.8</b> Gráfica de doble masa de la región 2.....	73
<b>Figura 4.9</b> Método del Vector regional con las mejores estaciones para la región 3 ....	74
<b>Figura 4.10</b> Gráfica de doble masa de la región 3.....	75
<b>Figura 4.11</b> Método del Vector regional con las mejores estaciones para la región 4 ..	76
<b>Figura 4.12</b> Gráfica de doble masa de la región 4.....	76
<b>Figura 4.13</b> Regiones Homogéneas.....	78
<b>Figura 4.14</b> Gráfica del Test de Pettitt (rompimiento de serie) Est. Ardilla (río Chira).	80
<b>Figura 4.15</b> Gráfica del Test de Pettitt (rompimiento de serie) Est. Yanapampa (río Pativilca) .....	81
<b>Figura 4.16</b> Histograma función de densidad mensual, Estación El Tigre.....	93
<b>Figura 4.17</b> Histograma función de densidad mensual, Estación Ardilla.....	94
<b>Figura 4.18</b> Evolución temporal de los índices de sequía de caudal (SSI) en la Est. Puchaca (Lambayeque) y Est. Coranchay (Tacna).....	96
<b>Figura 4.19</b> Evolución temporal del índice de sequía de caudales (SSI), usando las seis distribuciones de probabilidad seleccionadas en la Est. Puchaca (Lambayeque). .....	97
<b>Figura 4.20</b> Evolución temporal del índice de sequía de caudales (SSI), usando las seis distribuciones de probabilidad seleccionadas en la Est. Coranchay (Tacna).....	98
<b>Figura 4.21</b> Diagrama de L-momentos ratios, los puntos representan la estadística del mes de Enero para las 30 estaciones analizadas.....	101
<b>Figura 4.22</b> Diagrama de L-momentos ratios a un nivel mensual.....	103
<b>Figura 4.23</b> Diagrama de L-momentos ratios, a nivel estacional.....	104
<b>Figura 4.24</b> Gráfica de cajas. Distancia Mínima Ortogonal (AWD) entre la muestra de L-momentos en el sitio (i) y la relación de L-momentos para una distribución específica, obteniendo las seis distribuciones de probabilidad a un nivel mensual de las 30 estaciones analizadas. ....	107
<b>Figura 4.25</b> Gráfica mensual del Test de Kolmogorov Smirnov (KS) para la Estación El Tigre (A1) (Tumbes).....	110
<b>Figura 4.26</b> Gráfica de cajas. Estadística del Test de Kolmogorov Smirnov (KS), obtenido del análisis de las seis distribuciones de probabilidad a un nivel mensual provenientes de las 30 estaciones analizadas. ....	113
<b>Figura 4.27</b> Evolución temporal del índice de sequía de caudales (SSI) obtenido usando la mínima distancia ortogonal (AWD), y el mejor ajuste mensual (BMF) para la estación Puchaca (Lambayeque) .....	115

<b>Figura 4.28</b> Evolución temporal del índice de sequía de caudales (SSI) obtenido usando la mínima distancia ortogonal (AWD), y el mejor ajuste mensual (BMF) para la estación Coranchay (Tacna).....	115
<b>Figura 4.29</b> Evolución temporal del índice de sequía de caudales (SSI), usando las seis distribuciones seleccionadas y los dos métodos de ajuste en la Est. Puchaca (Lambayeque).....	116
<b>Figura 4.30</b> Evolución temporal del índice de sequía de caudales (SSI), usando las seis distribuciones seleccionadas y los dos métodos de ajuste en la Est. Coranchay (Tacna). .....	117
<b>Figura 4.31</b> valores promedio del SSI de las seis distribuciones y los dos métodos de ajuste analizados para las 30 estaciones hidrométricas. ....	119
<b>Figura 4.32</b> valores de la desviación estándar del SSI de las seis distribuciones analizadas y los dos métodos de ajuste para las 30 estaciones hidrométricas. ....	119
<b>Figura 4.33</b> Región 1. Evolución temporal del SSI, caracterización de la duración de sequía Estación El Tigre - A1 (Tumbes).....	124
<b>Figura 4.34</b> Evolución temporal del SSI, caracterización de la duración de sequía Estación Salinar – Tambo – A9 (La Libertad). ....	124
<b>Figura 4.35</b> Evolución temporal del SSI, caracterización de la duración de sequía Estación La Capilla – A21 (Lima).....	125
<b>Figura 4.36</b> Evolución temporal del SSI, caracterización de la duración de sequía Estación Aricota – A38 (Tacna). ....	125
<b>Figura 4.37</b> Frecuencia de ocurrencia de sequías según su magnitud (1960-2005)....	128
<b>Figura 4.38</b> Frecuencia de ocurrencia de sequías según su magnitud (1995-2005)....	130
<b>Figura 4.39</b> Intensidad promedio de la sequía (SSI mensual) entre 1960 a 2005 .....	132
<b>Figura 4.40</b> Intensidad promedio de la sequía (SSI mensual) entre 1995 a 2005 .....	133
<b>Figura 4.41</b> caracterización espacial de la sequía año de 1997 (Enero - Febrero).....	134
<b>Figura 4.42</b> caracterización espacial de la sequía año de 1997 (Marzo - Abril).....	135
<b>Figura 4.43</b> caracterización espacial de la sequía año de 1997 (Mayo - Junio).....	136
<b>Figura 4.44</b> caracterización espacial de la sequía año de 1997 (Julio - Agosto).....	137
<b>Figura 4.45</b> caracterización espacial de la sequía año de 1997 (Septiembre - Octubre) .....	138
<b>Figura 4.46</b> caracterización espacial de la sequía año de 1997 (Noviembre - Diciembre).....	139

## RELACIÓN DE CUADROS

<b>Cuadro 2.1</b> Resumen de índices de Sequías .....	11
<b>Cuadro 2.2</b> Clasificación de Sequías PDSI.....	14
<b>Cuadro 2.3</b> Clasificación de Deciles de Precipitación.....	15
<b>Cuadro 2.4</b> Clasificación de sequías SPI.....	18
<b>Cuadro 2.5</b> Clasificación de Sequías RDI .....	20
<b>Cuadro 2.6</b> Definición de estados de sequía hidrológica con SDI.....	22
<b>Cuadro 2.7</b> Definición de estados de sequía hidrológica con SSI .....	23
<b>Cuadro 2.8</b> Aprox. polinómicas de <i>L-kurtosis</i> ( $\bar{\tau}_4$ ) en función de <i>L-asimetría</i> ( $\bar{\tau}_3$ ) ....	30
<b>Cuadro 2.9</b> Valores críticos del Test de Grubbs .....	37
<b>Cuadro 3.1</b> Unidades Hidrográficas del Perú (R.M. N°003-AG-2008) .....	39
<b>Cuadro 3.2</b> Características de las unidades hidrográficas de la Región Pacífico. ....	42
<b>Cuadro 3.3</b> Principales proyectos ubicados en la Vertiente del Océano Pacífico.....	46
<b>Cuadro 3.4</b> Principales proyectos que presentan trasvases a la Vertiente del Pacífico. ....	46
<b>Cuadro 3.5</b> Red de Estaciones Hidrométricas.....	49
<b>Cuadro 4.1</b> Red de Estaciones Hidrométricas con información mensual ausente .....	64
<b>Cuadro 4.2</b> Resumen de la Estadística descriptiva de caudales anuales (m <sup>3</sup> /s) .....	65
<b>Cuadro 4.3</b> Red de estaciones hidrométricas y su codificación.....	66
<b>Cuadro 4.4</b> Estaciones con data faltante.....	69
<b>Cuadro 4.5</b> Estaciones óptimas para la región 1 .....	70
<b>Cuadro 4.6</b> Estaciones óptimas para la región 2 .....	72
<b>Cuadro 4.7</b> Estaciones óptimas para la región 3 .....	74
<b>Cuadro 4.8</b> Estaciones óptimas para la región 4 .....	75
<b>Cuadro 4.9</b> Resumen. Regiones Homogéneas .....	77
<b>Cuadro 4.10</b> Análisis de Tendencias y quiebres a un paso de tiempo anual. ....	79
<b>Cuadro 4.11</b> Análisis de tendencia a nivel mensual mediante la Prueba de Mann Kendall modificado .....	82
<b>Cuadro 4.12</b> Análisis de saltos (rompimiento de serie) a nivel mensual mediante la Prueba de Pettitt.....	83
<b>Tabla 4.13</b> Función de Distribución .....	86

<b>Cuadro 4.14</b> Estimación de parámetros método de L-momentos (Est. El Tigre).....	88
<b>Cuadro 4.15</b> Estimación de parámetros método de L-momentos (Est. Ardilla).....	88
<b>Cuadro 4.16</b> Estimación de parámetros método de L-momentos (Est. Puchaca).....	88
<b>Cuadro 4.17</b> Parámetro de distribución de General de Valores Extremos (GEV).....	89
<b>Cuadro 4.18</b> Parámetro de distribución de LogNormal (LN3).....	90
<b>Cuadro 4.19</b> Parámetro de distribución de Logístic Generalizada (GLO) .....	90
<b>Cuadro 4.20</b> Parámetro de distribución de General de Pareto (GPA).....	91
<b>Cuadro 4.21</b> Parámetro de distribución de Pearson tipo III (PE3).....	91
<b>Cuadro 4.22</b> Parámetro de distribución de Weibull (WEI).....	91
<b>Cuadro 4.23</b> Estimación de parámetros método de L-momentos para todas las estaciones en el mes de Enero.....	101
<b>Cuadro 4.24</b> Distancia mínima ortogonal para el mes de Enero.....	105
<b>Cuadro 4.25</b> Distancia mínima ortogonal para el mes de Febrero.....	106
<b>Cuadro 4.26</b> Distancia mínima ortogonal para el mes de Marzo.....	106
<b>Cuadro 4.27</b> Distancia mínima ortogonal para el mes de Abril.....	106
<b>Cuadro 4.28</b> Test de Kolmogorov Smirnov (KS) para las seis distribuciones y todos los meses, estaciones A1, A2, A5 y A6.....	109
<b>Cuadro 4.29</b> Test de Kolmogorov Smirnov (KS) para todos los meses, distribución Valor Extremo Generalizado (GEV), estación A1 (El Tigre).....	109
<b>Cuadro 4.30</b> Mejor ajuste mensual aplicando el Test de (KS) para el mes de Enero .	111
<b>Cuadro 4.31</b> Mejor ajuste mensual aplicando el Test de (KS) para el mes de Febrero .....	112
<b>Cuadro 4.32</b> Mejor ajuste mensual aplicando el Test de (KS) para el mes de Marzo	112
<b>Cuadro 4.33</b> Mejor ajuste mensual aplicando el Test de (KS) para el mes de Abril. .	112
<b>Cuadro 4.34</b> Regiones Hidrológicas Homogéneas.....	122
<b>Cuadro 4.35</b> Cuantificación de la Intensidad Promedio (1960-2005).....	126
<b>Cuadro 4.36</b> Frecuencia de ocurrencia de sequías según su magnitud (1960-2005) ..	127
<b>Cuadro 4.37</b> Cuantificación de la Intensidad Promedio (1995-2005).....	129
<b>Cuadro 4.38</b> Frecuencia de ocurrencia de sequías según su magnitud (1995-2005) ..	130

## I. INTRODUCCIÓN

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) consideró a la sequía como un periodo de condiciones meteorológicas anormales seca y suficientemente prolongada como para que la falta de precipitación cause un gran desequilibrio hidrológico.

El Perú es uno de los países que posee mayor variabilidad climática del mundo producto de su extraordinario contraste geomorfológico. El territorio peruano es atravesado de Norte a Sur por la Cordillera de los Andes, importante barrera natural que divide la circulación de las masas de aire del Océano Pacífico y del Océano Atlántico. La variabilidad climática en la costa peruana está influenciada por el Océano Pacífico con una asimetría de los recursos hídricos con excesos y sequías.

La definición de sequía puede abarcar diferentes aspectos hidrológicos, meteorológicos y sociales, entre otros, lo que dificulta generar una definición única. Sin embargo una de las características más representativas de la sequía es el déficit de agua, tanto en términos de precipitación como en términos de los caudales, es decir la disponibilidad de agua es afectada en una región determinada.

Las sequías climáticas e hidrológicas son alteraciones que afectan de manera importante el normal desarrollo y aprovechamiento de los recursos hídricos en una región. La sequía tiene la particularidad de ser de lento desarrollo temporal y amplia cobertura espacial lo que hace difícil de precisar con exactitud su duración y extensión mientras ocurre el fenómeno dificultando la adopción oportuna de medidas concretas para paliar sus efectos.

Desde el punto de vista hidrológico la sequía se puede definir como un déficit del caudal con relación a los niveles normales en una región durante un periodo de tiempo prolongado, resultando en una escases de agua. La sequía hidrológica se nota después de una sequía climática bajando los niveles de los ríos, embalses y acuíferos, este tipo de sequía afecta a los usos que dependen del nivel de agua de los ríos y embalses como la hidroeléctrica, la agricultura, los ecosistemas, usos recreativos, la industria, etc. Las

mediciones hidrológicas no se pueden utilizar como un indicador del inicio de la sequía, pero sí de la intensidad con la cual se produce (Valiente, 2001).

La caracterización de la sequía hidrológica mediante la aplicación de un Índice de Sequía Estandarizado (SSI) nos permitirá realizar la comparación de una gran variedad de regímenes hidrológicos muy diferentes entre ellos en características físicas y magnitudes de caudal.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

El presente trabajo tiene como objetivo general:

“Caracterizar las sequías hidrológicas en la vertiente del Océano Pacífico mediante un índice de sequía hidrológico estandarizado”.

### **Objetivo Especifico**

- Evaluar la capacidad de seis distribuciones de probabilidad teóricas de tres parámetros que caracterice el comportamiento de las sequías hidrológicas en la Vertiente del Pacífico.
- Evaluar el rendimiento de dos enfoques para la elección de la mejor distribución
- Obtener un índice de sequía de caudal estandarizado (SSI)
- Obtener mapas de caracterización de sequías hidrológicas de la Vertiente del Pacífico.

## II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 EL CICLO HIDROLÓGICO Y LOS EXTREMOS

Los eventos extremos son fenómenos meteorológicos naturales que se pueden presentar en cualquier lugar y momento, las sequías como las inundaciones son resultado de alteraciones en la dinámica de la humedad atmosférica. La naturaleza de ambos fenómenos es compleja, mientras una parte sufre sequía, otra puede encontrarse inundada, simultáneamente.

Algunos de los fenómenos que alteran el ciclo hidrológico y por ende la humedad atmosférica son: El Niño, las erupciones volcánicas, la quema de combustibles fósiles, la deforestación y la actividad industrial.

Considerando que las sequías y las inundaciones son las manifestaciones más dramáticas en el ciclo hidrológico, es de esperar que estos fenómenos aumenten en intensidad, severidad y duración, atribuidas al cambio climático, incrementando la frecuencia de ocurrencia así como el impacto en las poblaciones (Velasco, 2013)

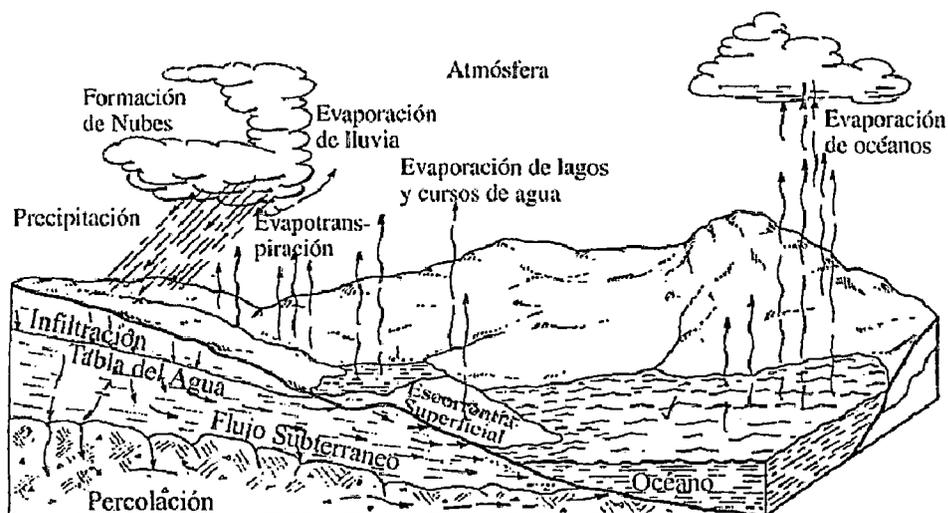


Figura 2.1 El ciclo hidrológico (Fattorelli & Fernandez 2011)

## **2.2 EVENTO EXTREMO**

Se llama evento extremo a un episodio raro que se presenta en una estación y en un lugar en particular (un evento extremo puede salir del percentil 10 o 90).

Los eventos extremos no pueden ser atribuidos al cambio climático, ya que estos se presentan de manera natural, sin embargo se espera que el cambio climático pueda incrementar la ocurrencia de eventos extremos (IPCC WGI Glossary).

## **2.3 SEQUÍAS**

El Vocabulario Meteorológico Internacional (OMM, 1966) define a la sequía como sigue:

“Un período de condiciones meteorológicas anormalmente secas, suficientemente prolongado como para que la falta de precipitaciones cause un grave desequilibrio hidrológico”

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 (Heim, 2002).

La sequía es uno de los fenómenos naturales que afecta a más personas, se extiende de manera irregular a través del tiempo y el espacio, los efectos son acumulativos y pueden permanecer aún después de la culminación del evento; siendo este detalle lo que la distingue de otros fenómenos naturales (Núñez et al., 2007)

Las sequías tienen la particularidad de ser de lento desarrollo temporal y amplia cobertura espacial. Su ocurrencia no provoca el colapso ni la falla destructiva de la infraestructura; sin embargo, puede condicionar las operaciones de los sistemas de recursos hídricos imponiendo muchas veces condiciones más exigentes que las de diseño con graves consecuencias económicas y sociales. El carácter no destructivo de

las sequías, en comparación con el de las avenidas, es probablemente responsable que la sociedad esté dispuesta a asumir mayores riesgos, puesto que en el caso de avenidas se determina las crecidas decáreas, cenarías, milenarias y hasta la crecida máxima probable; sin embargo, es habitual que se considere para la sequía condiciones de diseño similares a las observadas en el pasado reciente, cuya frecuencia media corresponde a periodos de retorno de 20 a 50 años (Fernández, 1997).

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 (Panu & Sharma, 2002).

La disponibilidad del recurso hídrico incluye el contenido de humedad del suelo, el agua subterránea, 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).

No existe una única definición para el concepto de sequía. La sequía meteorológica es entendida como la ausencia de lluvias o precipitaciones por debajo del nivel 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 político y social, delineando las consecuencias e impactos así como los productos de las políticas de manejo de sequías (Kundzewicz et al., 1993).

El conocimiento del comportamiento de las sequías ha sido un importante aspecto del planeamiento y manejo de los sistemas de recursos hídricos. Generalmente los embalses cumplen una importante función supliendo los requerimientos de la demanda durante el episodio de las sequías de una determinada magnitud y duración (Hyun-Suk Shin et al., 2000).

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 destructivos y se producen sobre áreas extensas, en comparación con los impactos causados por otros desastres naturales, por lo que es complicado cuantificar sus efectos. 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 (Villalobos, 2007).

En general, es posible organizar las definiciones de sequía como conceptual y operacional. La definición conceptual, es aquella de tipo teórico que, solo se limita a definir y describir al fenómeno. Por otro lado, la definición operacional intenta identificar el inicio, evolución y el fin del fenómeno, y a veces requiere considerar su frecuencia, severidad y duración. Analizar la sequía involucra diversas disciplinas, cada una de las cuales incorpora diferentes factores en su definición. Por ello, la sequía puede ser de tipo meteorológico, hidrológico, agrícola y socioeconómico, y sus diferencias radican en el grado de intervención humana en el sistema.

Por lo general, se está de acuerdo en considerarlas a la sequía como períodos prolongados de escasez de recursos hídricos capaces de provocar efectos adversos sobre la sociedad o los sistemas productivos teniendo un origen común: el déficit de la precipitación (Núñez et al., 2007, Wilhite and Glantz 1985).

## 2.4 TIPOS DE SEQUÍAS

Las sequías tienen su origen dentro del ciclo hidrológico con una deficiencia de la cantidad de precipitación, el cual provoca de forma directa una disminución de la presencia de agua en todos los estados del ciclo hidrológico (Brass, 1990). A esta deficiencia de la precipitación puede sumarse factores como una alta temperatura, la presencia de fuertes vientos, una baja humedad relativa con una alta radiación solar, las características del suelo y la cobertura vegetal. Todo ello tiene en común el aumento de la evaporación y la transpiración que acentúa la disminución de la presencia de agua en la superficie terrestre en el proceso del ciclo hidrológico.

Se han propuesto diferentes clasificaciones que catalogan estas definiciones por ejemplo (Wilhite & Glantz, 1985), agruparon diversas definiciones de sequías, en cuatro grupos según la disciplina científica desde la cual se analiza el fenómeno: sequía meteorológica, agrícola, hidrológica y socioeconómica. Las relaciones entre los tipos de sequías se muestran en la figura 2.2.

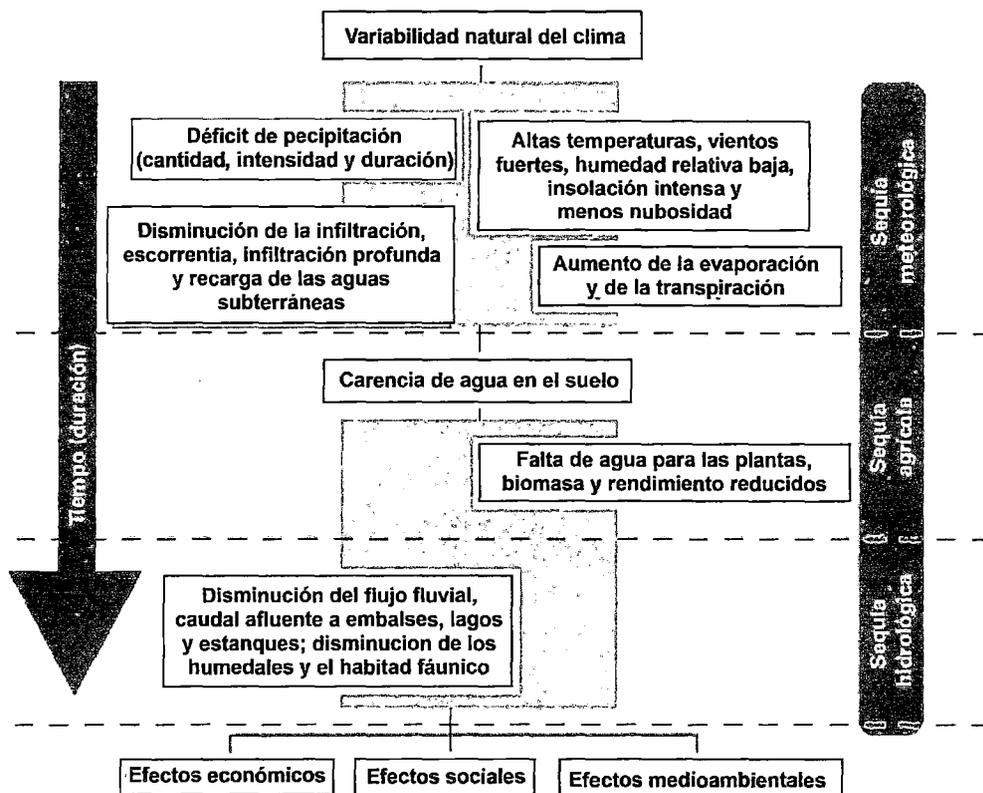


Figura 2.2 Característica de los tipos de sequía (Fuente. OMM Vigilancia y alerta temprana de la sequía 2006)

### **2.4.1 Sequía Meteorológica o Climatológica**

Las sequías meteorológicas se relacionan con la disminución de las precipitaciones, siendo evaluadas mediante la comparación entre la precipitación del periodo de análisis y un indicador estadístico de la serie temporal que generalmente es la media. Existen diversas definiciones de la sequía meteorológica que han sido desarrolladas para regiones específicas, debido a que las variaciones en los regímenes de precipitación tienen una fuerte influencia de las características climáticas de cada región.

### **2.4.2 Sequía Edáfica o agrícola**

La sequía agrícola se expresa en términos de disponibilidad de agua en los suelos para el sostenimiento de los cultivos, en muchos casos es valorada de acuerdo a los daños provocados sobre la producción agrícola.

Debido a que la cantidad de agua es diferente para cada cultivo, y varía a lo largo de las fases de crecimiento de los cultivos, es complejo definir umbrales de sequía incluso para una misma región.

Este tipo de sequía no solo depende de las condiciones meteorológicas, sino también de las características biológicas del cultivo y las propiedades del suelo. Por lo que no es equivalente a la sequía meteorológica. Si los niveles de humedad del suelo son suficientes para sustentar el crecimiento de un determinado cultivo durante el periodo que se presente sequía meteorológica, la sequía agrícola no se producirá.

### **2.4.3 Sequía Hidrológica**

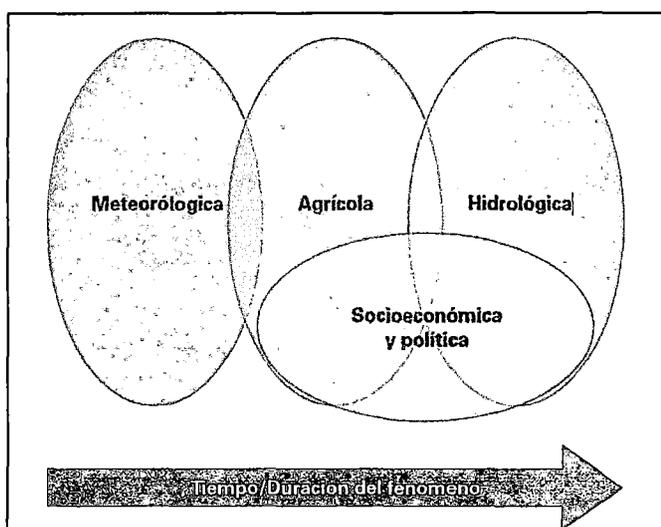
La sequía hidrológica se asocia fuertemente a la deficiencia en el caudal o volumen de aguas superficiales y/o subterráneas, así como el volumen de almacenamientos. Las sequías hidrológicas tienen un desfase entre la ocurrencia de las sequías climatológicas, puesto que se requiere de un desfase temporal para que se propaguen las anomalías pluviométricas a los diversos componentes del ciclo hidrológico.

A diferencia de la sequía agrícola que tiene lugar al poco tiempo de presentarse la sequía meteorológica, la sequía hidrológica puede tardar de meses a años dependiendo de la región desde el inicio de la sequía meteorológica, y si las lluvias retornan en poco tiempo, la sequía hidrológica no llegará a manifestarse.

La capacidad de gestión de los recursos hídricos influye sobre la sequía hidrológica, debido a que el déficit no solo depende de la disponibilidad del recurso hídrico superficial o subterráneo, sino también de la forma de uso del agua.

#### 2.4.4 Sequía Socio Económica

Este tipo de sequía se produce cuando la disponibilidad de agua disminuye hasta el punto de generar daños económicos o sociales sobre la población en las zonas afectadas por la escasez de precipitaciones.



**Figura 2.3** Interacción entre las sequías Meteorológicas, Agrícola, Hidrológica y Económica (Fuente. OMM Vigilancia y alerta temprana de la sequía 2006).

### 2.5 CARACTERIZACIÓN DE SEQUÍAS

La caracterización de las sequías presenta rasgos individuales distintivos, para su identificación se propuso la teoría de rachas o sucesiones propuesta por (Yevjevich, 1967) mencionado por (García, 2008). Esta analiza las sequías en base a los procesos espacio temporales que consideran la oferta y la demanda del recurso hídrico en una región.

La teoría de rachas permite la caracterización de cada episodio en base a tres características principales como son: magnitud, duración y área afectada (Lorenzo, 2012).

### 2.5.1 Extensión de la sequía

La caracterización espacial de un evento de sequía, nos ayuda a entender la evolución, el inicio y el fin de este fenómeno, e identificar las zonas con mayor riesgo a sufrir temporadas secas, lo suficientemente severas como para ocasionar un grave desequilibrio hidrológico en un área extensa.

### 2.5.2 Duración de la sequía

La duración de un evento de sequía, se define como el número de sucesiones temporales consecutivas e ininterrumpidas (uno o más meses) con un caudal inferior al nivel promedio registrado en un periodo de tiempo relativamente largo.

### 2.5.3 Magnitud de la sequía

Este término hace referencia al déficit del volumen acumulado de caudal en una secuencia ininterrumpida de meses que delimita un evento de sequía, el cual se cuantifica mediante la sucesión negativa acumulada.

Hay un parámetro muy usual que se utiliza en la caracterización de sequías que viene ser la **intensidad**. La cual es una medida de severidad del evento, algunos autores la calculan como la magnitud entre la duración de la sequía y corresponde entonces a la intensidad promedio, en otros casos se define como el máximo valor del déficit ocurrido durante el evento, conocido como intensidad máxima.

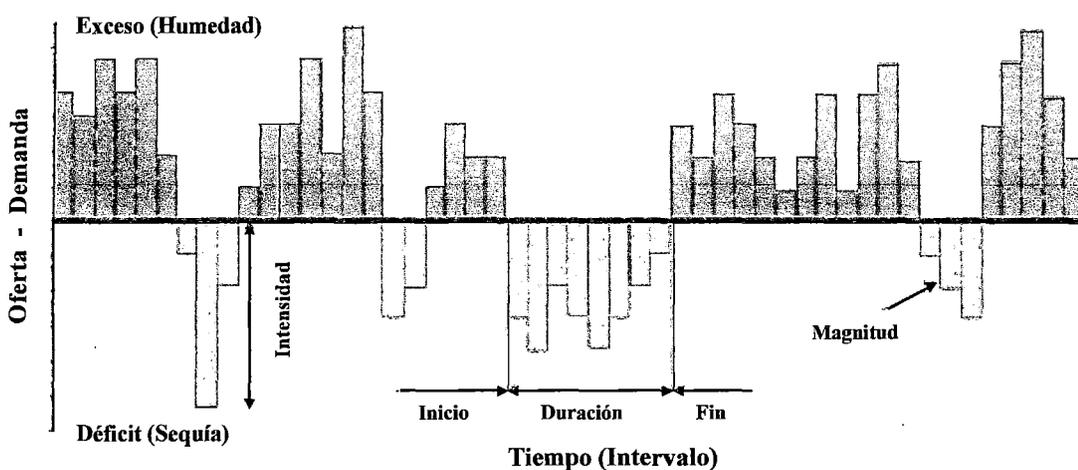


Figura 2.4 Serie cronológica de oferta - demanda para la identificación y caracterización de las sequías (Fuente: Fernández 1997)

## 2.6 ÍNDICES DE SEQUÍAS

Los esfuerzos que se han realizado en diversas partes del mundo para definir de forma objetiva un fenómeno tan complejo y que tiene diversas concepciones ha dado lugar a que se desarrollen diversos índice o indicadores de sequías que buscan proporcionar una escala sobre la que uniformicen los criterios para evaluar las sequias. Los índices numéricos son necesarios para comparar valores de la sequía entre diversas regiones, así como para comparar eventos del pasado. Sin embargo, debido a las múltiples definiciones de la sequía y el amplio rango de sectores afectados hace difícil cuantificar sus efectos, resultando problemático el desarrollo de un único índice numérico universal que pueda representar la intensidad, severidad así como los impactos sobre una determinada área. (Heim, 2002)

Los índices también son utilizados para monitorear el comportamiento de las sequías en tiempo real y poder evaluar su evolución. Los índices deben ser valores simples determinados mediante procedimientos de cálculo establecidos, que resuman mediante criterios definidos las características de las sequías. (Villalobos, 2007).

A continuación se mencionan los principales índices usados para el monitoreo y control de las sequías.

**Cuadro 2.1** Resumen de índices de Sequías

<u>Nombre</u>	<u>Parámetro</u>	<u>Autor</u>	<u>Año</u>
Porcentaje de precipitación normal	precipitación	Bhalme and Mooly	1980
Índice de Severidad de sequía de Palmer (PDSI)	Precipitación, Temperatura	Palmer	1965
Índice de sequía Hidrológica de Palmer (PHDI)	Precipitación, Temperatura	Palmer	1965
Índice de Deciles	Precipitación	Gibbs and Maher	1967
Índice de Humedad del Cultivo (CMI)	Precipitación, Temperatura	Palmer	1968
Índice de Disponibilidad de Agua Superficial (SWSI)	Precipitación, Temperatura, caudal	Shafer y Dezman	1981
Índice de Precipitación Estandarizado (SPI)	Precipitación	McKee et al	1993
Índice de Condición de Vegetación (VCI)	Área foliar, vigor clorofílico, satelital	Liu and Kogan	1995

<u>Nombre</u>	<u>Parámetro</u>	<u>Autor</u>	<u>Año</u>
Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI)	Datos de Teledetección		1995
Índice de sequía del Bureau of Reclamation (RDI)	Precipitación, Temperatura, caudal	Weghorst	1996
Índice Agregado de Sequía (ADI)	Precipitación, suelo, Temperatura y caudal	Keyantash y Dracup	2004
Índice de Escorrentía Estandarizado (SRI)	Caudales	Shukla y Wood	2008
Índice de Sequía Hidrológico (SDI)	Caudales	Nalbantis, Tsakiris	2009
Índice de sequía de caudales (SSI)	caudales	Vicente Serrano et al.	2012

Fuente: Elaboración propia.

### 2.6.1 Porcentaje de la Precipitación Normal

El porcentaje de precipitación normal es uno de los análisis más simples para el análisis de la precipitación de una región. El método es efectivo cuando es usado para una sola región o estación. Es simple de entender y puede brindar información dependiendo del área y la estación. Se calcula dividiendo la precipitación actual entre la precipitación normal (estimada de una serie de al menos 30 años de registro) y multiplicado por el 100%. El análisis se puede realizar para diferentes agregaciones temporales, desde un mes, un grupo de meses o estación o años enteros.

Una de las desventajas de este método es que el promedio de la precipitación no es igual a la mediana, puesto que la precipitación mensual o estacional generalmente no tiene una distribución normal.

Pese a sus limitaciones es uno de los índices más utilizados debido a su simplicidad y puede ser calculado incluso en zonas con poca disponibilidad de información meteorológica (Bhalme & Mooly, 1980) rebautizaron el método con las siglas BMDI (Bhalme & Mooly Drought Index), pese a ser un procedimiento estadístico utilizado con antelación.

### 2.6.2 Índices de Palmer (1965)

El índice de Palmer es calculado a partir de un modelo de balance hídrico que incorpora la precipitación antecedente, el suministro de humedad, demanda de

humedad, la cual es estimada a partir de los trabajos pioneros de Thornthwaite sobre la evaporación (Palmer, 1965).

Palmer consideró un modelo de dos capas para calcular la humedad del suelo y asumió simplificaciones referidas a la capacidad de campo y la transferencia de humedad entre capas. Consideró que la capa superior tiene una capacidad de campo de 1 pulgada, humedad que no es transferida a la capa inferior hasta que la capa superior esté saturada, toda la precipitación que ocurre durante un mes se transforma durante el mismo mes en evapotranspiración, en la demanda de humedad del suelo o es perdida mediante flujo superficial. Palmer definió valores climatológicamente apropiados para las condiciones existentes para normalizar sus cálculos de tal modo que dimensionalmente el índice pueda ser comparado a lo largo del espacio y del tiempo. En el balance hidrológico se estima la evapotranspiración potencial, la recarga, el escurrimiento y los coeficientes para cada parámetro, que son obtenidos a partir de un cociente entre los valores reales y los potenciales.

Los índices que definió Palmer son:

- El PDSI (Palmer Drought severity Index)
- El PHDI (Palmer Hydrological Drought Index) y el Z índice.

El índice de severidad de la sequía de Palmer (PDSI) permite identificar adecuadamente la sequía meteorológica, respondiendo lentamente a la sequía agrícola y sin poder detectar la sequía hidrológica. Este índice es utilizado intensamente en Estados Unidos ofreciendo resultados poco satisfactorios en zonas con variabilidad pluviométrica elevada.

El índice hidrológico de sequía de Palmer (PHDI), surge a partir de modificar el PDSI a fin de poder detectar las anomalías en la humedad que afectan los flujos superficiales, la humedad del suelo y los niveles de lagos, embalses y acuíferos.

El índice Z, refleja la anomalía de la humedad para un mes determinado con respecto al promedio histórico. Se utiliza de forma satisfactoria para medir la intensidad de la sequía agrícola, puesto que responde rápidamente a las anomalías negativas de la humedad de corta duración (Valiente, 2001).

El PDSI ha sido diseñado para el monitoreo de sequías en zonas de climas semi áridos a sub húmedos con baja variación topográfica y en donde la precipitación es la única o la principal fuente de humedad (Doesken et al., 1991).

El **Cuadro 2.2** muestra la clasificación de las sequías desarrollada por Palmer, valores positivos del índice indican condiciones de humedad, valores negativos indican condiciones de sequía. Con una persistencia normal de las precipitaciones y de las temperaturas, teóricamente el índice es cero en todas las estaciones del año.

**Cuadro 2.2** Clasificación de Sequías Meteorológicas según PDSI

<u>Índice PDSI</u>	<u>Clasificación de Humedad</u>
Menos de -4.00	Sequía Extrema
-3.99 < PDSI ≤ -3.00	Sequía Severa
-2.99 < PDSI ≤ -2.00	Sequía Moderada
-1.99 < PDSI ≤ -1.00	Sequía Débil
-0.99 < PDSI ≤ -0.50	Sequía incipiente
-0.49 < PDSI ≤ 0.49	Condición Normal
0.50 < PDSI ≤ 0.99	Humedad Incipiente
1.00 < PDSI ≤ 1.99	Humedad débil
2.00 < PDSI ≤ 2.99	Humedad Moderada
3.00 < PDSI ≤ 3.99	Humedad alta
Más de 4	Humedad Extrema

Fuente: Palmer 1965.

El PDSI proporciona una medida de las condiciones de humedad recientes, lo cual facilita la comparación temporal y espacial entre eventos históricos. Sin embargo, existen limitaciones del índice como la falta de rigor científico en la definición de la escala del índice, ajustada empíricamente a la zona de estudio. El índice es sensible al contenido de humedad disponible de cada tipo de suelo por lo que su uso a gran escala puede resultar de mucha incertidumbre (González , 2005).

### 2.6.3 Índices de deciles de precipitación (1967)

Desarrollado por (Gibbs & Maher, 1967) para obtener la distribución espacial de las sequías en Australia, se determina a partir de la agrupación de las precipitaciones mensuales en función a su magnitud en diez intervalos, permitiendo realizar una evaluación de las desviaciones con respecto a un comportamiento normal. Cada

intervalo está compuesto por un 10% de la población de acuerdo a su distribución estadística.

El primer décimo corresponde a la cantidad de precipitación que no es excedida por el 10% de la precipitación ocurrida. El segundo décimo corresponde a la precipitación que no excede al 20% más bajo de las ocurrencias. Los décimos continúan hasta el décimo 10 que corresponde a la precipitación de mayor magnitud registrada. Por definición el quinto décimo coincide con la mediana.

Los límites de cada décimo se establecen ordenando la muestra de tamaño  $n$  y asignando a la variable  $P_{(10)}$  el valor de mayor magnitud y a la variable  $P_{(1)}$  al menor. Luego el valor de cada décimo se obtiene de la siguiente forma:

$$D_{(1)} = P_{(1)} + C \quad (2.1)$$

$$D_{(i)} = P_{(i)} + C, \text{ Para } i=2 \text{ a } 10 \quad (2.2)$$

$$C = (P_{(10)} - P_{(1)}) / 10 \quad (2.3)$$

La clasificación de la precipitación de acuerdo a este criterio se indica en el **Cuadro 2.3**

**Cuadro 2.3** Clasificación de Deciles de Precipitación

<u>Clasificación</u>	<u>Límite de Frecuencia</u>	<u>Décimo</u>
Muy muy arriba del Promedio	90-100	1
Muy arriba del Promedio	80-90	2
Arriba del Promedio	70-80	3
Ligeramente arriba del promedio	60-70	4
Normal	50-60	5
Normal	40-50	6
Ligeramente abajo del Promedio	30-40	7
Abajo del promedio	20-30	8
Muy abajo del promedio	10-20	9
Muy muy abajo del promedio	0-10	10

Fuente: Gibbs & Maher. 1967

Este método fue seleccionado por el Sistema de Alerta de Sequías de Australia (Australian Drought Watch System) por su simplicidad y el menor número de hipótesis asumidas que el método del PDSI.

#### **2.6.4 Índices de Humedad del cultivo (1968)**

Es un índice para el monitoreo de la sequía agrícola CMI (Crop Moisture Index), por sus siglas en inglés desarrollado por (Palmer, 1968) para medir las variaciones semanales de la disponibilidad de humedad para los cultivos. Se basa en datos semanales de temperatura media y precipitación total y el valor antecedente del CMI. El CMI responde rápidamente a cambios de las condiciones de humedad y es ponderado para cada localización y época del año permitiendo realizar el monitoreo espacio temporal de la sequía agrícola.

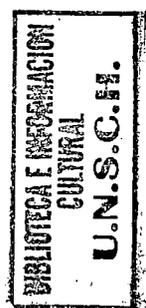
Al estar diseñado para el seguimiento de corto plazo del estado de humedad que afecta a los cultivos en desarrollo, no puede ser utilizado para realizar el seguimiento de sequías de mayor longitud temporal.

Una característica importante del CMI y que limita su campo de aplicación, es que el cálculo del índice normalmente comienza y finaliza en cada temporada vegetativa, ajustándose a cero al inicio de la época de crecimiento para evitar la acumulación de anomalías fuera de este periodo. Por lo que su uso es restringido para la valoración de condiciones de sequía fuera de la época vegetativa, y en especial, en periodos de sequía que se prolongan durante varios años.

#### **2.6.5 Índice de Disponibilidad de Agua Superficial (1981)**

El Índice de Disponibilidad de Agua Superficial (Surface Water Supply Index, SWSI) fue desarrollado por (Shafer & Dezman, 1982) para complementar el PDSI, es un índice empírico hidrológico desarrollado en el estado de Colorado (EEUU). El PDSI es aplicable en regiones relativamente homogéneas, pero no fue diseñado para su uso sobre regiones montañosas o de una topografía variable.

El objetivo del SWSI fue englobar los aspectos climatológicos e hidrológicos en un único índice adaptando el PDSI para las principales cuencas del estado de Colorado (EEUU). Los valores del índice están estandarizados, permitiendo la comparación de las condiciones que se producen en diferentes cuencas. El cómputo del índice depende de la estación del año. Así durante el invierno el índice depende de la nieve acumulada, las aportaciones y el almacenamiento en lagos y embalses; mientras que en el resto del año la nieve acumulada se sustituye en el cómputo por las aportaciones.



El procedimiento para la determinación del SWSI en una determinada cuenca es el siguiente: a partir de datos mensuales, se agregan con la frecuencia deseada los datos de precipitación, niveles en embalses, y altura de nieve ó aportaciones. Cada componente agregada se normaliza haciendo uso de un análisis de frecuencias, a partir de una serie que proporcione una muestra representativa. La probabilidad de no excedencia se determina para cada componente a partir del análisis de frecuencia. Cada componente tiene un peso asignado de acuerdo a su contribución al volumen de agua superficial dentro de la cuenca, de modo que una suma ponderada determina el valor del SWSI representativo del conjunto de la cuenca. De forma similar al PDSI, el SWSI está centrado en el cero, y varía en el rango entre -4.2 a 4.2.

Varias características del índice limitan su aplicación, entre ellas se encuentra que debido a que para cada cuenca difiere la ecuación que proporciona el SWSI, es difícil la comparación de valores del índice obtenidos en diferentes cuencas o regiones. Adicionalmente, en una cuenca de estudio, cambios en el conjunto de puntos de medida considerados (e.g. embalses) implica la necesidad de nuevas distribuciones de frecuencia. Además el índice está influenciado por la gestión producida sobre la cuenca, cuya modificación puede requerir de reajustes en los pesos asignados a cada componente. Esto hace que sea difícil mantener una serie temporal del SWSI homogénea (Heddinghaus & Sabol, 1991).

### **2.6.6 Índice de Precipitación Estandarizado (1993)**

El índice de precipitación estandarizado, SPI (Standard Precipitation Index) por sus siglas en inglés, fue desarrollado por (McKee et al., 1993). Este procedimiento de caracterización y monitoreo de sequías permite realizar la cuantificación del déficit de precipitación utilizando una distribución acumulada de probabilidades, la que se puede aplicar a distintas escalas de tiempo y a un grupo de estaciones pluviométricas; la información requerida para el análisis son series históricas de precipitación mensual o anual. Este método, además ser utilizado para la evaluación de periodos deficitarios de precipitación, puede ser también utilizado en la determinación de periodos húmedos anómalos. Sin embargo, el SPI en sí, no es una herramienta de predicción de las sequías.

El procedimiento para el cálculo del SPI involucra el análisis de series históricas de precipitación, se utilizan valores de precipitación acumulada mensual, los cuales se

consolidan en periodos de n meses, de preferencia continuos. Estos conjuntos de precipitación se agregan a diferentes escalas de tiempo, las que pueden ser de 1, 2, 3, 6, 12, 24 y 48 meses. Cada conjunto de precipitación es ajustado a una función de distribución probabilística gamma. Luego la probabilidad acumulada se transforma a una variable “Z” con distribución normal estándar, que tiene como media 0 y varianza 1; el valor resultante de esta transformación corresponde al valor del SPI. Valores positivos del SPI indican precipitaciones por encima de la media (periodo húmedo), mientras que valores negativos reflejan precipitaciones por debajo de la media (periodos secos).

A partir de los valores del SPI, es posible clasificar los períodos húmedos y secos resultantes en los análisis a las diferentes escalas. Un evento de sequía ocurre cuando durante un período el SPI es continuamente negativo, alcanzando un valor de -1 ó inferior. El evento termina cuando el índice pasa a ser positivo. De este modo, cada evento de sequía tiene un principio y un final, y una intensidad por cada paso temporal dentro del evento. La suma de los valores producidos en cada paso por el SPI puede ser utilizada como una magnitud de la sequía.

El siguiente Cuadro muestra la clasificación de sequías por el método de SPI, definida por McKee.

**Cuadro 2.4** Clasificación de la sequía meteorológica según SPI

<i>Índice de SPI</i>	<i>Clasificación</i>
2 ó mayor	Extremadamente húmedo
$1.50 < SPI \leq 2.00$	Muy húmedo
$1.00 < SPI \leq 1.50$	Moderadamente húmedo
$-1.00 < SPI \leq 1.00$	Normal
$-1.50 < SPI \leq -1.00$	Moderadamente seco
$-2.00 < SPI \leq -1.50$	Muy seco
-2 ó menor	Extremadamente seco

Fuente: McKee, 1993

Un análisis espectral comparando series históricas de PDI (índices de Palmer) con su correspondiente SPI, reveló que las características espectrales del PDI eran espacialmente variantes, mientras que para el SPI eran espacialmente invariantes. El espectro del PDI tiene un comportamiento de un proceso autorregresivo, es decir con memoria; mientras que el espectro del SPI tiene el comportamiento de un proceso de

media móvil, por lo que (Guttman, 1999) concluyó que el SPI es un índice adecuado para la comparación de sequías entre distintas regiones.

### **2.6.7 Índice de Condición de Vegetación (1995)**

Con el acceso a nueva información disponible obtenida a través de los satélites meteorológicos, se ha desarrollado el VCI (Vegetation Condition Index) que utiliza información del satélite AVHRR (Advance Very High Resolution Radiometer). El índice emplea datos de radiación (visible y próxima a la infrarroja), ajustado por variables climáticas, ecológicas y condiciones meteorológicas.

El VCI fue creado por Liu and Kogan (1995), ha sido diseñado para determinar el impacto de las condiciones meteorológicas en la vegetación, el índice muestra la relación del NDVI actual entre el rango de variación del NDVI y el valor mínimo del índice, siendo determinado a partir de un registro histórico extenso.

$$VCI = (NDVI_j - NDVI_{\min}) / (NDVI_{\max} - NDVI_{\min}) * 100 \quad (2.4)$$

El VCI utiliza la cercana dependencia que existe entre la vegetación y el clima, y que fue estudiada 90 años antes por el biólogo alemán W. Köppen; sin embargo, desde que el índice está basado en la vegetación, es principalmente aplicado a la temporada de verano, de crecimiento vegetal y limitado su uso durante la temporada de invierno.

### **2.6.8 Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (1995)**

El índice diferencial de vegetación normalizado se construye a partir de las imágenes del satélite AVHRR-NOAA (Advance Very High Resolution Radiometer) registra radiación en cinco bandas espectrales. La banda 1 es visible, la banda 2 es próxima a la infrarroja y las bandas 3, 4, 5, son termales.

La vegetación verde y vigorosa refleja mucho menos la radiación solar en la banda visible (1) región de absorción de la clorofila que en la banda 2, región de reflectancia del componente celulósico. Cuando la vegetación se encuentra bajo estrés los valores de la banda 1 se incrementan y disminuyen los de la banda 2.

Estas propiedades han permitido definir índices basados en operaciones algebraicas entre las bandas 1 y 2. El índice diferencial de vegetación normalizado NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) se define como:

$$\text{NDVI} = (\text{banda}_2 - \text{banda}_1) / (\text{banda}_2 + \text{banda}_1) \quad (2.5)$$

Vegetación vigorosa y densa produce altos valores del NDVI, por el contrario las nubes, masas de agua y la nieve tiene una alta reflectancia en la banda 1, produciendo valores negativos del índice.

### 2.6.9 Índice de Sequías del Bureau of Reclamation (1996)

El Reclamation Drought Index (RDI) ha sido recientemente desarrollado como una herramienta para la definición de la severidad y duración de la sequía y como herramienta para la predicción de su inicio y final.

De igual forma que el Índice de Disponibilidad de Agua Superficial (SWSI), el RDI es un indicador de la sequía hidrológica que se determina dentro del ámbito de la cuenca e incorpora la precipitación, el flujo de los ríos, las masas de nieve, y los almacenamientos como componentes del estado del suministro de agua.

El RDI difiere del SWSI en que incluye en la construcción de índice a la temperatura, la demanda y la duración de la sequía. El RDI se adapta a cada región en particular y su mayor ventaja es su capacidad para incluir condiciones climáticas y factores de suministro de agua, pero por ser un indicador específico las comparaciones entre cuencas son limitadas.

**Cuadro 2.5** Clasificación de la Sequía hidrológica según RDI

<i>Índice de RDI</i>	<i>Clasificación</i>
Menos de -4.00	Sequía severa
$-4.00 < \text{RDI} \leq -1.50$	Sequía moderada
$-1.50 < \text{RDI} \leq 0.00$	Condición normal a sequía suave
$0.00 < \text{RDI} \leq 1.50$	Condición normal a humedad suave
$1.50 < \text{RDI} \leq 4.00$	Humedad moderada
Más de 4.00	Humedad extrema

Fuente: USBR, 1996.

### 2.6.10 Índice Agregado de Sequías (2004)

El índice agregado de sequías, ADI, (Aggregate Drought Index) fue propuesto por Keyantash & Dracup (2004), para la evaluación agregada de la ocurrencia de sequías en su forma meteorológica, hidrológica y agrícola. De forma similar al SWSI el índice se

aplica sobre una región en particular y utiliza la precipitación, evapotranspiración, caudales, almacenamiento en lagos y embalses, humedad en el suelo y las masas de nieve, que son las componentes de agua superficial del ciclo hidrológico. El cómputo del índice requiere de una transformación estadística inicial de cada variable para normalizarla y estandarizarla. Sobre el conjunto de variables se realiza un análisis de componentes principales, correspondiendo el ADI con los pesos tipificados de la primera componente.

Al igual que el SWSI el ADI tiene limitaciones en la comparación de índices entre diferentes regiones.

#### **2.6.11 Índice de Escorrentía Estandarizado(2008)**

McKee et al., 1993. Introdujeron el SPI, y sugirió que el método podría ser aplicado a otras variables conectadas a la sequía tales como escurrimiento o depósito contenidos.

El cálculo del índice de escorrentía estandarizada (SRI) es idéntico al cálculo de SPI. (Shukla & Wood, 2008) derivan índice de escorrentía estandarizada (SRI), que incorpora los procesos hidrológicos que determinan la pérdida estacional de caudal debido a la influencia del clima. Como resultado, en el mes para una escala de tiempo estacional el SRI es un complemento útil de SPI para representar aspectos hidrológicos de las sequías. (Damberg, 2013).

#### **2.6.12 Índice de Sequías hidrológico (2009)**

Una variedad de índices para caracterizar la sequía hidrológica se han ideado, por el contrario para la sequía meteorológica se han utilizado índices muy simples y eficaces como el SPI. (Nalbantis & Tsakiris, 2009) proponen una metodología para la caracterización de la gravedad de las sequías hidrológicas que utiliza un índice análogo al SPI, introdujeron el termino de *Índice de Sequía hidrológico (SDI)* el cual usa los caudales acumulados para sobreponer periodos de análisis de 3,6,9 y 12 meses para cada año hidrológico.

**Cuadro 2.6** Definición de estados de sequía hidrológica con SDI

Estado	Descripción	Criterio	Probabilidad (%)
0	No hay Sequía	SDI mayor a 0.0	50.0
1	Sequía leve	$-1.0 \leq \text{SDI} < 0.0$	34.1
2	Sequía moderada	$-1.5 \leq \text{SDI} < -1.0$	9.2
3	Sequía severa	$-2.0 \leq \text{SDI} < -1.5$	4.4
4	Sequía extrema	$\text{SDI} < -2.0$	2.3

Fuente: Nalbantis, Tsakiris (2009)

### 2.6.13 Índice de sequía de caudales (2012)

El índice de sequía de caudales, creado por (Vicente. et al., 2012) cuantifica la sequía hidrológica haciendo uso de diferentes distribuciones de probabilidad acumulada  $F(x)$ , que son transformada en variable  $Z$  con una media y una desviación estándar  $(0,1)$ , mediante el uso de aproximaciones polinómicas propuesta por (Abramowitz y Stegun, 1965), que convierte la probabilidad acumulada a la equivalente de una variable normal estándar mediante:

$$SSI = W - \left( \frac{c_0 + c_1W + c_2W^2}{1 + d_1W + d_2W^2 + d_3W^3} \right) \quad (2.6)$$

$$\text{para } P \leq 0.5 \quad W = \sqrt{-2 \ln(P)} \quad (2.7)$$

Dónde:  $P$  es la probabilidad de exceder un valor de “ $x$ ” determinado. Si  $P = 1 - F(x)$ .

$$\text{para } P > 0.5 \quad W = \sqrt{-2 \ln(1 - P)} \quad (2.8)$$

Y el resultado del SSI se invierte.

*Las constantes polinómicas son:*

$$\begin{aligned} c_0 &= 2.515517 & d_1 &= 1.432788 \\ c_1 &= 0.802853 & d_2 &= 0.189269 \\ c_2 &= 0.010328 & d_3 &= 0.001308 \end{aligned}$$

Para definir los eventos de sequía ocurridos en las diferentes cuencas se determinaron umbrales invariables en el tiempo y el espacio, dado que las series de caudales son convertidas en valores estandarizados mediante el SSI.

La selección de los umbrales es una cuestión subjetiva, esta fue realizada siguiendo las recomendaciones de los trabajos recientes publicado sobre esta temática, estos autores utilizaron el percentil 30 para delimitar los episodios de sequías en el contexto espacial.

**Cuadro 2.7** Definición de estados de sequía hidrológica con SSI

<b>Descripción</b>	<b>Umbrales</b>	<b>Probabilidad (%)</b>
No hay Sequía	SSI mayor a 0.00	50.0
Condición normal seca	$-0.84 \leq \text{SSI} < 0.0$	30
Sequía moderada	$-1.65 \leq \text{SSI} < -0.84$	15
Sequía extrema	$\text{SSI} < -1.65$	5

Fuente: Vicente Serrano (2012)

## 2.7 MÉTODO DE L-MOMENTOS

Diferentes procedimientos de análisis se utilizan para ajustar una muestra de datos a un tipo de distribución, asociando la forma de la distribución a un número finito de parámetros. El sesgo y la kurtosis se utilizan comúnmente para establecer la proximidad de los valores observados (muestra) a diferentes tipos de distribuciones. Sin embargo, estos estadígrafos son limitados algebraicamente, dependiendo del tamaño de la muestra. Para evitar estas limitaciones, se recomienda el uso de los estadígrafos denominados L-momentos.

Los L-momentos o combinación de momentos lineales, es un sistema alternativo a los métodos tradicionales de los momentos convencionales para describir las formas de las distribuciones de probabilidad. Históricamente los L-momentos se define como la función lineal de los momentos de probabilidad ponderada (MPP) de Greenwood et al., (1979), citado por (Hosking and Wallis, 1997).

Los momentos de probabilidad ponderada de una variable aleatoria  $X$ , con una función de distribución acumulada  $F(X)$ , se define como:

$$M_{p,r,s} = E \left[ X^p \{F(X)\}^r \{1-F(X)\}^s \right] \quad (2.9)$$

Donde  $E$  indica el valor de la Esperanza, siendo  $p$ ,  $r$  y  $s$  números reales. Los casos especiales particularmente útiles son los momentos de probabilidad ponderados

$\alpha_r = M_{1,0,r}$  y  $\beta_r = M_{1,r,0}$ ; siendo  $r = 0, 1, 2, \dots$ . Por tanto reemplazando en la ecuación (2.9) se tiene:

$$\alpha_r = E \left[ X \{1 - F(X)\}^r \right] \quad \text{y} \quad \beta_r = E \left[ X \{F(X)\}^r \right] \quad (2.10)$$

Por otro lado los  $r$ -ésimo L-momentos denominado  $\lambda_r$ , está relacionada con el  $r$ -ésimo momentos de probabilidad ponderados (Hosking, 1990); a través de:

$$\lambda_{r+1} = (-1)^r \sum_{k=0}^r \alpha_k (-1)^{r-k} \binom{r}{k} \binom{r+k}{k} = \sum_{k=0}^r \beta_k (-1)^{r-k} \binom{r}{k} \binom{r+k}{k} \quad (2.11)$$

Por tanto, a partir de los momentos de probabilidad ponderados; los primeros cuatro L-momentos  $\lambda_r$ , están dados por:

$$\lambda_1 = \alpha_0 = \beta_0, \quad (2.12)$$

$$\lambda_2 = \alpha_0 - 2\alpha_1 = 2\beta_1 - \beta_0, \quad (2.13)$$

$$\lambda_3 = \alpha_0 - 6\alpha_1 + 6\alpha_2 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0, \quad (2.14)$$

$$\lambda_4 = \alpha_0 - 12\alpha_1 + 30\alpha_2 - 30\alpha_3 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0, \quad (2.15)$$

El momento lineal de primer orden  $\lambda_1$  es el parámetro de **localización** o media de la distribución; el de segundo orden  $\lambda_2$  mide la **escala** o la dispersión de los datos, indicando el grado de dispersión de los datos; el momento de tercer orden  $\lambda_3$  mide la **forma** o hace referencia a su asimetría; y el de cuarto orden  $\lambda_4$  indica la kurtosis de la distribución.

Los L-momentos que son independientes de las unidades de medición, llamados cocientes o L-momentos ratios (Hosking, 1990), se definen dividiendo aquellos de mayor orden por la medida de escala  $\lambda_2$ :

$$\tau_r = \lambda_r / \lambda_2, \quad r = 3, 4, \dots \quad (2.16)$$

De la ecuación (2.16) se tiene:

$$\begin{aligned} \tau_2 &= \lambda_2 / \lambda_1 = L - C_v &&= L - \text{coeficiente de variación} \\ \tau_3 &= \lambda_3 / \lambda_2 = L - C_s &&= L - \text{coeficiente de asimetría} \\ \tau_4 &= \lambda_4 / \lambda_2 = L - C_k &&= L - \text{coeficiente de kurtosis} \end{aligned}$$

Dónde:  $\tau$  es L-coeficiente de variación ( $L-C_v$ ),  $\tau_3$  es L-coeficiente de asimetría ( $L-C_s$ ) y  $\tau_4$  es L-coeficiente de kurtosis ( $L-C_k$ ).

### 2.7.1 Propiedades de los L-momentos

Los L-momentos de primer y segundo orden, y las razones entre los L-momentos son las expresiones que se utilizan para estimar los parámetros de las distribuciones de probabilidad asociadas a los L-momentos. Las principales propiedades de estas expresiones según (Hosking, 1990), son las siguientes:

a) **Existencia:** Si el promedio de una distribución existe, entonces todos los L-momentos de esa distribución existen

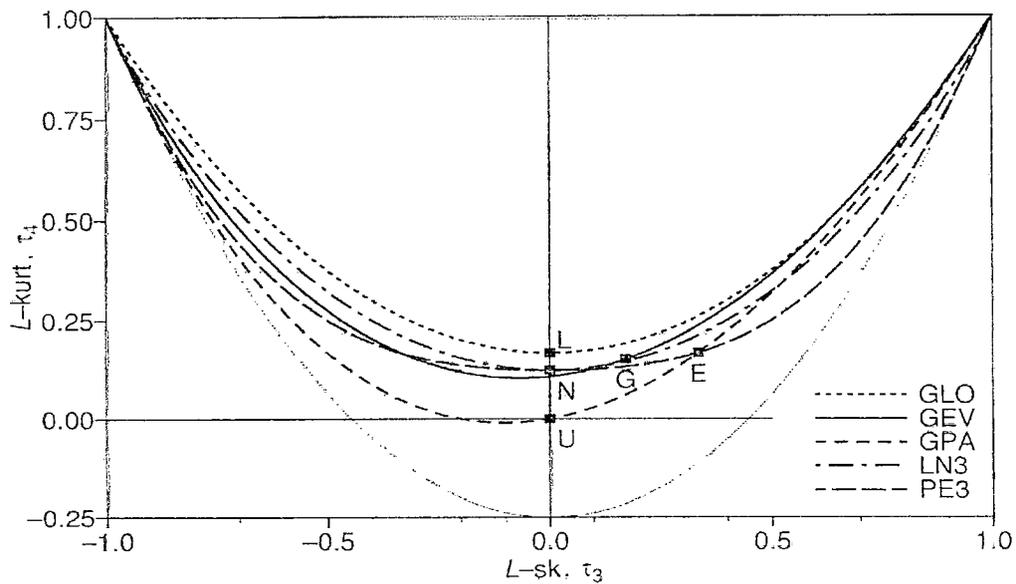
b) **Unicidad:** Si el promedio de una distribución existe, entonces los L-momentos caracterizan solamente a esa distribución. No existen dos distribuciones con los mismos valores de los L-momentos. (Hosking, 1990):

Otra característica importante de los L-momentos es que se pueden obtener mejores estimaciones de cuantiles y probabilidades en comparación con otros métodos de análisis con muestras pequeñas. Además se pueden ajustar a un número mayor de distribuciones que mediante otros métodos, por eso son considerados a los L-momentos como un método robusto. Un total de 13 diferentes distribuciones se pueden ajustar mediante el método de L-momentos (Hosking and Wallis. 1997).

En el **Anexo I** se menciona las distribuciones de probabilidades más usadas, y su estimación de parámetros con la metodología de L-momentos.

Sobre la base de las características y propiedades de los L-momentos, estos se utilizan para ajustar muestras a distintos tipos de distribuciones. Para representar gráficamente las diferencias entre diferentes distribuciones ajustadas, comúnmente se hace uso de un gráfico que incluye todas las distribuciones conocido como “diagrama de L-momentos ratios” como se observa en la figura 2.5.

Un diagrama de L-momentos proporciona una comparación visual de la muestra estimada de los valores de la población mediante la relación de los L-momentos (L-asimetría y L-kurtosis) (Stedinger et al., 1993).



**Figura 2.5** Diagrama de L-momentos ratios de dos y tres parámetros, basado en L-sk.  $\tau_3$  y L-kurt.  $\tau_4$ . Las distribuciones representadas son: E: Exponencial, G: Gumbel, L: Logística, N: Normal, U: Uniforme, GPA: Generalizada de Pareto, GEV: Generalizada de valores extremos, GLO: Generalizada Logística, LN3: Lognormal y PE3: Pearson Tipo III. (Fuente Hosking and Wallis, 1997).

Como se muestra en la **Figura 2.5**, las distribuciones de dos parámetros son representadas mediante puntos. Estas distribuciones solo varían en sus parámetros de escala y de localización. Las distribuciones representadas mediante líneas punteadas corresponden a distribuciones de tres parámetros (localización, escala y forma). Las distribuciones que tienen más de un parámetro de forma abarcan comúnmente dos áreas dimensionales del gráfico (Hosking and Wallis, 1997).

### 2.7.2 Estimación de parámetros mediante el método de L-momentos

Generalmente la estimación de una distribución de probabilidad asociada a una muestra aleatoria de tamaño determinado que involucra la identificación de un número finito de parámetros, es un problema difícil de abordar. Mediante el método de los L-momentos se pueden estimar parámetros, para describir las distribuciones, utilizando los primeros cuatro L-momentos, calculados a partir de la muestra, ecuaciones (2.12) al (2.15).

En el **Anexo I** se mencionan las distribuciones de probabilidades más usadas, y su estimación de parámetros con la metodología de L-momentos.

A continuación se describe la función de distribución acumulada usadas en la presente investigación.

**a) General de Pareto (GPA)**

Parámetros (3):  $\xi$  (localización),  $\alpha$  (escala),  $k$  (forma).

La función de distribución y sus parámetros se expresa como:

$$F(x) = 1 - \left[ 1 - \frac{k}{\alpha}(x - \varepsilon) \right]^{\frac{1}{k}}, \text{ sus parámetros son } \begin{cases} k = \frac{(1 - 3\tau_3)}{(1 + \tau_3)} \\ \alpha = \lambda_2(1 + k)(2 + k) \\ \varepsilon = \lambda_1 - \lambda_2(2 + k) \end{cases}$$

Fuente : Hosking (1990)

Mencionado por: Vicente Serrano (2012)

**b) Logística Generalizada (GLO)**

Parámetros (3):  $\gamma$  (localización),  $\alpha$  (escala),  $\beta$  (forma).

$$F(x) = \left[ 1 + \left( \frac{\alpha}{x - \gamma} \right)^\beta \right]^{-1}, \text{ sus parámetros son } \begin{cases} \beta = \frac{2w_1 - w_0}{6w_1 - w_0 - 6w_2} \\ \alpha = \frac{(w_0 - 2w_1)\beta}{\Gamma(1 + \frac{1}{\beta})\Gamma(1 + \frac{1}{\beta})} \\ \gamma = w_0 - \alpha\Gamma(1 + \frac{1}{\beta})\Gamma(1 - \frac{1}{\beta}) \end{cases}$$

Fuente : Singh.et.al (1993)

Mencionado por: Vicente Serrano (2012)

**c) Weibull (WEI)**

Parámetros (3):  $m$  (localización),  $\alpha$  (escala),  $b$  (forma).

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-m}{a}\right)^b}, \text{ sus parámetros son } \begin{cases} b = \frac{1}{(7.859C + 2.9554C^2)} \\ C = \frac{2}{3 - \tau_3} - 0.6309 \\ a = \frac{\lambda_2}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right)\left(1 - 2^{-\frac{1}{b}}\right)} \\ m = \lambda_1 - a\Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right) \end{cases}$$

Fuente : Hosking (1986)

Mencionado por: Vicente Serrano (2012)

**d) Pearson tipo III (PE3)**

Parámetros (3):  $\gamma$  (localización),  $\alpha$  (escala),  $\beta$  (forma).

$$F(x) = \frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)} \int_{\gamma}^x \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)},$$

sus parametros son

$$\beta = \begin{cases} \text{si } \tau_3 \geq \frac{1}{3}, \text{ entonces } \tau_m = 1 - \tau_3. \\ \frac{(0.36067\tau_m - 0.5967\tau_m^2 + 0.25361\tau_m^3)}{(1 - 2.78861\tau_m + 2.56096\tau_m^2 - 0.77045\tau_m^3)} \\ \text{si } \tau_3 < \frac{1}{3}, \text{ entonces } \tau_m = 3\pi\tau_3^2: \\ \frac{(1 + 0.2906\tau_m)}{(\tau_m + 0.1882\tau_m^2 + 0.0442\tau_m^3)} \\ \alpha = \sqrt{\pi}\lambda_2 \frac{\Gamma(\beta)}{\Gamma(\beta + 1/2)}, \quad \gamma = \lambda_1 - \alpha\beta \end{cases}$$

Fuente: Hosking (1990)  
Mencionado por: Vicente Serrano (2012)

**e) Log Normal (LN3)**

Parámetros (3):  $a$  (localización),  $\mu$  (escala),  $\sigma$  (forma).

$$F(x) = \Phi\left(\frac{\ln(x-a)-u}{\sigma}\right),$$

donde  $\Phi$  es la función de distribución acumulada

$$\sigma = 0.999281z - 0.006118z^2 + 0.000127z^5$$

$$z = \sqrt{\frac{8}{3}}\Phi^{-1}\left(\frac{1+\tau_3}{2}\right)$$

$$\mu = \ln\left[\frac{\lambda_2}{\text{erf}\left(\frac{\sigma}{2}\right)}\right] - \frac{\sigma^2}{2},$$

erf es el error de gauss

función:  $\text{erf}\left(\frac{\sigma}{2}\right) = 2\Phi\left(\frac{\sigma}{2}\sqrt{2}\right) - 1$

$$a = \lambda_1 - e^{\frac{u+\sigma^2}{2}}$$

Fuente: Hosking (1990)  
Mencionado por: Vicente Serrano (2012)

**f) General de Valores Extremos (GEV)**

$$F(x) = e^{-\left[1-k\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)\right]^{\frac{1}{k}}},$$

sus parametros son

$$\begin{cases} k = 7.859C + 2.9554C^2 \\ C = \frac{2}{3 + \tau_3} - 0.6309 \\ \alpha = \frac{\lambda_2 k}{\Gamma(1+k)(1-2^{-k})} \\ u = \lambda_1 + \frac{\alpha}{k}[\Gamma(1+k) - 1] \end{cases}$$

Fuente: Hosking (1985)  
Mencionado por: Vicente Serrano (2012)

## 2.8 SELECCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD

Para la selección de una distribución de probabilidad y la estimación de parámetros que describan el comportamiento de las sequías en la Vertiente del Océano Pacífico, se emplearon dos enfoques para juzgar la bondad de ajuste de una distribución como son:

### 2.8.1 La distancia mínima ortogonal

Una inspección visual directa de las relaciones observadas (datos) y las relaciones teóricas de L-momentos en el diagrama de *L-momentos ratios* es algo subjetivo, y puede no ser posible distinguir las diferencias entre dos o más tipos de distribución, cuando todos ellos parecen ser posibles candidatos para representar los datos de la muestra en un diagrama de *L-momentos ratios*. (Kroll and Volge, 2002) proponen medir la proximidad entre los L-momentos de la muestra (datos) y los L-momentos teóricos (Probabilidad) en el diagrama de *L-momentos ratios*, utilizando el método que representa la **distancia mínima ortogonal** (AWD), una distribución con el menor valor de AWD es la mejor elección entre varias posibles distribuciones.

La AWD se expresa mediante la siguiente relación:

$$AWD = \frac{\sum_{i=1}^N n_i d_i}{\sum_{i=1}^N n_i} \quad (2.17)$$

$$d_i = \begin{cases} \left| \tau_2 \left[ \tau_3^0(i) \right] - \tau_2^0(i) \right| & \text{para: } 2 \text{ parametros} \\ \left| \tau_4 \left[ \tau_3^0(i) \right] - \tau_4^0(i) \right| & \text{para: } 3 \text{ parametros} \end{cases} \quad (2.18)$$

Dónde:

$N$  = Número de sitios de análisis

$n_i$  = longitud de registro del sitio

$(t=2, 3, 4)$  = observaciones de la muestra (*L-cv*, *L-asimetría* y *L-kurtosis*)

$\tau_2 \left[ \tau_3^0(i) \right]$  = Valores Teóricos de *L-coeficiente de Variación*. (*Lcv*)

$\tau_4 \left[ \tau_3^0(i) \right]$  = Valores Teóricos de *L-Kurtosis*

Los valores teóricos de *L-cv* y *L-Kurtosis* provienen de la distribución de probabilidad de la muestra en función a su *L-asimetría*. (Cuadro 2.8)

**Cuadro 2.8** Aprox. polinómicas de *L-kurtosis* ( $\tau_4$ ) en función de *L-asimetría* ( $\tau_3$ )

	General de Pareto	Valor Extremo Generalizado	Logística Generalizada	Log Normal	Pearson tipo III	Weibull
$A_0$	0.00000	0.10701	0.16667	0.12282	0.12240	0.10701
$A_1$	0.20196	0.11090	-	-	-	-0.11090
$A_2$	0.95924	0.84838	0.83333	0.77518	0.30115	0.84838
$A_3$	-0.20096	-0.06669	-	-	-	0.06669
$A_4$	0.04061	0.00567	-	0.12279	0.95812	0.00567
$A_5$	-	-0.04208	-	-	-	0.04208
$A_6$	-	0.03763	-	- 0.13638	-0.57488	0.03763
$A_7$	-	-	-	-	-	-
$A_8$	-	-	-	0.11368	0.198383	-

Valores tabulados de los coeficientes de aproximaciones polinómicas de varias distribuciones. Fuente: (Hosking and Wallis, 1997).

**a) Aproximaciones de la relación L-asimetría y L-kurtosis**

Una vez conocidas los coeficientes de  $A_i$  dado en la Cuadro 2.8, la construcción de los diagramas de *L-momentos ratios* con los parámetros de muestra L-momentos ( $\tau_3$ ) para distintas distribuciones de probabilidad, los valores de *L-kurtosis* ( $\tau_4$ ) se calculan en función de los valores de la muestra de L-asimetría ( $\tau_3$ ) mediante aproximaciones polinómicas de la siguiente forma: (Hosking y Wallis, 1997).

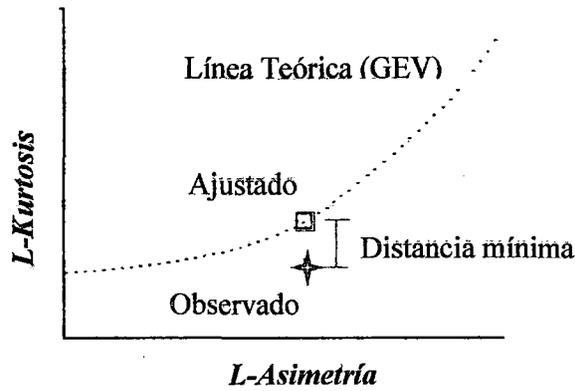
$$\tau_4 = \sum_{k=0}^8 A_i \tau_3^i \tag{2.19}$$

Dónde:

$A_i$  = constantes polinómicas de la distribución (i).

$\tau_3$  = Asimetría de la muestra para la distribución (i).

$\tau_4$  = Kurtosis teórica para la distribución (i).



**Figura 2.6** Gráfica del mejor ajuste considerando la mínima distancia ortogonal de la data observada a la curva teórica.

### 2.8.2 Mejor ajuste mensual(BMF)

El mejor ajuste mensual (BMF), evalúa mediante la prueba de Kolmogorov Smirnov (KS), (Siegel and Castellan, 1988), si los datos de una población provienen de una distribución específica, se basa en el valor absoluto de la diferencia máxima entre la función de distribución empírica ECDF (x) y la función de distribución teórica CDF (x), verificando la hipótesis de que cierta población procede de una distribución en particular.

La prueba de KS muestra una estadística “D” que es la diferencia vertical máxima entre la función de distribución acumulada y la función de distribución empírica de la siguiente manera.

$$D = \max \left( \max_i \left| CDF_{(i)} - ECDF_{(i)} \right|, \max_i \left| ECDF_{(i)} - CDF_{(i)} \right| \right) \quad (2.20)$$

$$D = \max \left( \max_i \left| CDF_{(i)} - \frac{r-1}{n} \right|, \max_i \left| \frac{r}{n} - CDF_{(i)} \right| \right)$$

Dónde:

$r =$  rango de observación (i), en orden ascendente

Si la serie de caudal viene de una función de distribución acumulada, entonces D converge en 0. Los valores más pequeños de D implican un mejor ajuste de la serie de caudales para la distribución de probabilidad dada con un nivel de significancia de: ( $\alpha = 0.05$ )

## 2.9 ANÁLISIS DE SERIES DE TIEMPO

El análisis de una serie temporal tiene por objetivo mejorar la comprensión de los mecanismos estadísticos que generan una serie de observaciones, (Kendall y Stuart 1943), este objetivo, solo puede ser estudiado a través de una serie de mediciones. En este contexto una serie cronológica es la representación parcial de un fenómeno complejo que en la realidad es la representación de un conjunto de series que representan diversos fenómenos asociados. Estos procedimientos pueden ser puntuales o regionales, Aun así, este tipo de análisis requiere de una explicación antes de hacer cualquier tipo de interpretación que abarque dimensiones espaciales del fenómeno producido por una serie puntual. Los autores están de acuerdo con las componentes de estas perturbaciones en una serie de tiempo típica y se definen en cuatro categorías:

- Tendencia: es el componente de largo plazo que representa el crecimiento o disminución en la serie sobre un periodo amplio.
- Periodicidad: fluctuaciones regulares alrededor de la tendencia
- Autocorrelación o efecto memoria: representa la magnitud de una observación dependiente de sus observaciones previas.
- Componente irregular aleatorio no sistemático que es debido al cambio en las perturbaciones.

El análisis de estas componentes de las perturbaciones son muy útiles, sin embargo esto solo puede ser afirmado tomando en cuenta hipótesis suficientemente fuertes concernientes al carácter lineal o no lineal del sistema generado que muestra una serie de tiempo. A continuación se desarrollan algunos conceptos estadísticos para posteriormente desarrollar los test estadísticos que determinaran la tendencia, quiebre o aleatoriedad de una serie hidrológica.

**Hipótesis:** El punto de inicio de una prueba o test estadístico es definir una hipótesis nula ( $H_0$ ) y una hipótesis alternativa ( $H_1$ ). Por ejemplo un test para la tendencia.  $H_0$  sería la hipótesis que no hay tendencia en los datos y  $H_1$  sería el que indica que hay una tendencia incremental o descendente.

**Test estadístico:** es un medio de comparación entre  $H_0$  y  $H_1$ , representa un valor numérico calculado de las series de datos que están siendo testeadas.

**Nivel de significancia ( $\alpha$ ):** Al contrastar una cierta hipótesis, la máxima probabilidad con la que estamos dispuestos a correr el riesgo de cometer un error de tipo I se llama nivel de significancia. Según (Kundzewicz y Robson, 2000) una posible interpretación del nivel de significancia sería:

$\alpha > 0.1$  poca evidencia contra  $H_0$

$0.05 < \alpha < 0.1$  posible evidencia contra  $H_0$

$0.01 < \alpha < 0.05$  fuerte evidencia contra  $H_0$

$\alpha < 0.01$  muy fuerte evidencia contra  $H_0$ .

**Potencia y errores:** Existen dos posibles tipos de errores. Error Tipo I cuando  $H_0$  es rechazada incorrectamente y el Tipo II cuando  $H_0$  es aceptada cuando  $H_1$  es verdadera. Un test con un error Tipo II muy bajo se dice que es potente.

También es necesario definir los tipos de test paramétricos y no paramétricos:

- Los **test paramétricos** asumen que los datos y errores de una serie de tiempo siguen una distribución particular (usualmente una distribución normal) y son muy útiles para cuantificar el cambio en la media o gradiente. Los tests paramétricos son generalmente más potentes que los no paramétricos.
- Los **tests no paramétricos** detectan la tendencia y el cambio pero no cuantifican el tamaño de estas, pero son más útiles porque la mayoría de series de tiempo no son distribuidas normalmente.

### 2.9.1 Descripción de los tests estadísticos

La literatura correspondiente a la aproximación estadística para las variables hidrometeorológicas es particularmente abundante, se describen algunas pruebas aplicadas a la presente investigación.

#### a) Test de Mann-Kendall

La prueba de MK, también llamada prueba de Kendall tau por (Mann, 1945) y (Kendall, 1975), es una prueba no paramétrica basada en el rango para evaluar la importancia de una tendencia, y ha sido ampliamente utilizado en detección de tendencia en estudios hidrológicos.

La hipótesis nula  $H_0$ : No existe una tendencia en la serie  $X_i, i= 1, 2, \dots, n$ .

La hipótesis alternativa  $H_a$ : Hay una tendencia en la serie.

El estadístico S de Tau de Kendall se define como sigue (Yue et al., 2002).

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i) \quad (2.21)$$

Donde el  $X_j$  son valores de datos secuenciales, n es la longitud del conjunto de datos, y:

$$\text{Sgn}(1), \text{ si } x > 0, \quad \text{Sgn}(0), \text{ si } x = 0, \quad \text{Sgn}(-1), \text{ si } x < 0 \quad (2.22)$$

Mann (1945) y Kendall (1975) han documentado que cuando  $n \geq 8$ , la estadística S es aproximadamente normalmente distribuido con la media y la varianza de la siguiente manera:

$$E(S) = 0, \quad V(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{m=1}^n t_m m(m-1)(2m+5)}{18} \quad (2.23)$$

Donde  $t_m$  es el número de vínculos de grado m. La prueba estadística estandarizada Z se calcula.

$$Z = \frac{S-1}{\sqrt{V(S)}}, \text{ si } S > 0 \quad Z = 0, \text{ si } S = 0 \quad Z = \frac{S+1}{\sqrt{V(S)}}, \text{ si } S < 0 \quad (2.24)$$

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

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^Z e^{-t^2/2} dt \quad (2.25)$$

Un valor positivo de S indica que hay un incremento en la tendencia y viceversa.

### **Metodología de pre-blanqueo TFPW**

El procedimiento de pre-blanqueo propuesto por (Yue et al., 2002b) para eliminar el efecto de la correlación serial en la aplicación de la prueba MK es denominado pre-blanqueo libre de tendencia (trend free pre-whitening, TFPW). Esta técnica propone remover de la serie estandarizada la tendencia, estimada por algún método robusto (Sen, 1968), antes de calcular el coeficiente de autocorrelación de retardo-1 ( $r_1$ ). De esta

forma se resuelve el problema de la influencia de la tendencia en la estimación del coeficiente autocorrelación, mientras que la remoción de la tendencia no afecta al proceso auto-regresivo subyacente. Se asume que la tendencia es lineal y se elimina de la serie según:

$$Y_t = X_t - T_t = X_t - bt \quad (2.26)$$

Se estima el coeficiente  $r_1$  de la serie  $Y_t$  y si éste no es significativamente distinto de cero, la serie se considera independiente y la prueba MK se aplica a la serie original. Si  $r_1$  es significativamente distinto de cero, la serie  $Y_t$  se pre-blanquea a fin de remover el proceso AR(1) como:

$$Y'_t = Y_t - r_1 Y_{t-1} \quad (2.27)$$

La tendencia estimada y la serie  $Y'_t$ , compuesta por residuos que deben ser independientes, se combinan como:

$$Y''_t = Y'_t - T_t \quad (2.28)$$

y la prueba MK se aplica a la serie  $Y''_t$ , evitando de esta forma el efecto negativo de la correlación serial (Yue et al. 2002b).

#### **b) Test de Pettitt**

(Pettitt, 1979) desarrolló una prueba no paramétrica que es capaz de localizar el periodo (mes o año) cuando se produzca una ruptura (salto). Una ruptura se define como un cambio en la ley de probabilidades  $f(x)$  de una serie cronológica en un instante dado (normalmente desconocido). El fundamento de la prueba de Pettitt es la siguiente (Ceresta, 1986). La serie estudiada es dividida en dos sub-muestras de tamaño  $m$  y  $n$  respectivamente. Los valores de las dos muestras son reagrupados y ordenados en forma creciente. Un estadístico es definido a partir de estas dos sumas y se prueba una hipótesis nula en donde se asume que las dos sub-muestras pertenecen a la misma población.

(Pettitt, 1979) emplea una versión de la prueba de dos muestras de Mann-Whitney, el cual fue modificado, de esta forma la hipótesis nula de la prueba denota la ausencia de ruptura de serie para datos cronológicos.

El estadístico propuesto es:

$$t = 2 - T \quad (2.29)$$

$$V_{t,T} = \sum_{j=1}^T \text{sgn}(X_t - X_j) \quad (2.30)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{Sgn}(x) &= 1, & \text{si } x > 0 \\ \text{Sgn}(x) &= 0, & \text{si } x = 0 \\ \text{Sgn}(x) &= -1, & \text{si } x < 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.31)$$

La prueba calcula para  $1 \leq t \leq T$ . el estadístico de la prueba es:

$$k(t) = \text{MAX}_{[1 \leq t \leq T]} |U_{t,T}| \quad (2.32)$$

El valor-P es calculado por:

$$p\text{-valor} \cong 2 \exp \left\{ \frac{-6(k(t))^2}{(T^3 + T^2)} \right\} \quad (2.33)$$

Los valores críticos de “K” pueden ser calculados por la ecuación:

$$K_{\text{critico}} = \pm \sqrt{\frac{-\ln(p/2)(T^3 + T^2)}{6}} \quad (2.34)$$

La prueba de Pettit señala un cambio brusco cuando el valor máximo ( ) es significativo al nivel crítico de la prueba ( $\alpha = 0,05$ ).

### c) Test de Grubbs

(Grubbs, 1969) Es una técnica estadística para el tratamiento de datos cuantitativos, sensible a la presencia de valores atípicos, en un conjunto de datos de valor N, la prueba se basa en el criterio de “distancia del valor sospechado respecto a la media del conjunto de datos en comparación con la desviación estándar”.

La prueba estadística calcula “G” de Grubbs.

$$G = \frac{|X_{\text{atipico}} - \bar{X}|}{S} \quad (2.21)$$

Dónde:

$\bar{X}$  = media de los valores de N

$X_{\text{atipico}}$  = valor anómalo sospechoso

S = desviación estándar de los valores de N

La prueba de Grubbs define la siguiente Hipótesis.

H<sub>0</sub>: No hay valores atípicos en el conjunto de datos

H<sub>a</sub>: Hay por lo menos un valor atípico en el conjunto de datos

A continuación se presenta un cuadro de valores críticos para diferentes niveles de confianza (95% y 99%) y diferentes valores de N.

**Cuadro 2.9** Valores críticos del Test de Grubbs

N	G <sub>critical</sub> (95%)**	G <sub>critical</sub> (99%)**	N	G <sub>critical</sub> (95%)**	G <sub>critical</sub> (99%)**
3	1.15	1.15	19	2.53	2.85
4	1.46	1.49	20	2.56	2.88
5	1.67	1.75	21	2.58	2.91
6	1.82	1.94	22	2.6	2.94
7	1.94	2.1	23	2.62	2.96
8	2.03	2.22	24	2.64	2.99
9	2.11	2.32	25	2.66	3.01
10	2.18	2.41	30	2.75	
11	2.23	2.48	35	2.82	
12	2.29	2.55	40	2.87	
13	2.33	2.61	45	2.92	
14	2.37	2.66	50	2.96	
15	2.41	2.71	60	3.03	
16	2.44	2.75	70	3.09	
17	2.47	2.79	80	3.14	
18	2.5	2.82	90	3.18	
19	2.53	2.85	100	3.21	

El porcentaje expresa el nivel de confianza. Fuente: (Grubbs, 1969).

#### d) Método del Vector Regional

(Acuña, 2010) y (Vauchel, 2004) mencionan: El método del vector regional (MVR) está orientado a tres tareas definidas: La crítica de datos, la homogenización y la extensión completación de datos.

La idea básica del MVR, es comparar estaciones por correlación o doble masa, como se hace en los métodos clásicos, se elabora una estación ficticia que es una “especie de promedio” de todas las estaciones de la zona, con la cual se comparan cada una de las estaciones.

El MVR se emplea entonces, para el cálculo de esta estación ficticia “Vector” el concepto de Precipitación Media Extendida al período de trabajo, salvando los problemas del peso de estaciones más lluviosas sobre las menos lluviosas (como ocurriría con un promedio simple) y la existencia de datos faltantes o diferentes períodos de funcionamiento (que calcularían promedios alterados en caso de tener solamente años húmedos o solamente años secos de determinada estación) como ocurriría al obtener valores estandarizados o centrados reducidos de lluvia. Bajo estos conceptos, se emplea el método de mínimos cuadrados para encontrar los Índices Pluviométricos Regionales Anuales “Zi” y la Precipitación Media Extendida “Pj”.

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left( \frac{X_{ij}}{\bar{X}_j} - Z_i \right)^2 \quad (2.21)$$

Dónde:

I	: Índice de año
J	: Índice de estación
X <sub>ij</sub>	: Precipitación anual en la estación j el año i.
X <sub>j</sub>	: Precipitación media extendida al periodo de “n” años.
Z <sub>i</sub>	: Índice pluviométrico regional del año i.

El método del vector regional es un método original desarrollado en el IRD en los años 1970 por dos hidrólogos, G. Hiez y Y. Brunet-Moret, con el fin de realizar estudios de homogeneidad de las precipitaciones. Puede aplicarse también a otros tipos de datos, siempre que estos sean **independientes entre sí y pseudo-proporcionales**. Es muy superior al método tradicional de los dobles cúmulos y correlaciones entre estaciones formadas de dos en dos.

El método, puesto a punto por Y. Brunet-Moret calcula mediante los mínimos cuadrados los **promedios extendidos** de cada estación durante el periodo de estudio y los **índices del vector** para cada año. Una simple prueba de diferencia con el promedio elimina del cálculo los valores erróneos.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de la presente investigación, se emplearon los siguientes materiales y/o datos. Se desarrolló una metodología para el procesamiento y la automatización de datos hidrométricos mediante un lenguaje de programación como R y Rstudio.

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDIO

##### 3.1.1 Ubicación geográfica y política

La Región Hidrográfica del Pacífico, geográficamente está comprendida entre los paralelos 3° 22' 38" y 18° 21' 03" Latitud sur y meridianos 70° 02' 02" y 81° 19' 34.5" Longitud oeste, cubre una gran extensión y representa el 21.7% del área total del país, está constituida por 62 cuencas principales (unidades hidrográficas), de las cuales analizaremos 27 unidades hidrográficas, se mencionan a continuación de norte a sur: Zarumilla, Tumbes, Chira, Motupe, Chancay-Lambayeque, Zaña, Jequetepeque, Chicama, Moche, Virú, Santa, Nepeña, Casma, Pativilca, Huaura, Chancay-huaral, Rimac, Mala, Cañete, San Juan, Pisco, Acarí, Tambo, Locumba, Sama, Caplina, Hospicio.

Políticamente, los departamentos que integran las unidades hidrográficas analizadas las mencionamos de norte a sur: Tumbes, Piura, Lambayeque, La Libertad, Ancash, Lima, Ica, Arequipa, Moquegua y Tacna.

**Cuadro 3.1** Unidades Hidrográficas del Perú (R.M. N°003-AG-2008)

Región Hidrográfica	Superficie		Unidades Hidrográficas		
	(Km <sup>2</sup> )	(%)	Cuencas	Intercuenca	Lagos
Pacífico	278 482.44	21.7	62	65	----
Amazonas*	957 822.52	74.5	84	----	----
Titicaca	48 910.64	3.8	13	5	1
<b>Total</b>	<b>1 285 215.60</b>	<b>100.0</b>	<b>159</b>	<b>70</b>	<b>1</b>

Fuente: ANA y el MINAG “Recursos Hídricos del Perú – 2010”

En la **Figura 3.1** se muestra las unidades hidrográficas que están comprendidas en la región hidrográfica del Pacífico, elaboradas por el ANA aplicando el sistema internacional Pfastetter, así como las cuencas naturales y cuencas reguladas con control hidrométrico, Estas unidades hidrográficas de norte a sur son: Zarumilla, Tumbes, Chira, Piura (subcuencas Gallegas), Motupe, Zaña, Jequetepeque, Chicama, Moche, Viru, Santa, Nepeña, Casma, Culebras, Huarney, Fortaleza, Pativilca, Huaura, Chancay-Huaral, Chillón, Lurín, Chilca, Mala, Cañete, San Juan, Pisco, Ica, Grande, Acari, Yauca, Ocoña (subcuenca Arma), Moquegua, Locumba y Caplina.

En el **Cuadro 3.2** Se indican las características hidrológicas generales de las unidades hidrográficas comprendidas en la Vertiente del Pacífico según la clasificación del sistema internacional Pfastetter, aprobada con Resolución Ministerial N°003-AG-2008, de este total se destaca que el 88% son cuencas naturales o no reguladas, es decir no presentan trasvases o embalses de regulación.

En el **Cuadro 3.3** Se muestra los principales proyectos especiales ubicados en la costa del Perú, estos proyectos regulan las cuencas y alteran el normal tránsito de caudales en toda su área de influencia.

En el **Cuadro 3.4** Se muestra la lista de los proyectos especiales que presentan trasvases hacia la Vertiente del Océano Pacífico.

En la **Figura 3.2** se puede observar el modelo digital de elevación del terreno de la región hidrográfica del Pacífico, altitudinal mente, las cuencas en estudio se extienden desde el nivel del mar hasta la línea cumbre de la cordillera occidental de los Andes, que constituye la divisoria continental de las aguas.

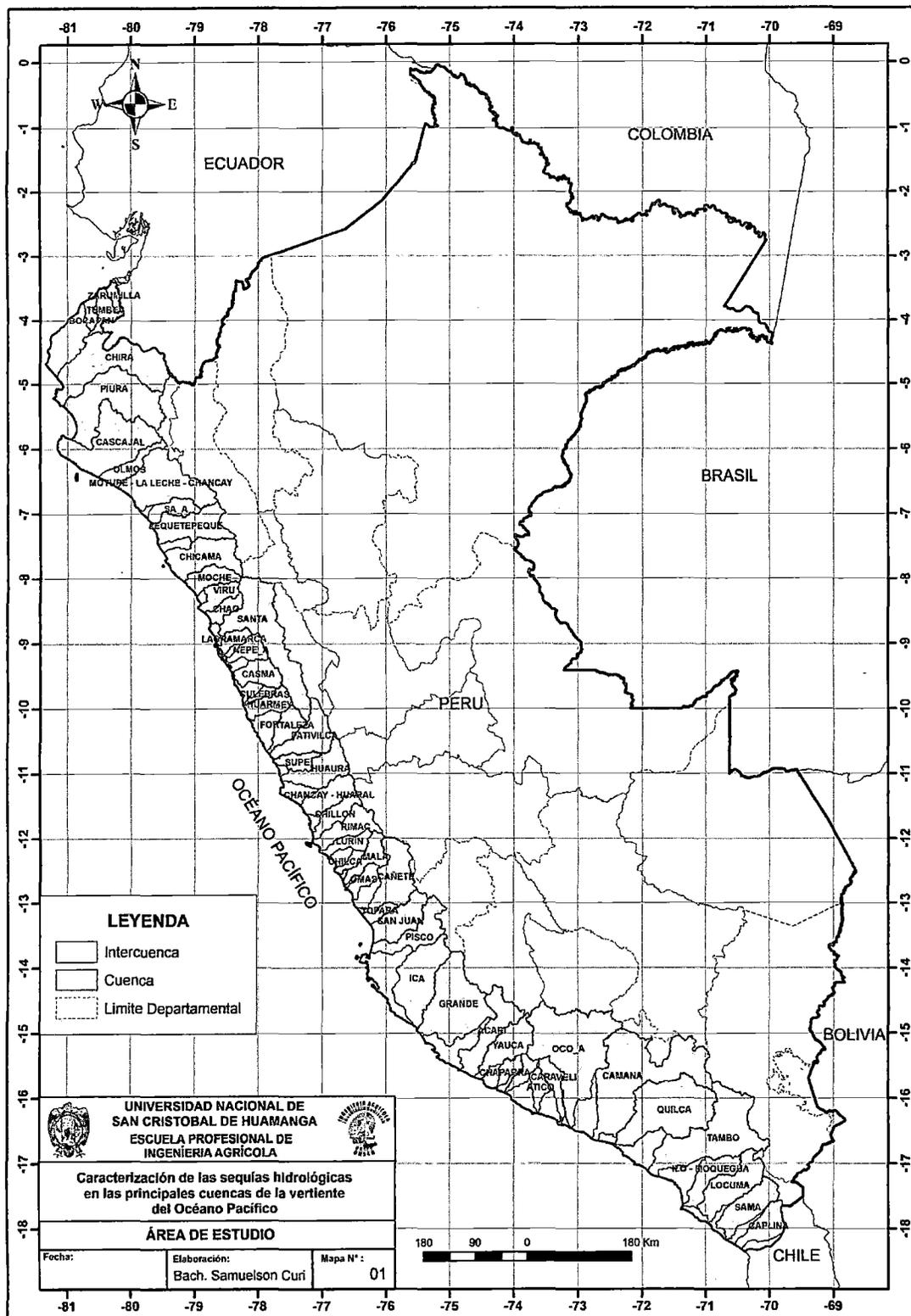


Figura 3.1 Unidades Hidrográficas de la Vertiente del Océano Pacífico.

**Cuadro 3.2** Características de las unidades hidrográficas de la Región Pacífico.

Nº	CUENCA	CARACTERÍSTICAS GENERAL
1	Zarumilla	Políticamente se encuentra ubicada en el departamento de Tumbes, en la provincia de Zarumilla, Agua Verdes, Papayal y Matapalo, Tiene su origen en las serranías del Ecuador, su cauce constituye el límite entre Perú y Ecuador.
2	Tumbes	La cuenca del río Puyango-Tumbes, se ubica en las provincias de El Oro y Loja en Ecuador; y en el departamento de Tumbes, en el Perú, Nace en las cordilleras del Zaruma (Ecuador) y cambia de nombre de Tumbes al ingresar a territorio peruano. Su permanente caudal lo hace el único río navegable de la Costa peruana.
3	Bocapan	Cuenca natural de régimen intermitente y no presente antecedentes de mediciones hidrométricas, cuenta con una extensión de 900.6 km <sup>2</sup>
4	Qda. Seca	Cuenca natural con una extensión de 483.9 km <sup>2</sup>
5	Fernández	Cuenca natural con una extensión de 740.3 km <sup>2</sup>
6	Pariñas	Cuenca natural con una extensión de 1704.9 km <sup>2</sup>
7	Chira	Nace en Loja (Ecuador) con el nombre Catamayo y luego cambia a Chira aguas debajo de su confluencia con el Matará o Calvas, que en un tramo sirve de límite entre Perú y Ecuador. La cuenca alberga al reservorio Poechos de 480 MMC.
8	Piura	Se origina en el cerro Sorogon, con el nombre de San Martin, esta cuenca recibe las aguas del reservorio Poechos a través del canal Daniel Escobar. En su afluente Chipillico opera el reservorio San Lorenzo de 260 MMC desde 1959.
9	Cascajal	Nace en el Cerro Peña Blanca (Huarmaca), con el nombre de la quebrada Cuculí, recibiendo luego las aguas de las quebradas El Tocto y Palo Blanco. Su curso continúa hacia el oeste, perdiéndose en el territorio de la provincia de Sechura (Piura).
10	Olmos	Nace en la cordillera occidental a una altitud de 2100 msnm su régimen es estacional, su caudal es pequeño; sólo en épocas de lluvias presenta caudal.
11	Motupe	Nace en las confluencias de los ríos Chiñiama y Chóchope. Las aguas del río Motupe normalmente no llegan hasta el mar, debido al uso en la actividad agrícola.
12	Chancay – Lambayeque	Nace en la laguna Mishacocha a 3800 msnm. El río Chancay Lambayeque se divide en tres ramales: canal de Taymi, río Lambayeque y el río Reque. Está formado por la derivación del río Chotano (1956) y río Conchano (1983) y presenta regulación del Reservorio Tinajones de 320 MMC.
13	Zaña	Nace en la confluencia de los cerros Cushuro y Ranga, sobre los 3000 msnm, recibe en sus trayectos diversos aportes y uno de los principales es la quebrada Chulis, el área de la cuenca desde sus nacimientos hasta su desembocadura en el Océano Pacífico es de 1745,40 km <sup>2</sup> .
14	Chaman	Está conformado por las quebradas San Gregorio y río San José, con escasos o casi nulo escurrimiento en estiaje, pero en épocas de avenidas extraordinaria sus aguas modifican su cauce; especialmente en la parte baja del Valle.
15	Jequetepeque	Nace en los cerros Malca Huarcaya y Collatan; formando las lagunas Cyshuro, Tapada y Mamacocha. En 1988, entró en operación el reservorio Gallito Ciego de 400 MMC de capacidad de almacenamiento.
16	Chicama	La superficie de la cuenca del río Chicama, desde sus nacimientos hasta su llegada al océano pacífico, es de 4 493,7 km <sup>2</sup> .
17	Moche	La superficie de la cuenca, desde sus nacimientos hasta su desembocadura en el océano pacífico, es de 2 115,41 km <sup>2</sup> corresponde a la cuenca húmeda, situado por encima de los 1500msnm.
18	Viru	La superficie de la cuenca, desde sus nacimientos hasta su desembocadura en el océano Pacífico, es de 1 911,96 km <sup>2</sup> de los cuales aproximadamente 1 081 km <sup>2</sup> corresponden a la cuenca húmeda, situada por encima de los 1500msnm. Tiene su origen en las pequeñas lagunas denominadas Usgón, Brava y Negra, ubicadas en las faldas del Cerro

		Pelón Chico, dando origen al río Huacapongo. Sus principales afluentes son: Palconque, Carabamba, Tantada, Pirhuay y La Vega.
19	Huamansaña (chao)	El río Chao está prácticamente seco todo el año, con excepción de pocos días en los meses de enero a abril, en que las lluvias, que en ese periodo caen en la Sierra, cargan su cauce con descargas que no llegan al mar debido a la aridez de dicho cauce.
20	Santa	Nace en la cordillera Blanca, en el nevado de Tucto vierte sus aguas en la laguna de Conococha. A través de los Proyectos CHINECAS y CHAVIMOCHIC se derivan sus aguas hasta Chicama por el norte y hasta Nepeña por el sur. La superficie de la cuenca, desde sus nacientes hasta la desembocadura al mar, es de 11 596,52 km <sup>2</sup>
21	Lacramarca	Tiene su origen en la parte occidental de la Cordillera Negra formado en base a dos quebradas en la parte alta, conocidas como de Santa Ana y Coles, denominándose río o quebrada Lacramarca a partir de su confluencia.
22	Nepeña	Nace en la laguna Chupicocha a 4 600 msnm (Cordillera Negra) con el nombre de río Tocanca; a medida que desciende en su cauce recibe afluentes de las lagunas de Capado, Coñocranra y Wirí, La cuenca del río Nepeña, presenta un área de drenaje total de 1 878,29 km <sup>2</sup> .
23	Casma	Nace en la cordillera negra, es de régimen irregular, por esa razón que solo en algunos meses lleva agua y largas temporadas permanece seco, tiene una superficie de la cuenca colectora húmeda de 1 521 km <sup>2</sup> .
24	Culebras	Nace en la parte occidental de la cordillera negra, formando las quebradas Huanchay y Cotapuquio, las que se unen a la altura de la localidad de Quián, dando lugar al denominado Culebras.
25	Huarmey	Se origina en las lagunas de Utato, Toco, Psiquis y Murga, con el nombre de Huayup, manteniendo este nombre hasta la confluencia con el río Yanaparin, donde adopta el de Huarmey. Sus afluentes principales son las quebradas Pillac, Huli-Huran y Huayán, Tiene una superficie de drenaje total de 2 232,96 km <sup>2</sup>
26	Fortaleza	Se origina en la Cordillera Negra (Ancash), y desemboca al norte de la ciudad de Paramonga (Lima), es de régimen irregular, pues depende de las lluvias estacionales de verano, las variaciones de su caudal son muy grandes.
27	Pativilca	Tiene su origen en la Cordillera de Huayhuash a más de 5,000 msnm, es alimentado por lluvias, deshielos y lagunas ubicadas en las cabeceras de la cuenca, se ha identificado a la Laguna Viconga, y proyectos hidroeléctricos como la central Cahua.
28	Supe	Nace en las lagunas Agfuscocha y Jurucocha, mantiene este nombre hasta la localidad de Lashcamayo, para luego cambiar como río Ambar, continua con este nombre hasta su confluencia con la quebrada Carrizal o Jaiva, donde se origina el río Supe.
29	Huaura	Tiene sus orígenes en las lagunas que separa a las cuencas de los ríos Marañón, Huallaga y Mantaro. Entre estas lagunas destacan las de Surasaca, Cochaquillo, Patón, Coyllarcocha y Mancancocha, embalsadas y en actual operación.
30	Chancay-huaral	Nace en las lagunas de Acoscocha, Lichicocha y Verdecocha, ubicadas al pie del glaciar Alcoy (Lima). De estas lagunas salen sus aguas con el nombre de río Ragrampi, a partir de la confluencia del río Baños cambia a río Acos y finalmente a Chancay.
31	Chillon	Tiene sus nacientes en las inmediaciones de la cordillera La Viuda, en las lagunas de Pucracocha, Aguascocha y Chuchón. Sus afluentes principales son el río Yamacoto, Huancho, Ucaña y Quisquichaca.
32	Rímac	Nace en las lagunas formadas por los deshielos del nevado Ticlio, a más de 5000 msnm. El régimen natural del río es regulado de su afluente del río Blanco (embalse Yuracmayo de 48 MMC), el Santa Eulalia (19 lagunas) y la derivación del sistema Marcapomacocha (1963). Totalizando un almacenamiento de 282 MMC.
33	Lurín	Nace en los nevados Suerococha, Chanape y Otoshmicunan. Sus afluentes son los ríos: Huillcapampa, Quiruchaqui, Pachachaca, Catavilla, Taquia y Characuayqui, desde el lugar denominado San Damián de Huarochirí adopta el nombre de Lurín.

Nº	CUENCA	CARACTERÍSTICAS GENERAL
34	Chilca	No forma un río, pero deja fluir sus aguas de las partes altas.
35	Mala	Sus nacientes más lejanas están al sureste de Matucana, donde se llama río Carhuapampa, pasa a llamarse Mala después de confluir con el río Ayavirí. Su valle interandino es gran productor de frutales, en especial manzanas y plátano.
36	Omas	Se origina en los cerros Ocupampa, Puchicampampa, Quishuar y Maururo a 4600 msnm con el nombre de río Omas, no cuenta con lagunas o nevados que favorezcan la esorrentía de sus cauces. Sus afluentes son Patar, Tres Cruces y Marangalla.
37	Cañete	Sus orígenes se inician en la laguna Tiellacochoa, a 5000 msnm. Su primera denominación es quebrada Huachic-Pampa, cambiando a río Cañete cuando confluye con el efluente de la laguna Mollococha.
38	Topara	Sirve de límite a los departamentos de Lima e Ica ésta quebrada es alimentada por filtraciones de la Quebrada de Ñoco y el aporte proveniente de las lluvias. Tienen cauces secos rara vez poseen esorrentía.
39	San Juan	Se origina al norte de la provincia de Castrovirreyna, en el departamento de Huancavelica, con el nombre de río San Juan. Recibe el nombre de Chíncha cuando recorre la costa, donde forma un extenso valle agrícola.
40	Pisco	Nace en Chojcho a 5050 msnm con el nombre de Luicho, luego se llama río Chiris, y después de confluir con el río Castrovirreyna se denomina Pisco.
41	Ica	Nace de la confluencia de los ríos Tambo y Jatunchaca, sus afluentes son Huaccecayoc, Tombillos, Trapiche, Cansas, Tingue, Santiago y Olaya. El sistema Choclococha (Orcococha, Choclococha y Ccaracocha) de 160 MMC, permite la derivación del río Pampas, hacia el río Ica para aprovechamiento durante estiaje desde 1959.
42	Grande	Nace únicamente a base de las precipitaciones que ocurren en la cuenca alta y dan origen a un conjunto de cauces secos intermitentes, y después de recibir aportes de los ríos Pajonal y Trancas dan origen al río Grande.
43	Acari	Nace en la Laguna de Huancacocha, tomando el nombre de Acari, en la ciudad del mismo nombre, con el cual desemboca en el océano Pacífico. Tiene como principales afluentes a los ríos Yaurihuirí, Chilquis, Jochangay, San Pedro, Chontay y San José
44	Yauca	Nace en la laguna de Pallapalla (Ayacucho) con el nombre de Antapallca; luego adoptada denominaciones de río Pallacarana, río Sangarara y río Lampalla, conociéndosele con él de río Yauca a partir de su confluencia con la quebrada de Languirre.
45	Honda	Cuenca natural de grandes extensiones áridas y no presenta mediciones hidrométricas
46	Chala	Nace con el nombre de quebrada Huayllayacc, adoptando en su recorrido la denominación de río Chacras, quebrada Huampampa, Chactasja, La Charpa y Tocoto, y a partir de su confluencia con la quebrada San Andrés toma el nombre de río Chala.
47	Chaparra	Nace a 3 950 msnm; con el nombre de río Vituco, después de unirse con la Quebrada Yurca Huayco toma el nombre de quebrada Quicacha hasta el poblado del mismo nombre, aguas abajo de este toma el nombre de río Chaparra
48	Choclón	Cuenca natural
49	Ático	Nace en los cerros de Altos de Cachica, Cortaderas y Checcheorcco (quebradas Tucune, Huinllo, Crucero y Cachica), las cuales al juntarse toman el nombre de quebrada Pozo Guanaco; de la unión de esta quebrada con de la Río Seco, se forma el río Ático.
50	Pescadores	Tiene su origen en una serie de quebradas que se originan en la Cordillera Occidental Volcán Sara-Sara y laguna de Parinacochas, estas quebradas Chuñuña, Macha y Chuicane se juntan confluyendo en el río Caraveli.
51	Ocoña	Nace a 5 444 msnm en los nevados de Chancoaña, que concentran sus deshielos en la laguna de Huanzo. En su recorrido forma el Cañón del Cotahuasi con vertientes rocosas y escarpadas que sobrepasan los 1 200 m desde el lecho fluvial

Nº	CUENCA	CARACTERÍSTICAS GENERAL
52	Camaná	Nace en los cerros Yarenate y Torre, con el nombre de Paco Paco, adopta, luego el de río Chilamayo, Colca, Majes y Camaná. Alberga a la Represa de Condoroma de 285 MMC de capacidad y realiza transvases del río Colca hacia el río Sumbay (cuenca del Chili).
53	Chili	Nace en la laguna de Coline entre los conos volcánicos del Misti y el Chachani. Está cuenca está formado por dos grandes sectores: Sigvas y Vitor. Su sistema hidrológico está conformado por Chili Regulado y el No Regulado (Sub Cuencas Yura y Oriental). El regulado comprende el Embalse El Pañe de 99.6 MMC de capacidad, el Canal de derivación Pañe – Sumbay (77,5 km) trasvasa estos recursos, hacia el río Sumbay; el Embalse Dique los Españoles de 11 MMC almacena las aguas del río Colca (captados en la bocATOMA Jancolacay). El Embalse El Fraile de 127.2 MMC de capacidad regula las aguas de la cuenca alta del río Blanco. El embalse Aguada Blanca de 30.4 MMC y Pillones de 78.5 MMC de capacidad.
54	Tambo	Nace en Moquegua al sur del sistemas Lagunillas (Puno) de la unión del río Paltiture e Ichuña. Sus afluentes principales son el Ichuña y el Coralaque. Alberga al reservorio Pasto Grande de 210 MMC de capacidad, el área de la cuenca, desde sus nacimientos hasta su llegada al Océano Pacífico es de 12 953,36 km <sup>2</sup>
55	Honda	
56	Moquegua	Nace en el límite con la meseta del Titicaca, entre una serie de arroyos y desagües de lagunas formadas en las cumbres nevadas del sur del departamento de Puno, sus afluentes son el Torate, Huancarane y Tumulaca.
57	Locumba	Sus nacientes se ubican en tres fuentes: La primera en el nevado Chuquiananta, límite con Moquegua, en cuya vertiente oriental se genera la Qda. Tacalaya que luego se denomina río Camilaca; por la vertiente del lado sur se generan las Qdas. Borogueña y Cinto. La segunda fuente se localiza en la cadena volcánica, con una serie de afluentes que forman el río Callazas, destacando en sus nacientes la laguna Suches. La tercera fuente la constituye el nevado Larjanco, al este del volcán Yucamane, cuyos deshielos se juntan con las aguas de los geysers de la Qda. Calientes, éste confluye con el río Salado, que es la otra vertiente, cuyos orígenes están en el cerro sulfuroso.
58	Sama	Sus nacientes están a 5050 msnm en el cerro Llocollone. En su cuenca se ha construido la represa de Conorpico, de 2 MMC de capacidad. En época de estiaje el río Salado o Yabroco es un foco de contaminación hidrotermal.
59	Caplina	Nace en el nevado de Achacollo a 5 690 msnm, tiene agua durante todo el año en su sector interandino; en la costa es un pequeño canal que el uso agrícola seca por completo. Su escurrimiento depende del deshielo de glaciales y del agua subterránea.
60	Hospicio	Cuenca natural
61	Concordia	Cuenca natural
62	Lluta	Cuenca natural y tiene como límite a Chile por el sur.

Fuente:

ANA y el MINAG “Recursos Hídricos del Perú – 2010”

Acuña, J. (2010)

**Cuadro 3.3** Principales proyectos ubicados en la Vertiente del Océano Pacífico.

N°	PROYECTO ESPECIAL	CUENCA	VERTIENTE	DEPARTAMENTO
1	Puyango Tumbes	Puyango	Pacífico	Tumbes
2	Chira - Piura	Chira	Pacífico	Piura
3	Olmos - Tinajones	Chancay - Lambayeque	Pacífico	Lambayeque, Cajamarca y Piura
4	Jequetepeque - Zaña	Jequetepeque	Pacífico	Lambayeque, La Libertad y Cajamarca
5	Chavimochic	Chao - Viru - Moche	Pacífico	La Libertad
6	Chinecas	Nepeña - Casma Sechin	Pacífico	Ancash
7	Ccaracocho	Ica	Pacífico	Ica, Huancavelica
8	Majes - Siguas	Majes, Siguas	Pacífico	Arequipa
9	Pasto Grande	Moquegua	Pacífico	Moquegua
10	Tacna	Caplina, Sama y Locumba	Pacífico	Tacna

Fuente: ANA y el MINAG “Recursos Hídricos del Perú – 2010”

**Cuadro 3.4** Principales proyectos que presentan trasvases a la Vertiente del Pacífico.

N°	CUENCA APORTANTE		CUENCA RECEPTORA	INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)	PROYECTO
	CUENCA	VERTIENTE				
1	Puyango	Pacífico	Zarumilla	Tunel	30,00	Puyango - Tumbes (1)
2	Chira	Pacífico	Piura	Canal Chira - Piura (2)	70,00	Chira - Piura
3	Quiroz	Pacífico	Chipilico	Tunel Culqui Canal Quiroz	60,00 60,00	San Lorenzo
4	Conchano	Amazonas	Chancay - Lambayeque	Tunel	13,00	Olmos - Tinajones
5	Chotano	Amazonas	Chancay - Lambayeque	Tunel	31,00	Olmos - Tinajones
6	Huancabamba	Amazonas	Olmos	Tunel	12,90	Olmos
7	huancabamba	Amazonas	Piura	Tunel	30,00	Irrigacion e hidroenerg
8	Santa	Pacífico	Chao - Viru - Moche	Canal Santa-Chao-Viru-moche	50,00	Chavimochic
9	Santa	Pacífico	Chicama	Canal Moche-Chicama	35,00	Chavimochic <sup>3</sup>
10	Santa	Pacífico	Nepeña - Casma Sechin	Tunel canal	30,00 30,00	Chinecas
11	Pativilca	Pacífico	Supe	Canal Canal	1,20 8,00	Santa Elena Purmacana
12	Mantaro	Amazonas	Rimac	Tunel Canal	3,00 3,00	Marcapomacocha
13	Mantaro	Amazonas	Rimac	Tubería y Sifones Canal	2,80 2,80	Huascacocha
14	Alto Pampas	Amazonas	Ica	Tunel Canal	12,00 12,00	Tambo Ccaracocho
15	Colca	Pacífico	Chili	Canal Pañe-Sumbay	3,60	Chili Regulado
16	Vizcachas	Pacífico	Moquegua	Canal Pasto Grande	9,00	Pato Grande
17	Maure	Titicaca	Caplina	Canal Calachaca-Chuapalca Canal Chuapalca-Uchusuma Canal Uchusuma-Huaylillas Sur	1,00 3,50 4,50	Vilavilani
18	Maure	Titicaca	Locumba	Tunel Kovire Canal Cano-Salado	6,00 5,00	Kovire

Fuente: ANA y el MINAG “Recursos Hídricos del Perú – 2010”

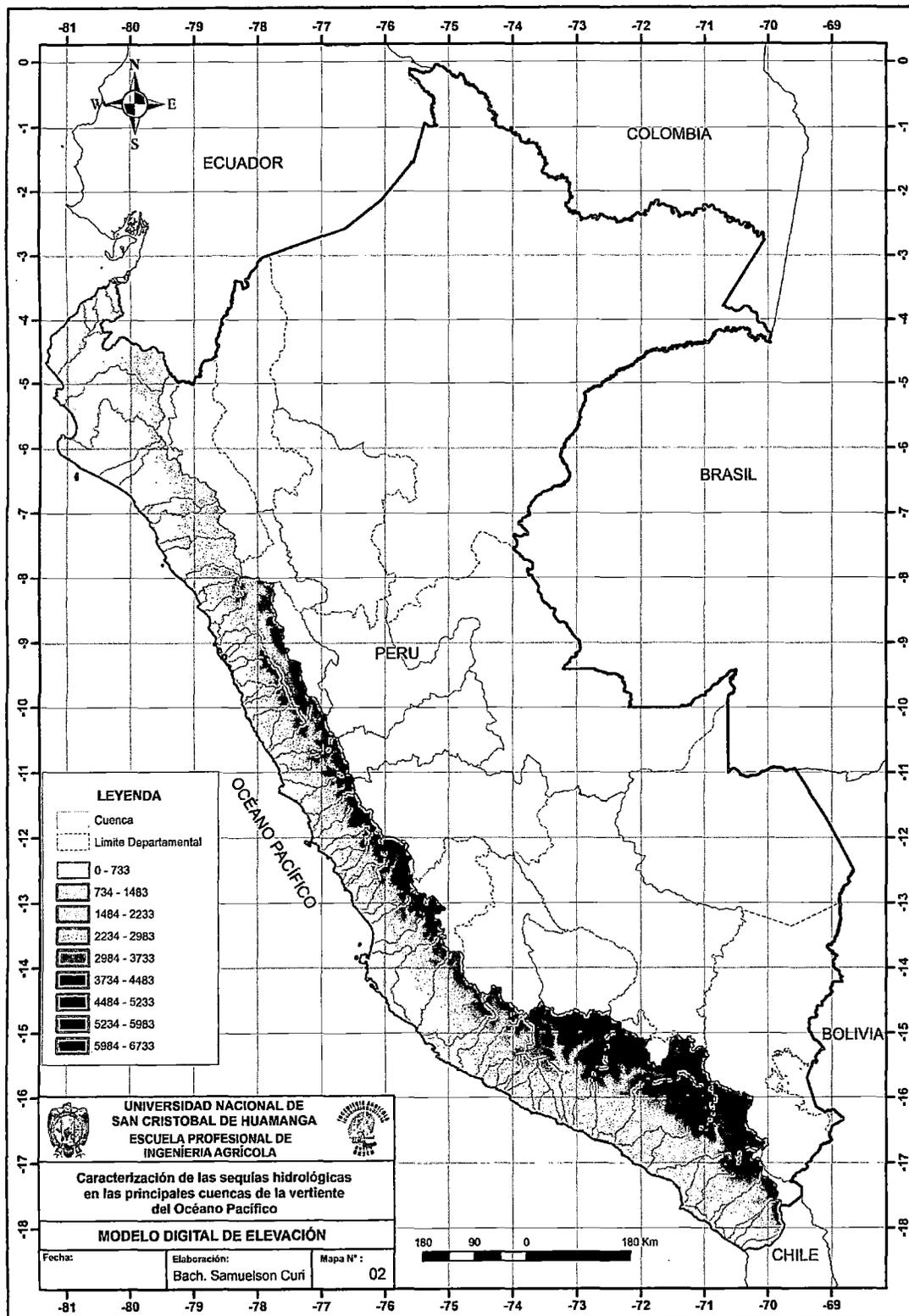


Figura 3.2 Modelo de elevación del terreno de la Región Hidrográfica del Pacífico.

## **3.2 MATERIALES**

Los materiales necesarios utilizados en el presente trabajo de investigación son:

- Libros y revistas científicas.
- Carta nacional.
- Útiles de escritorio.

Los materiales más importantes se detallan a continuación

### **3.2.1 Información cartográfica**

#### **3.2.1.1 Modelo de elevación digital de terreno (DEM)**

La cartografía se obtuvo a partir de los datos SRTM (Misión Topográfica Radar Shuttle, NASA-NGA, EEUU), el cual es una misión para obtener un modelo digital de elevación de la zona de estudio comprendida entre: Paralelos 3°22'38" y 18° 21'03" Latitud sur y Meridianos 81°19'34.5" y 70°2'2" Longitud oeste, de modo que genere una base completa de datos topográficos digitales de alta resolución de la zona de estudio. La resolución tiene una equivalencia de 0.0008° o una grilla de 90 m x 90 m de resolución, esta información se encuentra disponible en la base de datos de la página web del CGIAR – CSI (Consortio para la información espacial).

La página de enlace se menciona en referencia bibliográfica.

Políticamente, está comprendida de norte a sur en los departamentos de Tumbes, Piura, Lambayeque, La Libertad, Ancash, Lima, Ica, Arequipa, Moquegua y Tacna.

A partir del DEM se obtuvo indirectamente, la delimitación de las principales cuencas hidrográficas del Perú, que sirvieron de referencia para verificar la ubicación de las estaciones hidrométricas en la Vertiente del Pacífico.

#### **3.2.2 Datos del ANA**

La data recopilada para la presente investigación provienen de diferentes fuentes como la central de información de la página web: de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), del compendio del ANA y el MINAG titulada "RECURSOS HÍDRICOS DEL PERÚ - 2010" el cual nos proporciona datos de caudal a nivel mensual de un registro de 1960 – 2005 (46 años) de análisis.

Se recopiló la información de un total de 30 estaciones hidrométricas de la página web y del banco de datos de la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

**Cuadro 3.5** Red de Estaciones Hidrométricas

Nº	Estación	Lat S (°)	Long W (°)	Alt (m.s.n.m)	Unidad Hidrográfica	Río	Fuente
A1	El Tigre	-3.550	-80.217	30	Tumbes	Tumbes	Ana
A2	Ardilla	-4.520	-80.433	150	Chira	Chira	Ana
A5	Puchaca	-6.380	-79.467	325	La Leche	La Leche	Ana
A6	Raca Rumi	-6.633	-79.317	254	Chancay-Lambayeque	Chancay-Lambayeque	Ana
A7	El Batan	-6.850	-79.850	212	Zaña	Zaña	Ana
A8	Yonan	-7.250	-79.100	428	Jequetepeque	Jequetepeque	Ana
A9	Salinar-Tambo	-7.670	-78.970	350	Chicama	Chicama	Ana
A10	Quirihuac-Moche	-8.080	-78.870	200	Moche	Moche	Ana
A11	Huacapongo	-8.380	-78.670	280	Viru	Viru	Ana
A12	Condorcerro	-8.650	-78.250	526	Santa	Santa	Ana
A13	San Jacinto	-9.167	-78.283	200	Nepeña	Nepeña	Ana
A14	Sector Tutuma	-9.480	-78.300	71	Casma	Casma	Ana
A16	Yanapampa	-10.670	-77.583	859	Pativilca	Pativilca	Ana
A17	Puente Alco	-11.030	-77.100	1000	Huaura	Huaura	Ana
A18	Santo Domingo	-11.380	-77.050	650	Chancay.Huaral	Chancay.Huaral	Ana
A21	La Capilla	-12.520	-76.517	468	Mala	Mala	Ana
A22	Socsi-s y Toma imperial	-13.030	-76.200	500	Cañete	Cañete	Ana
A23	Conta	-13.450	-75.983	320	San Juan	San Juan	Ana
A24	Letrayoc	-13.670	-75.750	640	Pisco	Pisco	Ana
A27	Chucarapi	-17.000	-71.700	133	Tambo	Tambo	Ana
A28	Chivaya	-17.500	-70.800	3200	Ilo-Moquegua	Moquegua	Ana
A31	La Tranca	-17.730	-70.467	620	Sama	Sama	Ana
A32	Aguas Calientes	-17.850	-70.000	1300	Caplina	Caplina	Ana
A35	La Achirana	-13.920	-75.683	420	Ica	Ica	Ana
A36	Bella Unión	-15.450	-74.633	70	Acari	Acari	Ana
A37	Puente Tumbes	-3.583	-80.467	15	Tumbes	Tumbes	Ana
A38	Aricota	-17.333	-70.233	2825	Locumba	Locumba	Ana
A39	Chosica	-11.930	-76.930	906	Rimac	Rimac	Ana
A40	Coranchay	-17.100	-70.283	4100	Locumba	Locumba	Ana
A42	Piedras Blancas	-17.983	-70.133	1400	Hospicio	Hospicio	Ana

Fuente: Elaboración propia (ANA y el MINAG “Recursos Hídricos del Perú – 2010”)

El Cuadro 3.5 muestra la red de estaciones hidrométricas analizadas, ellas se encuentran en condiciones operativas con un registro lo suficientemente largo para el análisis en la presente investigación.

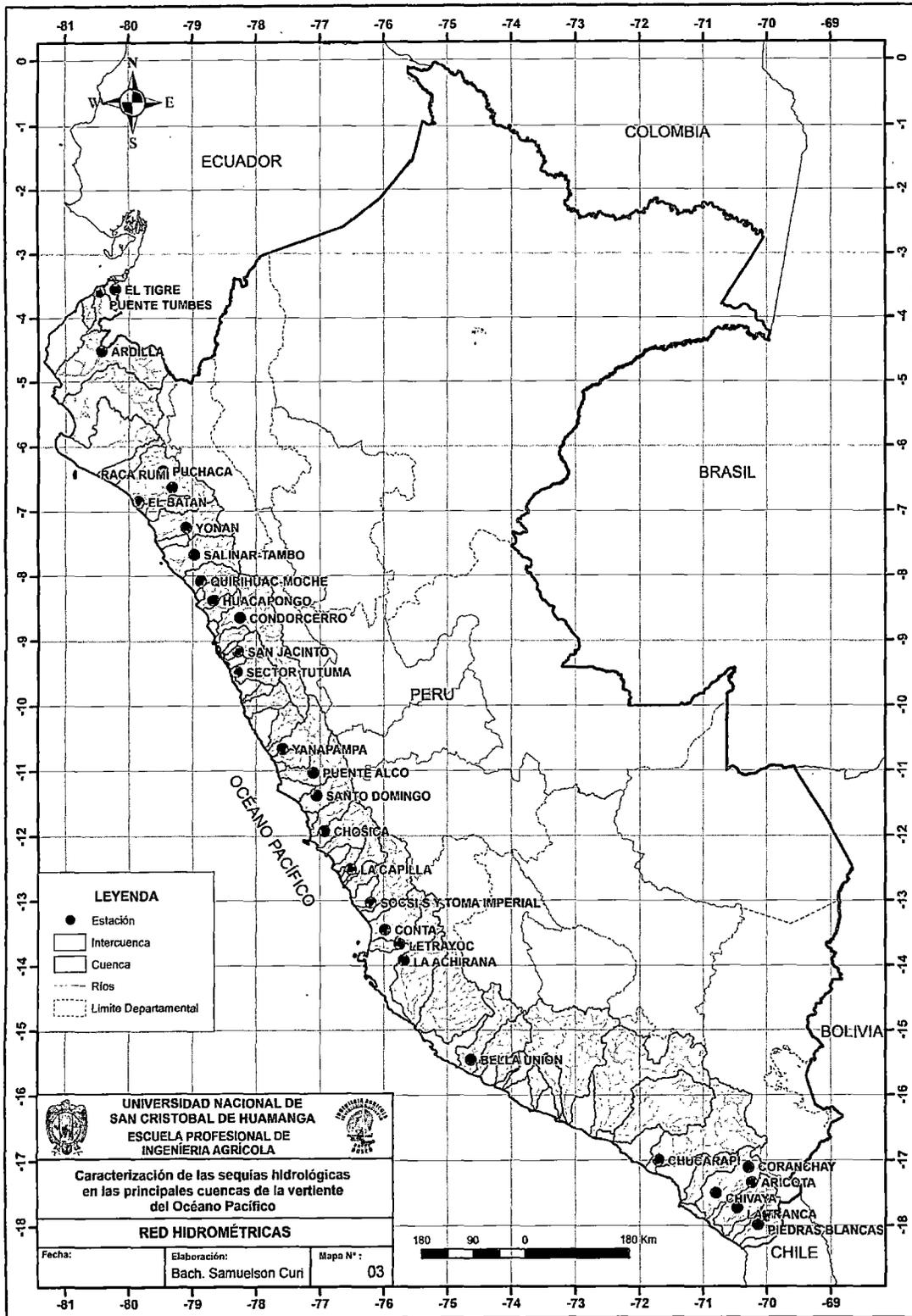


Figura 3.3 Red de estaciones hidrométricas.

La **Figura 3.3** Muestra la distribución espacial de las estaciones hidrométricas y la demarcación coloreada específica de las unidades hidrográficas (UH) evaluadas, la costa peruana está conformada por 62 unidades hidrográficas, de las cuales 27 son evaluadas en el presente estudio.

### 3.2.3 Software

- **Minitab v15**, permitió el análisis exploratorio de la información hidrométrica a escala mensual, estacional y anual.
- **Microsoft Office**, se realizó la automatización de cálculos y digitalización de textos mediante códigos en Visual Basic en Microsoft Excel y Word, se implementaron códigos para el cálculo de un índice de sequía estandarizado (SSI).
- **XLSTAT v2013**, se empleó para la obtención del estadístico de Grupos and Beck para los datos atípicos, el estadístico Mann-Kendal (modificado) para evaluar la estacionalidad (tendencias), el estadístico de Pettit para el análisis de saltos o rompimiento de serie con datos de caudal mensual, las pruebas no paramétricas están disponibles de forma gratuita en el sitio web <http://www.xlstat.com>.
- **Hydraccess v4.2**, permitió la creación y organización en una base de datos hidrométricas en Microsoft Access para la automatización de datos de caudal (m<sup>3</sup>/s) recopilados, está disponible: [www.mpl.ird.fr/hybam/outils/hydraccess\\_sp](http://www.mpl.ird.fr/hybam/outils/hydraccess_sp)
- **ArcGis 10.1**, con las extensiones 3D Análisis, spatial analysis. Se elaboró las presentaciones de mapas y otros gráficos que representen el objetivo de la investigación a un nivel espacial.
- **R y Rstudio**, es un programa estadístico diseñado para el tratamiento de datos, cálculos y desarrollo de gráficos, permitió trabajar con facilidad mediante vectores y matrices, ofreciendo diversas herramientas para el análisis de datos, se empleó para el cálculo de las diferentes distribuciones, análisis de datos y algunas presentaciones gráficas, es de uso libre y se puede descargar de la siguiente página web <http://www.r-project.org/index.html>.

### 3.2.4 Equipos

Para el procesamiento de la información se emplearon los siguientes equipos:

- 01 Laptop Toshiba con sistemas operativos Windows 7 de 64bits.
- 01 Ordenador de escritorio con sistemas operativos Windows 7 de 64bits.
- Calculadora Hp 50G+

### 3.3 METODOLOGÍA

El procedimiento metodológico desarrollado posee la siguiente secuencial.

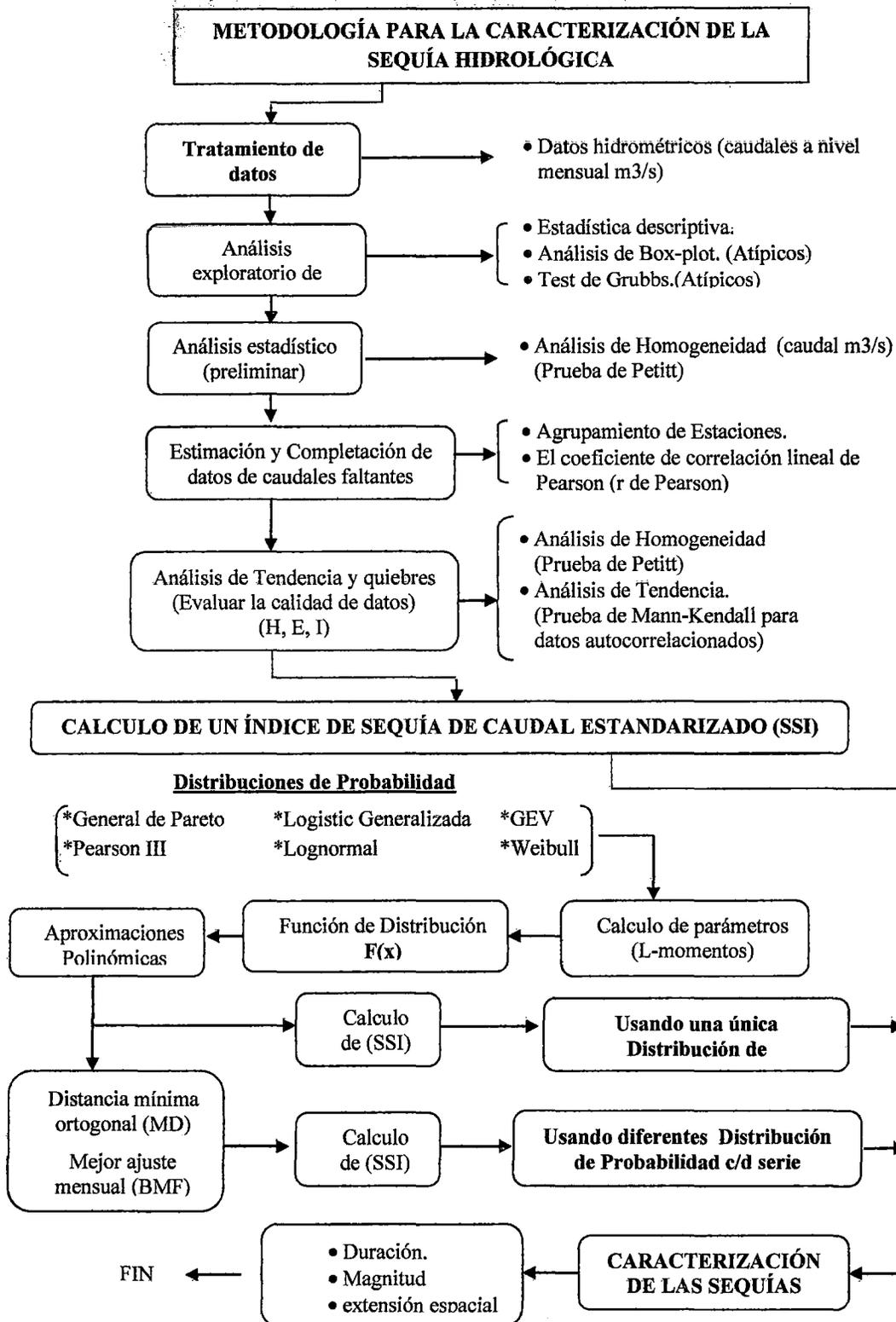


Figura 3. 4 Proceso metodológico para fines de Caracterización de sequías.

### **a) Información hidrométrica**

Los datos para el presente estudio fueron obtenidos de diferentes fuentes como la central de información de recursos hídricos de la página web de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), y de un compendio elaborado entre el ANA y el MINAG el cual es titulada como: "RECURSOS HÍDRICOS DEL PERÚ - 2010", el cual nos proporciona datos de caudal a nivel mensual de las principales cuencas en la Vertiente del Océano Pacífico con un registro seleccionado de 46 años de análisis (1960-2005). De este modo la información obtenida fue almacenada en una base de datos creada para tal fin haciendo uso de un software hidrológico denominado *Hydraccess* para la organización y sistematización de la data recopilada.

*Hydraccess* es un software completo, homogéneo y ergonómico, que permite importar y almacenar todo tipo de datos hidrológicos en una base en formato Microsoft Access y realizar los tratamientos básicos que puede requerir un especialista en el área de la hidrología.

### **b) Selección de estación hidrométrica**

La selección de las estaciones hidrométricas se realizó mediante la elaboración de un Cuadro de líneas de tiempo, se realizó un primer análisis visual de la información cronológica existente en cada estación hidrométrica, comprobando la irregularidad de los periodos de registro, debido a esto se implanto un primer criterio para la selección de las estaciones más representativas a lo largo de la costa peruana, nos basamos en la información que posee cada estación, 48 estaciones fueron seleccionadas inicialmente, de las cuales no todas suministran una continua información cronológica, por consiguiente se estableció un criterio de selección, considerando solo las estaciones que cuenten con un registro continuo de al menos 30 años, siguiendo la recomendación de la Organización Meteorológica Mundial, con sus siglas en inglés (WMO), como segundo criterio se excluyeron las estaciones que contengan más del 10% de datos perdidos en comparación con la longitud total de la serie analizada. El periodo óptimo fue fijado según los criterios mencionados en 46 años de registro continuo visualizados en un cuadro de línea de tiempo comprendida entre 1960-2005, de este modo fueron seleccionados 30 estaciones hidrométricas. Ver figura 3.3

### 3.3.1 Tratamiento de datos

#### 3.3.1.1 Análisis exploratorio de datos

Las series de caudales fueron analizadas cualitativamente mediante un *análisis exploratorio de datos*, que nos ayuda a detectar posibles errores o inconsistencia en los datos de partida, en este proceso se elaboraron los diagramas de cajas (Box plot) para tener una primera aproximación del comportamiento hidrológico en las estaciones (calidad de datos), la posible presencia de datos atípicos (outliers) en el patrón de comportamiento de toda la muestra analizada, nos ayuda a identificar las estaciones cuya serie posee datos dudoso, en base a este análisis se considera su posible exclusión para no alterar la muestra. Como segundo análisis que ayude a confirmar estos posibles datos atípicos se puso a prueba el test de Grubbs, el cual posee unos estadísticos en base la data estandarizada y a su longitud, definiendo un nivel de truncamiento, cuyo proceso identifica los datos atípicos de forma visual con un nivel de significancia de 99%.

El análisis se realizó haciendo uso del paquete estadístico XLSTAT para la prueba de Grubbs, este paquete ejecuta varias estaciones y/o meses en forma simultánea contrastando la hipótesis nula (No hay valores atípicos en los datos) y la hipótesis alterna (El valor mínimo o máximo es un valor atípico), con un nivel de significancia de 5%, la gráfica de Box-plot se realizó mediante algoritmos creados específicamente para cumplir este análisis con la ayuda de un lenguaje de programación denominado R y Rstudio, que es un programa estadístico diseñado para el tratamiento de datos, cálculos y desarrollo de gráficos, muy difundido en la comunidad científica.

#### 3.3.1.2 Análisis estadístico preliminar

Otro procedimiento de importancia es el *análisis estadístico (preliminar)* el cual abordamos el análisis de “salto” o la “no homogeneidad” mediante la prueba de Pettit, cambios abruptos en los valores medios anuales de una serie de caudales suelen estar asociados a cambios en los procesos de observación, emplazamiento de la estación hidrométrica (avenidas), alteraciones antrópicas en el cauce o trasvases de caudal, este tipo de cambios conocidos como “saltos” son fácilmente detectables mediante los test no paramétricos, el uso de este análisis estadístico preliminar ayudo a visualizar los cambios (saltos) y la fecha en la cual se ha producido este salto para los análisis posteriores (completación de datos).

### 3.3.1.3 Estimación y completación de datos faltantes

Para el análisis de *estimación y completación de datos faltantes* se ha utilizado el programa *Hydraccess* para la organización y sistematización de los datos hidrométricos, se utilizó la metodología del Vector Regional de índices Pluviométricos (MVR). Este método es ampliamente utilizado por la SENAMHI en muchos estudios de Regionalización pluviométrica como el realizado el 2008. "Caracterización hidrológica de las cuencas del Mantaro, Pampas, Apurímac y Urubamba", este mismo método fue aplicado por el Ing. Philippe Vauchel del Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo (IRD) creador del Hydraccess para el análisis de datos hidrométricos realizado el 2006 denominado "Análisis, crítica y tratamiento de los datos hidrométricos de la cuenca alta del río Pilcomayo disponibles aguas arriba de Misión La Paz (Argentina)", este método selecciona las estaciones optimas basado en su proporcionalidad e índice de correlación con el vector regional.

Para la completación de datos faltantes de caudal, para un dato en el año, se utilizó el **promedio aritmético** de la misma estación, cuando la ausencia de datos varió de 2 a menores de once en un año, se utilizó el **método racional deductivo**, y cuando la ausencia fue mayor a doce datos al año se utilizó el **método del Vector Regional (MVR)**, seleccionado las estaciones optimas con un alto índice de correlación con el vector regional, con las estaciones seleccionadas según el MVR se aplicó el **método de regresión múltiple**, todos estos métodos se aplicaron teniendo en cuenta la prueba de Pettitt (saltos o rompimiento de serie), la agrupación de estaciones se realizó sabiendo el año cuando se produjo el salto en la media, este procedimiento se aplicó a fin de minimizar los posibles errores que pudieran cometerse en la estimación considerando toda la longitud.

### 3.3.1.4 Análisis de tendencia y quiebres

Para el análisis de una serie de caudales se evalúan los estadísticos, que son supuestos básicos que ayudan a aumentar la confiabilidad en la calidad de los datos, estos supuestos básicos deben de cumplir: ser libre de tendencia (estacionarios), independencia serial y una distribución de datos homogénea.

En el presente estudio se analizaron dos supuestos básicos como son: el análisis de tendencia mediante el test de Mann-Kendall modificado y el análisis de homogeneidad mediante la prueba de Pettitt (saltos en la media).

El primer supuesto, análisis de tendencia indica que los datos no deben aumentar o disminuir en el tiempo, para su evaluación se utilizó la prueba de Mann-Kendall (test no paramétrico) mediante el paquete estadístico del Excel denominado XLSTAT, el cual ejecuta la prueba para varias estaciones en forma simultánea contrastando la hipótesis nula de tendencia igual a 0 respecto a una hipótesis alterna de tendencia diferente de 0, con un nivel de significancia de 5%, el test de Mann-Kendal modificado realiza un análisis pre-blanqueo internamente, mediante este análisis(pre-blanqueo) se elimina la auto correlación que pueda tener los datos analizados.

La prueba de Pettitt analiza los “saltos” o la “no homogeneidad”, cambios abruptos en los valores medios anuales y/o mensuales de una serie de caudales, esta prueba se evaluó mediante el XLSTAT, el cual ejecuta la prueba para varias distribuciones simultáneamente contrastando la hipótesis nula (los datos son homogéneos) y la hipótesis alterna (hay una fecha en la que hay un cambio en la media de los datos) con un nivel de significancia de 5%.

La construcción de una **base de datos hidrométricos de calidad** fue el resultado de haber realizado el análisis de tratamiento de datos, la representación de la cobertura espacial y temporal de las estaciones analizadas poseen rasgos representativos de la Vertiente del Pacífico en la costa del Perú.

### **3.3.2 Cálculo de un índice de sequía de caudales estandarizado(SSI)**

El cálculo de un índice de sequía de caudales (SSI), se realizó aplicando dos enfoques para el uso de diferentes distribuciones de probabilidad.

*Usando una única distribución de probabilidad*, la serie de caudales mensuales se ajusta a una distribución de probabilidad con parámetros independientes en cada sitio (lugar).

*Usando diferentes distribución de probabilidad*, la serie de caudales mensuales se ajusta a diferentes distribuciones de probabilidad, por lo que, una serie de caudal anual es ajustada a varias distribuciones de probabilidad con parámetros independientes en cada sitio (lugar) y cada mes.

### **3.3.2.1 Usando una única distribución de probabilidad**

El cálculo de un índice de sequía de caudales (SSI), para la cuantificación de la sequía hidrológica, se realizó mediante la evaluación de diferentes distribuciones de probabilidad todos ellos de tres parámetros, que son comúnmente usados en la hidrología.

#### **a) Distribuciones de probabilidad**

No existe una distribución que puede representar perfectamente el comportamiento hidrológico en una estación, pero si se puede encontrar aquella que proporciones las estimaciones más precisas para cada estación.

Los criterios más importantes para la selección de una distribución de probabilidad son:

tener una teoría sólida que describa el fenómeno y que la distribución de probabilidad debe simular la mayor información de la serie de datos observada, la capacidad de una distribución para ajustarse a los datos, depende de la flexibilidad y la forma de la función de distribución, mientras más parámetros formen al modelo, más versátil es la función de distribución, es por este motivo que se hace uso de distribuciones que estén formados por tres parámetros como son: Valor Extremo Generalizado, Log-Normal, Pearson tipo III, Weibull, Log-Logistic y Pareto Generalizado.

#### **b) Calculo de parámetros mediante el método de L-momentos**

El cálculo de parámetros mediante el método de L-momentos se realizó para cada una de las distribuciones, los parámetros estadísticos de cada distribución específica son estimados a partir de la muestra.

El método de L-momentos puede caracterizar a una variedad más amplia de distribuciones en comparación con los momentos convencionales, es más robusto frente a valores anormales (atípicos), los L-momentos proporcionan estimadores precisos es decir más cercano a los observados.

El cálculo de la función de distribución y los parámetros para cada tipo de distribución, se realizó mediante el uso de algoritmos creados para este análisis que fueron elaborados en el programa R y Rstudio, pues el cálculo manual sería muy engorroso y llevaría a cometer errores en su estimación.

### **c) Función de distribución y función de densidad**

El cálculo de la función de distribución  $F(x)$  se realizó en base a los parámetros previamente calculados con el método de L-momentos, la construcción de la función de distribución acumulada (GEV, LN3, GLO, PE3, WEI y GPA), se calculó según la metodología propuesta por Hosking y Wallis (1997), sobre cada una de las estaciones analizadas, a partir de ello se calculó la probabilidad para un cuantil determinado, la elaboración del histograma de frecuencia para cada serie de caudales, se realizó a fin de visualizar que función de densidad se ajusta a la data observada, este cálculo y el histograma de frecuencias se elaboró en el programa Easyfit, R y Rstudio, automatizando los cálculos y minimizando los errores propios del Excel.

### **d) Aproximaciones polinómicas**

Una vez obtenida la función de distribución (probabilidad acumulada)  $F(x)$ , de la serie de caudales mensuales, son transformadas en serie de unidades  $Z$  (estandarización) con una media y desviación estándar de  $(0,1)$  mediante aproximaciones polinómicas según Abramowitz y Stugun (1965), ecuación (2.6) al (2.8).

Este cálculo se realizó utilizando los macros de Microsoft Excel y el Rstudio, usando archivos interactivos simultáneamente entre ambas software.

### **e) Calculo del SSI usando una única distribución de probabilidad**

Del análisis previo (Aproximaciones polinómicas), se muestra un índice de sequía de caudales estandarizada con una media y desviación estándar de  $(0,1)$ , suponiendo que la serie de caudales mensuales se ajusta a una distribución de probabilidad con parámetros independientes en cada sitio, el cálculo se realizó para las seis distribuciones, visualizando así los periodos húmedos y secos.

Este procedimiento metodológico se realizó en su totalidad en el programa R y Rstudio.

#### **3.3.2.2 Usando diferentes distribución de probabilidad**

Este segundo enfoque, muestra la serie de caudales mensuales que se ajusta a diferentes distribuciones de probabilidad, una serie anual es ajustada a varias distribuciones con parámetros independientes en cada sitio y cada mes, la selección de la distribución de

probabilidad más adecuada para cada serie mensual es evaluada con el uso de dos pruebas de ajuste como son: (la distancia mínima ortogonal y el mejor ajuste mensual).

**a) Distancia mínima ortogonal (AWD)**

Se elaboró un diagrama de L-momentos ratios, que es un enfoque cualitativo, visualizando que distribución de probabilidad se ajusta a la serie de caudales analizada, la elección de una distribución es algo subjetivo, proponiendo un enfoque cuantitativo que mida la distancia mínima ortogonal (AWD) entre los L-momentos teóricos y los L-momentos de la muestra, es así que el menor valor de (AWD) es la mejor elección para representar la distribución de probabilidad para un determinado mes. Los cálculos se realizan mediante la aplicación de las ecuaciones (2.17) al (2.19).

Este procedimiento metodológico se realizó en su totalidad en el programa R y Rstudio.

**b) El mejor ajuste mensual (BMF)**

El mejor ajuste mensual (BMF), utiliza la prueba de Kolmogorov Smirnov (KS) para evaluar la máxima diferencia vertical entre la función de distribución teórica y la empírica, la distribución que posea la menor distancia o la que converja a 0 es la que representa mejor el comportamiento de los datos observados a nivel mensual, esta prueba se desarrolló en el programa R y Rstudio, mediante un estadístico y su respectiva representación gráfica.

**c) Usando diferentes distribuciones de probabilidad para cada serie mensual**

Del análisis previo (distancia mínima ortogonal y el mejor ajuste mensual), se muestra un índice de sequía de caudales estandarizada con una media y desviación estándar de (0,1), la serie de caudales mensuales se ajusta a diferentes distribuciones de probabilidad, por lo que, una serie de caudal anual es ajustada a varias distribuciones de probabilidad con parámetros independientes en cada sitio y cada mes, este procedimiento permite visualizar así los periodos húmedos y secos.

Esta metodológico se realizó en su totalidad en el programa R y Rstudio.

### 3.3.3 Caracterización de las sequías

La característica de las sequías sobre la zona de estudio es muy variada, para definir los eventos de sequías ocurridos en diferentes cuencas a lo largo de la costa peruana entre los años de 1960 y 2005, se obtuvo a partir de un índice de sequía de caudal estandarizado (SSI), para su evaluación se determinaron umbrales invariables en tiempo y espacio, la selección de los umbrales es algo subjetivo, esta fue realizada siguiendo las recomendaciones de trabajos recientemente publicados, se utilizó un promedio del percentil(20), (20% de probabilidad) para definir eventos de sequía moderada correspondiente a un valor de SSI de -0.84, y un percentil (5), (5% de probabilidad) para definir los eventos de sequía extrema con un valor de SSI de -1.65.

Las sequias hidrológicas se diferencian unas de otras en cuanto a sus tres características importantes como son: la magnitud, duración y extensión espacial, estas tres características en conjunto nos ayudan a determinar los impactos que producen en los recursos hídricos superficiales (embalses y ríos) y subterráneos (pozos), permitiendo estimar la vulnerabilidad del recurso hídrico ante la ocurrencia de un evento de sequía.

#### 3.3.3.1. Determinación de eventos de sequía

##### a) Duración

La duración de la sequía, es la suma de los eventos temporales con un caudal inferior al nivel de truncamiento definido previamente, pudiendo ser meses o hasta años.

##### b) Intensidad y Magnitud

La intensidad se determina en función al índice de sequía de caudal estandarizado (SSI), corresponde al valor máximo en un evento de sequía el cual posee una duración de tres meses como mínimo para ser considerado como sequía, en este estudio se consideró dos tipos de evento: los eventos que sobrepasan el nivel de truncamiento de -0.84 de intensidad en la escala del SSI, se denomina **sequía moderada**, mientras que los eventos que sobrepasan el nivel de truncamiento de -1.65 de intensidad en la escala del SSI se denomina **sequía extrema**.

La intensidad de sequía puede ser cuantificada en intensidad máxima e intensidad promedio.

**Intensidad Máxima.** Es la mayor diferencia entre el nivel de truncamiento y los eventos producidos, también definido como el déficit máximo, se caracteriza por su máxima desviación con respecto al umbral de truncamiento.

$$I_{max} = \max(U - Xi) \quad (3.01)$$

Dónde:

$U$  = umbral de truncamiento definido

$Xi$  = evento producido máximo (índice de sequía de caudales SSI)

**Intensidad Promedio.** Es el déficit promedio producido durante el evento de sequía, se define como la relación entre la sumatoria de déficit a partir del nivel de truncamiento y la duración de este evento, otro termino es la relación de la magnitud entre la duración.

$$I_{prom} = \frac{\sum(U - Xi)}{D} \quad (3.02)$$

Dónde:

$U$  = umbral de truncamiento definido

$Xi$  = evento producido máximo (índice de sequía de caudales SSI)

$D$  = duración temporal de un evento de sequía

La magnitud es la sumatoria de los valores deficitarios del SSI durante el evento de sequía a partir de un nivel de truncamiento.

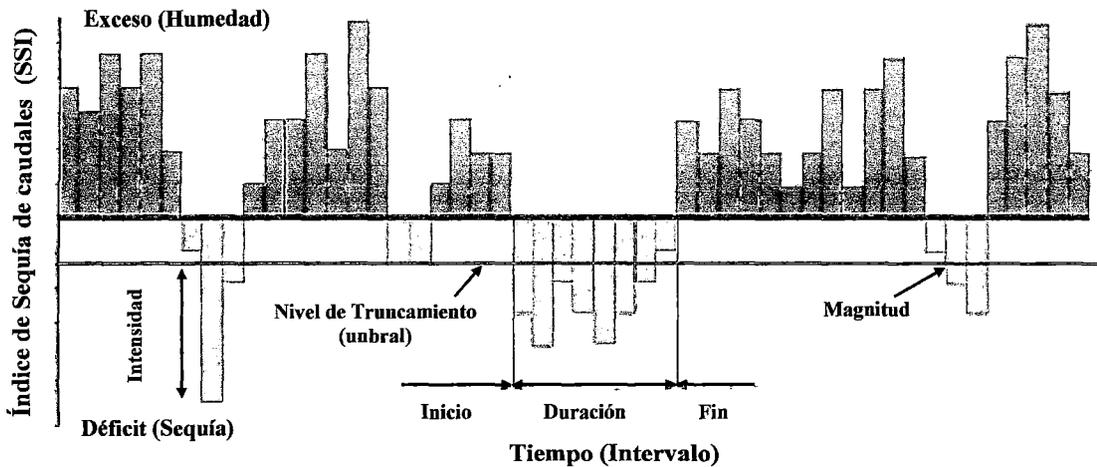
$$Magnitud = \sum(U - Xi) \quad (3.03)$$

Dónde:

$U$  = umbral de truncamiento definido

$Xi$  = evento producido máximo (índice de sequía de caudales SSI)

Los cálculo de duración, intensidad y magnitud se realiza con una serie temporal de un índice de sequía de caudal estandarizado (SSI) a nivel mensuales, definiendo los eventos de sequía que comienzan con el nivel de truncamiento de -0.84 (sequía moderada) y termina cuando el SSI supera el valor de truncamiento (-0.84). En la **Figura 3.5**, se muestra un ejemplo.



**Figura 3.5** Esquema de la serie cronológica de oferta - demanda para la identificación y caracterización de la duración y magnitud de la sequía bajo un nivel de truncamiento definido.

En el ejemplo de la **Figura 3.5**, se esquematiza el evento de sequía, las intensidades (SSI) de los 7 meses involucrados son -2.1, -2.6, -1.5, -2.2, -2.6, -2.1 y -1,5, que al sumarlas, dan una Magnitud de +14.6 (recuérdese que la fórmula multiplica a la sumatoria por  $-1$ ).

### c) Extensión espacial

La extensión espacial así como los daños producidos por un evento de sequía están ligados a la cobertura espacial, la caracterización del desarrollo espacial y temporal de la sequía, nos ayuda a entender el inicio y el fin de este fenómeno e identificar las zonas con mayor riesgo a sufrir temporadas secas, la caracterización es de mucha importancia dada su complejidad en el análisis espacial, el seguimiento del avance de este evento nos ayuda a estimar áreas bajo condiciones de sequedad para diferentes duraciones y niveles de intensidad (sequía moderada y/o sequía extrema) con la finalidad de poder evaluar la vulnerabilidad del recurso hídrico ante el incremento de la temperatura en la Vertiente del Océano Pacífico.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Tratamiento de datos

Las estaciones hidrométricas, seleccionadas según su registro histórico, fueron evaluadas mediante una estadística descriptiva como es el análisis exploratorio de datos, los supuestos básicos de toda variable hidroclimática se evaluaron estadísticamente aplicando algunos parámetros estadísticos (test) que nos ayude a tener una visión clara de los procesos que han ocurrido a lo largo del periodo de análisis.

El **Cuadro 4.1** muestra las estaciones seleccionadas y su registro histórico mediante líneas de tiempo coloreadas, correspondiente a un periodo de análisis de 1960 a 2005 (46 años), considerando que la ausencia de datos no debe ser más del 10% de la longitud de registro, de acuerdo a esta restricción las estaciones con mayor ausencia de información son: Est. Aricota ubicada en la unidad hidrográfica de Locumba (Tacna), con un total de 4 años de ausencia de información, la est. El Tigre ubicado en la unidad hidrográfica de Zarumilla-Tumbes (Tumbes), con 3.9 años de ausencia de información, cumpliendo así el requisito de no exceder el 10% de datos faltantes.

#### 4.1.1 Análisis exploratorio de datos

El análisis exploratorio se realizó para tener una aproximación del comportamiento de los datos analizados (examen de datos), de esta forma se detectó datos atípicos, ausencia de datos e inconsistencias que son de importancia previo a cualquier análisis estadístico.

Las metodologías realizadas en el análisis exploratorio de datos, consta de tres pruebas (Test), las cuales son: Estadística descriptiva, Gráfica de Boxplot y el Test de Grubbs.



La estadística descriptiva (**Cuadro 4.2**), de las estaciones analizadas, a un nivel anual muestra que las estaciones próximas al ecuador tienen un carácter torrencioso con un caudal medio superior a 100 m<sup>3</sup>/s, mientras que las estaciones hidrométricas que por su ubicación se encuentran en el centro de la costa peruana poseen un caudal medio aproximado de 25 m<sup>3</sup>/s, las estaciones que se encuentra al sur del país, poseen un caudal medio de 3 m<sup>3</sup>/s, estos indicadores muestran una alta variabilidad de la escorrentía superficial (caudales) a que estamos expuestos en el territorio nacional.

El **Cuadro 4.2** muestra el resumen de la estadística descriptiva de las estaciones representativas de la Vertiente del Pacífico, ubicada en el norte, centro y sur del Perú.

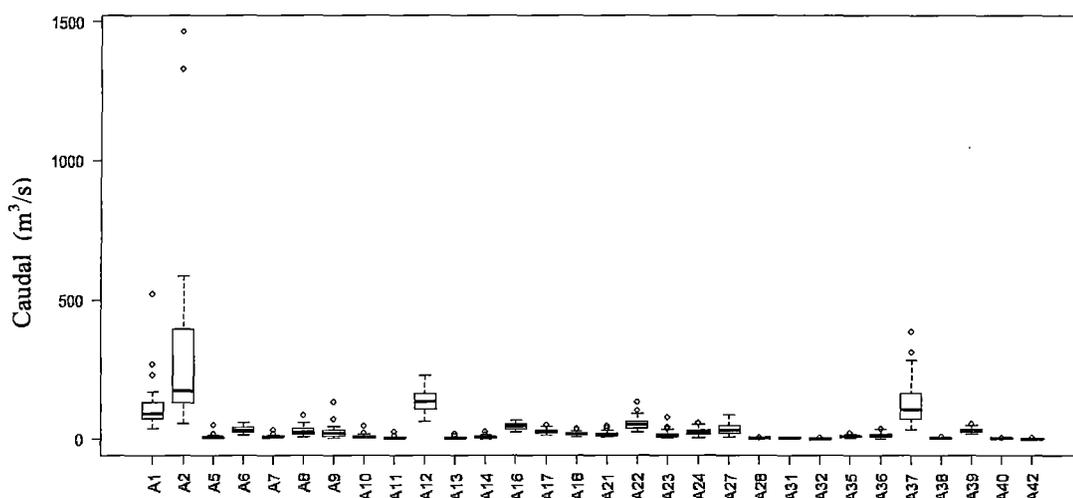
**Cuadro 4.2** Resumen de la Estadística descriptiva de caudales anuales (m<sup>3</sup>/s)

	Estación	Unidad Hidrográfica	Río	Reg	Min	Max	Media	Desv típica
Norte	El Tigre	Tumbes	Tumbes	46	38.28	519.70	110.59	77.23
	Ardilla	Chira	Chira	46	53.23	1463.00	291.95	280.68
	Puente Tumbes	Tumbes	Tumbes	46	34.08	385.40	126.93	80.60
Centro	Puente Alco	Huaura	Huaura	46	13.12	49.03	27.13	7.99
	Santo Domingo	Chancay-Huaral	Chancay-Huaral	46	5.19	33.48	16.02	5.64
	La Capilla	Mala	Mala	46	4.43	45.46	16.37	8.31
	Chosica	Rimac	Rimac	46	14.70	49.83	29.84	7.61
Sur	Chivaya	Ilo-Moquegua	Moquegua	46	0.23	2.87	1.07	0.56
	La Tranca	Sama	Sama	46	0.31	5.79	2.10	1.34
	Aguas Calientes	Caplina	Caplina	46	0.42	2.25	0.81	0.31

La gráfica de Boxplot (caja) correspondientes a los caudales medio anuales de cada una de las estaciones analizadas, muestra un patrón común, que la media y la desviación estándar aumentan en las estaciones ubicadas cerca al Ecuador, las cuales poseen un caudales torrenciosos. Se identificó que las estaciones próximas al Ecuador tienen un gran número de observaciones alejadas 1,5 veces del valor del rango intercuartil (cuartiles 1 y 3), los que podrían considerarse como valores atípicos o anormales. Sin embargo al examinar la totalidad de las estaciones, no es posible considerar tales valores como datos atípicos, ya que provienen de una muestra de valores atribuida a fenómenos globales como el ENOS (El Niño Oscilación del Sur), por lo tanto no se pueden considerar como valores atípicos a estas observaciones que se encuentran alejadas 1.5 veces del valor del rango intercuartil.

La **Figura 4.1** muestra la distribución de los caudales medio anuales de las 30 estaciones analizadas pertenecientes a la Vertiente del Pacífico, mediante la gráfica de cajas (Boxplot), observándose la presencia de valores atípicos, estos valores son más recurrentes durante los eventos ENOS (El Niño Oscilación del Sur) 1982-83 y 1997-98, así como en años No Niños, siendo estos menos significativos, los datos clasificados como atípicos pierden fundamento al examinar la totalidad de las estaciones, ya que estas muestran tendencias similares, el tamaño de la cajas nos indica la alta variabilidad que poseen las estaciones como la Est. Ardilla, Est. El Tigre, Est. Condorcerro y la estación ubicada en el puente Tumbes.

**Gráfica de cajas Caudal Anual**



**Figura 4.1** Diagrama de cajas de caudal anual por estaciones

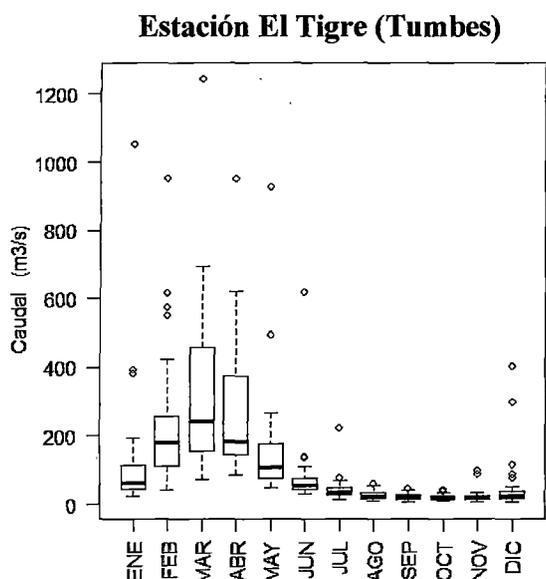
**Cuadro 4.3** Red de estaciones hidrométricas y su codificación

Nº	Estación	Nº	Estación	Nº	Estación
A1	El Tigre	A13	San Jacinto	A28	Chivaya
A2	Ardilla	A14	Sector Tutuma	A31	La Tranca
A5	Puchaca	A16	Yanapampa	A32	Aguas Calientes
A6	Raca Rumi	A17	Puente Alco	A35	La Achirana
A7	El Batan	A18	Santo Domingo	A36	Bella Unión
A8	Yonan	A21	La Capilla	A37	Puente Tumbes
A9	Salinar-Tambo	A22	Socsi-s y Toma imperial	A38	Aricota
A10	Quirihuac-Moche	A23	Conta	A39	Chosica
A11	Huacapongo	A24	Letrayoc	A40	Coranchay
A12	Condorcerro	A27	Chucarapi	A42	Piedras Blancas

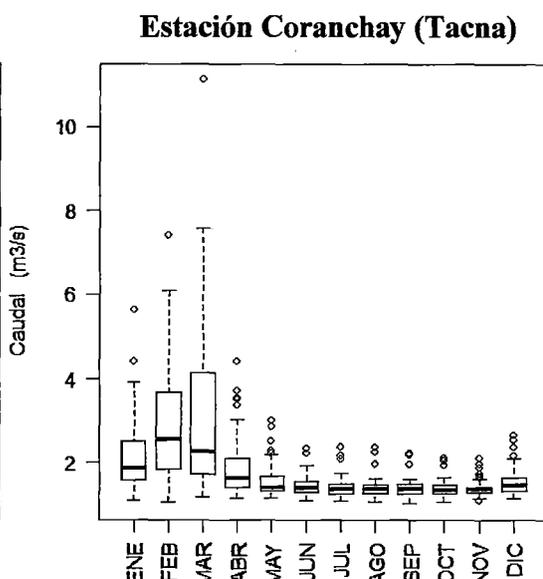
El **Cuadro 4.3** nos indica las estaciones analizadas en el presente estudio a lo largo de la costa peruana, perteneciente a la Vertiente del Océano Pacífico y su respectiva codificación para la identificación de las estaciones cuyo fin es netamente práctico.

La **Figura 4.2** muestra la distribución de los caudales a nivel mensual para la Estación hidrométrica El Tigre, la gráfica de cajas muestra los valores atípicos (1.5 veces el rango intercuartil) durante los meses lluviosos (diciembre - abril) principalmente y son recurrentes en los ENOS 1982-83 Y 1997-98, como estos cuantiles son semejantes a las estaciones vecinas, descartamos la condición de datos atípicos (datos dudosos) y aceptamos estos datos como válidos, la gráfica muestra un patrón, la media y la desviación estándar aumentan en los meses lluviosos, mientras que los meses de estiaje estos valores tienden a disminuir (se concentran). De esta manera se demuestra que los caudales tienen un comportamiento estacional (época de avenida y estiaje), también se demuestra el comportamiento estacionario a nivel anual (ciclo hidrológico).

La **Figura 4.3** muestra la distribución de los caudales mensuales de la estación hidrométrica Coranchay, la gráfica de cajas muestra los valores atípicos que se producen en los meses lluviosos (diciembre - abril), mientras que el resto de los meses son concentrados, la variabilidad del caudal que se produce es mínima pues el rango de caudales aforados fluctúa entre 0 m<sup>3</sup>/s (meses de estiaje) a 12 m<sup>3</sup>/s (meses de avenida), esta estación se caracteriza por encontrarse en una zona climática árida.



**Figura 4.2** Gráfica de caja, caudal mensual Est. El Tigre (Río Tumbes)



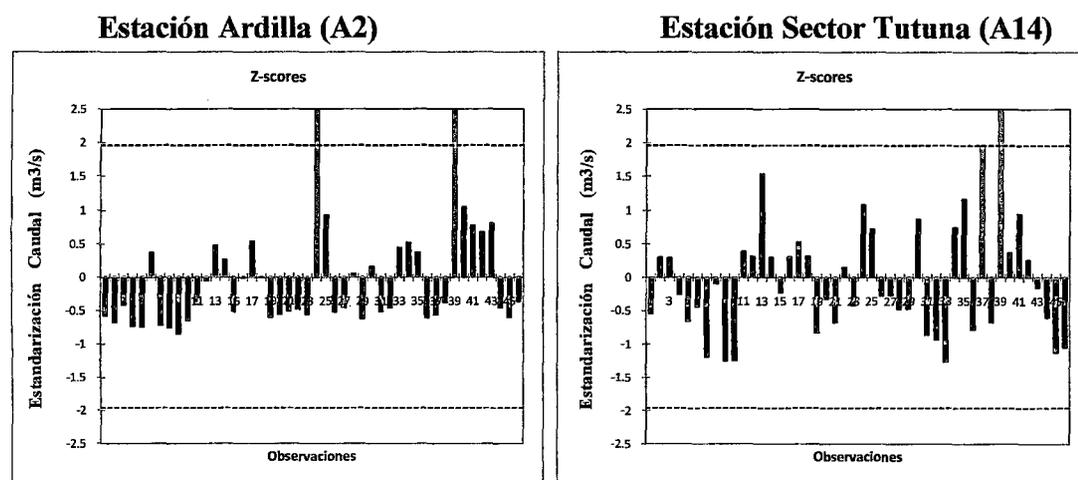
**Figura 4.3** Gráfica de caja, caudal mensual Est. Coranchay (Río Locumba)

En el **Anexo II** se muestran las gráficas de cajas (Boxplot) a un paso de tiempo mensual para cada una de las 30 estaciones hidrométricas analizadas.

Otro procedimiento de análisis que ayude a confirmar estos posibles valores atípicos, se evaluó el Test de Grubbs en base a la data estandarizada y a su longitud de registro, definiendo así un nivel de truncamiento.

En la **Figura 4.4** se observa la representación gráfica del Test de Grubbs para la Estación Ardilla (A2), la distribución de caudales medio anual de todo su registro es estandarizado internamente, el nivel de truncamiento es definido según su longitud de registro, visualizándose con la líneas punteadas próxima al valor estandarizado 2. Se puede observar claramente dos líneas rojas que sobrepasan este nivel de truncamiento, los cuales se pueden considerar como valores atípicos, estos valores corresponden a los eventos ENOS 1982-83 y 1997-98, considerándose como datos válidos atribuidos a evento global. La Estación Sector Tutuna (A14) en su registro histórico medio anual, se puede observar la presencia de 2 valores atípicos, el mayor de ellos atribuido al evento ENOS de 1997-98, mientras que la primera barra roja es considerada como un valor atípico del año 1995-96, este barra no guarda relación con las otras estaciones cercanas, un análisis profundo sería necesario para observar que meses y valores son los que alteran este registro anual, evaluando el Test de Grubbs a un nivel de registro mensual para esta estación.

Se recordará que cada barra corresponde al registro de un año promedio para cada estación analizada.



**Figura 4.4** Gráfica del Test de Grubbs a un paso de tiempo anual.

En el **Anexo III** se muestran los gráficos del Test de Grubbs a un paso de tiempo anual para cada una de las 30 estaciones hidrométricas analizadas.

#### 4.1.2 Estimación y completación de datos de caudal faltantes

La estimación a causa de la presencia de datos faltantes, se realizó aplicando diferentes pruebas estadísticas, entre ellos el **promedio aritmético simple**, el cual es un método comúnmente usado por su simplicidad al estimar un dato ausente para el periodo de un año, el **método del vector regional (MVR)**, se utilizó cuando la data ausente varió entre 2 a 12 datos para el periodo de un año, estos dos métodos se aplicaron teniendo como referencia el **Cuadro 4.1** pudiendo observarse varias estaciones con data ausente para el periodo de un año.

El método del vector regional (**MVR**), construye en una región una suerte de estación ficticia que integra la información de una región, a fin de poder comparar cada estación con la estación ficticia, este método nos ayuda a seleccionar las estaciones que tengan una buena correlación con el vector y realizar la completación de data ausente mediante el método de regresión múltiple.

**Cuadro 4. 4 Estaciones con data faltante**

N°	Estación	Río	Método de completación	
			Prom. Arit. Simple	Met. Regresión Múltiple
A1	EL TIGRE	Tumbes	3	4
A5	PUCHACA	Lá Leche	2	-
A6	RACA RUMI	Chancay-Lambayeque	1	1
A7	EL BATAN	Zaña	1	-
A10	QUIRIHUAC-MOCHE	Moche	3	-
A11	HUACAPONGO	Viru	3	-
A13	SAN JACINTO	Nepeña	4	5
A14	SÉCTOR TÚTUNÁ	Casma	2	3
A16	YANAPAMPA	Pativilca	1	1
A17	PUENTE ALCO	Huaura	1	1
A18	SANTO DOMINGO	Chancay-Huaral	2	1
A21	LA CAPILLA	Mala	1	-
A22	SOCSI - TOMA IMPER	Cañete	3	3
A23	CONTA	San Juan	1	5
A24	LETRAYOCC	Pisco	1	-
A27	CHUCARAPI	Tambo	3	2
A28	CHIVAYA	Moquegua	2	-
A31	LA TRANCA	Sama	1	3
A35	LA AGHIRANA	Ica	2	4
A36	BELLA UNIÓN	Acarí	3	2
A37	PUENTE TUMBES	Tumbes	-	1
A38	ARICOTA	Locumba	-	4
A39	CHOSICA	Rímac	6	4
A40	CORANCHAY	Locumba	-	2
<b>Total</b>			<b>46</b>	<b>46</b>

El **Cuadro 4.4** muestra como resultado la cantidad de datos faltantes para cada estación, considerando los dos métodos utilizados como son: promedio aritmético simple y regresión múltiple, la completación mediante el promedio aritmético simple requiere estimar 46 datos por encontrarse ausentes, mientras que la completación mediante el método de regresión múltiple requiere previamente realizar la regionalización, agrupando las estaciones optimas (alta correlación con el Vector) en regiones.

#### 4.1.2.1 Agrupamiento de estaciones

La aplicación del método del Vector Regional (**MVR**) para la selección adecuada de las estaciones con una alta correlación entre ellas y el Vector, se realizó mediante un proceso de filtrado de prueba error, este proceso se realizó en forma reiterativa, cuyo objetivo final fue seleccionar las estaciones con un comportamiento hidrológico similar, que tengan una alta correlación con el Vector.

La agrupación se realizó con aquellas estaciones que posean un comportamiento hidrológico similar y que estadísticamente tenga una alta correlación con el Vector, agrupando las estaciones en regiones, con fines prácticos estas estaciones se agruparon en cuatro regiones para la Vertiente del Pacífico, como se detalla estadísticamente a continuación, observando un resultado grafico al final de este análisis.

**Cuadro 4.5** Estaciones óptimas para la región 1

Estación	Río	No Años	Coef. Variación	D.E. Desvíos	Correl. /Vector	Calidad(/10)
EL TIGRE	Tumbes	15	0.399	0.147	0.951	8.5
ARDILLA	Chira	21	0.632	0.306	0.857	6.4
PUCHACA	La Leche	21	0.464	0.155	0.96	8.8
RACA RUMI	Chancay-Lambayeque	19	0.385	0.206	0.869	6.8
EL BATAN	Zaña	21	0.479	0.18	0.922	6.7
PUENTE TUMBES	Tumbes	20	0.587	0.254	0.883	6.4

De acuerdo al **Cuadro 4.5**, se muestra los indicadores estadísticos de decisión de las estaciones agrupadas para la región 1 con una alta correlación (superior a 0.80) con el Vector. El desvío del grupo es de 0.22, el número de años es variado, entre 15 y 21 años de registro, y la estación con la mejor calidad en su registro es la Puchaca con (8.8).

La **Figura 4.5** muestra el vector Regional de la región 1 generado por el método de Brunet Moret en base a seis estaciones, con un comportamiento estadístico similar, el vector fue formado con tres datos mínimos para el periodo de un año.

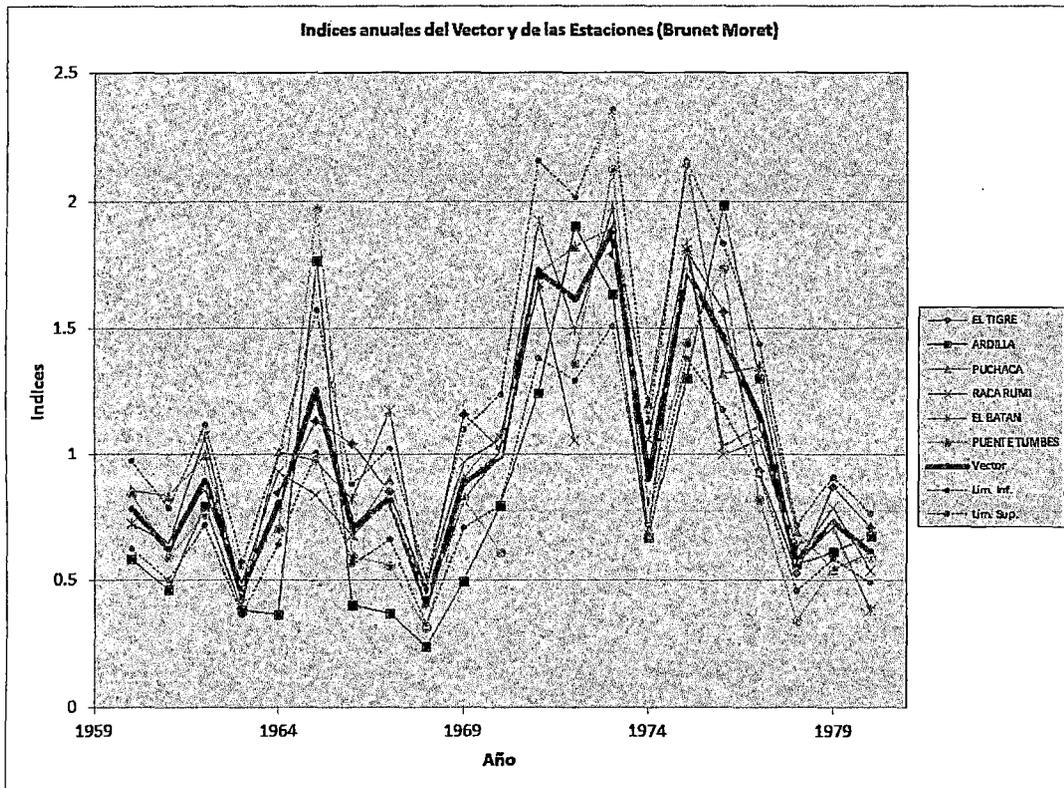


Figura 4.5 Método del Vector regional con las mejores estaciones para la región 1

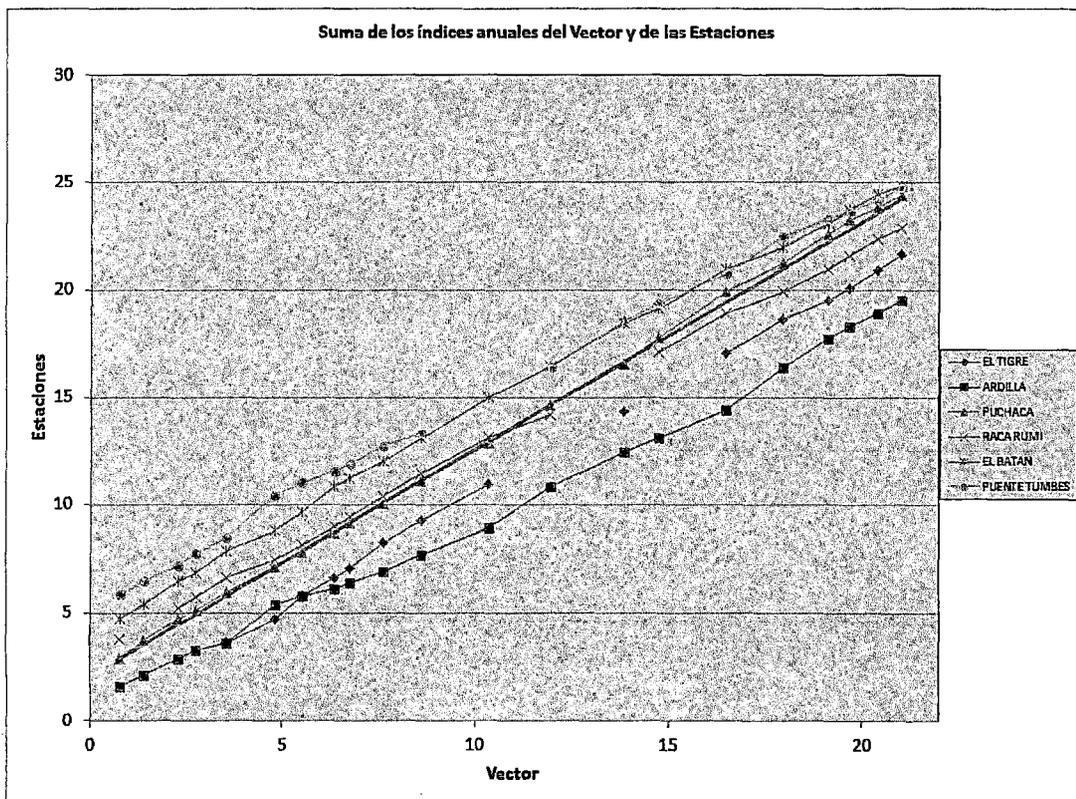


Figura 4.6 Gráfica de doble masa de la región 1.

La **Figura 4.6** muestra la gráfica de doble masa para la región 1, en él se puede observar que la estación Puchaca es la más estable respecto a las estaciones del grupo, seleccionamos la estación Puchaca como patrón y otras estaciones que contengan una alta correlación con el vector, para implementar el método de regresión múltiple a fin de realizar la estimación y completación de datos faltantes entre las estaciones del grupo.

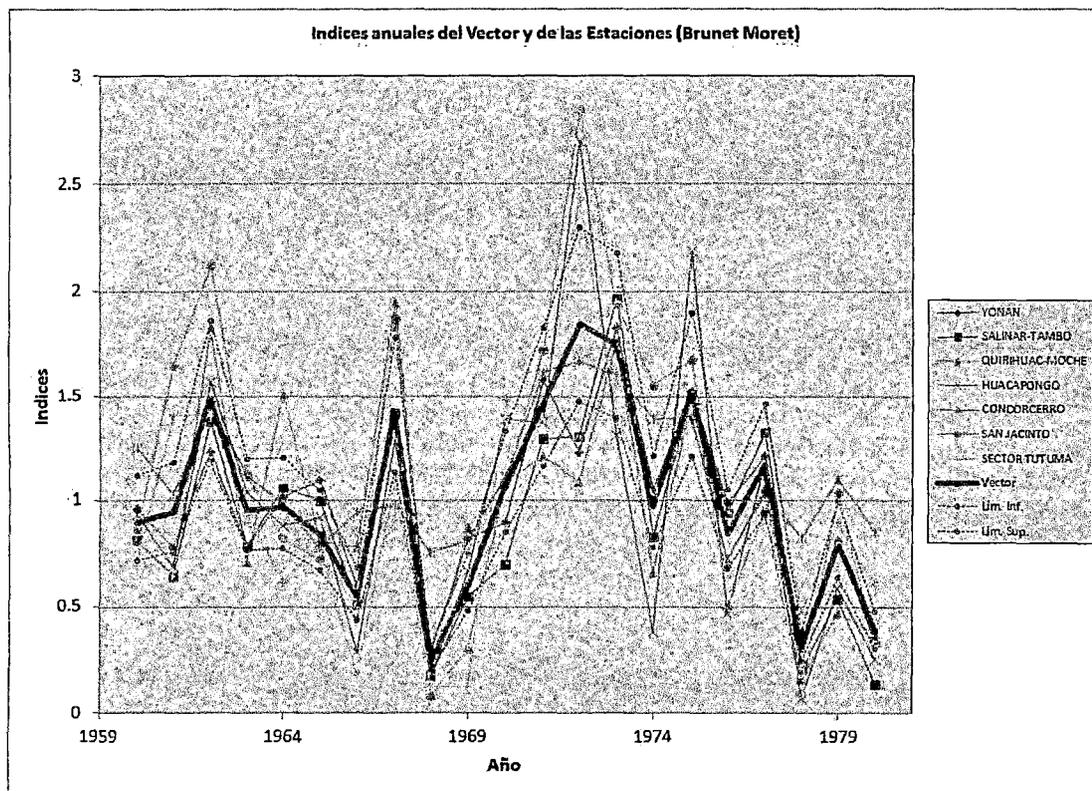
El **Cuadro 4.6** muestra los indicadores estadísticos para las estaciones que tenga una alta correlación con el Vector, conformando así la región 2. El desvío del grupo es de 0.29, la región está conformada por siete estaciones, las estaciones con las mejores correlaciones con el vector son dos Salinar-Tambo y la estación San Jacinto, ambas con 92.3% de correlación, siendo la estación con la mejor calidad de datos Salinar-Tambo, el número de años analizado es de 21 años de registro para todo el grupo.

**Cuadro 4.6** Estaciones óptimas para la región 2

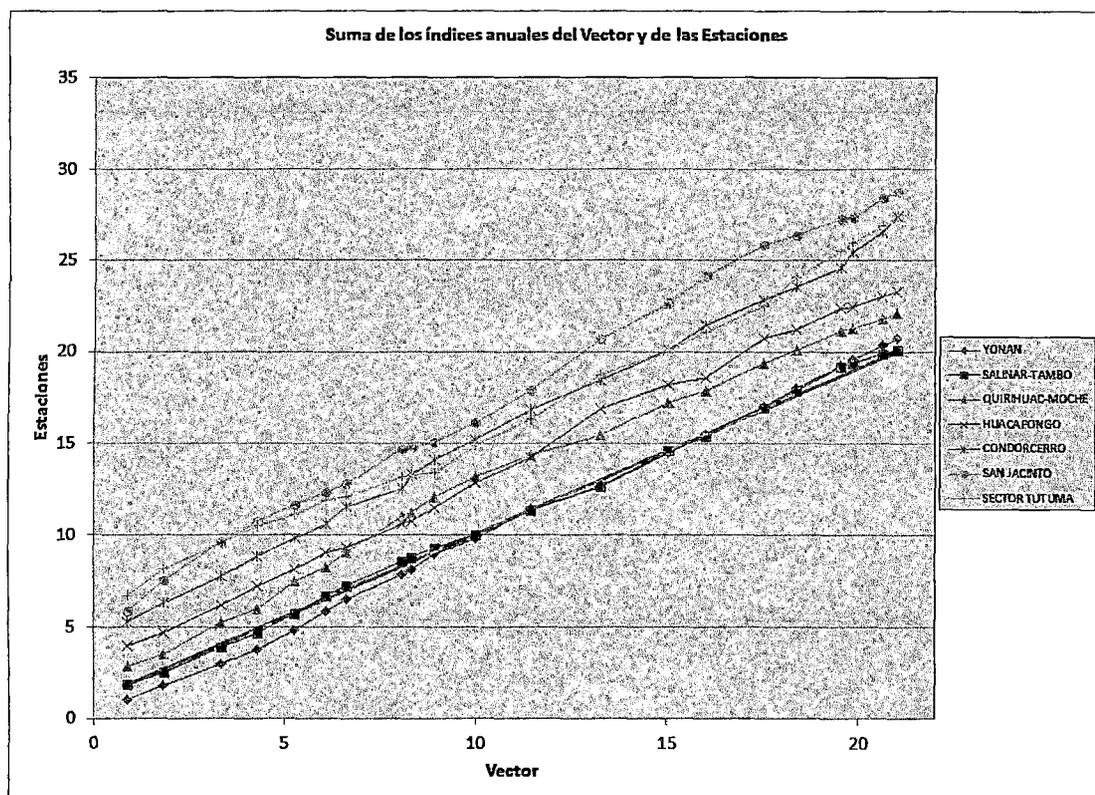
Estación	Río	No Años	Coef. Variación	D.E. Desvíos	Correl. /Vector	Calidad(/10)
SALINAR-TAMBO	Chicama	21	0.533	0.204	0.923	7.5
SAN JACINTO	Nepeña	21	0.653	0.38	0.923	6.8
YONAN	Jequetepeque	21	0.415	0.182	0.911	8.3
HUACAPONGO	Viru	21	0.685	0.33	0.886	3.4
CONDORCERRO	Santa	21	0.268	0.284	0.824	3.1
SECTOR TUTUMA	Casma	21	0.562	0.327	0.815	4
QUIRIHUAC-MOCHE	Moche	21	0.532	0.296	0.812	4.5

La **Figura 4.7** muestra el Vector Regional de la región 2 generado por el método de Brunet Moret en base a siete estaciones, con un comportamiento estadístico similar, el Vector fue formado con tres datos mínimos para el periodo de un año.

La **Figura 4.8** muestra la gráfica de doble masa para la región 2, en él se puede observar que las estaciones Salinar-tambo y la estación San Jacinto son las más estables con respecto a las estaciones del grupo, seleccionamos la estación Salinar-Tambo como patrón y otras estaciones que contengan una alta correlación con el vector, para implementar el método de regresión múltiple a fin de realizar la estimación y completación de datos faltantes entre las estaciones del grupo.



**Figura 4.7** Método del Vector regional con las mejores estaciones para la región 2



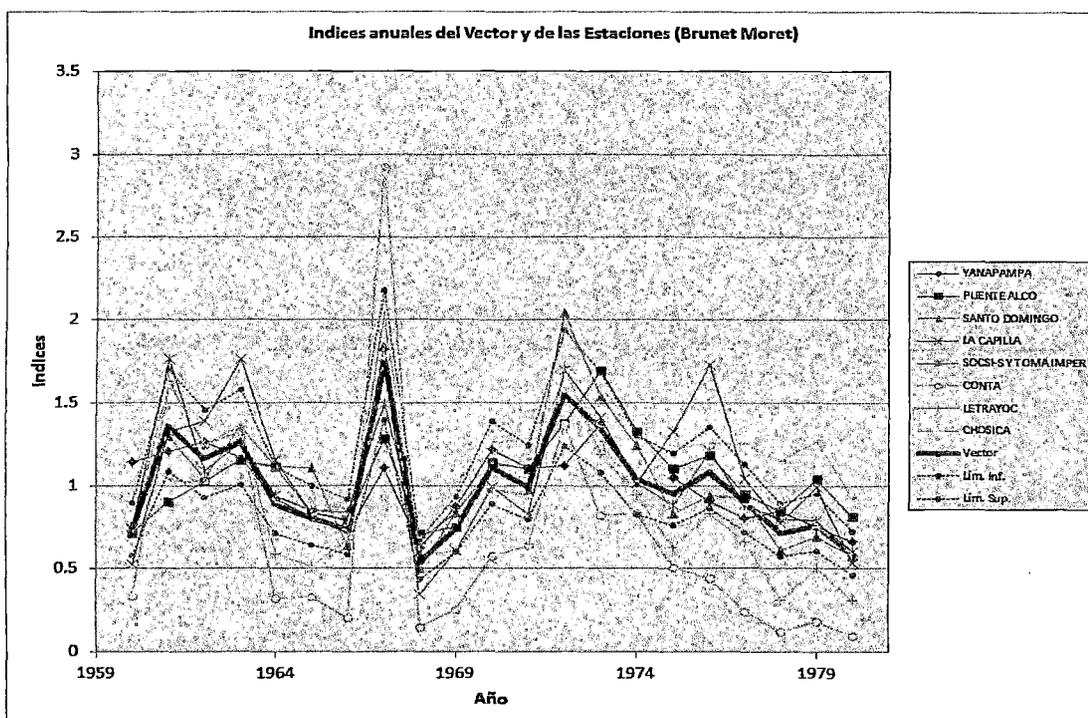
**Figura 4.8** Gráfica de doble masa de la región 2.

El Cuadro 4.7 muestra los indicadores estadísticos para las estaciones que tenga una alta correlación con el Vector, conformando así la región 3. El desvío del grupo es de 0.27, la región está conformada por ocho estaciones, la estación con la mejor correlación con el vector es Letrayoc, con 94.5% de correlación, pero no es la estación de mejor calidad, pues hay discrepancia con la estación Santo Domingo y Sosci, el número de años analizado está fluctuando entre 17 y 21 años de registro.

**Cuadro 4.7 Estaciones óptimas para la región 3**

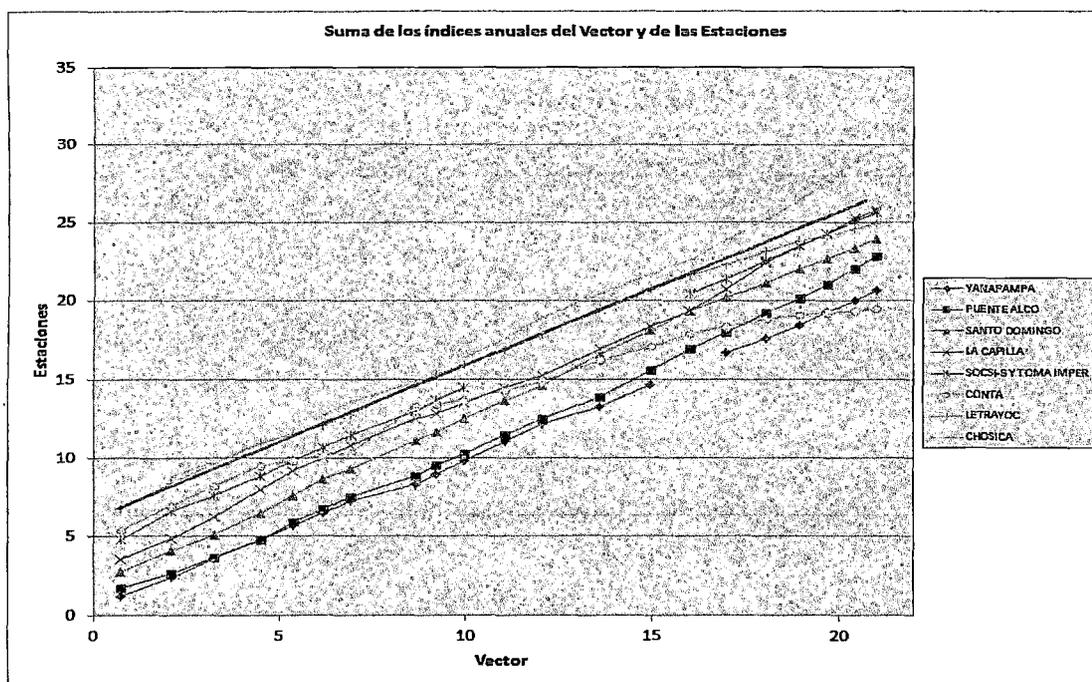
Estación	Río	No Años	Coef. Variación	D.E. Desvíos	Correl. /Vector	Calidad(/10)
LETRAYOC	Pisco	21	0.518	0.215	0.945	8
SANTO DOMINGO	Chancay-Huaral	21	0.387	0.165	0.927	9.1
SOCSE-SYTOMA IMP	Cañete	17	0.306	0.135	0.906	9.1
CONTA	San Juan	21	0.993	0.516	0.900	5.6
LA CAPILLA	Mala	21	0.396	0.236	0.860	7.8
YANAPAMPA	Pativilca	20	0.22	0.216	0.737	6.9
PUENTE ALCO	Huaura	21	0.24	0.214	0.736	7.9
CHOSICA	Rimac	18	0.161	0.284	0.495	8.9

La Figura 4.9 muestra el Vector Regional de la región 3 generado por el método de Brunet Moret en base a siete estaciones, con un comportamiento estadístico similar, el Vector fue formado con tres datos mínimos para el periodo de un año.



**Figura 4.9 Método del Vector regional con las mejores estaciones para la región 3**

La **Figura 4.10** muestra la gráfica de doble masa para la región 3, en él se puede observar que la estación Letrayocc es la más estable con respecto a las estaciones del grupo, seleccionamos la estación Lerayocc como patrón y otras estaciones que contengan una alta correlación con el vector, para implementar el método de regresión múltiple a fin de realizar la estimación y completación de datos faltantes entre las estaciones del grupo.



**Figura 4.10** Gráfica de doble masa de la región 3.

El **Cuadro 4.8** muestra los indicadores estadísticos para las estaciones que tenga una alta correlación con el Vector, conformando así la región 4. El desvío del grupo es de 0.31, la región está conformada por siete estaciones, la estación con la mejor correlación con el vector es La Tranca, con 95.5% de correlación, el número de años analizados está fluctuando entre 18 y 21 años de registro.

**Cuadro 4.8** Estaciones óptimas para la región 4

Estación	Río	No Años	Coef. Variación	D.E. Desvíos	Correl. /Vector	Calidad(/10)
LA TRANCA	Sama	18	0.663	0.256	0.955	5.7
ARICOTA	Locumba	18	0.427	0.206	0.865	9.2
CORANCHAY	Locumba	21	0.287	0.216	0.861	8.2
CHUCARAPI	Tambo	21	0.494	0.265	0.843	5.4
LA ACHIRANA	Ica	21	0.46	0.257	0.809	6.5
BELLA UNIÓN	Acari	20	0.725	0.431	0.729	1.4
AGUAS CALIENTES	Caplina	21	0.252	0.422	0.681	5.5

La Figura 4.11 y 4.12 muestra el Vector Regional para la región 4, basado en siete estaciones, con un comportamiento estadístico similar, la Figura 4.12 muestra la gráfica de doble masa para la región 4, la estación la Tranca es la más estable con respecto a las estaciones del grupo. Con un coeficiente de correlación de 95.5%.

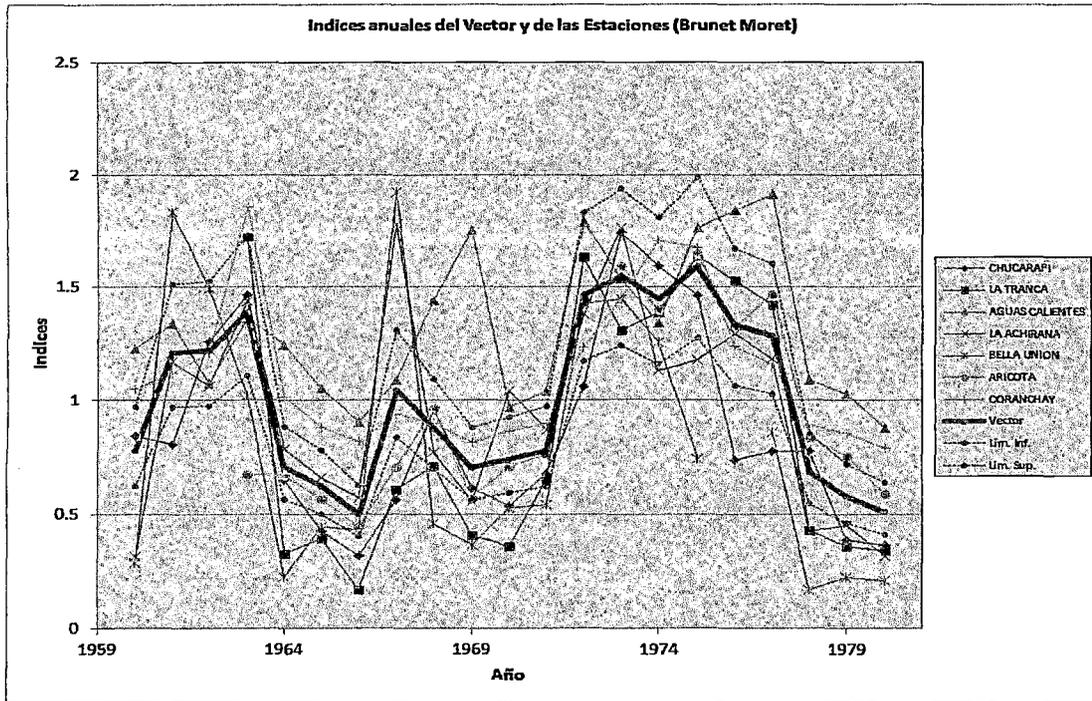


Figura 4.11 Método del Vector regional con las mejores estaciones para la región 4

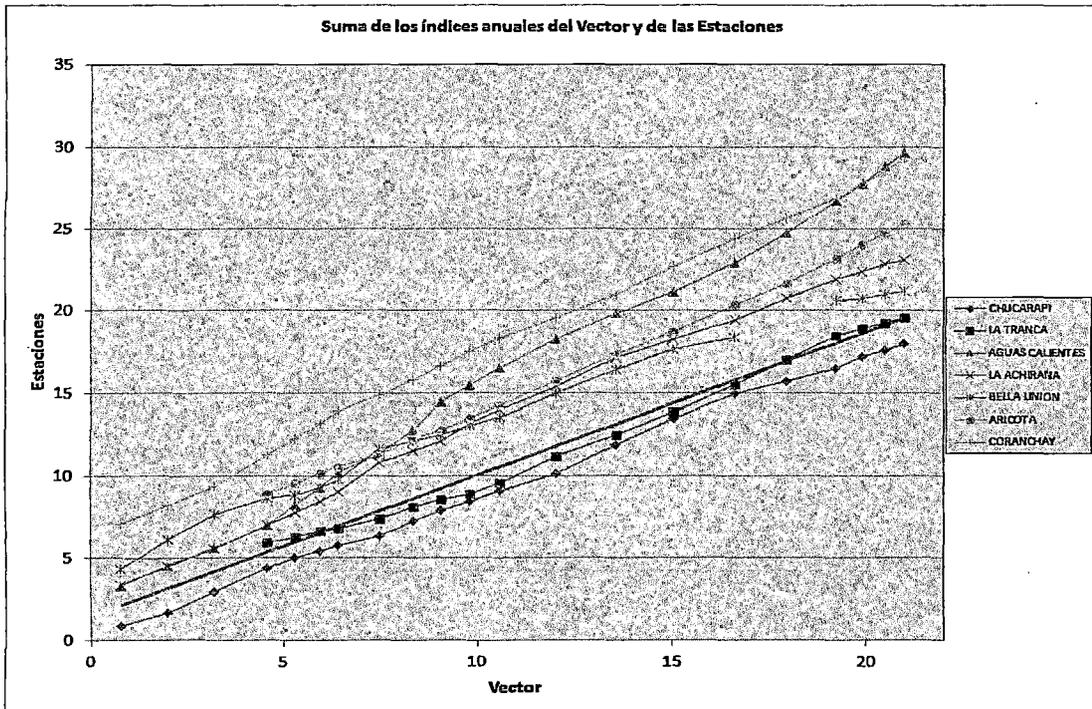


Figura 4.12 Gráfica de doble masa de la región 4.

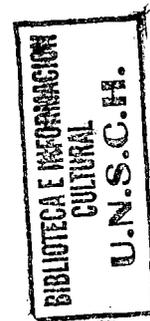
**Cuadro 4. 9 Resumen. Regiones Homogéneas**

N°	Estación	Río	Región	Correl. /Vector	Calidad(/10)
A1	EL TIGRE	Tumbes	1	0.951	8.5
A2	ARDILLA	Chira	1	0.857	6.4
A5	PUCHACA	La Leche	1	0.96	8.8
A6	RACA RUMI	Chancay-Lambayeque	1	0.869	6.8
A7	EL BATAN	Zaña	1	0.922	6.7
A37	PUNTE TUMBES	Tumbes	1	0.883	6.4
A9	SALINAR-TAMBO	Chicama	2	0.923	7.5
A13	SAN JACINTO	Nepeña	2	0.923	6.8
A8	YONAN	Jequetepeque	2	0.911	8.3
A11	HUACAPONGO	Víru	2	0.886	3.4
A12	CONDORCERRO	Santa	2	0.824	3.1
A14	SECTOR TUTUMA	Casma	2	0.815	4.0
A10	QUIRIHUAC-MOCHE	Moche	2	0.812	4.5
A24	LETRAYOC	Pisco	3	0.945	8.0
A18	SANTO DOMINGO	Chancay-Huaral	3	0.927	9.1
A22	SOCSI-S Y TOMA IMP	Cañete	3	0.906	9.1
A23	CONTA	San Juan	3	0.900	5.6
A21	LA CAPILLA	Mala	3	0.860	7.8
A16	YANAPAMPA	Pativilca	3	0.737	6.9
A17	PUNTE ALCO	Huaura	3	0.736	7.9
A39	CHOSICA	Rimac	3	0.495	8.9
A31	LA TRANCA	Sama	4	0.955	5.7
A38	ARICOTA	Locumba	4	0.865	9.2
A40	CORANCHAY	Locumba	4	0.861	8.2
A27	CHUCARAPI	Tambo	4	0.843	5.4
A35	LA ACHIRANA	Ica	4	0.809	6.5
A36	BELLA UNIÓN	Acari	4	0.729	1.4
A32	AGUAS CALIENTES	Caplina	4	0.681	5.5

El Cuadro 4.9 muestra el resultado de las estaciones agrupadas en regiones con una alta correlación con el Vector en cada región formada, la metodología utilizada para dicha agrupación es el Método del Vector Regional (MVR), a partir de estas agrupaciones se precedió a realizar la completación de datos faltantes (método de regresión múltiple) para cada una de las estaciones dentro de cada región formada.

La Figura 4.13 muestra las estaciones hidrométricas con un comportamiento hidrológico similar, agrupadas en cuatro regiones hidrológicas a lo largo de la costa peruana, en la Vertiente del Océano Pacífico.

La región 01 está formada por seis estaciones hidrométricas (color verde), ubicados en la parte norte del Perú, la región 02 se encuentra en el norte, entre la región 01 y 03, formada por siete estaciones hidrométricas (color lila), la región 03 se encuentra en el centro del Perú, conformada por ocho estaciones hidrométricas (color azul), mientras que la región 04 se ubica en la parte sur del Perú, conformadas por siete estaciones hidrométricas (color rojo), todas ellas con una alta correlación con el Vector, aplicando la regresión múltiple entre las estaciones de cada región para completar la data ausente.



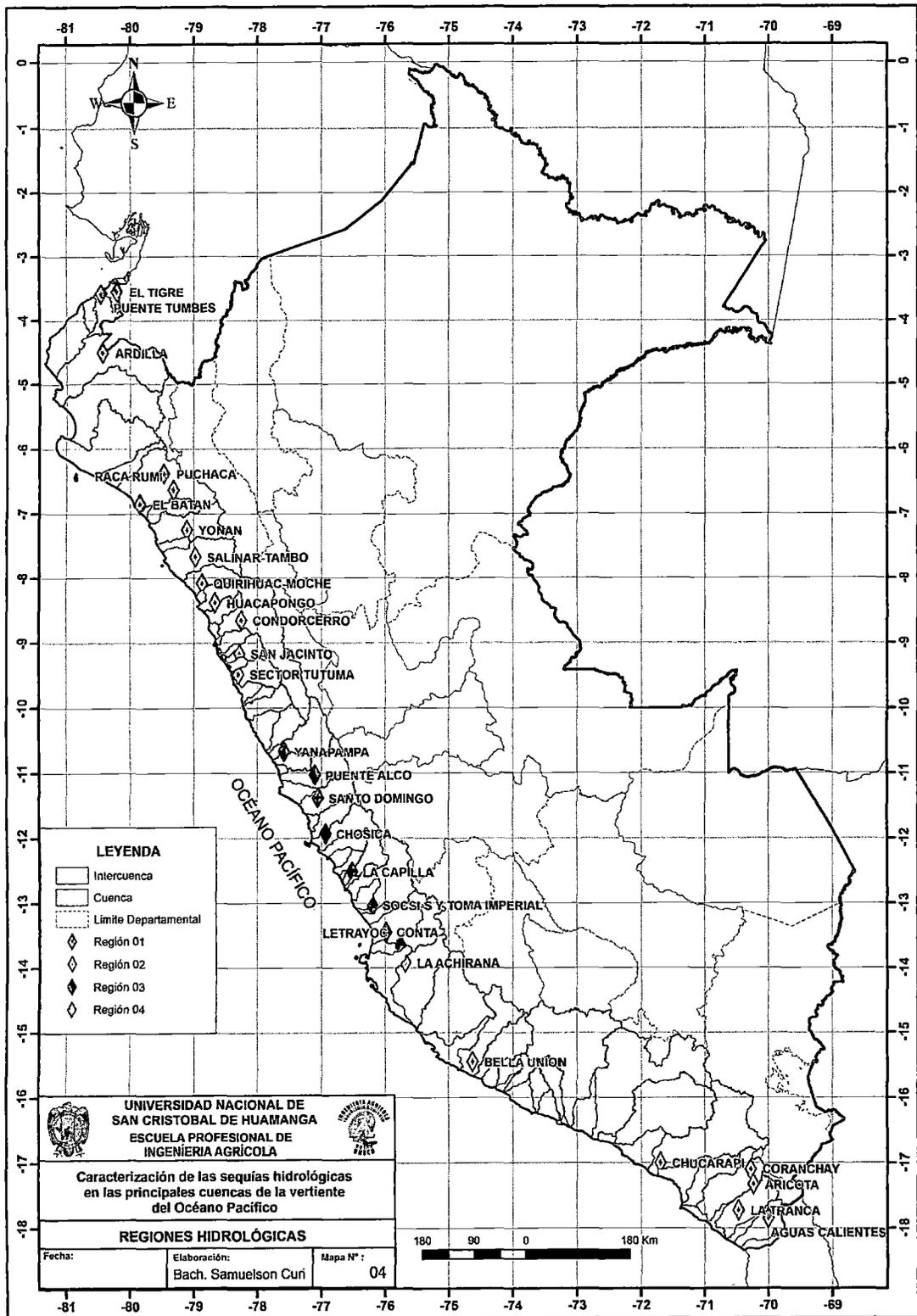


Figura 4. 13 Regiones Homogéneas.

### 4.1.3 Análisis de Tendencia y quiebres

A continuación se describen los resultados obtenidos de dos diferentes pruebas o tests que nos ayude a tener una visión clara de los procesos que han ocurrido a lo largo del periodo de análisis, que permiten afirmar la existencia o no de la tendencia y quiebres en cada estación. Los parámetros evaluados son, caudal media anual y caudal medio mensual en un registro de 46 años para un nivel de significancia de 5%.

El Cuadro 4.10 muestra los resultados del análisis de Tendencia del registro anual, obtenidos con el software (Xlstat), aplicado a toda la data consistente de caudales, se puede observar que en la mayoría de estaciones no se puede rechazar la hipótesis nula (no existe Tendencia en la serie). Se entiende por N.S no significativo (no existe tendencia) a excepción de la Est. Piedras Blancas, se aplicó el test de Mann-Kendall modificado, el cual elimina la auto correlación que pueda existir en la serie de datos analizadas.

**Cuadro 4.10** Análisis de Tendencias y quiebres a un paso de tiempo anual.

Estación	INICIO	FIN	n	QUIEBRES			TENDENCIA	
				Test de Pettit			Test de Mann-Kendall	
				p-valor	Signifi.	Año camb.	p-valor	Signifi.
El Tigre	1960	2005	46	0.426	N.S	-	0.695	N.S
Ardilla	1960	2005	46	0.010	S	(1969)	0.047	S
Puchaca	1960	2005	46	0.148	N.S	-	0.489	N.S
Raca Rumi	1960	2005	46	0.079	N.S	-	0.327	N.S
El Batan	1960	2005	46	0.732	N.S	-	0.758	N.S
Yonan	1960	2005	46	0.293	N.S	-	0.556	N.S
Salinar-Tambo	1960	2005	46	0.509	N.S	-	0.791	N.S
Quirihuac-Moche	1960	2005	46	0.574	N.S	-	0.854	N.S
Huacápongo	1960	2005	46	0.301	N.S	-	0.426	N.S
Condorcero	1960	2005	46	0.297	N.S	-	0.452	N.S
San Jacinto	1960	2005	46	0.912	N.S	-	1.000	N.S
Sector Tutuma	1960	2005	46	0.459	N.S	-	0.910	N.S
Yanapampa	1960	2005	46	0.033	S	(1984)	0.050	N.S
Puente Alco	1960	2005	46	0.387	N.S	-	0.941	N.S
Santo Domingo	1960	2005	46	0.154	N.S	-	0.424	N.S
La Capilla	1960	2005	46	0.458	N.S	-	0.676	N.S
Socsi-s y Toma imper	1960	2005	46	0.897	N.S	-	0.990	N.S
Conta	1960	2005	46	0.040	S	(1976)	0.345	N.S
Letrayoc	1960	2005	46	0.590	N.S	-	0.938	N.S
Chucarapi	1960	2005	46	0.469	N.S	-	0.541	N.S
Chivaya	1960	2005	46	0.000	S	(1977)	0.073	N.S
La Tranca	1960	2005	46	0.647	N.S	-	0.954	N.S
Aguas Calientes	1960	2005	46	0.305	N.S	-	0.818	N.S
La Achirana	1960	2005	46	0.508	N.S	-	0.670	N.S
Bella Union	1960	2005	46	0.217	N.S	-	0.816	N.S
Puente Tumbes	1960	2005	46	0.840	N.S	-	0.876	N.S
Aricota	1960	2005	46	0.020	S	(1971)	0.133	N.S
Chosica	1960	2005	46	0.064	N.S	-	0.075	N.S
Coranchay	1960	2005	46	0.015	S	(1977)	0.179	N.S
Piedras Blancas	1960	2005	46	0.001	S	(1980)	0.005	S

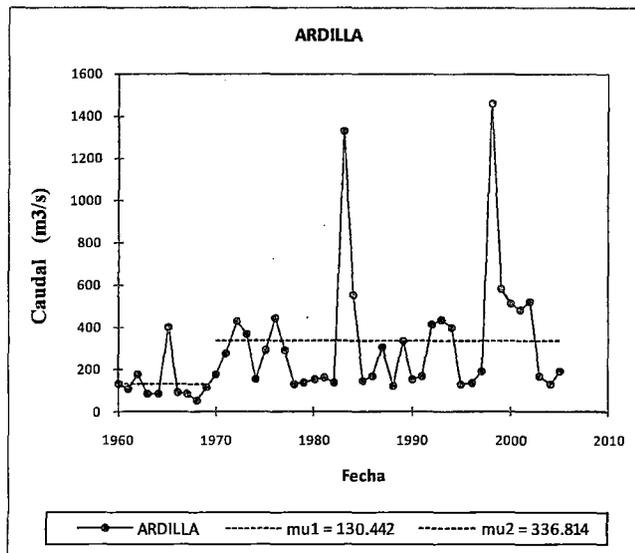
N.S : NO SIGNIFICATIVO

$\alpha = 0.05$  NIVEL DE SIGNIFICANCIA

S : SIGNIFICATIVO

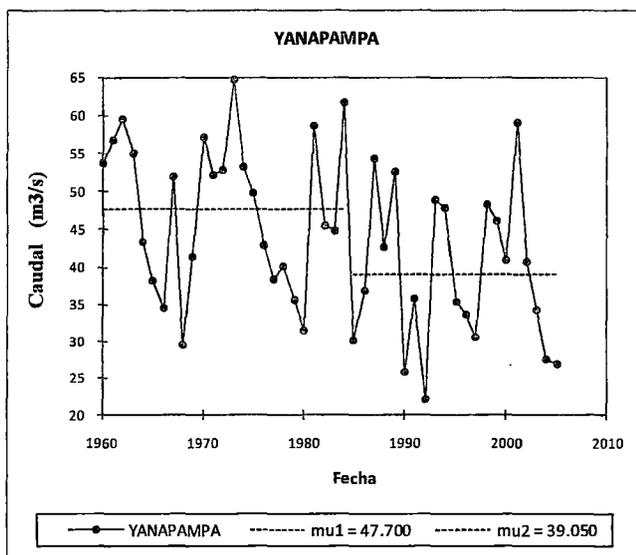
Los resultados del análisis de quiebres o saltos se muestran en el **Cuadro 4.10**, se aplicó la prueba de Pettitt a la serie anual de las estaciones analizadas, comprobando la ocurrencia de saltos (rompimiento de serie) en algunas estaciones (Est.Ardilla, Est.Yanapampa, Est.Conta, Est.Chivaya, Est.Aricota, Est.Coranchay y Est.Piedras Blancas), estas estaciones son consideradas no homogéneas porque su registro media anual cambia en un determinado año por causas antrópicas (trasvases o represamiento) o causas naturales (variabilidad climática) alterando la oferta que produce dicha cuenca en un determinado año cambiando el caudal medio ( $m^3/s$ ) en su registro histórico.

La **Figura 4.14** muestra la serie de caudal anual de la estación Ardilla ubicado en el río Chira, departamento de Piura, observándose la alteración en su registro medio (rompimiento de serie), la línea roja muestra el registro del año 1960 a 1969 con un valor medio de  $130.4 m^3/s$ , mientras que la línea verde muestra el registro del año 1969 a 2005 cuyo valor medio es de  $336.8 m^3/s$ , debido a estas alteraciones, los supuestos básicos de toda variable hidroclimática no se cumplen en esta estación. (No son Estacionarios, hay tendencia, No es Homogéneo)



**Figura 4.14** Gráfica del Test de Pettitt (rompimiento de serie) Est. Ardilla (río Chira).

La **Figura 4.15** muestra la serie de caudal anual de la estación Yanapampa, ubicado en el río Pativilca, departamento de Lima, el cual posee alteración en su registro medio anual, la línea roja muestra el registro del año 1960 a 1984 con un valor medio de  $47.7 m^3/s$ , mientras que la línea verde muestra el registro del año 1984 a 2005 cuyo valor medio es de  $39.0 m^3/s$ .



**Figura 4.15** Gráfica del Test de Pettitt (rompimiento de serie) Est. Yanapampa (río Pativilca)

En el **Anexo IV** se muestran los gráficos de la prueba de Pettitt a un paso de tiempo anual para cada una de las 30 estaciones hidrométricas analizadas.

El análisis de Tendencia en los registros de caudal anual, se puede concluir que no hay variación (No Significativo) con un 95% de confianza a excepción de la estación Ardilla y Piedras Blancas. La prueba de Pettitt muestra que en estas estaciones hay un rompimiento de serie, confirmado que ocurrió una alteración (aumento/disminución) en su registro histórico con un 95% de confianza (certeza).

El **Cuadro 4.11** muestra el resultado del análisis de Tendencia a nivel mensual de las 30 estaciones analizadas, se puede observar que la estación Ardilla no posee tendencia a un paso de tiempo mensual, en comparación con la tendencia anual, el cual si es significativo, la prueba de Pettitt para la estación Ardilla a un paso de tiempo anual muestra que se produce un salto (rompimiento de serie), el cual es significativo para que se produzca tendencia a un paso de tiempo anual en la estación Ardilla.

Los valores coloreados muestran que en aquellas estaciones se han producido tendencias a un paso de tiempo mensual, la estación Piedras Blancas posee tendencia a nivel mensual en forma reiterativa, el cual es significativo para producir tendencia a un paso de tiempo anual. (ver Cuadro 4.10)

Los valores coloreados muestran que para un nivel de significancia del 5% ( $\alpha=0.05$ ) para un determinado mes, se produce tendencia en la serie analizadas.

**Cuadro 4.11** Análisis de tendencia a nivel mensual mediante la Prueba de Mann Kendal modificado

**PRUEBA DE MANN KENDALL (modificado)**

N°	ESTACIONES	RÍO	PRUEBA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
A1	EL TIGRE	Tumbes	Mann-Kendall	0.742	0.741	0.416	0.469	0.768	0.642	0.515	0.274	0.128	0.126	0.268	0.712
A2	ARDILLA	Chira	Mann-Kendall	0.198	0.148	0.182	0.144	0.081	0.101	0.069	0.265	0.433	0.307	0.064	0.077
A5	PUCHACA	La Leche	Mann-Kendall	0.299	0.532	0.924	0.495	0.209	0.661	0.457	0.024	0.025	0.130	0.164	0.832
A6	RACA RUMI	Chancay-Lambayeque	Mann-Kendall	0.865	0.274	0.262	0.357	0.547	0.644	0.859	0.303	0.310	0.794	0.761	0.251
A7	EL BATAN	Zaña	Mann-Kendall	0.918	0.350	0.510	0.624	0.948	0.995	0.530	0.058	0.146	0.736	0.979	0.371
A8	YONAN	Jequetepeque	Mann-Kendall	1.000	0.464	0.605	0.759	0.950	0.890	0.749	0.223	0.473	0.825	0.552	0.227
A9	SALINAR TAMBO	Chicama	Mann-Kendall	0.645	0.644	0.753	0.803	0.678	0.700	0.487	0.380	0.210	0.263	0.958	0.575
A10	QUIRIHUAC-MOCHE	Moche	Mann-Kendall	0.764	0.508	0.426	0.678	0.874	0.576	0.511	0.412	0.887	0.725	0.654	0.663
A11	HUACAPONGO	Viru	Mann-Kendall	0.477	0.794	0.443	0.364	0.628	0.798	0.474	0.227	0.117	0.096	0.775	0.974
A12	CONDORCERRO	Santa	Mann-Kendall	0.363	0.927	0.332	0.345	0.950	0.280	0.272	0.592	0.630	0.770	0.502	0.802
A13	SAN JACINTO	Nepaña	Mann-Kendall	0.870	0.385	0.794	0.954	0.939	0.632	0.096	0.028	0.026	0.024	0.494	0.904
A14	SECTOR TUTUMA	Casma	Mann-Kendall	0.857	0.680	0.555	0.974	0.167	0.183	0.267	0.436	0.323	0.250	0.251	0.360
A16	YANAPAMPA	Pativilca	Mann-Kendall	0.074	0.356	0.097	0.252	0.701	0.467	0.377	0.219	0.079	0.047	0.051	0.269
A17	PUENTE ALCO	Huaura	Mann-Kendall	0.609	0.873	0.846	0.770	0.748	0.443	0.234	0.141	0.250	0.760	0.565	0.432
A18	SANTO DOMINGO	Chancay-Huaral	Mann-Kendall	0.687	0.979	0.227	0.939	0.817	0.868	0.507	0.443	0.554	0.864	0.587	0.851
A21	LA CAPILLA	Mala	Mann-Kendall	0.960	0.711	0.691	0.266	0.437	0.350	0.463	0.363	0.940	1.000	0.736	0.503
A22	SOCSI-S Y TOMA IMPERIAL	Cañete	Mann-Kendall	0.813	0.612	0.938	0.469	0.260	0.483	0.247	0.422	0.975	0.866	0.918	0.969
A23	CONTA	San Juan	Mann-Kendall	0.587	0.354	0.503	0.838	0.937	0.758	0.268	0.061	0.565	0.083	0.001	0.360
A24	LETRAYOCC	Pisco	Mann-Kendall	0.576	0.895	0.877	0.320	0.888	0.537	0.280	0.880	0.076	0.828	0.225	0.899
A27	CHUCARAPI	Tambo	Mann-Kendall	0.335	0.866	0.616	0.747	0.433	0.377	0.227	0.109	0.054	0.054	0.143	0.072
A28	CHIVAYA	Moquegua	Mann-Kendall	0.068	0.401	0.264	0.052	0.005	0.007	0.004	0.004	0.003	0.007	0.005	0.004
A31	LA TRANCA	Sama	Mann-Kendall	0.979	0.959	0.809	0.979	1.000	0.370	0.453	0.575	1.000	0.943	0.181	0.478
A32	AGUAS CALIENTES	Caplina	Mann-Kendall	0.646	0.951	0.806	0.980	0.575	0.452	0.563	0.347	0.038	0.015	0.012	0.008
A35	LA ACHIRANA	Ica	Mann-Kendall	0.526	0.989	0.980	0.192	0.163	0.378	0.122	0.001	0.115	0.780	1.000	0.021
A36	BELLA UNION	Acarí	Mann-Kendall	0.609	0.766	0.748	0.496	0.731	0.459	0.836	0.527	0.239	0.637	0.879	0.723
A37	PUENTE TUMBES	Tumbes	Mann-Kendall	0.300	0.731	0.815	0.947	0.822	0.665	0.494	0.581	0.502	0.126	0.257	0.975
A38	ARICOTA	Locumba	Mann-Kendall	0.615	0.563	0.794	0.585	0.017	0.010	0.007	0.005	0.011	0.026	0.034	0.744
A39	CHOSICA	Rimac	Mann-Kendall	0.438	0.605	0.884	0.386	0.088	0.010	0.003	0.003	0.003	0.007	0.007	0.199
A40	CORANCHAY	Locumba	Mann-Kendall	0.240	0.896	0.421	0.170	0.049	0.021	0.011	0.006	0.005	0.005	0.089	0.104
A42	PIEDRAS BLANCAS	Hospicio	Mann-Kendall	0.027	0.099	0.321	0.021	0.008	0.013	0.008	0.004	0.008	0.004	0.017	0.012

**Cuadro 4.12** Análisis de saltos (rompimiento de serie) a nivel mensual mediante la Prueba de Pettitt

**PRUEBA DE PETITT**

N°	ESTACIONES	RÍO	PRUEBA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
A1	EL TIGRE	Tumbes	Pettitt	0.517	0.313	0.269	0.396	0.829	0.553	0.394	0.193	0.164	0.092	0.342	0.692
A2	ARDILLA	Chira	Pettitt	0.015	0.024	0.104	0.071	0.013	0.017	0.001	0.025	0.039	0.009	0.009	0.004
A5	PUCHACA	La Leche	Pettitt	0.020	0.550	0.571	0.284	0.060	0.137	0.044	0.000	0.000	0.002	0.014	0.504
A6	RACA RUMI	Chancay-Lambayeque	Pettitt	0.762	0.236	0.265	0.400	0.434	0.079	0.082	0.038	0.073	0.444	0.690	0.172
A7	EL BATAN	Zaña	Pettitt	0.366	0.353	0.441	0.469	0.902	0.392	0.201	0.015	0.033	0.423	0.642	0.217
A8	YONAN	Jequetepeque	Pettitt	0.905	0.495	0.223	0.511	0.737	0.638	0.636	0.063	0.290	0.552	0.739	0.103
A9	SALINAR TAMBO	Chicama	Pettitt	0.471	0.796	0.525	0.563	0.632	0.404	0.168	0.077	0.031	0.039	0.936	0.467
A10	QUIRIHUAC-MOCHE	Moche	Pettitt	0.749	0.437	0.079	0.190	0.498	0.336	0.225	0.299	0.849	0.390	0.810	0.392
A11	HUACAPONGO	Viru	Pettitt	0.289	0.939	0.189	0.066	0.721	0.405	0.083	0.047	0.024	0.011	0.883	0.859
A12	CONDORCERRO	Santa	Pettitt	0.179	0.974	0.097	0.141	0.192	0.049	0.025	0.098	0.455	0.273	0.122	0.915
A13	SAN JACINTO	Nepeña	Pettitt	0.822	0.054	0.941	0.543	0.381	0.403	0.016	0.001	0.003	0.012	0.491	0.861
A14	SECTOR TUTUMA	Casma	Pettitt	0.880	0.441	0.543	0.604	0.025	0.001	0.008	0.017	0.053	0.052	0.036	0.266
A16	YANAPAMPA	Pativilca	Pettitt	0.041	0.282	0.074	0.266	0.457	0.048	0.037	0.019	0.006	0.001	0.009	0.027
A17	PUENTE ALCO	Huaura	Pettitt	0.171	0.314	0.602	0.551	0.376	0.407	0.109	0.052	0.130	0.294	0.731	0.124
A18	SANTO DOMINGO	Chancay-Huaral	Pettitt	0.452	0.956	0.041	0.407	0.866	0.519	0.178	0.032	0.047	0.736	0.760	0.616
A21	LA CAPILLA	Mala	Pettitt	0.823	0.337	0.810	0.143	0.063	0.061	0.181	0.124	0.616	0.221	0.364	0.299
A22	SOCSI-S Y TOMA IMPERIAL	Cañete	Pettitt	0.727	0.912	0.919	0.462	0.195	0.400	0.080	0.215	0.600	0.141	0.954	0.904
A23	CONTA	San Juan	Pettitt	0.141	0.194	0.071	0.472	0.870	0.743	0.065	0.002	0.189	0.001	0.000	0.044
A24	LETRAYOCC	Pisco	Pettitt	0.215	0.658	0.593	0.034	0.673	0.121	0.006	0.035	0.000	0.527	0.145	0.779
A27	CHUCARAPI	Tambo	Pettitt	0.336	0.815	0.303	0.366	0.393	0.184	0.045	0.015	0.007	0.009	0.018	0.015
A28	CHIVAYA	Moquegua	Pettitt	0.010	0.081	0.010	0.001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
A31	LA TRANCA	Sama	Pettitt	0.815	0.849	0.358	0.526	0.427	0.095	0.083	0.309	0.236	0.077	0.035	0.206
A32	AGUAS CALIENTES	Caplina	Pettitt	0.457	0.621	0.540	0.601	0.356	0.176	0.301	0.053	0.000	<0.0001	0.000	0.001
A35	LA ACHIRANA	Ica	Pettitt	0.282	0.880	0.318	0.057	0.070	0.089	0.000	<0.0001	0.054	0.156	0.586	0.008
A36	BELLA UNION	Acari	Pettitt	0.111	0.717	0.115	0.111	0.139	0.170	0.525	0.043	0.009	0.645	0.890	0.444
A37	PUENTE TUMBES	Tumbes	Pettitt	0.213	0.601	0.762	0.940	0.598	0.612	0.385	0.090	0.066	0.009	0.042	0.360
A38	ARICOTA	Locumba	Pettitt	0.086	0.219	0.448	0.078	0.000	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.002	0.009	0.030
A39	CHOSICA	Rimac	Pettitt	0.472	0.296	0.545	0.393	0.011	0.000	<0.0001	0.000	0.001	0.002	0.001	0.085
A40	CORANCHAY	Locumba	Pettitt	0.169	0.720	0.053	0.042	0.007	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.045	0.005
A42	PIEDRAS BLANCAS	Hospicio	Pettitt	0.000	0.010	0.066	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

El **Cuadro 4.12** muestra el resultado del análisis de saltos (rompimiento de serie) a un nivel mensual para las 30 estaciones analizadas, se puede ver que la estación Ardilla posee saltos reiterativos a nivel mensual, siendo significativo a nivel anual (ver Cuadro 4.10), este mismo análisis poseen las demás estaciones Yanapampa, Conta, Chivaya, Aricota, Coranchay y Piedras Blancas, ellas poseen rompimientos de serie a nivel mensual, siendo significativo a nivel anual, el cual produce un cambio en la media (salto), alterando el comportamiento hidrológico en dichos ríos.

Los valores coloreados muestran que para un nivel de significancia del 5% ( $\alpha=0.05$ ), se ha producido un cambio en la media de los caudales registrados a un paso mensual.

#### **4.2 Cálculo de un índice de sequía de caudales estandarizado (SSI)**

El cálculo de un índice de sequía de caudal estandarizado (SSI) que caracterice los eventos de sequía como son duración, intensidad y extensión espacial en la Vertiente del Océano Pacífico, nos permitirá realizar la comparación espacial y temporal de las condiciones hidrológicas de un río o conjunto de ríos a lo largo de la costa del Perú, para tal fin, se evaluó la capacidad de seis distribuciones de probabilidad (Log normal, Pearson Tipo III, Log-Logistic, Valor Extremo General y Weibull), todas ellas de tres parámetros, para la selección de la distribución más adecuada, que simule la mayor cantidad de datos observados, se probaron dos diferentes métodos de selección, como son: el mejor ajuste mensual (BMF) y la distancia mínima ortogonal (MD), usando diferentes distribuciones de probabilidad para un registro anual, sin embargo se evaluó una distribución única de probabilidad para el cálculo de un índice de sequía de caudal estandarizado (SSI) como se detalla a continuación.

Previa a esta aplicación para el cálculo de un índice de sequía de caudales estandarizado (SSI), los datos siguen un proceso de selección común para la selección de distribución de probabilidad óptima, para el cálculo de parámetros y el cálculo de la función de distribución o función acumulada  $F(x)$ , sus resultados se muestran a continuación.

#### **4.2.0.1 Distribución de la Probabilidad**

La elección de la distribución de probabilidad (GPA, WEI, GEV, LN3, GLO y PE3) más adecuada, es aquella que simule la mayor cantidad de información observada, la capacidad de una distribución de probabilidad para ajustarse a los datos hidrológicos, depende de la flexibilidad y la forma de la función de densidad o función de distribución, mientras más parámetros integren a la función de distribución, más robusta y precisa será el ajuste en la estación analizada.

No existe una distribución de probabilidad que puede representar perfectamente el comportamiento hidrológico en una estación, pero si se puede encontrar la distribución de probabilidad que proporcione las estimaciones más precisas, es por este criterio que la presente investigación evalúa la capacidad de seis distribuciones de probabilidad de tres parámetros para ajustarse a la data observada.

El **Cuadro 4.13** muestra los seis tipos de distribuciones de probabilidad evaluadas en la presente investigación, la mayoría de las distribuciones son propuestas por Hosking and Wallis, todas estas distribuciones son de tres parámetros.

Tabla 4.13 Función de Distribución

Función de Distribución	Parámetros	Fuente	Función de Distribución	Parámetros	Fuente	
<b>A) Pearson tipo III (PE3)</b>	$F(x) = \frac{1}{a\Gamma(\beta)} \int_{\gamma}^x \left(\frac{x-\gamma}{a}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x-\gamma}{a}\right)} dx$	<p>si <math>\tau_3 \geq \frac{1}{3}</math>, entonces <math>\tau_m = 1 - \tau_3</math>,</p> $\beta = \frac{(0.36067\tau_m - 0.5967\tau_m^2 + 0.25361\tau_m^3)}{(1 - 2.78861\tau_m + 2.56096\tau_m^2 - 0.77045\tau_m^3)}$ <p>si <math>\tau_3 &lt; \frac{1}{3}</math>, entonces <math>\tau_m = 3\pi\tau_3^2</math>:</p> $\beta = \frac{(1 + 0.2906\tau_m)}{(\tau_m + 0.1882\tau_m^2 + 0.0442\tau_m^3)}$ $a = \sqrt{\pi}\lambda_2 \frac{\Gamma(\beta)}{\Gamma(\beta + \frac{1}{2})}, \quad \gamma = \lambda_1 - a\beta$	<b>B) LogNormal (LN3)</b>	$F(x) = \Phi\left(\frac{\ln(x-a)-u}{\sigma}\right)$ <p>donde <math>\Phi</math> es la función de distribución acumulada</p>	$\sigma = 0.999281z - 0.006118z^2 + 0.000127z^5$ $z = \sqrt{\frac{8}{3}}\Phi^{-1}\left(\frac{1+\tau_3}{2}\right)$ $\mu = \ln\left[\frac{\lambda_2}{\text{erf}\left(\frac{\sigma}{2}\right)}\right] - \frac{\sigma^2}{2}$ <p>erf es el error de gauss</p> <p>función: <math>\text{erf}\left(\frac{\sigma}{2}\right) = 2\Phi\left(\frac{\sigma}{2}\sqrt{2}\right) - 1</math></p> $a = \lambda_1 - e^{-\frac{u+\sigma^2}{2}}$	
<b>C) General de Pareto (GPA)</b>	$F(x) = 1 - \left[1 - \frac{k}{a}(x - \varepsilon)\right]^{\frac{1}{k}}$	$k = \frac{(1-3\tau_3)}{(1+\tau_3)}$ <p>Hosking (1990)</p> <p>Mencionado por: Vicente serrano (2012)</p> $\alpha = \lambda_2(1+k)(2+k)$ $\varepsilon = \lambda_1 - \lambda_2(2+k)$	<b>D) General de Valores Extremos (GEV)</b>	$F(x) = e^{-\left[1 - k\left(\frac{x-u}{a}\right)\right]^{\frac{1}{k}}}$	$k = 7.859C + 2.9554C^2$ $C = \frac{2}{3 + \tau_3} - 0.6309$ <p>Hosking (1985)</p> <p>Mencionado por: Vicente serrano (2012)</p> $\alpha = \frac{\lambda_2 k}{\Gamma(1+k)(1-2^{-k})}$ $u = \lambda_1 + \frac{\alpha}{k}[\Gamma(1+k) - 1]$	
<b>E) Weibull (WEI)</b>	$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-m}{a}\right)^b}$	$b = \frac{1}{(7.859C + 2.9554C^2)}$ <p>Hosking (1986)</p> <p>Mencionado por: Vicente serrano (2012)</p> $C = \frac{2}{3 - \tau_3} - 0.6309$ $a = \frac{\lambda_2}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right)\left(1 - 2^{-\frac{1}{b}}\right)}$ $m = \lambda_1 - a\Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right)$	<b>F) Logístic Generalizada (GLO)</b>	$F(x) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x-y}\right)^\beta\right]^{-1}$	$\beta = \frac{2w_1 - w_0}{6w_1 - w_0 - 6w_2}$ $\alpha = \frac{(w_0 - 2w_1)\beta}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)}$ $\gamma = w_0 - a\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\Gamma\left(1 - \frac{1}{\beta}\right)$ <p>Singh et al (1993)</p> <p>Mencionado por: Vicente serrano (2012)</p>	

#### 4.2.0.2 Cálculo de parámetros mediante el método de L-momentos

El cálculo de los parámetros se realizó previamente seleccionado el modelo probabilístico (distribución de probabilidad), esta investigación se realizó evaluando la capacidad de las seis distribuciones para elegir el modelo probabilístico más idóneo, el modelo probabilístico debe representar la mayor cantidad de la data observada, para tratar de entender el comportamiento hidrológico en las estaciones analizadas, se determinó los parámetros mediante la aplicación del método de L-momentos, los primeros cuatro L-momentos representan las características generales de la variables estudiada para una determinada estación hidrométrica.

$\lambda_1 = L_1$  = parámetros de **localización** o media de la distribución.

$\lambda_2 = L_2$  = Parámetro de **escala** o dispersión de los datos

$\lambda_3 = L_3$  = mide la **forma**, hace referencia a la **asimetría**

$\lambda_4 = L_4$  = hace referencia a la kurtosis.

Los Cuadros 4.14 al 4.16 muestra la estimación de parámetros mediante la aplicación del método de L-momentos, para entender el comportamiento de la variable hidrológica en las estaciones analizadas. Los parámetros analizados son valores representativos de las características generales de cada estación, se puede observar que los parámetros calculados son a nivel mensual, para todo el registro de datos (46 años), se muestran los parámetros de los L-momentos para la Est. El Tigre, Est. Ardilla y Est. Puchaca, como estaciones representativas.

El Cuadro 4.14 muestra los parámetros para la estación El Tigre, para un registro de 46 años, en el mes de enero, el parámetro ( $L_1$ ) representa la media con un valor calculado de 111.528 m<sup>3</sup>/s, el parámetro ( $L_2$ ) representa la dispersión de los datos (apuntamiento), que en una gráfica de función de densidad representaría la escala de la curva (la campana), el parámetro ( $L_3$ ) representa la forma de la distribución, en una gráfica de densidad nos mostraría el grado de simetría o asimetría de la curva (la campana), el coeficiente de variación ( $L_{CV}$ ) es la relación entre ( $L_2$ ) / ( $L_1$ ) son adimensionales, de igual manera la relación ( $T_3$ ) representa la asimetría de los datos y el ( $T_4$ ) representa la kurtosis.

En el Anexo V se menciona la estimación de parámetros con la metodología de L-momentos para cada las 30 estaciones analizadas en la Vertiente del Pacífico.

**Cuadro 4.14** Estimación de parámetros método de L-momentos (Est. El Tigre).

N°	name	n	L_1	L_2	L_3	L_4	t	t_3	t_4
1	ENE	46	111.52804	54.27274	31.992156	25.4052249	0.4866286	0.5894701	0.46810287
2	FEB	46	223.04392	85.16063	29.424333	21.8672402	0.381811	0.3455157	0.2567764
3	MAR	46	315.78478	113.12657	30.49968	13.1873056	0.3582395	0.2696067	0.11657125
4	ABR	46	270.69261	90.483517	29.779291	10.6125944	0.3342667	0.3291129	0.1172876
5	MAY	46	151.7763	54.611715	26.792729	19.8997598	0.3598171	0.4906041	0.36438628
6	JUN	46	75.4987	24.852309	14.781742	12.9046236	0.3291753	0.5947834	0.51925249
7	JUL	46	42.63957	11.087237	4.639446	4.0863312	0.2600223	0.4184492	0.36856172
8	AGO	46	27.53646	5.676722	1.131929	0.6079176	0.206153	0.1993984	0.10708956
9	SEP	46	21.68907	4.581659	1.089839	0.5380069	0.2112428	0.2378698	0.11742621
10	OCT	46	20.4037	4.623435	1.264253	0.4394501	0.2265979	0.2734445	0.09504841
11	NOV	46	22.14941	6.905943	3.331707	2.6106356	0.311789	0.4824406	0.37802741
12	DIC	46	44.32891	22.713801	15.1997	12.6687994	0.5123925	0.6691835	0.55775779

**Cuadro 4.15** Estimación de parámetros método de L-momentos (Est. Ardilla).

N°	name	n	L_1	L_2	L_3	L_4	t	t_3	t_4
1	ENE	46	234.11217	125.28694	83.946988	73.200829	0.5351577	0.6700378	0.5842655
2	FEB	46	422.89239	215.88604	116.103334	83.693589	0.5104988	0.5377992	0.3876749
3	MAR	46	931.52783	463.83942	181.79606	67.867046	0.497934	0.3919375	0.1463158
4	ABR	46	773.35587	410.14906	210.868782	117.92431	0.5303497	0.5141272	0.2875157
5	MAY	46	362.58217	169.50667	85.88722	60.371098	0.4674986	0.5066893	0.3561577
6	JUN	46	224.62891	97.0805	39.741179	28.700287	0.4321817	0.4093632	0.2956339
7	JUL	46	144.13891	47.60598	12.623897	7.081658	0.3302784	0.2651746	0.1487557
8	AGO	46	93.48826	30.26461	8.453065	5.365551	0.3237263	0.2793053	0.177288
9	SEP	46	66.10783	21.08265	5.170162	3.222148	0.318913	0.2452331	0.1528341
10	OCT	46	67.95413	23.05075	7.49429	5.508627	0.3392104	0.3251213	0.2389782
11	NOV	46	62.64891	19.36594	3.625395	2.605704	0.3091185	0.1872048	0.1345509
12	DIC	46	119.91044	55.89869	24.390674	20.441833	0.4661703	0.4363372	0.3656943

**Cuadro 4.16** Estimación de parámetros método de L-momentos (Est. Puchaca).

N°	name	n	L_1	L_2	L_3	L_4	t	t_3	t_4
1	ENE	46	6.060109	3.2369936	1.8012735	1.46328874	0.5341478	0.5564649	0.45205178
2	FEB	46	11.181478	5.8940562	3.3893784	2.95644807	0.5271267	0.5750502	0.50159822
3	MAR	46	19.577348	10.4164406	5.7391814	4.0295807	0.532066	0.5509734	0.38684814
4	ABR	46	13.701848	6.9467859	3.7261728	2.98375501	0.5069963	0.536388	0.4295159
5	MAY	46	6.538913	3.3801972	1.9915806	1.66613704	0.5169356	0.5891906	0.4929112
6	JUN	46	3.275326	1.3687821	0.2651445	0.02038475	0.4179071	0.1937084	0.01489262
7	JUL	46	2.049826	0.8351816	0.1983005	0.05460723	0.4074402	0.237434	0.06538366
8	AGO	46	1.373478	0.5910097	0.1251718	0.03056552	0.4303014	0.2117932	0.05171746
9	SEP	46	1.736391	0.846885	0.2385146	0.08483253	0.4877271	0.2816376	0.10017007
10	OCT	46	2.776087	1.2124048	0.3419375	0.10195657	0.4367316	0.2820325	0.08409449
11	NOV	46	2.386978	0.9358469	0.2019797	0.10264289	0.3920634	0.2158256	0.10967915
12	DIC	46	2.8855	1.102956	0.1707275	0.1079164	0.3822409	0.1547909	0.09784288

### 4.2.0.3 Función de distribución y función de densidad

La función de distribución  $F(x)$  y la función de densidad  $f(x)$  son dos formas alternativas de describir el comportamiento de la variable hidrológica (caudales), la elaboración del histograma de frecuencia para la serie de caudal analizada, se realizó para visualizar que función de densidad se ajusta a la data observada.

El cálculo de función de distribución acumulada  $F(x)$ , para cada una de las distribuciones analizadas, se realizó en función a la metodología de L-momentos, cuyos resultados se muestra a continuación.

#### Parámetros de distribución $F(x)$ Estación El Tigre

**Cuadro 4.17** Parámetro de distribución de General de Valores Extremos (GEV)

$$F(x) = e^{-\left[1-k\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)\right]^{\frac{1}{k}}}$$

$$\text{forma} = \text{Kappa} = k = 7.859C + 2.9554C^2 \quad C = \frac{2}{3 + \tau_3} - 0.6309$$

$$\text{Escala} = \text{Alpha} = \alpha = \frac{\lambda_2 k}{\Gamma(1+k)(1-2^{-k})}$$

$$\text{Posición} = xi = u = \lambda_1 + \frac{\bar{\alpha}}{k} [\Gamma(1+k) - 1]$$

	row.names	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
1	xi	53.9017951	140.016271	211.429006	183.400843	94.9537617	49.0943088
2	alpha	31.360775	91.0096922	139.313085	99.8719558	41.9132528	14.118909
3	kappa	-0.5655607	-0.2561438	-0.149391	-0.2335494	-0.4457542	-0.5718059
		JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	xi	31.4045787	22.6441537	17.5814612	16.1249699	14.9815769	20.0942214
2	alpha	10.1415167	7.83991501	5.9535479	5.6555831	5.4129226	9.9388341
3	kappa	-0.3536652	-0.0453438	-0.1030249	-0.1549262	-0.4355415	-0.6573233

El **Cuadro 4.17** muestra el resultado del cálculo de parámetros de la función de distribución de Valor Extremo Generalizado (GEV), la formulación matemática se menciona líneas arriba, los tres parámetros que conforman la función de distribución  $F(x)$  fueron calculados para cada mes, asumiendo que el comportamiento de los caudales son independientes para cada mes a lo largo de un año.

Los tres parámetros que la conforman son:

La **Forma** que hace referencia a la asimetría, denominado **Kappa (K)**

La **Escala** que hace referencia a la dispersión de los datos, denominado **Alpha (a)**

La **Posición** que hace referencia a la media de la distribución, denominado **xi (u)**

**Cuadro 4.18** Parámetro de distribución de LogNormal (LN3).

Parámetros (3):  $\xi = (\text{posición})$ ,  $\alpha = (\text{escala})$ ,  $k = (\text{forma})$ .

si  $\tau_3 \geq \frac{1}{3}$ , entonces  $\tau_m = 1 - \tau_3$ .

$$\beta = \frac{(0.36067\tau_m - 0.5967\tau_m^2 + 0.25361\tau_m^3)}{(1 - 2.78861\tau_m + 2.56096\tau_m^2 - 0.77045\tau_m^3)}$$

$$F(x) = \frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)} \int_{\gamma}^x \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)} \quad \text{si } \tau_3 < \frac{1}{3}, \text{ entonces } \tau_m = 3\pi\tau_3^2 :$$

$$\beta = \frac{(1 + 0.2906\tau_m)}{(\tau_m + 0.1882\tau_m^2 + 0.0442\tau_m^3)}$$

$$\alpha = \sqrt{\pi}\lambda_2 \frac{\Gamma(\beta)}{\Gamma(\beta + \frac{1}{2})}, \quad \gamma = \lambda_1 - \alpha\beta$$

	row.names	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
1	zeta	28.332674	6.557218	-50.714933	29.5309333	52.543196	37.711898
2	múlog	3.539165	5.112409	5.746351	5.2462909	4.025969	2.730168
3	sigmalog	1.328177	0.728176	0.5615099	0.6916309	1.069114	1.342975
		JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	zeta	19.2096514	2.7664123	4.8973416	5.6315852	9.401123	13.251038
2	mulog	2.7534365	3.1247803	2.6991395	2.5304062	1.995317	2.215334
3	sigmalog	0.8950721	0.4119582	0.4934504	0.5697978	1.048886	1.562794

**Cuadro 4.19** Parámetro de distribución de Logístic Generalizada (GLO)

Parámetros (3):  $\xi = (\text{posición})$ ,  $\alpha = (\text{escala})$ ,  $k = (\text{forma})$ .

	row.names	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
1	xi	67.2239785	177.415545	267.383981	224.260292	112.652279	55.0922464
2	alpha	28.1568189	69.3953123	100.077391	75.2020435	35.417309	12.7148912
3	kappa	-0.5894701	-0.3455157	-0.2696067	-0.3291129	-0.4906041	-0.5947834
		JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	xi	35.6409228	25.7107002	19.9457486	18.3994829	17.2650889	24.3044362
2	alpha	8.1586605	5.3126691	4.1669769	4.0753937	4.5495461	9.313752
3	kappa	-0.4184492	-0.1993984	-0.2378698	-0.2734445	-0.4824406	-0.6691835

**Cuadro 4.20** Parámetro de distribución de General de Pareto (GPA).

*Parámetros (3):  $\xi = (\text{posición})$ ,  $\alpha = (\text{escala})$ ,  $k = (\text{forma})$ .*

	row.names	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
1	xi	29.220069	55.0357986	72.496814	88.86361	59.8388018	38.0170011
2	alpha	42.517173	163.444661	279.922763	183.5611	62.8370609	19.0473551
3	kappa	-0.483438	-0.0271621	0.150582	0.00952617	-0.3165242	-0.4918225
		JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	xi	22.4610036	14.2812808	11.4657451	10.5045199	10.421375	12.6117869
2	alpha	16.5460398	17.6957284	12.5885624	11.2958202	8.1891386	12.5720747
3	kappa	-0.1800189	0.3350052	0.2313575	0.1410869	-0.3017469	-0.6036187

**Cuadro 4.21** Parámetro de distribución de Pearson tipo III (PE3).

*Parámetros (3):  $u = (\text{posición})$ ,  $\sigma = (\text{escala})$ ,  $y = (\text{forma})$ .*

	row.names	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
1	mu	111.528044	223.043915	315.784782	270.692608	151.776304	75.498696
2	sigma	137.983509	171.76938	217.380804	180.448506	124.432738	63.607438
3	gamma	3.784205	2.073535	1.620911	1.974652	3.012269	3.830802
		JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	mu	42.639566	27.536456	21.689065	20.403696	22.149413	44.328913
2	sigma	23.656649	10.527378	8.653812	8.903869	15.610204	64.512251
3	gamma	2.527016	1.206411	1.433686	1.64358	2.954829	4.565266

**Cuadro 4.22** Parámetro de distribución de Weibull (WEI).

*Parámetros (3):  $\xi = (\text{posición})$ ,  $\alpha = (\text{escala})$ ,  $k = (\text{forma})$ .*

	row.names	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
1	zeta	-35.971412	-56.382152	-59.641226	-88.333562	-66.07696	-41.102978
2	beta	44.0202901	164.365972	271.672526	183.199717	66.147035	19.6675425
3	delta	0.5471069	0.968963	1.189391	1.011092	0.6835534	0.5406421
		JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	zeta	-23.374242	-12.423839	-10.569355	-10.01885	-11.194017	-15.226774
2	beta	17.1380183	16.700541	12.0494	10.9822	8.6127391	12.155136
3	delta	0.8089495	1.471622	1.305165	1.17649	0.6964553	0.4571193

Los Cuadros del 4.18 al 4.22 muestran la estimación de parámetros de la función de distribución  $F(X)$  para las distribuciones de probabilidad de: (LogNormal, Logístic Generalizada, General de Pareto, Pearson tipo III y Weibull)

La **Figura 4.16** muestra el histograma de frecuencias obtenido a partir de la información de caudal mensual de la estación El Tigre con un registro de 46 años (1960 al 2005), se puede observar en el histograma que todos los meses poseen un sesgo positivo (cola a la derecha), como corresponde a los valores de eventos extremos (sequías), podemos señalar que entre las distintas distribuciones de probabilidad (WEI, PE3, GPA, GEV, GLO, LN3), para el ajuste del comportamiento hidrológico a un mes determinado, la estación El Tigre, no sigue un patrón específico, porque los registros observados son representados por distintas distribuciones en el periodo de un año, es así que definir el comportamiento hidrológico en el periodo de un año mediante una distribución de probabilidad, conllevaría a la sobrestimación (periodo de estiaje) y a una subestimación (periodo de avenida).

En la estación El Tigre la distribución con mayor recurrencia al momento de representar los datos observados es la distribución de probabilidad de Valor Extremo Generalizado, con una representación en los meses de Febrero, Agosto, Septiembre, Noviembre y Diciembre, la segunda mejor representación es la distribución de probabilidad de Log-Logistic en los meses de Mayo, Junio, Julio, la tercera distribución es General de Pareto con una representación mensual de Marzo y Octubre, por último las distribuciones con un mes de representación cada una en la serie histórica de la estación El Tigre son Log-normal en el mes de Abril y Pearson Tipo III en el mes de Enero.

Los meses de Septiembre y Octubre son representados mediante las seis distribuciones de probabilidad con los mejores ajustes.

De igual manera la **Figura 4.17** representa la serie de caudal (m<sup>3</sup>/s) registrado mensualmente en la Estación Ardilla, la serie de registros mensuales son representados por distintas distribuciones de probabilidad, afirmando así que para describir el comportamiento hidrológico en una estación no es recomendable el uso de una única distribución de probabilidad.

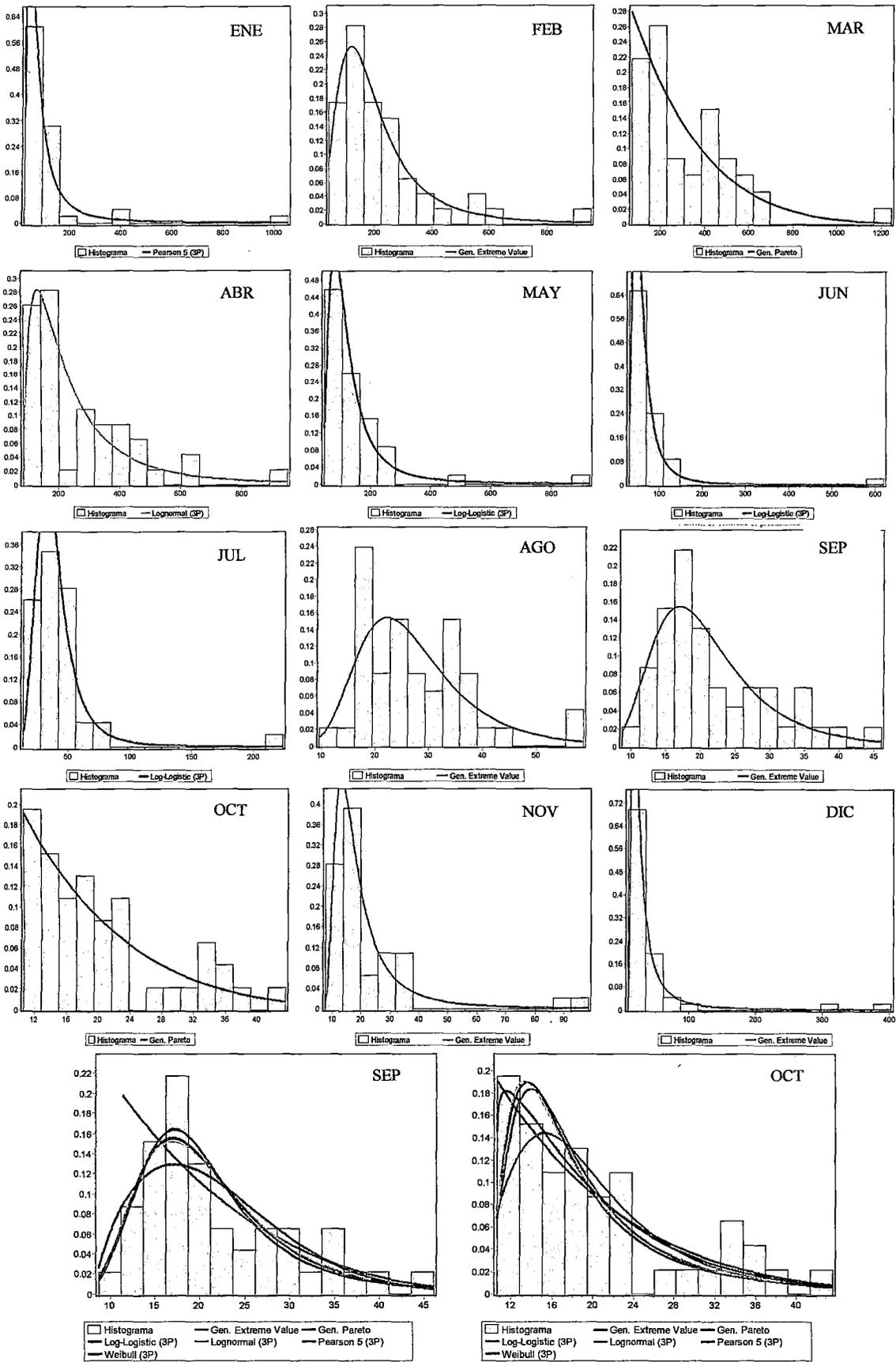


Figura 4.16 Histograma función de densidad mensual, Estación El Tigre.

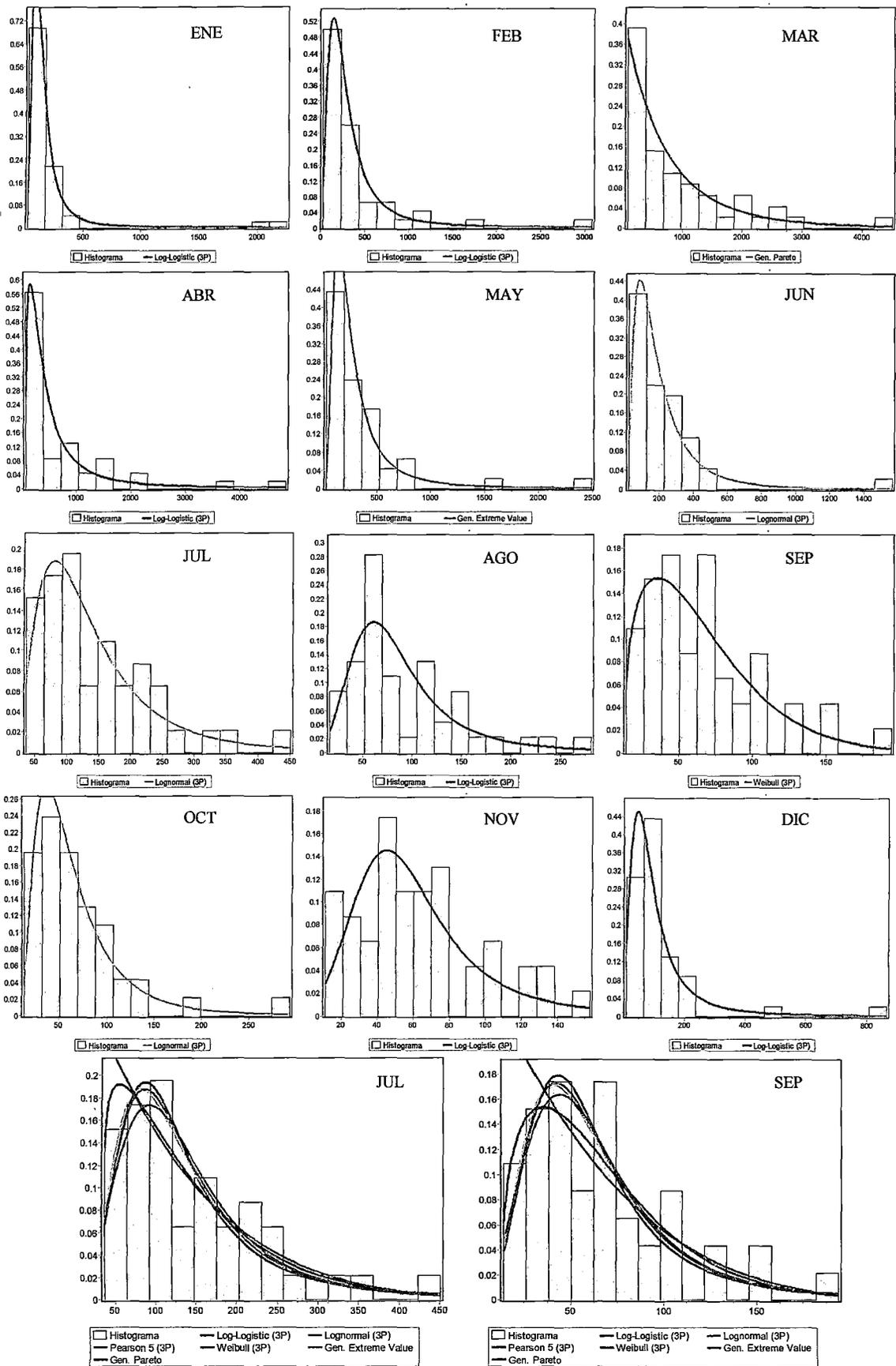


Figura 4.17 Histograma función de densidad mensual, Estación Ardilla.

#### 4.2.0.4 Aproximaciones Polinómicas

El método de estandarización de datos hidrométricos (transformaciones a unidades  $Z$ ) mediante la aplicación de aproximaciones polinómicas, es una metodología propuesta por Abramowitz y Stugun (1965), su aplicación será de importancia para el cálculo y desarrollo de un índice de sequía de caudales estandarizado (SSI) usando una única distribución de probabilidad y usando diferentes distribuciones de probabilidad a un paso de tiempo mensual.

Es por ello que no mostramos resultados en este apéndice por ser un punto de quiebre para el desarrollo de ambas metodologías.

#### 4.2.1 Cálculo de un índice de sequía de caudales estandarizado (SSI) usando una única distribución de probabilidad

Para la cuantificación de la sequía hidrológica, se realizó la evaluación de diferentes distribuciones de probabilidad, se calculó la función de distribución acumulada  $F(x)$  de cada distribución de probabilidad, posterior a este cálculo se transformó en una variables  $Z$  con el uso de aproximaciones polinómicas ecuación (2.6) al (2.8) dando como resultados los índices de sequía de caudales estandarizados (SSI) para cada una de las seis distribuciones analizadas.

La **Figura 4.18 A** muestra la evolución temporal de un índice de sequía de caudal (SSI) y de los caudales mensuales provenientes del Río La Leche en el departamento de Lambayeque, para la estación Puchaca, se puede observar claramente los evento ENOS del año 1982-83 y 1997-98 que contribuyen al rompimiento de una serie larga de sequías, otra característica del comportamiento hidrológico de esta estación es que presenta continuos eventos de sequía (caudal inferior al nivel normal), la serie registrada a partir del año 2003 presenta un registro negativo del SSI con algunos picos de época húmeda, pero predominantemente son series negativos (sequías).

La **Figura 4.18 B** muestra la evolución temporal de un índice de sequía de caudal (SSI) y de los caudales mensuales provenientes del Río Callazas en el departamento de Tacna, en la estación Coranchay, el evento hidrológico predominante es la sequía, los fenómenos globales como el ENOS no son notorios por tratarse de una zona Árida que se encuentra próxima al desierto de Atacama en Chile.

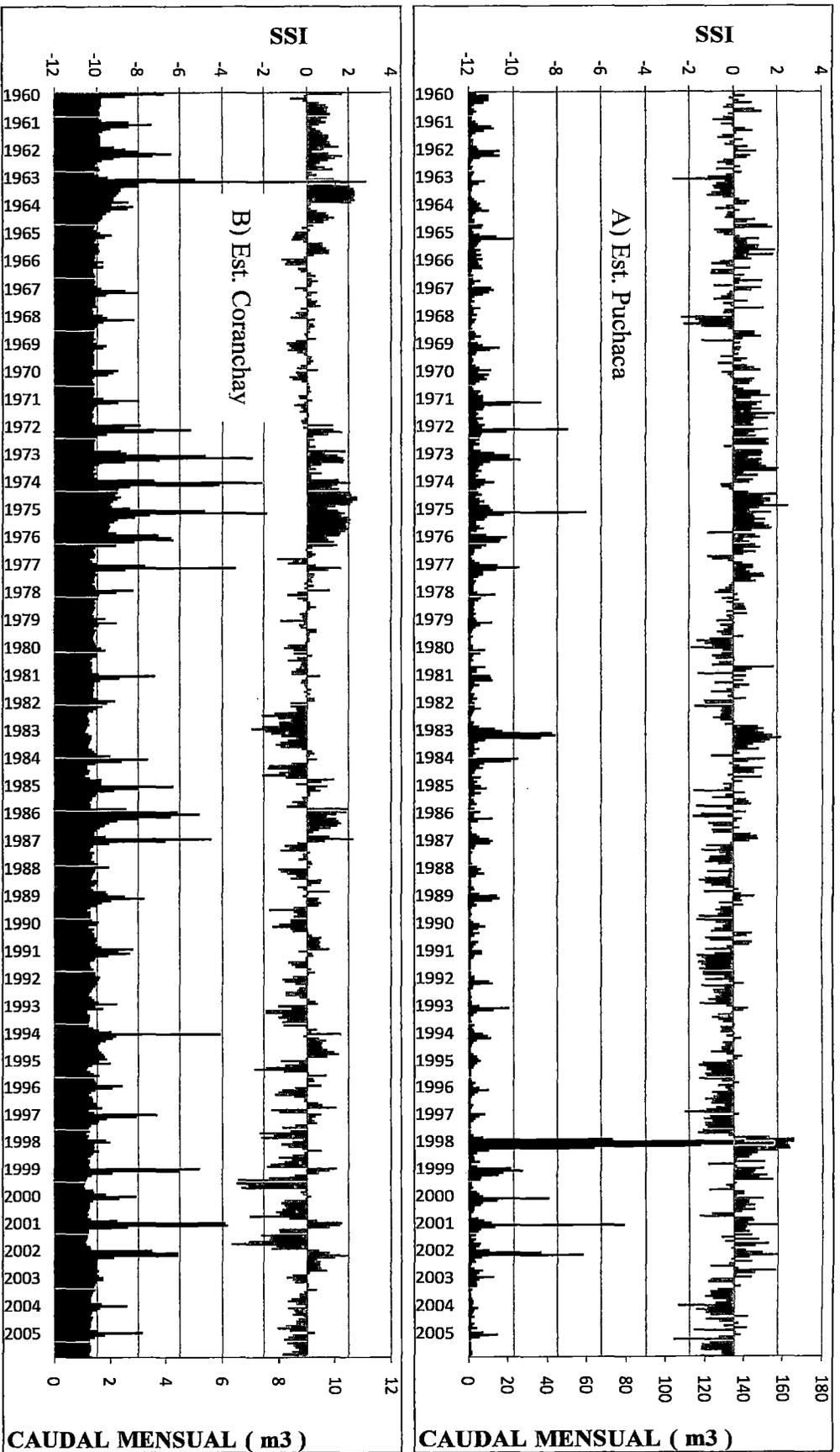


Figura 4.18 Evolución temporal de los índices de sequía de caudal (SSI) en la Est. Puchaca (Lambayeque) y Est. Coranchay (Tacna).

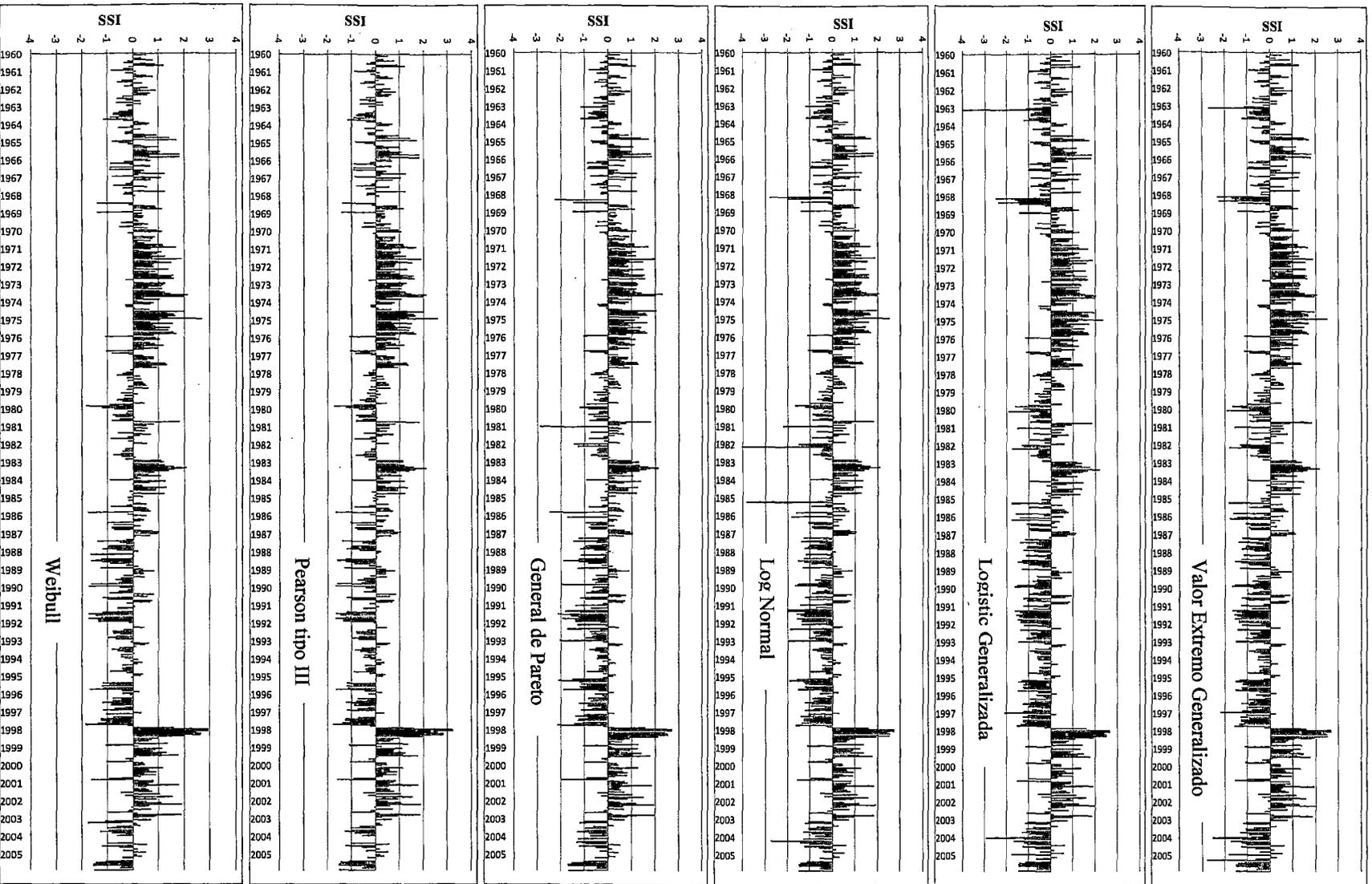
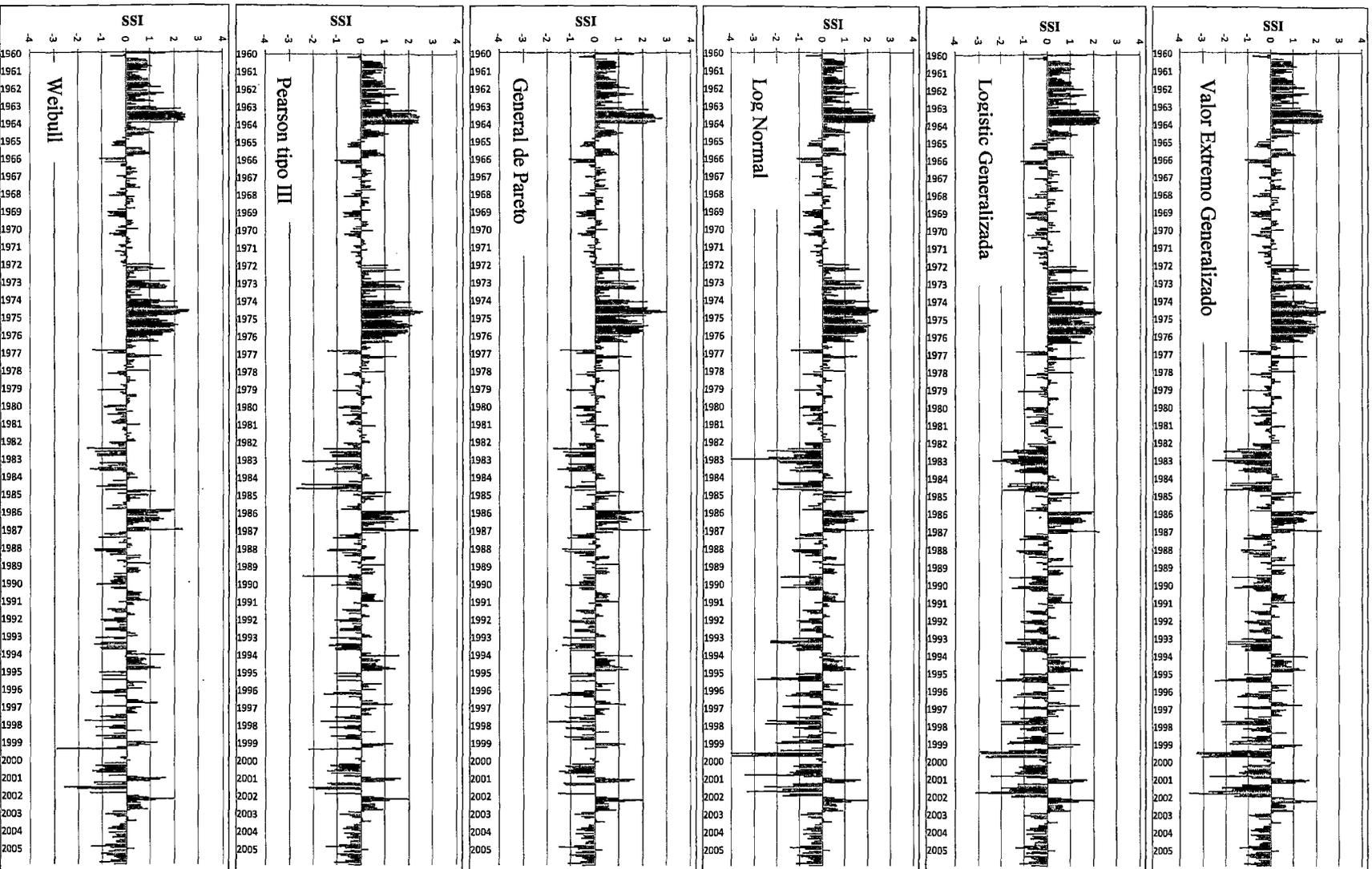


Figura 4.19 Evolución temporal del índice de seguía de caudales (SSI), usando las seis distribuciones de probabilidad seleccionadas en la Est. Puchaca (Lambayeque).



**Figura 4.20** Evolución temporal del índice de seguía de caudales (SSD), usando las seis distribuciones de probabilidad seleccionadas en la Est. Coranchay (Tacna).

La **Figura 4.19 y 4.20** muestran la evolución del índice de sequía de caudales (SSI) en dos estaciones con características muy diferentes. Los caudales mensuales del río La Leche en la estación Puchaca (Lambayeque) poseen un caudal medio anual de 6.12 m<sup>3</sup>/s, los meses de avenida (diciembre-abril) que son meses de mayor descarga poseen un caudal medio anual de 11.42 m<sup>3</sup>/s, mientras que los meses de estiaje (mayo-noviembre) poseen un caudal de 2.35m<sup>3</sup>/s. en comparación con los caudales mensuales del río Callazas en la estación Coranchay (Tacna) el cual posee un caudal medio anual de 1.81 m<sup>3</sup>/s, los meses correspondientes a los periodos de avenidas (diciembre-abril) poseen un caudal medio anual de 2.35m<sup>3</sup>/s, y los meses de estiaje (mayo-noviembre) poseen un caudal de 1.43m<sup>3</sup>/s. se puede notar claramente la diferencia del comportamiento hidrológico de ambas estaciones en cifras.

De la inspección visual de las series de SSI para cada estación analizada correspondiente a las seis distribuciones de probabilidad, ellos muestran de forma independiente los principales episodios secos y húmedos. En la estación Puchaca las principales sequías se registraron en 1985-1997, siendo recurrente en los años de 2003-2005, el año 2005 se consideró como fin del periodo de evaluación.

Los eventos de sequía en la estación Puchaca, ocurridos en los periodos de 1985-1997 y 2003-2005 tienen una similitud con todas las distribuciones analizadas, sobre la base de una inspección visual, es muy difícil de distinguir que distribución es la que representa mejor el comportamiento hidrológico (episodio seco-húmedo), pero algunas de las características son muy comunes entre todas las distribuciones.

- La distribución Pearson tipo III tiende a subestimar la intensidad y la magnitud de los eventos negativos, minimizando algunas lecturas de sequías hasta el punto de no poder visualizar.
- La distribución de Pareto tiende a generar valores altos de sequía en épocas donde en el resto de distribuciones no existe, la distribución Weibull tienen a generar valores erróneos en la intensidad, estos valores son subestimados en comparación con el resto de distribuciones, estas dos distribuciones (Pareto y Weibull) no muestran solución para algunos bajos valores de caudales debido a la forma de la función de densidad, esto explica porque algunos meses los registros tienen a cero.

- El índice de sequía de caudal estandarizado (SSI) obtenido a partir de las distribuciones Log-normal, Valor Extremo Generalizado y Logistic Generalizada, mostraron características similares en la intensidad de los valores más extremos, es por este motivo la dificultad de seleccionar una única distribución mediante una inspección visual, la selección visual es errónea por sí sola, se aplicará una prueba basada en la estandarización (0,1) para la elección de una única distribución de probabilidad.

#### **4.2.2 Cálculo de un índice de sequía de caudal estandarizado (SSI) usando diferentes distribuciones de probabilidad**

Este segundo procedimiento se realizó utilizando la selección de las distribuciones más adecuadas para cada serie de caudal mensual, puesto que una serie anual (12 meses) puede ser ajustada por diferentes distribuciones de probabilidad, la creación de un índice de sequía de caudal (SSI) que cuantifique la sequía hidrológica a un paso de tiempo mensual, fue evaluada mediante la aplicación de dos pruebas de ajuste como son: (la distancia mínima ortogonal y el mejor ajuste mensual).

Los resultados se muestran a continuación según cada metodología propuesta.

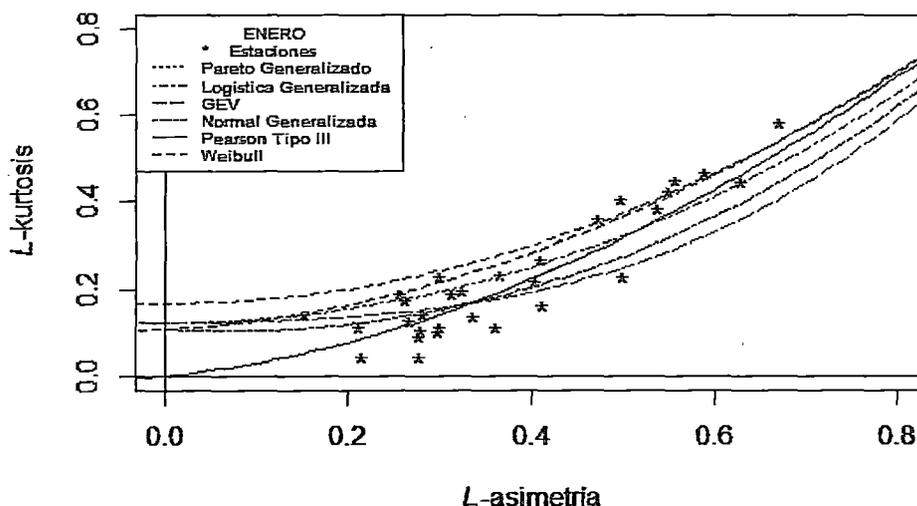
##### **a) Distancia mínima ortogonal (AWD)**

La elección de la distribución más adecuada según la distancia mínima ortogonal (AWD), se realizó en un diagrama de L-momentos ratios, teniendo como resultado el mejor ajuste de los datos hacia una determinada distribución (más próxima a la curva teórica.), el resultado muestra visualmente que los datos analizados se ajustan a una distribución de probabilidad para cada mes del año, todo este análisis se realizó a un paso de tiempo mensual, estacional y anual aplicando las ecuaciones (2.17) al (2.19) cuyos resultados se muestran a continuación en forma gráfica y en cuadros.

Con fines prácticos las estaciones fueron codificadas y el cálculo de parámetros de los L-momentos se realizó a un paso de tiempo mensual, los detalles de cada estación se mostrarán en el **Cuadro 3.5** y **Cuadro 4.3**

**Cuadro 4.23** Estimación de parámetros método de L-momentos para todas las estaciones en el mes de Enero.

ENERO							
	Estación	n	l <sub>1</sub>	t	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>	t <sub>5</sub>
1	ENE_A1	46	111.5280438	0.4866286	0.5894701	0.46810287	0.398596569
2	ENE_A2	46	234.1121735	0.5351577	0.6700378	0.58426545	0.496791957
3	ENE_A5	46	6.0601086	0.5341478	0.5564649	0.45205178	0.40396355
4	ENE_A6	46	30.9323044	0.3517969	0.2100035	0.11235661	0.041057461
5	ENE_A7	46	6.4801739	0.4409831	0.4970829	0.40537078	0.331117574
6	ENE_A8	46	27.0354785	0.459335	0.3122977	0.18896989	0.149694372
7	ENE_A9	46	19.8854567	0.5212177	0.4110139	0.26815974	0.217297597
8	ENE_A10	46	9.404913	0.5691564	0.4038425	0.21885067	0.175948256
9	ENE_A11	46	5.0019565	0.713977	0.6278698	0.44849295	0.36961004
10	ENE_A12	46	200.0380435	0.2787654	0.2791446	0.10770008	-0.02351937
11	ENE_A13	46	3.4846522	0.6670881	0.4984226	0.22971992	0.117888456
12	ENE_A14	46	7.9214783	0.5919089	0.4731706	0.36228072	0.337752125
13	ENE_A16	46	62.9765221	0.2568371	0.265301	0.12776554	0.028985237
14	ENE_A17	46	37.8767391	0.2441399	0.3004468	0.22794978	0.118957847
15	ENE_A18	46	22.8113696	0.3347272	0.2816529	0.14314125	0.115964342
16	ENE_A21	46	29.9275868	0.4270177	0.3002958	0.1117981	-0.00097036
17	ENE_A22	46	94.0526096	0.3271484	0.2144824	0.04395258	0.036726782
18	ENE_A23	46	19.9033262	0.5253034	0.4119119	0.16424911	0.081963466
19	ENE_A24	46	47.9863258	0.4187246	0.2774697	0.0900608	0.067640294
20	ENE_A27	46	69.2079349	0.473317	0.3363723	0.13925675	0.05941677
21	ENE_A28	46	1.6915217	0.4721838	0.5371886	0.38406229	0.278365559
22	ENE_A31	46	3.6243696	0.5418142	0.3604615	0.11253562	0.028610712
23	ENE_A32	46	1.0459348	0.2948295	0.2982491	0.10163372	0.046304805
24	ENE_A35	46	14.4027391	0.412834	0.2555498	0.18809108	0.05027993
25	ENE_A36	46	23.0096958	0.4967268	0.2768392	0.04606956	-0.00715733
26	ENE_A37	46	120.4673929	0.5114494	0.5492104	0.42482176	0.31465314
27	ENE_A38	46	2.6913043	0.3177193	0.3255133	0.19603942	0.05577081
28	ENE_A39	46	37.7249998	0.2292636	0.2616976	0.17334779	0.091337896
29	ENE_A40	46	2.1538478	0.2077	0.3657194	0.23118312	0.105342731
30	ENE_A42	46	0.7693044	0.1835073	0.1516814	0.14102977	0.006812815

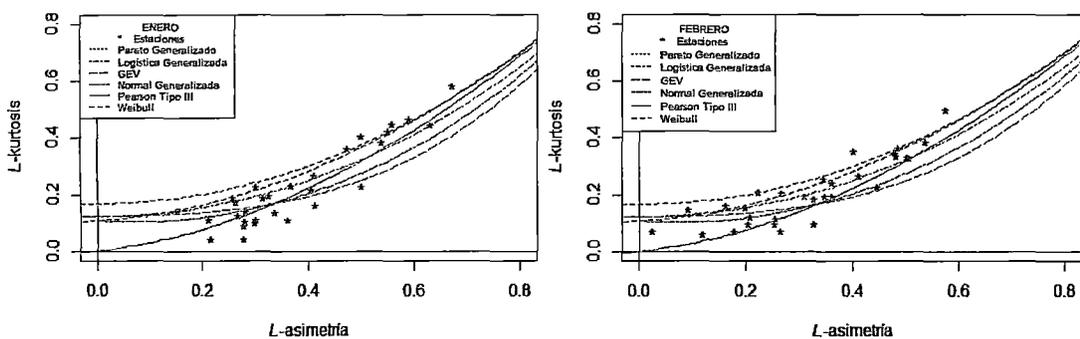


**Figura 4.21** Diagrama de L-momentos ratios, los puntos representan la estadística del mes de Enero para las 30 estaciones analizadas.

El Cuadro 4.23 representa la estimación de parámetros aplicando el método de L-momentos para todas las estaciones analizadas en el mes de Enero, los parámetros requeridos para el ajuste mediante mínima distancia ortogonal son:  $t_3$  que representa la asimetría para el mes analizado y  $t_4$  que representa la Kurtosis para el mes de análisis.

La Figura 4.21 muestra el diagrama de L-momentos ratios de la serie de caudales para el mes de Enero, la figura nos permite realizar una evaluación visual del comportamiento hídrico de las 30 estaciones analizadas del mes de Enero, la kurtosis (concentración de data) muestra los datos dispersos, la asimetría muestra un comportamiento positivo (cola a la derecha), que es propio de eventos extremos (sequías), los asteriscos (\*) representan la estadística de la asimetría y la kurtosis de cada estación analizada, sin embargo no muestra un patrón claro en relación a la distribución más adecuada para ajustar la serie de caudales del mes de Enero (datos dispersos), lo que sugiere que la selección de una distribución de probabilidad única que represente el comportamiento de todas las estaciones para el mes de Enero sea imposible mediante una inspección visual del diagrama de L-momentos ratios.

En la Figura 4.22 se observar el diagrama de L-momentos ratios para las 30 estaciones analizadas a un paso de tiempo mensual, pudiendo visualizar el comportamiento de los datos de cada estación a un nivel mensual, la kurtosis o grado de concentración de los datos y la asimetría, nos muestra en el gráficos de L-momentos ratios que los datos analizados no siguen una determinada distribución de probabilidad para cada mes del año. Por ejemplo sería erróneo afirmar que el comportamiento de todas las estaciones analizadas para el mes de Enero se ajusten a una determinada distribución de probabilidad, pero si podemos afirmar que para el mes de Enero cada estación se ajuste a una distribución de probabilidad.



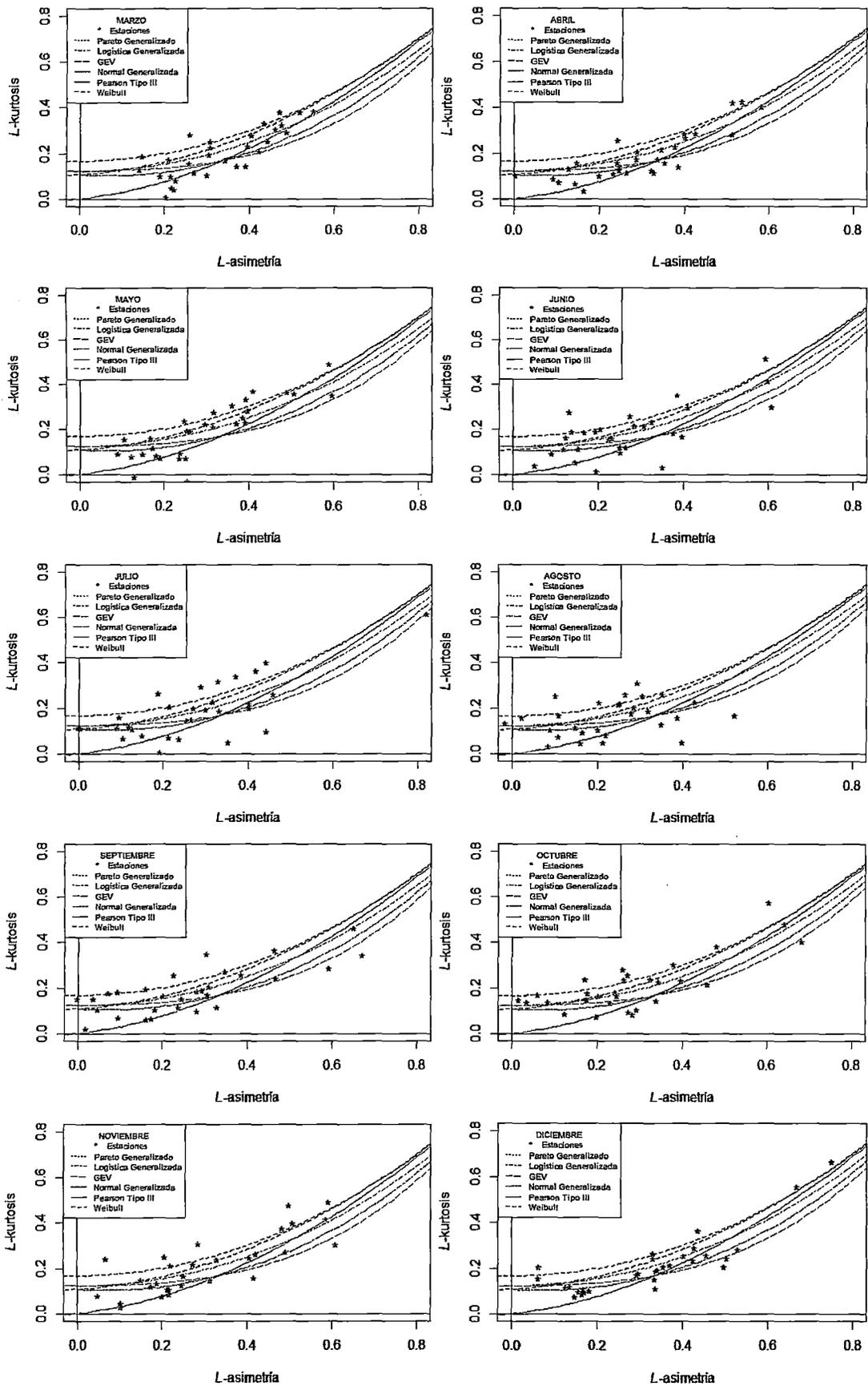


Figura 4.22 Diagrama de L-momentos ratios a un nivel mensual.

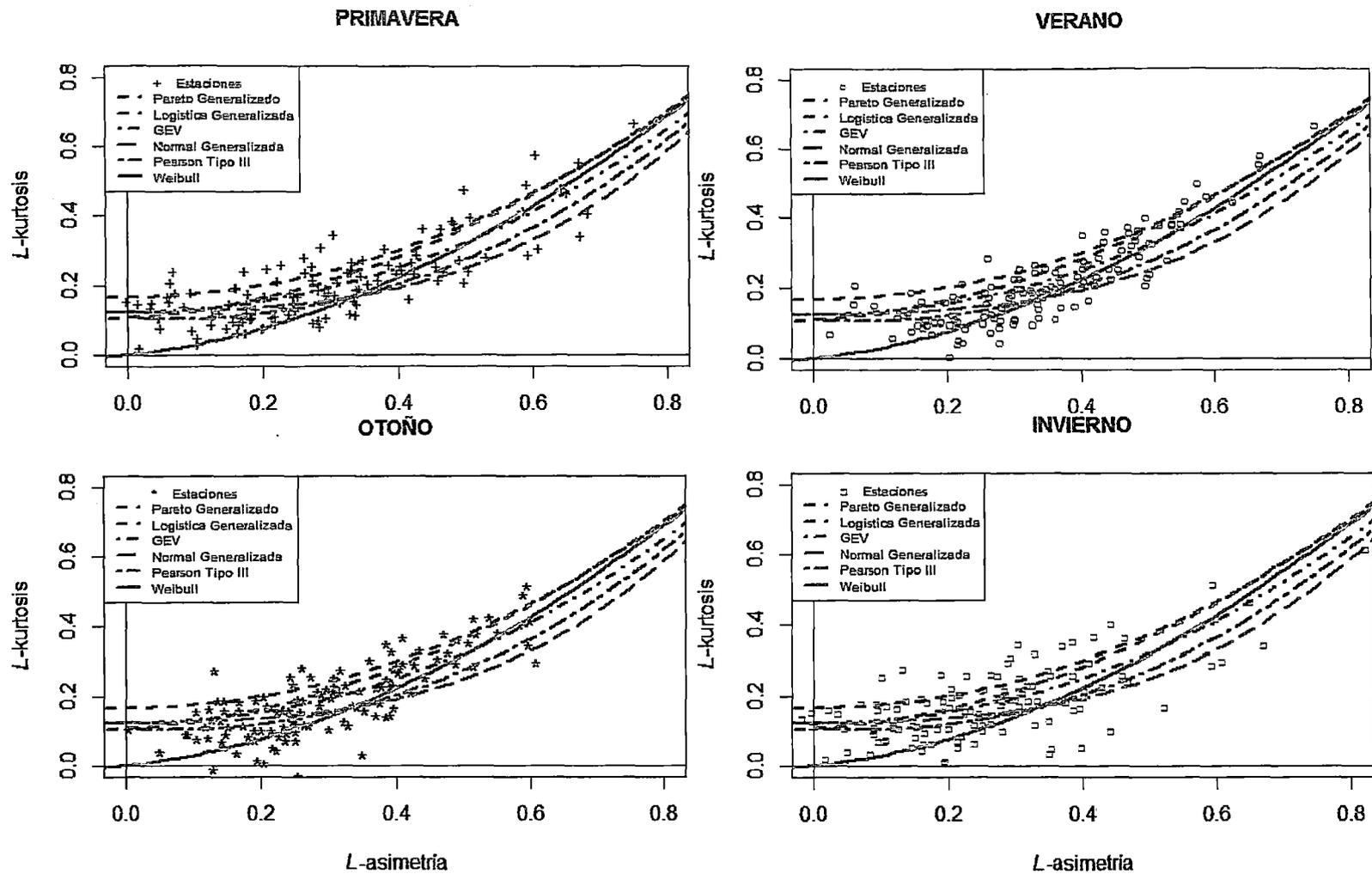


Figura 4.23 Diagrama de L-momentos ratios, a nivel estacional.

En la **Figura 4.23** muestra los resultados del diagrama de L-momentos ratios de las 30 estaciones analizadas a un paso de tiempo estacional (Primavera, verano, otoño e Invierno), los símbolos representan la estadística de la asimetría y la kurtosis para cada estación, los diagramas no muestran un patrón claro de la distribución que mejor los representa para cada estación analizada.

El **Cuadro 4.24** muestra el resultado de la distribución de probabilidad que mejor se ajuste a los datos observados en el mes de Enero para todas las estaciones analizadas, mediante la aplicación de la prueba Distancia Mínima Ortogonal (AWD) entre la muestra de L-momentos en el sitio (i) y la relación de L-momentos teóricos para una distribución específica, seleccionamos aquella distribución que se encuentra más cerca de la muestra, la distribución seleccionada será aquella que tenga la mínima distancia a la muestra para así obtener la función de distribución acumulada  $F(x)$  para cada serie de caudal mensual, es así que para cada estación, seleccionamos una distribución, como es el caso del Cuadro 4.22 que nos da la distribución para el mes de Enero.

**Cuadro 4.24** Distancia mínima ortogonal para el mes de Enero.

DISTANCIA MÍNIMA ORTOGONAL - ENERO								
Estación	Dist. Mín	Dist. Prob.	Estación	Dist. Mín	Dist. Prob.	Estación	Dist. Mín	Dist. Prob.
ENE_A1	0.011871529	GLO	ENE_A13	0.018548136	PE3	ENE_A28	0.016496219	GEV
ENE_A2	0.043263784	GEV	ENE_A14	0.009036119	GLO	ENE_A31	0.063963166	PE3
ENE_A5	0.027338491	GLO	ENE_A16	0.010220973	GPA	ENE_A32	0.038917347	GPA
ENE_A6	0.009427897	WEI	ENE_A17	0.012876253	GEV	ENE_A35	0.001539263	GEV
ENE_A7	0.032792096	GLO	ENE_A18	0.001553144	WEI	ENE_A36	0.079331757	GPA
ENE_A8	0.010505054	LN3	ENE_A21	0.030239824	GPA	ENE_A37	0.006792713	GLO
ENE_A9	0.011447408	LN3	ENE_A22	0.04159503	GPA	ENE_A38	0.010148493	LN3
ENE_A10	0.006995108	GPA	ENE_A23	0.034182768	PE3	ENE_A39	0.003095517	LN3
ENE_A11	0.006608142	LN3	ENE_A24	0.035776082	GPA	ENE_A40	0.002277584	LN3
ENE_A12	0.019296992	GPA	ENE_A27	0.028682253	PE3	ENE_A42	0.000311644	LN3

Dónde: *GEV = Valor Extremo Generalizado*      *GLO = Logistic Generalizado*  
*LN3 = Log-normal*      *GPA = General de Pareto*  
*PE3 = Pearson Tipo III*      *WEI = Weibull*

El **Cuadro 4.25** al **4.27** muestra el resultado de la distribución de probabilidad que mejor se ajuste a los datos observados para los meses de Febrero, Marzo y Abril aplicando la prueba de Distancia Mínima Ortogonal (AWD) entre la muestra de L-momentos en el sitio (i) y la relación de L-momentos teóricos para una distribución específica.

**Cuadro 4.25** Distancia mínima ortogonal para el mes de Febrero.

DISTANCIA MÍNIMA ORTOGONAL - FEBRERO								
Estación	Dist. Min	Dist. Prob.	Estación	Dist. Min	Dist. Prob.	Estación	Dist. Min	Dist. Prob.
FEB_A1	0.009377440	GLO	FEB_A13	0.001344304	LN3	FEB_A28	0.000611438	LN3
FEB_A2	0.013470531	GEV	FEB_A14	0.009581232	GEV	FEB_A31	0.042873176	GPA
FEB_A5	0.059360340	GLO	FEB_A16	0.004031476	GEV	FEB_A32	0.008270643	GPA
FEB_A6	0.024749295	GPA	FEB_A17	0.018285305	GPA	FEB_A35	0.007667543	GPA
FEB_A7	0.003907315	GLO	FEB_A18	0.021330418	LN3	FEB_A36	0.019957033	LN3
FEB_A8	0.019529545	LN3	FEB_A21	0.011362340	GEV	FEB_A37	0.012162624	LN3
FEB_A9	0.011185091	GEV	FEB_A22	0.015964635	GEV	FEB_A38	0.063924485	GPA
FEB_A10	0.007875070	LN3	FEB_A23	0.002250064	GEV	FEB_A39	0.031846613	WEI
FEB_A11	0.006241620	WEI	FEB_A24	0.004105187	GLO	FEB_A40	0.008368666	GPA
FEB_A12	0.002034096	WEI	FEB_A27	0.008328425	GPA	FEB_A42	0.052545123	GLO

**Cuadro 4.26** Distancia mínima ortogonal para el mes de Marzo.

DISTANCIA MÍNIMA ORTOGONAL - MARZO								
Estación	Dist. Min	Dist. Prob.	Estación	Dist. Min	Dist. Prob.	Estación	Dist. Min	Dist. Prob.
MAR_A1	0.003879866	GPA	MAR_A13	0.011737053	GPA	MAR_A28	0.013098997	LN3
MAR_A2	0.042978669	PE3	MAR_A14	0.001236841	LN3	MAR_A31	0.034858162	PE3
MAR_A5	0.014245555	GPA	MAR_A16	0.001171114	PE3	MAR_A32	0.006428045	GPA
MAR_A6	0.072083676	GPA	MAR_A17	0.006065176	GPA	MAR_A35	0.010318538	GEV
MAR_A7	0.018495126	GEV	MAR_A18	0.009501664	GLO	MAR_A36	0.044177027	GPA
MAR_A8	0.017598569	GPA	MAR_A21	0.010126455	PE3	MAR_A37	0.033237427	GPA
MAR_A9	0.007021995	GEV	MAR_A22	0.008514875	GEV	MAR_A38	0.000406123	WEI
MAR_A10	0.011341204	GLO	MAR_A23	0.018129630	LN3	MAR_A39	0.003700334	GLO
MAR_A11	0.001044920	GEV	MAR_A24	0.062325284	GLO	MAR_A40	0.006932648	PE3
MAR_A12	0.013181583	WEI	MAR_A27	0.034627454	GPA	MAR_A42	0.029182415	GLO

**Cuadro 4.27** Distancia mínima ortogonal para el mes de Abril.

DISTANCIA MÍNIMA ORTOGONAL - ABRIL								
Estación	Dist. Min	Dist. Prob.	Estación	Dist. Min	Dist. Prob.	Estación	Dist. Min	Dist. Prob.
ABR_A1	0.046393025	GPA	ABR_A13	0.000999464	GPA	ABR_A28	0.039304892	GLO
ABR_A2	0.001607210	WEI	ABR_A14	0.001987903	PE3	ABR_A31	0.028779554	GPA
ABR_A5	0.023086760	GLO	ABR_A16	0.000266903	LN3	ABR_A32	0.000094947	GEV
ABR_A6	0.021140759	GPA	ABR_A17	0.017556265	WEI	ABR_A35	0.000355061	GEV
ABR_A7	0.008348933	LN3	ABR_A18	0.013720636	WEI	ABR_A36	0.005193539	WEI
ABR_A8	0.015319480	GPA	ABR_A21	0.021022799	GPA	ABR_A37	0.014860561	PE3
ABR_A9	0.016553400	GEV	ABR_A22	0.007319405	LN3	ABR_A38	0.012759415	GEV
ABR_A10	0.001047527	GPA	ABR_A23	0.001073552	LN3	ABR_A39	0.018546527	GEV
ABR_A11	0.006755534	GPA	ABR_A24	0.025965364	WEI	ABR_A40	0.043251910	PE3
ABR_A12	0.042759997	GLO	ABR_A27	0.004633103	GEV	ABR_A42	0.011007821	LN3

En el **Anexo VI** se muestra el resultado de la prueba Distancia Mínima Ortogonal de los meses de Enero a Diciembre para todas las estaciones analizadas.

### DISTANCIA MÍNIMA ORTOGONAL

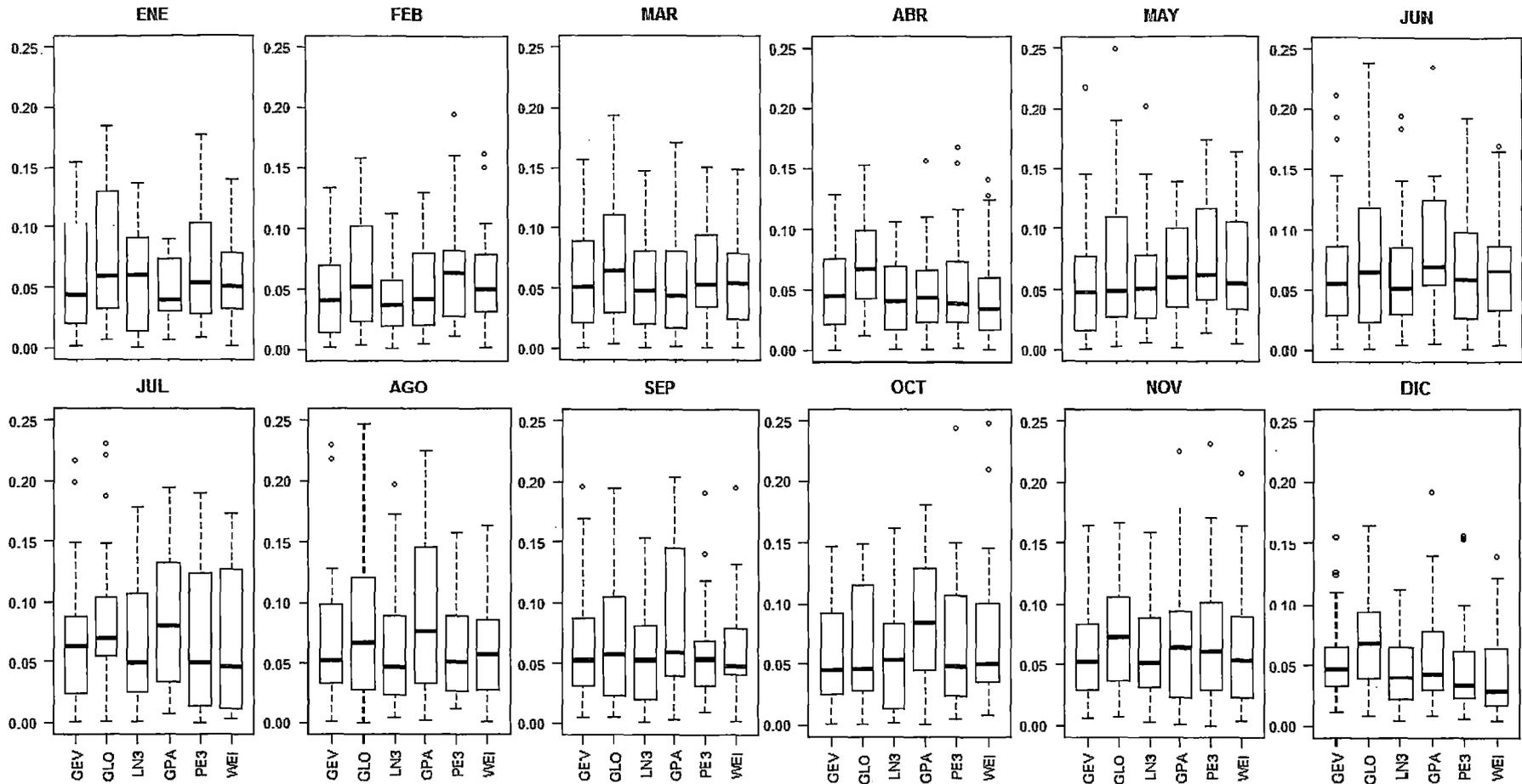


Figura 4.24 Gráfica de cajas. Distancia Mínima Ortogonal (AWD) entre la muestra de L-momentos en el sitio (i) y la relación de L-momentos para una distribución específica, obteniendo las seis distribuciones de probabilidad a un nivel mensual de las 30 estaciones analizadas.

La **Figura 4.24** muestra la gráfica de cajas (Boxplot) de la serie caudales mensuales de las 30 estaciones analizadas en la Vertiente del Pacífico, la distancia mínima ortogonal entre la muestra de L-momentos en el sitio (i) y la relación de L-momentos para cada una de las distribuciones analizadas, se puede observar que en los meses de Invierno (Dic, Ene, Feb, Mar) para la sierra, y Verano para la costa, que son meses de avenida, la distancia mínima ortogonal tienden a aproximarse a su valor mínimo (menores distancias), en comparación con los meses de invierno en la costa (Jun, Jul, Ago, Sep) que son meses de estiaje, la distancia mínima ortogonal tienen a aumentar, pero si nos enfocamos en un análisis mensual, se puede observar la variabilidad de las distribuciones para representar la mínima distancia debido a que poseen grandes diferencias en la mínima distancia para cada serie mensual, pero la gráfica si representa claramente la concentración de la distancia mínima para cada distribución y cada mes.

#### **b) Mejor ajuste mensual (BMF)**

Para seleccionar la distribución más adecuada según el Mejor Ajuste Mensual (BMF), utilizamos el test de Kolmogorov Smirnov (KS), que es una prueba basada en el valor absoluto de la diferencia máxima de la función acumulada  $F(x)$  empírica y una función de distribución acumulada teórica  $F(xt)$ , la aplicación de esta prueba verifica la hipótesis de que cierta data observada proviene de una distribución teórica en particular.

Si la serie de caudal mensual proviene de una función de distribución teórica  $F(xt)$ , entonces la diferencia vertical máxima del test de (KS) converge a 0, en otras palabras los valores más pequeños implican un mejor ajuste.

Los resultados del test de Kolmogorov-Smirnov (KS) se muestran a continuación en cuadros y gráficos.

El **Cuadro 4.28** muestra el resultado del Test de Kolmogorov Smirnov (KS) para las seis distribuciones de probabilidad y para todos los meses del año, se seleccionara la distribución de probabilidad que muestre la estadística más pequeña del test de KS, se rechazará aquella distribución que sea mayor a un nivel de significancia del 5% ( $\alpha=0.05$ ), la diferencia máxima o crítica ( $D_{max}$ ) para 46 datos mensuales, considerando 5% de significancia es 0.200521. ( $D_{max}=0.200521$ )

**Cuadro 4.28** Test de Kolmogorov Smirnov (KS) para las seis distribuciones y todos los meses, estaciones A1, A2, A5 y A6

Est		Distribución	KS.ENE	KS.FEB	KS.MAR	KS.ABR	KS.MAY	KS.JUN	KS.JUL	KS.AGO	KS.SEP	KS.OCT	KS.NOV	KS.DIC
A1	1	VEG	0.07703079	0.04121088	0.10979043	0.1518122	0.06018912	0.07672707	0.07646006	0.08143707	0.06200136	0.07022506	0.06303012	0.06521739
A1	2	G.PARETO	0.08108734	0.08695652	0.07066528	0.1128248	0.08232897	0.0995547	0.0811665	0.07971035	0.0521351	0.05642908	0.08935675	0.08914146
A1	3	LOG-LOGISTIC.	0.07624808	0.04001376	0.12523147	0.1653075	0.06196599	0.07192449	0.07294528	0.09816406	0.07365673	0.0831586	0.06415838	0.06982937
A1	4	LOG-NORMAL	0.0824994	0.05230434	0.10061343	0.138166	0.07137384	0.1131182	0.08011826	0.07679784	0.05776292	0.06694302	0.08677809	0.09304085
A1	5	PEARSON TIPO III	0.18111959	0.08695652	0.0840881	0.1139175	0.10425886	0.17626773	0.09402369	0.06748496	0.05010667	0.06184352	0.13562646	0.21380236
A1	6	WEIBULL	0.13213498	0.08695652	0.07912823	0.1135505	0.09279596	0.14686622	0.08959581	0.07268611	0.04631923	0.06069657	0.11628792	0.14414579
A2	1	VEG	0.0678977	0.06130672	0.12752439	0.12304682	0.06403495	0.06661946	0.05596525	0.08947173	0.06866761	0.05284008	0.05488131	0.1029023
A2	2	G.PARETO	0.09924971	0.0948042	0.09005507	0.09712995	0.07273709	0.06521739	0.06521739	0.1176358	0.05383933	0.05710784	0.08409478	0.1329529
A2	3	LOG-LOGISTIC.	0.06848107	0.05553442	0.13322873	0.13033827	0.06687944	0.06857269	0.06798821	0.10281036	0.08463489	0.05535418	0.06574203	0.0930813
A2	4	LOG-NORMAL	0.12592407	0.09729265	0.1117405	0.09544678	0.06232933	0.06165011	0.05017449	0.08565038	0.06108073	0.05148382	0.05409985	0.123933
A2	5	PEARSON TIPO III	0.25293626	0.16447291	0.09768306	0.07948005	0.11497058	0.06986186	0.04652475	0.10391659	0.05175948	0.05649409	0.05867552	0.1584301
A2	6	WEIBULL	0.18657333	0.13751416	0.09329373	0.07210046	0.08839922	0.06521739	0.05268467	0.10840372	0.05060342	0.0565968	0.06479177	0.1497585
A5	1	VEG	0.05889215	0.07679964	0.06516487	0.09960501	0.09006871	0.10797644	0.12425145	0.0997049	0.12001149	0.11135543	0.05914587	0.08325737
A5	2	G.PARETO	0.08695652	0.10455985	0.08605195	0.10869565	0.08813351	0.07898751	0.08865123	0.06739189	0.09636004	0.09379334	0.07514577	0.06236381
A5	3	LOG-LOGISTIC.	0.05421563	0.07498135	0.06812831	0.09487743	0.0878862	0.12330727	0.14031537	0.11627294	0.12757926	0.12067062	0.07394639	0.09235907
A5	4	LOG-NORMAL	0.09355707	0.11156718	0.08821781	0.11389568	0.09396276	0.10535573	0.11822383	0.09539073	0.11249472	0.1058155	0.0554126	0.08187954
A5	5	PEARSON TIPO III	0.15217391	0.20180892	0.17391304	0.17391304	0.15217391	0.09983477	0.10763141	0.08738873	0.09733049	0.0966427	0.04857918	0.07915464
A5	6	WEIBULL	0.15217391	0.16062718	0.13513482	0.15217391	0.13043478	0.09490418	0.10230171	0.0822331	0.09641736	0.0953681	0.0558892	0.07367817
A6	1	VEG	0.06203964	0.07319277	0.12867487	0.089966	0.06174436	0.05541999	0.08616855	0.07502597	0.0439279	0.06019355	0.07027865	0.09523902
A6	2	G.PARETO	0.05522456	0.05670775	0.08561107	0.05525526	0.10257258	0.07457604	0.11127686	0.11859741	0.05751065	0.04871474	0.05178765	0.07890309
A6	3	LOG-LOGISTIC.	0.07298049	0.09259729	0.14626794	0.10654843	0.06120265	0.04886023	0.07400203	0.07903247	0.05745891	0.07092293	0.0865871	0.10184515
A6	4	LOG-NORMAL	0.05877982	0.07318972	0.1239716	0.08954179	0.06295875	0.05693828	0.09314817	0.08545869	0.04202591	0.05690964	0.0717889	0.09409246
A6	5	PEARSON TIPO III	0.05268407	0.0701745	0.11471215	0.08616338	0.06751612	0.06040964	0.10869565	0.10575944	0.05175781	0.05007026	0.07085193	0.09216554
A6	6	WEIBULL	0.04757058	0.0597563	0.10634792	0.07924444	0.07685491	0.06312316	0.10869565	0.11022598	0.05321438	0.04193237	0.06818494	0.08741281

**Cuadro 4.29** Test de Kolmogorov Smirnov (KS) para todos los meses, distribución Valor Extremo Generalizado (GEV), estación A1 (El Tigre)

Est		Distribución	KS.ENE	KS.FEB	KS.MAR	KS.ABR	KS.MAY	KS.JUN	KS.JUL	KS.AGO	KS.SEP	KS.OCT	KS.NOV	KS.DIC
A1	1	VEG	0.07703079	0.04121088	0.10979043	0.1518122	0.06018912	0.07672707	0.07646006	0.08143707	0.06200136	0.07022506	0.06303012	0.06521739

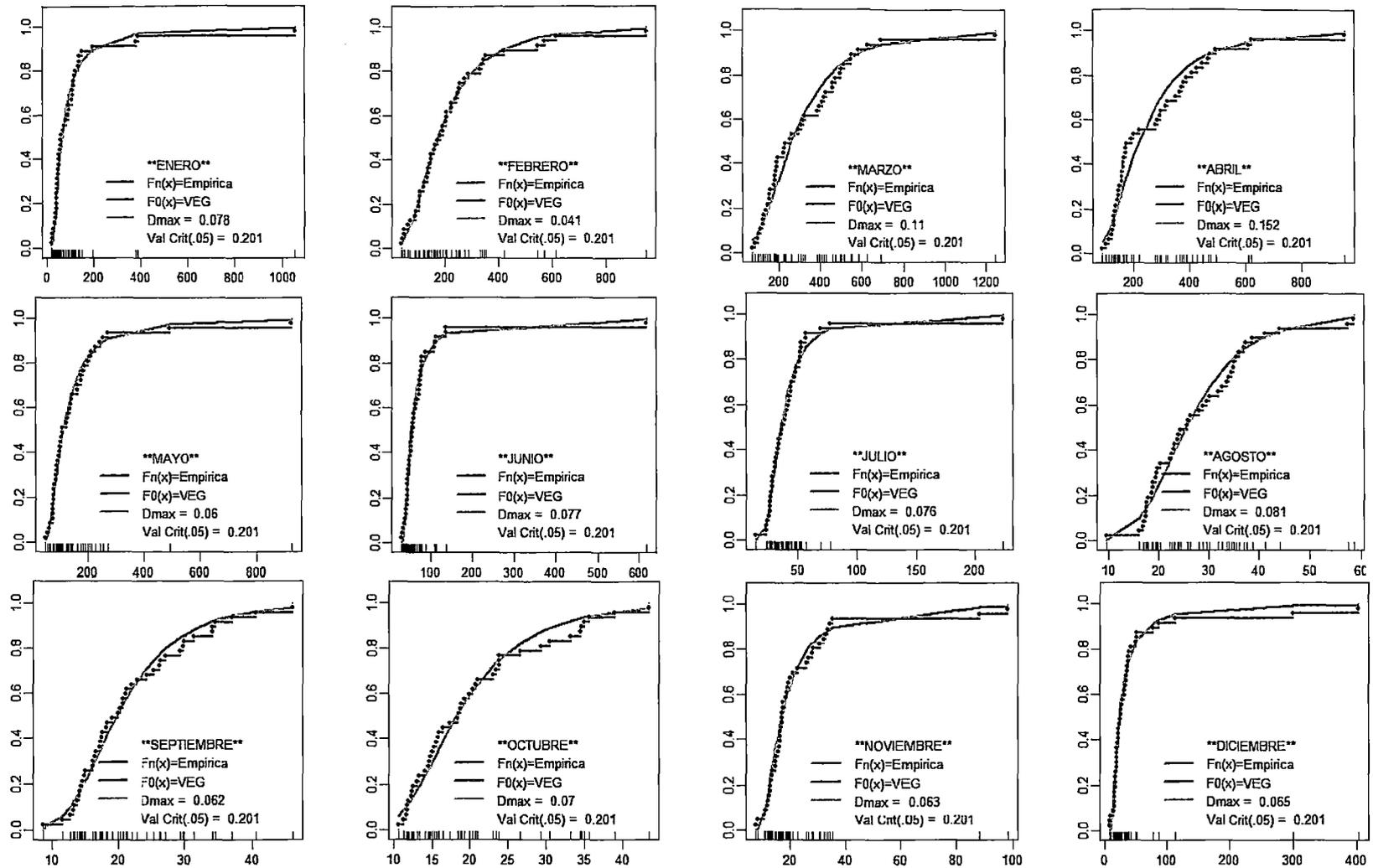


Figura 4.25 Gráfica mensual del Test de Kolmogorov Smirnov (KS) para la Estación El Tigre (A1) (Tumbes)

El **Cuadro 4.29** muestra el resultado del Test de Kolmogorov Smirnov para la distribución de Valor Extremo Generalizado (GEV), considerando un nivel de significancia del 5%, este análisis se realizó para la estación El Tigre (A1), la visualización gráfica del Test de (KS) de la estación El Tigre (A1), se muestra en la **Figura 4.25** a un paso de tiempo mensual, observando el ajuste de la función teórica (GEV) a una función de referencia o empírica, corroborando los resultados obtenidos de la figura 4.23 y el Cuadro 4.27.

El **Cuadro 4.30** muestra el resultado de la distribución de probabilidad que mejor se ajuste a los datos observados en el mes de Enero para las 30 estaciones analizadas, la selección de la distribución de probabilidad se realizó aplicando la prueba del Mejor Ajuste Mensual (BMF) mediante el Test de Kolmogorov Smirnov (KS), seleccionando la distribución que muestre la estadística más pequeña del test de KS, para todas las estaciones en el mes de Enero.

**Cuadro 4.30** Mejor ajuste mensual aplicando el Test de (KS) para el mes de Enero

MEJOR AJUSTE MENSUAL - ENERO								
Estación	Test (KS)	Dist. Prob.	Estación	Test (KS)	Dist. Prob.	Estación	Test (KS)	Dist. Prob.
ENE_A1	0.07624808	GLO	ENE_A13	0.06505191	PE3	ENE_A28	0.05726101	GEV
ENE_A2	0.06789770	GEV	ENE_A14	0.05950972	GEV	ENE_A31	0.06414803	WEI
ENE_A5	0.05421563	GLO	ENE_A16	0.07905365	LN3	ENE_A32	0.07255298	GPA
ENE_A6	0.04757058	WEI	ENE_A17	0.06650667	GLO	ENE_A35	0.05021774	GEV
ENE_A7	0.09305638	GLO	ENE_A18	0.05954834	WEI	ENE_A36	0.06812517	GPA
ENE_A8	0.06713714	GPA	ENE_A21	0.07333429	GPA	ENE_A37	0.08756544	GLO
ENE_A9	0.05383076	GPA	ENE_A22	0.11048760	GPA	ENE_A38	0.06740728	LN3
ENE_A10	0.08183583	GPA	ENE_A23	0.06180488	PE3	ENE_A39	0.04644456	LN3
ENE_A11	0.07205638	LN3	ENE_A24	0.07445858	GPA	ENE_A40	0.05408404	GLO
ENE_A12	0.07461890	GPA	ENE_A27	0.05624536	PE3	ENE_A42	0.05235024	GLO

Dónde: *GEV = Valor Extremo Generalizado*      *GLO = Logistic Generalizado*  
*LN3 = Log-normal*      *GPA = General de Pareto*  
*PE3 = Pearson Tipo III*      *WEI = Weibull*

El **Cuadro 4.31** al **4.33** muestra el resultado de las distribuciones de probabilidad que mejor se ajusten a los datos observados para los meses de Febrero, Marzo, Abril aplicando la prueba del Mejor Ajuste Mensual (BMF) con el Test de Kolmogorov Smirnov.

**Cuadro 4.31 Mejor ajuste mensual aplicando el Test de (KS) para el mes de Febrero**

MEJOR AJUSTE MENSUAL - FEBRERO								
Estación	Test (KS)	Dist. Prob.	Estación	Test (KS)	Dist. Prob.	Estación	Test (KS)	Dist. Prob.
FEB_A1	0.04001376	GLO	FEB_A13	0.05851579	GPA	FEB_A28	0.05246155	GEV
FEB_A2	0.05553442	GLO	FEB_A14	0.07353444	GEV	FEB_A31	0.06521001	GPA
FEB_A5	0.07498135	GLO	FEB_A16	0.05329227	WEI	FEB_A32	0.06428226	LN3
FEB_A6	0.05670775	GPA	FEB_A17	0.05674070	WEI	FEB_A35	0.06556026	GPA
FEB_A7	0.04563750	GEV	FEB_A18	0.07005082	WEI	FEB_A36	0.07647754	LN3
FEB_A8	0.04664967	LN3	FEB_A21	0.05508021	GLO	FEB_A37	0.06629662	LN3
FEB_A9	0.04756591	GEV	FEB_A22	0.07282264	GLO	FEB_A38	0.08566279	GPA
FEB_A10	0.06322662	LN3	FEB_A23	0.09490007	GLO	FEB_A39	0.09117775	GEV
FEB_A11	0.03928049	WEI	FEB_A24	0.07135511	GEV	FEB_A40	0.05509553	GPA
FEB_A12	0.05851709	WEI	FEB_A27	0.06448101	GPA	FEB_A42	0.09341269	GLO

**Cuadro 4.32 Mejor ajuste mensual aplicando el Test de (KS) para el mes de Marzo**

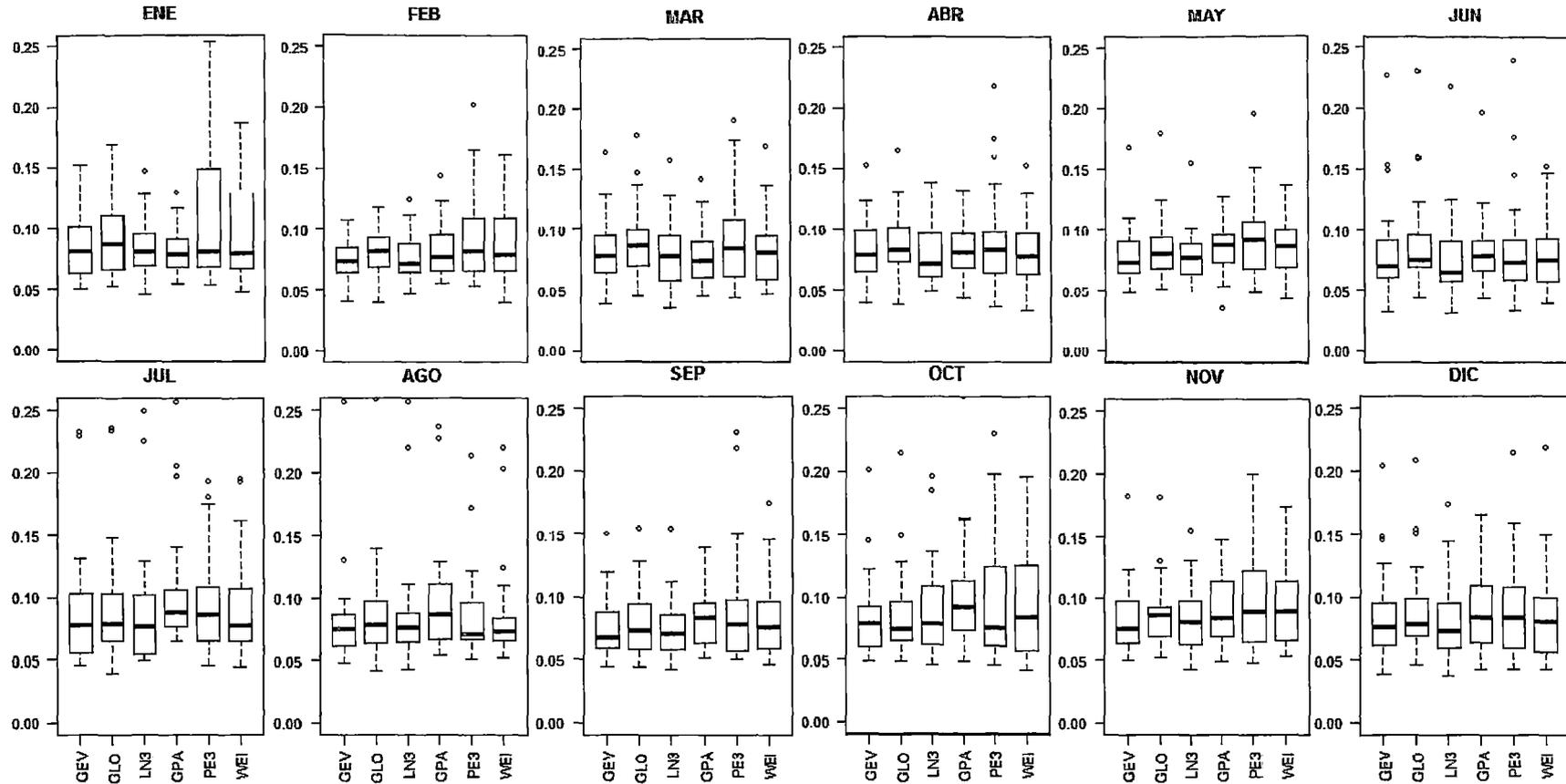
MEJOR AJUSTE MENSUAL - MARZO								
Estación	Test (KS)	Dist. Prob.	Estación	Test (KS)	Dist. Prob.	Estación	Test (KS)	Dist. Prob.
MAR_A1	0.07066528	GPA	MAR_A13	0.05126445	LN3	MAR_A28	0.04480909	GPA
MAR_A2	0.09005507	GPA	MAR_A14	0.03783450	LN3	MAR_A31	0.07872577	PE3
MAR_A5	0.06516487	GEV	MAR_A16	0.05258713	WEI	MAR_A32	0.05926069	LN3
MAR_A6	0.08561107	GPA	MAR_A17	0.12006280	GPA	MAR_A35	0.04456709	PE3
MAR_A7	0.05444996	LN3	MAR_A18	0.07044823	GLO	MAR_A36	0.07218750	GPA
MAR_A8	0.07430373	GPA	MAR_A21	0.03604432	LN3	MAR_A37	0.05984659	GPA
MAR_A9	0.07731777	GEV	MAR_A22	0.05329829	GLO	MAR_A38	0.04793873	PE3
MAR_A10	0.07199180	GLO	MAR_A23	0.08342926	GEV	MAR_A39	0.04868861	GLO
MAR_A11	0.09471879	GLO	MAR_A24	0.07224992	GLO	MAR_A40	0.06367880	WEI
MAR_A12	0.05887017	WEI	MAR_A27	0.05935884	GPA	MAR_A42	0.09711259	GLO

**Cuadro 4.33 Mejor ajuste mensual aplicando el Test de (KS) para el mes de Abril.**

MEJOR AJUSTE MENSUAL - ABRIL								
Estación	Test (KS)	Dist. Prob.	Estación	Test (KS)	Dist. Prob.	Estación	Test (KS)	Dist. Prob.
ABR_A1	0.11282480	GPA	ABR_A13	0.06048094	GPA	ABR_A28	0.05871699	GLO
ABR_A2	0.07210046	WEI	ABR_A14	0.09233583	GPA	ABR_A31	0.07031721	LN3
ABR_A5	0.09487743	GLO	ABR_A16	0.07838091	WEI	ABR_A32	0.05730525	LN3
ABR_A6	0.05525526	GPA	ABR_A17	0.04654711	GPA	ABR_A35	0.05777724	WEI
ABR_A7	0.04924890	LN3	ABR_A18	0.05049578	WEI	ABR_A36	0.05781107	PE3
ABR_A8	0.03326866	WEI	ABR_A21	0.05111546	GPA	ABR_A37	0.09320520	PE3
ABR_A9	0.04898446	GEV	ABR_A22	0.05273218	PE3	ABR_A38	0.09696318	LN3
ABR_A10	0.05925324	GPA	ABR_A23	0.06866973	GPA	ABR_A39	0.07866406	GLO
ABR_A11	0.07003395	GPA	ABR_A24	0.06265993	WEI	ABR_A40	0.08186433	GPA
ABR_A12	0.09923016	GLO	ABR_A27	0.03843868	GLO	ABR_A42	0.05669705	LN3

La prueba del mejor ajuste mensual, verifica mediante la prueba de Kolmogorov Smirnov, la menor distancia entre la distribución de probabilidad teórica y una correspondiente distribución empírica, para cada estación analizada y para cada mes del año.

MEJOR AJUSTE MENSUAL  
(Test de Kolmogorov Smirnov)



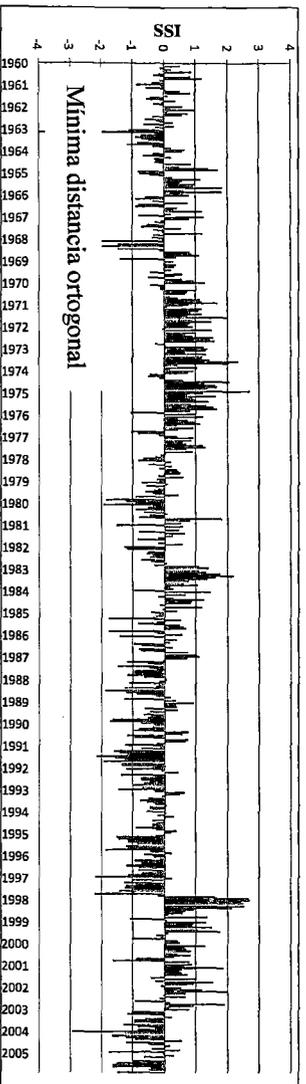
**Figura 4.26** Gráfica de cajas. Estadística del Test de Kolmogorov Smirnov (KS), obtenido del análisis de las seis distribuciones de probabilidad a un nivel mensual provenientes de las 30 estaciones analizadas.

La **Figura 4.26** muestra la gráfica de cajas (Boxplot) de la serie caudales mensuales de las 30 estaciones analizadas, para un nivel de significancia de 5% ( $\alpha=0.05$ ), las seis distribuciones analizadas proporcionan ajustes adecuados a la serie de caudales mensuales, los valores del D (diferencia máxima) en la mayoría de los casos se encuentran por debajo del nivel crítico ( $D_{max}=0.200521$ ) para 46 datos analizados, salvo en el mes de Enero para la distribución de Pearson Tipo III que sobrepasa este nivel crítico, los valores mayores al nivel crítico fueron excluidos al momento de seleccionar el mejor ajuste a una distribución aplicando la prueba de KS, pues para seleccionar el mejor ajuste mensual (BMF) se escoge la distribución que tenga la mínima diferencia entre todas las distribuciones para el mes de análisis.

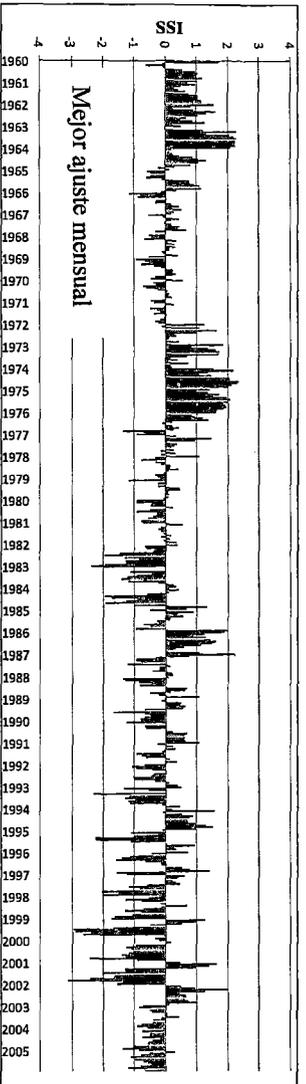
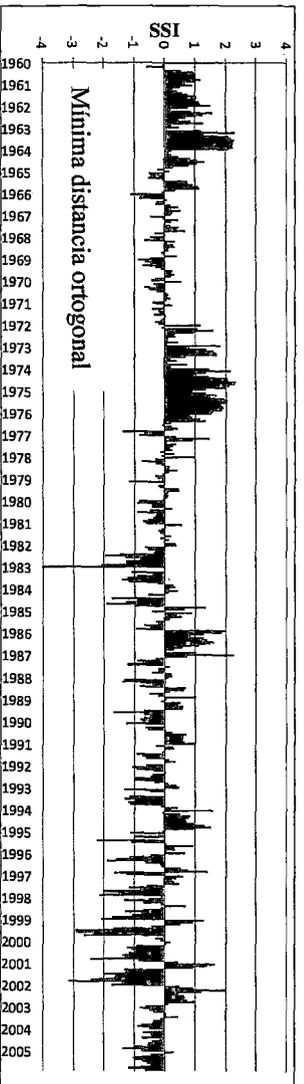
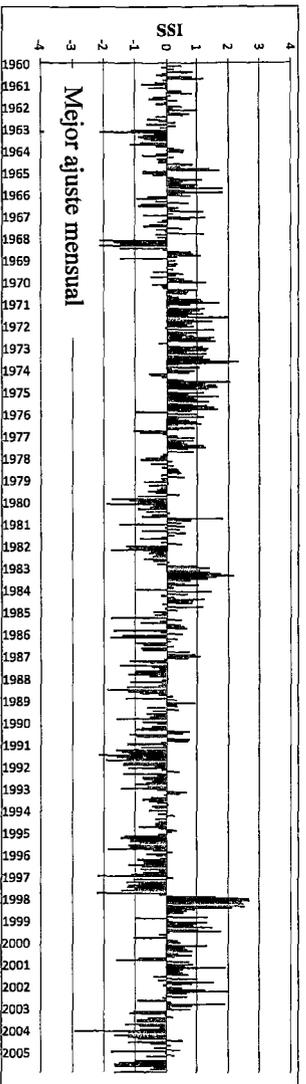
La figura 4.24 muestra que es difícil determinar que distribución proporciona el mejor ajuste para la serie mensual, porque hay marcadas diferencias entre los distintos meses del año, pero la gráfica muestra la concentración del resultado aplicando la prueba de KS entre 0.05 y 0.10 para todos los meses sin considerar los mínimos y/o máximos.

La **Figura 4.27** y **4.28** muestra la evolución del índice de sequía de caudal estandarizado (SSI) mediante la aplicación de dos métodos de ajuste diferentes como son: la mínima distancia ortogonal (AWD) y el mejor ajuste mensual (BMF) para la estación Puchaca (Lambayeque) y la estación Coranchay (Tacna), el método de la (AWD) se encuentra conformado por las distribuciones que se encuentren próximas a la data observada para el mes de análisis, de igual manera el (BMF) está conformado por las distribuciones que posean la menor estadística para el mes de análisis, es así que ambos métodos de ajuste están conformados por diferentes distribuciones en el periodo de un año.

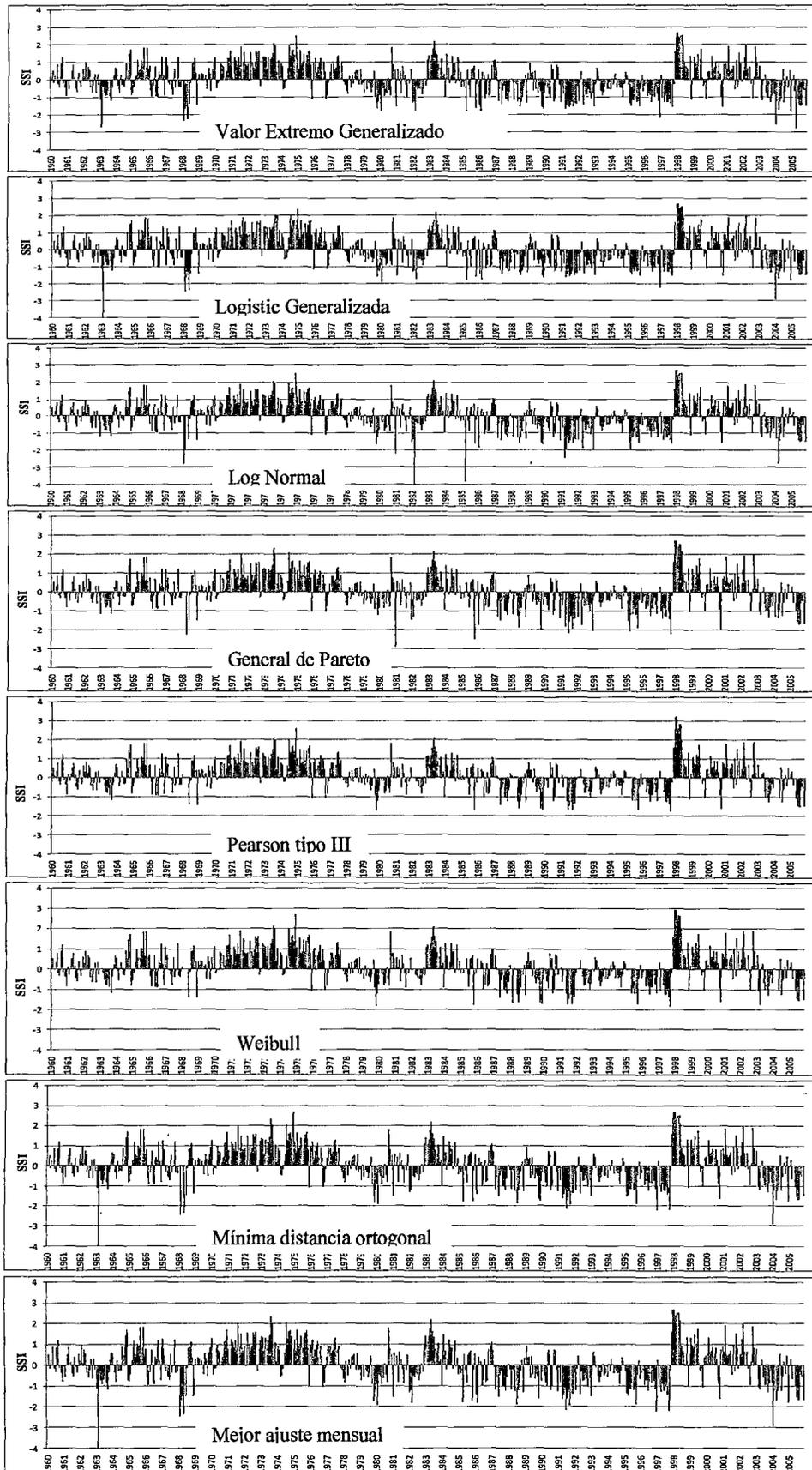
De la inspección visual de la serie de SSI formado con los métodos de la (AWD) y (BMF), se puede observar que representan los principales episodios secos y húmedos, como la sequía registrada de 1985-97, cambiando a periodo húmedo por el fenómeno del niño del año 1997-1998, la representación del comportamiento hídrico aplicando ambas metodologías son similares, de ahí la dificultad de seleccionar el método de ajuste más adecuado mediante la inspección visual, para la selección se aplicará una prueba basada en la estandarización (0,1) para la elección de una única distribución de probabilidad.



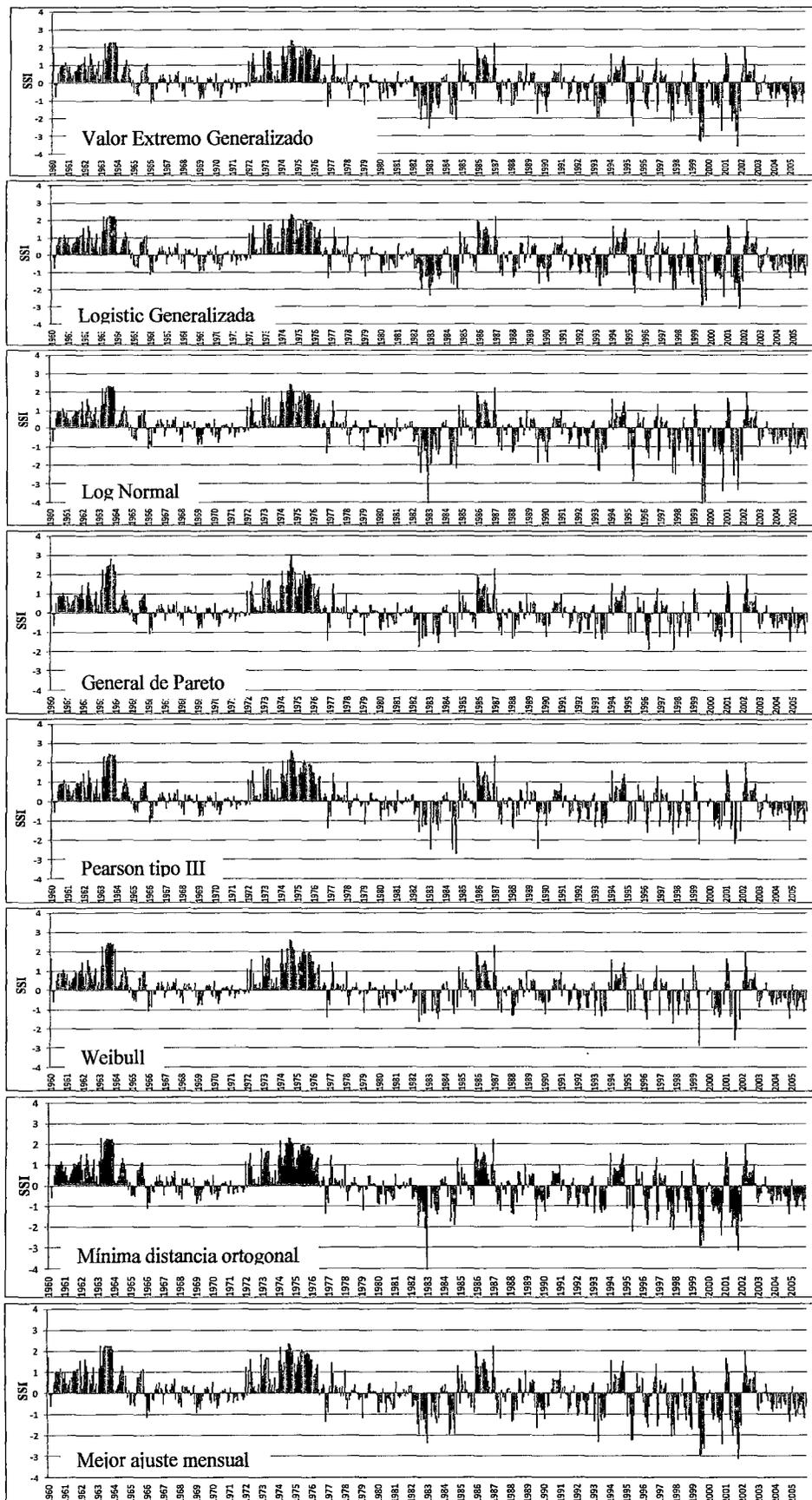
**Figura 4.27** Evolución temporal del índice de seguía de caudales (SSI) obtenido usando la mínima distancia ortogonal (AWD), y el mejor ajuste mensual (BMF) para la estación Puchaca (Lambayeque)



**Figura 4.28** Evolución temporal del índice de seguía de caudales (SSI) obtenido usando la mínima distancia ortogonal (AWD), y el mejor ajuste mensual (BMF) para la estación Coranchay (Tacna).



**Figura 4.29** Evolución temporal del índice de sequía de caudales (SSI), usando las seis distribuciones seleccionadas y los dos métodos de ajuste en la Est. Puchaca (Lambayeque).



**Figura 4.30** Evolución temporal del índice de sequía de caudales (SSI), usando las seis distribuciones seleccionadas y los dos métodos de ajuste en la Est. Coranchay (Tacna).

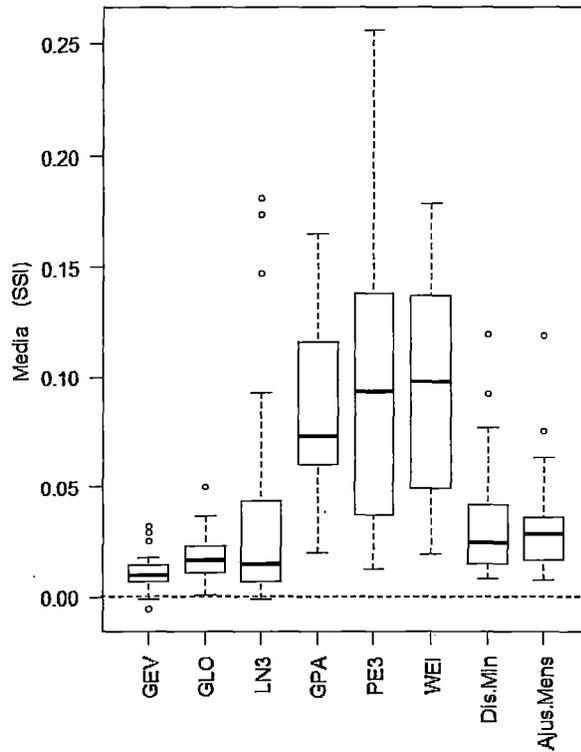
La **Figura 4.29 y 4.30** muestra el resumen de la evolución temporal del índice de sequía de caudales (SSI) para las seis distribuciones evaluadas y los dos métodos de ajuste con el fin de realizar un análisis visual del comportamiento hídrico en ambas estaciones hidrométricas (Est. Puchaca y Est. Coranchay), la elección de la distribución se realizó mediante la prueba de estandarización (0,1)

#### **4.2.3 Elección de un índice de sequía de caudal estandarizado (SSI)**

La elección de una distribución de probabilidad para la caracterización de los eventos de sequía hidrológica se realizó evaluando las características estadísticas del índice de sequía de caudal estandarizado (SSI), debido a que el SSI es una variable estandarizada, se espera que la media a lo largo del periodo de análisis sea igual a 0 y se espera que la desviación estándar sea igual a 1, con la finalidad que nos permita realizar la comparación espacial y temporal de las condiciones hidrológicas en una vasta cantidad de ríos a lo largo de la costa peruana, en la Vertiente del Pacífico.

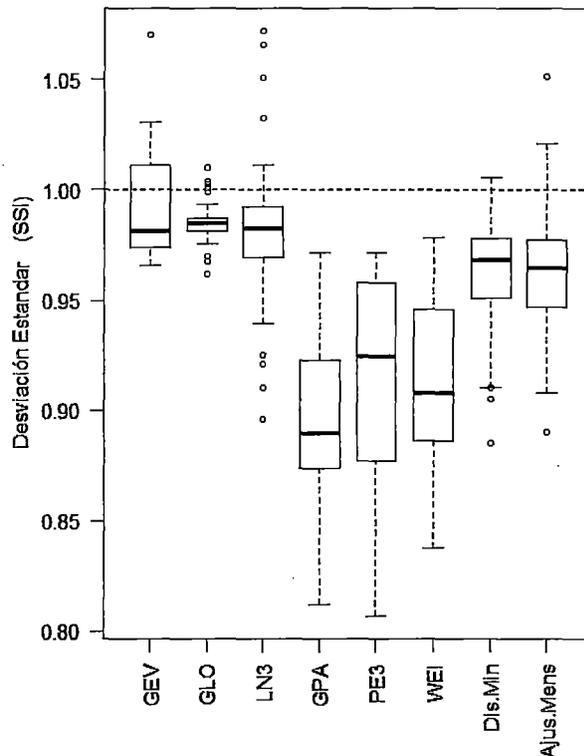
La **Figura 4.31** muestra el diagrama de Boxplot de la media (promedio) del índice de sequía de caudal estandarizado (SSI) de las seis distribuciones analizadas y los dos métodos de ajuste, sobre la base de la estandarización de caudales con una media esperada igual a 0 (línea entrecortada roja), los SSI evaluados para cada distribución mostraron deficiencias en el valor de la media esperado, como se puede observar la media de los valores del SSI para todas las distribución son positivas, las distribuciones que poseen una media alejadas del valor esperado son: (Weibull, General de Pareto y Pearson tipo III), mientras que los valores promedios del SSI cuyos datos concentrados son cercanos a cero (valor esperado) pertenecen a las distribuciones: (Valor extremo Generalizado, Logistic Generalizado y Log Normal), los dos métodos de ajuste proporcionaron valores cercanos a cero, el cual garantiza la fiabilidad de los métodos para caracterizar la sequía hidrológica mediante la aplicación de varias distribuciones de probabilidad.

**Variable estandarizada (media)**



**Figura 4.31** valores promedio del SSI de las seis distribuciones y los dos métodos de ajuste analizados para las 30 estaciones hidrométricas.

**Variable estandarizada (desviación estándar)**



**Figura 4.32** valores de la desviación estándar del SSI de las seis distribuciones analizadas y los dos métodos de ajuste para las 30 estaciones hidrométricas.

La **Figura 4.32** muestra el diagrama de Boxplot de la desviación estándar del SSI, sobre la base de la estandarización, los índices de sequía de caudal estandarizado (SSI) evaluados para las seis distribuciones analizadas y los dos métodos de ajuste, mostraron deficiencias en el valor de la desviación estándar esperado, se observa que la media de la desviación estándar del SSI para todas las distribuciones y los dos métodos de ajuste son positivos, las distribuciones menos recomendables por tener valores de la desviación estándar alejadas del valor esperado (cercano a uno) son: (Weibull, General de Pareto y Pearson tipo III), mientras que los valores promedios de la desviación estándar del SSI cercanos a uno (valor esperado) pertenecen a las distribuciones: (Valor extremo Generalizado, Logistic generalizado y Log Normal), los dos métodos de ajuste proporcionaron valores cercanos a uno, el cual garantiza la fiabilidad de los métodos para caracterizar la sequía hidrológica mediante la aplicación de varias distribuciones de probabilidad.

La **Figura 4.31** y **Figura 4.32** muestran los valores esperados que debería cumplir toda variable estandarizada el cual debe poseer un promedio (media) y una desviación estándar (0, 1), la línea entrecortada de color rojo identifica los valores esperados.

Del resultado mostrado en la **Figura 4.31** y **Figura 4.32** para la elección de un índice de sequía de caudal estandarizado (SSI), sobre la base de toda variable estandarizada, el valor estadísticamente esperado en la media (promedio) y la desviación estándar es (0,1), los resultados muestran que el uso de una única distribución de probabilidad para cada estación hidrométrica, no proporciona un índice fiable debido a la gran variabilidad en las propiedades estadísticas de la serie mensual como se observa en las distribuciones Weibull, Pearson tipo III y General de Pareto, sin embargo si una distribución de probabilidad es requerido para obtener un SSI, los resultados de esta investigación sugieren que el Valor Extremo Generalizado (GEV), Log-Normal (LN) o la distribución Log-Logistic (GLO) deben ser seleccionados, sin embargo estas dos primeras distribuciones (GEV y LN) tienden a subestimar y sobrestimar los valores máximos y mínimos más extremos del conjunto de datos analizados, siendo recomendable la distribución Log-Logistic, sin embargo el comportamiento hidrológico anual en una estación no puede ser descrito por una sola distribución de probabilidad, como se ha demostrado anteriormente en la **Figura 4.16** y **4.17**, el comportamiento hidrológico anual es representado por varias distribuciones mensuales, el ciclo

hidrológico está influenciado por la estacionalidad (primavera, verano, otoño e invierno) de los recursos hídricos, con marcadas diferencias entre las épocas de avenida y estiaje, siendo estos comportamientos descritos por diferentes distribuciones de probabilidad para la serie de caudal registrado en el periodo de un año.

Los dos métodos de ajuste como son: la distancia mínima ortogonal (AWD) y el mejor ajuste mensual (BMF), proporcionaron mayor flexibilidad al momento de describir el comportamiento hidrológico mediante varias distribuciones de probabilidad para un registro anual, los cuales vencieron las limitaciones que fueron asociados al uso de una única distribución de probabilidad, por tal motivo ambos métodos proporcionan un robusto índice de sequía de caudal estandarizado (SSI) que garantiza la comparación espacial y temporal de las condiciones de sequía en la Vertiente del Pacífico, ellos proporcionan resultados próximos al valor esperado de toda variable estandarizada.

### **4.3 Caracterización de la sequía hidrológica en la Vertiente del Pacífico**

La caracterización de la sequía hidrológica, está basado en la metodología de umbrales o límites que definen el inicio o término de un evento de sequía aplicada a una serie de caudales mensuales. Los umbrales son constantes determinadas (percentil 20, sequía moderada y percentil 5, sequía extrema, definidos previamente) que nos ayudan a inferir las principales características de la sequía como son: duración, magnitud y extensión espacial, que diferencia a una sequía de otras.

Los eventos de sequía ocurridos en la Vertiente del Pacífico entre los años de 1960 al 2005 se determinaron mediante el uso de umbrales invariables en el tiempo y el espacio, dado la serie de caudales convertidas a valores estandarizados (SSI) mediante una metodología de ajuste denominada distancia mínima ortogonal (AWD), resultando estos valores comparables en el tiempo y el espacio.

Los umbrales se fijaron de la siguiente manera:

- Sequía Moderada (20% de la probabilidad del SSI, percentil 20)  
Correspondiente a un valor de SSI de -0.84
- Sequía Extrema (5% de la probabilidad del SSI, percentil 5)  
Correspondiente a un valor de SSI de -1.65

La elección de los umbrales es algo subjetivo, se realizó siguiendo la recomendación de trabajos publicados recientemente sobre esta temática (caracterización de sequías).

El uso de umbrales permitió la caracterización de los episodios de sequía en la Vertiente del Océano Pacífico usando los principales parámetros como son: duración, magnitud y extensión espacial.

Del Cuadro 4.9 se concluye que las estaciones con un comportamiento estadísticamente similar según la metodología del Vector Regional (MVR), forman regiones con un comportamiento hidrológico homogéneo (Cuadro 4.34), estas se caracterizan por presentar patrones regionales de la evolución de la sequía hidrológica similar a otras estaciones ubicadas en la costa peruana, estas estaciones fueron agrupadas en regiones para caracterizar los eventos de sequía hidrológica.

El Cuadro 4.34 muestra las estaciones hidrométricas analizadas agrupadas en cuatro regiones hidrológicas ordenadas en forma secuencial de Norte a Sur como se detalla.

Las estaciones analizadas fueron agrupadas en cuatro regiones como se detalló anteriormente (Ver pag 71 al 79).

**Cuadro 4. 34 Regiones Hidrológicas Homogéneas**

N°	Estación	Río	Región	N°	Estación	Río	Región
A1	El tigre	Tumbes	1	A8	Yonan	Jequetepeque	2
A37	Puente tumbes	Tumbes	1	A9	Salinar-tambo	Chicama	2
A2	Ardilla	Chira	1	A10	Quirihuac-moche	Moche	2
A5	Puchaca	La Leche	1	A11	Huacapongo	Víru	2
A6	Raca rumi	Chancay-Lambayeque	1	A12	Condorcerro	Santa	2
A7	El batán	Zaña	1	A13	Sañ jacinto	Nepaña	2
				A14	Sector tutuma	Casma	2
N°	Estación	Río	Región	N°	Estación	Río	Región
A16	Yanapampa	Pativilca	3	A35	La achirana	Ica	4
A17	Puente alco	Huaura	3	A36	Bella unión	Acari	4
A18	Santo domingo	Chancay-Huaral	3	A27	Chucarapi	Tambo	4
A39	Chosica	Rímac	3	A28	Chiyaya	Moquegua	4
A21	La capilla	Mala	3	A40	Coranchay	Locumba	4
A22	Socsi-s y toma imper	Cañete	3	A38	Aricota	Locumba	4
A23	Conta	San Juan	3	A31	La tranca	Sama	4
A24	Letrayoc	Pisco	3	A32	Aguas calientes	Caplina	4
				A42	Piedras bancas	Hospicio	4

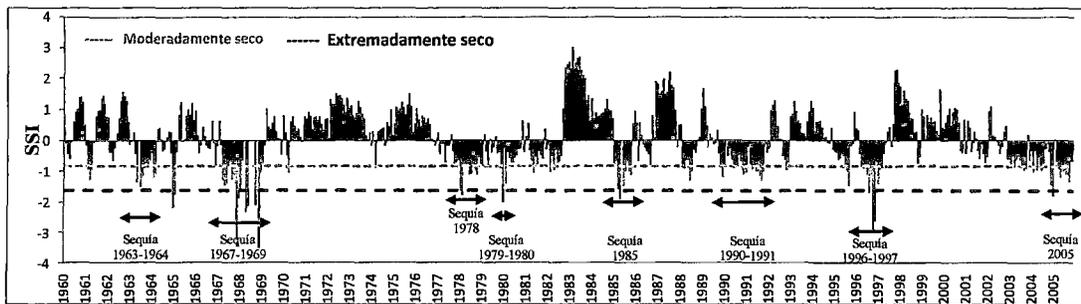
### 4.3.1 Duración

La duración es el tiempo en meses o años consecutivos durante el cual el caudal registrados en las estaciones hidrométricas pertenecientes a la Vertiente del Pacífico son inferiores al caudal medio para un mismo período analizado, la caracterización del parámetro duración de la sequía hidrológica se realizó en una gráfica de evolución temporal de la serie de caudales convertidas a valores estandarizados (SSI), definiendo previamente umbrales que indiquen el inicio y el término de la sequía.

Las **figuras 4.33 al 4.36** muestran la evolución temporal del índice de sequía de caudal estandarizado (SSI) en la Vertiente del Pacífico, ellas muestran las duraciones de las principales sequías que se han producido a lo largo del periodo de análisis (1960-2005), visualizando gráficamente el inicio y el término de una sequía. La línea de color amarillo, muestra el inicio y el término de una sequía moderada, la duración de esta sequía puede ser en meses o años durante el cual el caudal se encuentra por debajo de los niveles normales para un mismo periodo de análisis, la línea de color rojo, muestra el inicio y termino de la sequía extrema, que se produce posterior a un evento de sequía moderada indicando el grado de intensidad con el cual afecta a una vasta región en meses o incluso años consecutivos.

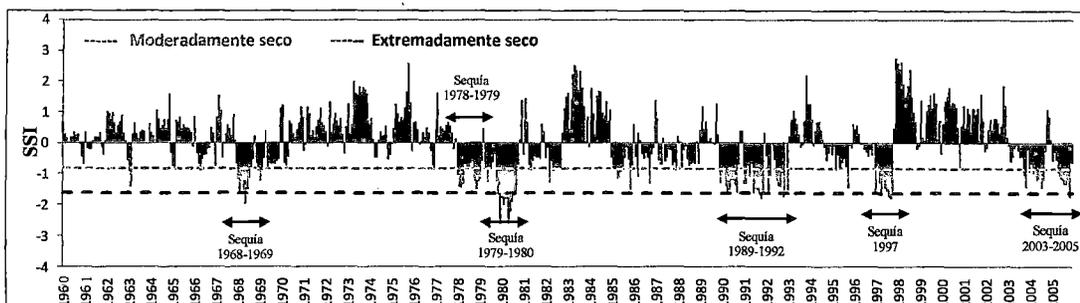
La **Figura 4.33** muestra la evolución temporal del índice de sequía de caudal estandarizado (SSI) de la región 1, representada por la estación El Tigre, ubicada en la zona Norte del Perú, la evolución temporal muestra las duraciones de las principales sequías que se han producido en esta región (Norte del Perú) en el periodo de 1960 al 2005, la última década de este periodo de análisis (1995-2005), se han producido dos sequías importantes, la sequía producida en el año de 1996-1997 (sequía extrema), que se produjo previo al fenómeno del niño del año 1997-1998, este fenómeno produjo un corte en la evolución del evento de sequía, produciendo un evento húmedo en todo la región 1, posterior a este evento, se produjo la sequía del año 2005 clasificado como sequía moderada, la duración de este evento no pudo ser definido por coincidir con el límite del periodo de análisis (1960 al 2005).

En el **Anexo VII** se muestra la caracterización de las sequías mediante la evolución temporal del (SSI), para cada estación analizada, se puede observar la intensidad, duración y la magnitud de las sequías ocurridas en el periodo analizado.



**Figura 4.33** Región 1. Evolución temporal del SSI, caracterización de la duración de sequía Estación El Tigre - A1 (Tumbes).

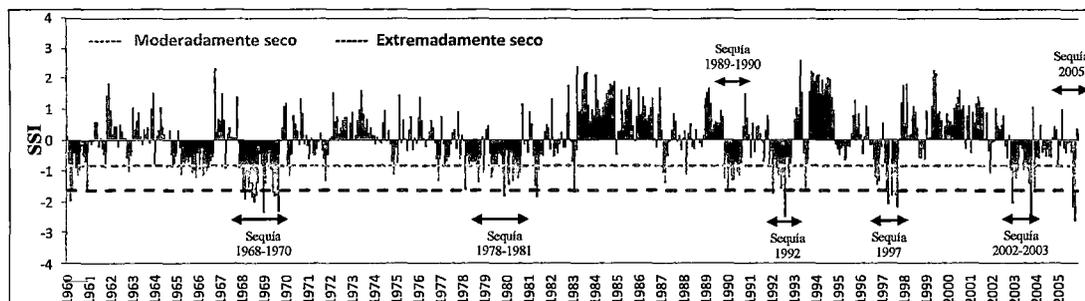
La **Figura 4.34** muestra la evolución temporal del índice de sequía de caudal estandarizado (SSI) perteneciente a la región 2, la estación representativa Salinar Tambo se ubica en el departamento de la Libertad en la zona Norte del Perú, la gráfica de la evolución temporal muestra las duraciones de las principales sequías que se han producido en la región 2 (Norte del Perú), entre los años de 1960 a 2005, produciéndose seis sequías de considerable duración como se observa en la **Figura 4.34**, en la última década de este periodo de análisis (1995-2005), se ha producido dos sequías de importante duración, la sequía producida el año de 1997 (sequía extrema), el cual se produjo anterior al fenómeno del niño del año de 1997-1998, este fenómeno produjo un corte de la evolución temporal de la sequía, produciendo un evento húmedo en toda la región 2 por un tiempo prolongado, otro evento de importancia es la producida el año del 2005, el cual fue clasificada como sequía moderada, la duración de este evento no es definido por llegar al término del periodo de análisis (1960-2005).



**Figura 4.34** Evolución temporal del SSI, caracterización de la duración de sequía Estación Salinar – Tambo – A9 (La Libertad).

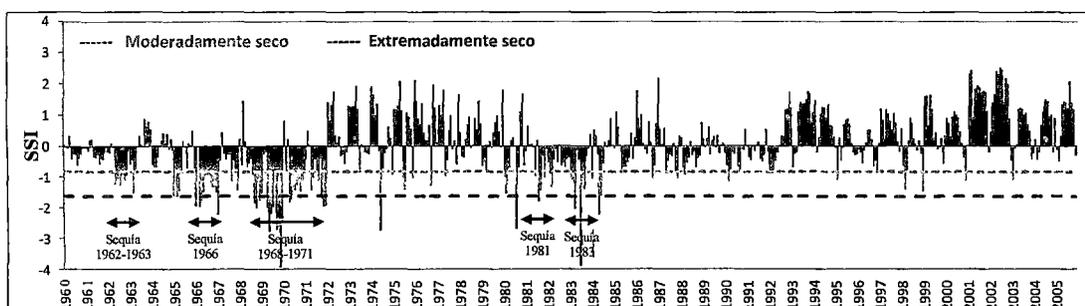
La **Figura 4.35** muestra la evolución del índice de sequía de caudal estandarizado (SSI), correspondiente a la región 3 (centro del Perú), la estación La Capilla ubicada en el

departamento de Lima es la representativa para esta región, la evolución temporal muestra las duraciones de las principales sequías que se han producido entre los años de 1960 al 2005, produciéndose siete sequías de importante duración, el análisis de sequía de la última década (1995-2005), muestra que se han producido tres sequías considerables como la sequía del año 1997 (sequía extrema), la sequía del año 2002-2003 (sequía extrema) y la sequía del año 2005 (sequía extrema), cuya duración es indeterminada por el término del periodo de análisis 1960-2005.



**Figura 4.35** Evolución temporal del SSI, caracterización de la duración de sequía Estación La Capilla – A21 (Lima).

De igual manera la **Figura 4.36** muestra la evolución de la sequía de caudal estandarizado (SSI) perteneciente a la región 4, ubicada en la zona sur del Perú, la estación Aricota es la representativa, ubicada en el departamento de Tacna, las duraciones de las principales sequías que se han producido en la región 4 (sur del Perú) en el periodo de 1960 al 2005, fueron tres, con algunos picos de sequías mensuales como los producidos en 1981 y 1983, en la última década (1995-2005), no se han producido sequías con duraciones importantes, sin embargo hay picos de sequías moderada, ello indica la poca frecuencia de sequía, considerando el clima árido que es predominante en esta región.



**Figura 4.36** Evolución temporal del SSI, caracterización de la duración de sequía Estación Aricota – A38 (Tacna).

### 4.3.2 Intensidad y Magnitud

La intensidad, es el máximo valor negativo de un evento seco, es el grado de déficit o severidad con que el recurso hídrico es afectado, para su evaluación se determinaron niveles de truncamiento o umbrales invariables en el tiempo y espacio, que clasifiquen a la sequía en función de la intensidad.

Los niveles de truncamiento que clasifican a la sequía según su intensidad son:

**Sequía moderada** (corresponden a un valor de intensidad inferior a -0.84)

**Sequía extrema** (corresponden a un valor de intensidad inferior a -1.65)

La magnitud es el déficit del volumen acumulado de caudal (m<sup>3</sup>), que se produce durante un evento de sequía para un nivel de truncamiento dado.

**Cuadro 4. 35** Cuantificación de la Intensidad Promedio (1960-2005)

N°	Estación 1960 - 2005	Río	N° de Eventos (Total)	Intensidad Prom.	N° de Eventos (Sequía Moderados)	Intensidad Prom.	N° de Eventos (Sequía Extrema)	Intensidad Prom.
A1	EL TIGRE	Tumbes	90	-1.30	75	-1.11	15	-2.27
A37	PUENTE TUMBES	Tumbes	90	-1.44	69	-1.15	21	-2.39
A2	ARDILLA	Chira	99	-1.40	76	-1.15	23	-2.23
A5	PUCHACA	La Leche	103	-1.33	85	-1.16	18	-2.11
A6	RACA RUMI	Chancay -Labayeque	99	-1.36	76	-1.19	23	-1.91
A7	EL BATAN	Zaña	118	-1.32	92	-1.14	26	-1.98
A8	YONAN	Jequetepeque	103	-1.36	85	-1.22	18	-2.03
A9	SALINAR - TAMBO	Chicama	103	-1.35	85	-1.24	18	-1.90
A10	QUIRIHUAC MOCHE	Moche	99	-1.29	84	-1.16	15	-2.04
A11	HUACAPONGO	Virú	86	-1.21	76	-1.12	10	-1.90
A12	CONDORCERRO	Santa	98	-1.36	78	-1.19	20	-2.01
A13	SAN JACINTO	Nepeña	104	-1.23	94	-1.16	10	-1.90
A14	SECTOR TUTUMA	Casma	78	-1.16	75	-1.13	3	-1.75
A16	YANAPAMPA	Pativilca	109	-1.36	86	-1.21	23	-1.93
A17	PUENTE ALCO	Huaura	103	-1.38	81	-1.17	22	-2.16
A18	SANTO DOMINGO	Chancay.Huaral	112	-1.34	87	-1.16	25	-1.97
A39	CHOSICA	Rímac	100	-1.39	77	-1.21	23	-2.00
A21	LA CAPILLA	Mala	103	-1.37	76	-1.16	27	-1.95
A22	SOCSI Y TOMA IMPERIAL	Cañete	107	-1.35	82	-1.18	25	-1.92
A23	CONTA	San Juan	116	-1.19	106	-1.11	10	-2.03
A24	LETRAYOCC	Pisco	117	-1.32	96	-1.17	21	-2.03
A35	LA ACHIRANA	Ica	79	-1.25	70	-1.17	9	-1.85
A36	BELLA UNIÓN	Acarí	100	-1.28	88	-1.20	12	-1.87
A27	CHUCARAPI	Tambo	82	-1.23	73	-1.14	9	-1.95
A28	CHIVAYA	Ilo-Moquegua	108	-1.40	88	-1.17	20	-2.40
A40	CORANCHAY	Locumba	105	-1.43	77	-1.14	28	-2.22
A38	ARICOTA	Locumba	93	-1.47	67	-1.17	26	-2.26
A31	LA TRANCA	Sama	96	-1.36	76	-1.20	20	-1.98
A32	AGUAS CALIENTES	Caplina	103	-1.36	81	-1.18	22	-2.01
A42	PIEDRAS BLANCAS	Hospicio	97	-1.54	64	-1.16	33	-2.30
<b>TOTAL DE EVENTOS PRODUCIDOS</b>			<b>3000</b>	<b>-1.34</b>	<b>2425</b>	<b>-1.17</b>	<b>575</b>	<b>-2.04</b>

El cuadro 4.35 muestra la cuantificación de los eventos de sequías producidos a lo largo del periodo de análisis (1960 al 2005), el total de eventos de sequía producidos en la Vertiente del Pacífico haciendo a tres mil eventos (3 000), la intensidad promedio

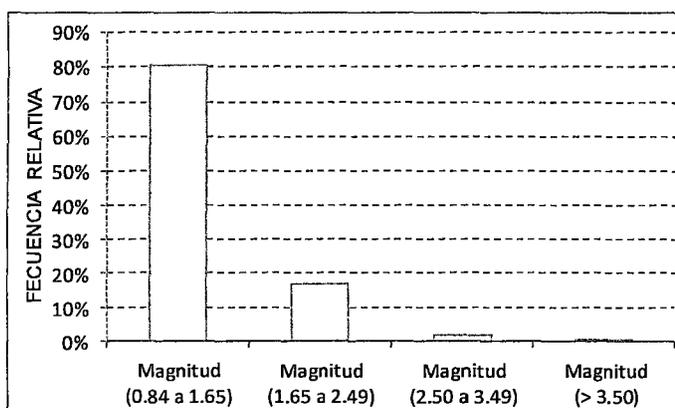
multianual para este periodo analizado es -1.34, este valor indica que el evento de sequía predominante es la Sequía Moderada, cuyo rango de intensidades varía de (-0.84 a -1.65), de estos tres mil (3 000) eventos producidos, dos mil cuatrocientos veinte y cinco (2 425) son eventos de Sequía Moderada, con una intensidad promedio de -1.17, el resto de eventos producidos en la Vertiente del Pacífico corresponde a la Sequía Extrema, con un total de quinientos setenta y cinco (575) eventos, el valor de la intensidad promedio multianual es de -2.04.

Estadísticamente la sequía predominante para este periodo de análisis (1960-2005), es la sequía moderada con un total de 2425 eventos, que representa el 80.83% del total de sequías producidas, la sequía extrema que se ha producido, suma 575 eventos, que representa el 19.17% del total de sequías producidas en la Vertiente del Pacífico.

**Cuadro 4. 36** Frecuencia de ocurrencia de sequías según su magnitud (1960-2005)

N°	Estación 1960 - 2005	Magnitud ( 0.84 a 1.65 )	Magnitud ( 1.65 a 2.49 )	Magnitud ( 2.50 a 3.49 )	Magnitud ( > 3.50 )	Total
A1	EL TIGRE	75	11	3	1	90
A37	PUENTE TUMBES	69	17	1	3	90
A2	ARDILLA	76	18	4	1	99
A5	PUCHACA	85	16	1	1	103
A6	RACA RUMI	76	23	0	0	99
A7	EL BATAN	92	25	1	0	118
A8	YONAN	85	17	1	0	103
A9	SALINAR - TAMBO	85	16	2	0	103
A10	QUIRIHUAC MOCHE	84	14	1	0	99
A11	HUACAPONGO	76	10	0	0	86
A12	CONDORCERRO	78	18	1	1	98
A13	SAN JACINTO	94	10	0	0	104
A14	SECTOR TUTUMA	75	3	0	0	78
A16	YANAPAMPA	86	22	1	0	109
A17	PUENTE ALCO	81	18	3	1	103
A18	SANTO DOMINGO	87	24	1	0	112
A39	CHOSICA	77	22	1	0	100
A21	LA CAPILLA	76	25	2	0	103
A22	SOCSI Y TOMA IMPERIAL	82	25	0	0	107
A23	CONTA	106	8	2	0	116
A24	LETRAYOCC	96	20	0	1	117
A35	LA ACHIRANA	70	9	0	0	79
A36	BELLA UNIÓN	88	12	0	0	100
A27	CHUCARAPI	73	8	1	0	82
A28	CHIVAYA	88	13	6	1	108
A40	CORANCHAY	77	20	7	1	105
A38	ARICOTA	67	19	5	2	93
A31	LA TRANCA	76	18	2	0	96
A32	AGUAS CALIENTES	81	21	1	0	103
A42	PIEDRAS BLANCAS	64	25	6	2	97

Estación 1960 - 2005	Moderada ( 0.84 a 1.65 )	Fuerte ( 1.65 a 2.49 )	Muy Fuerte ( 2.50 a 3.49 )	Ext. Fuerte ( > 3.50 )	Total
Número de eventos de sequía	2425	507	53	15	3000
Porcentaje de eventos (%)	80.83%	16.90%	1.77%	0.50%	100%



**Figura 4. 37** Frecuencia de ocurrencia de sequías según su magnitud (1960-2005)

Para describir la severidad de los eventos de sequía mediante el SSI, se calculó la magnitud de los tres mil (3 000) eventos registrados, por comodidad estos eventos registrados fueron agrupados en cuatro clases según su magnitud, estas agrupaciones son propias del autor, son apreciaciones desde un punto de vista subjetivo.

El **Cuadro 4.36** muestra el resultado de la agrupación de los eventos de sequía según su magnitud, observando la predominancia de las sequías moderadas con un 80.83% de los eventos ocurridos, la sequía fuerte con una magnitud entre 1.65 a 2.49, posee el 16.90% de los eventos ocurridos en el periodo analizado de 1960-2005, mientras que la sequía muy fuerte representa un 1.77% del total de eventos producidos, las sequías extremadamente fuertes con una magnitud superior a 3.5 según el SSI, son eventos esporádicos, pero que en el periodo analizado tiene un 0.5% de ocurrencia.

La **Figura 4.37** muestra la frecuencia de ocurrencia de los eventos de sequía según su magnitud, siendo la más recurrente la sequía moderada para el periodo de 1960-2005.

El **Cuadro 4.37** muestra la cuantificación de los eventos de sequía que se han producido entre los años de 1995-2005, el total de eventos producidos son 719 sequías, cuya intensidad promedio multianual es -1.30, afirmando así que el evento predominante es la Sequía Moderada, el total de eventos de sequía moderada que se ha producido en este periodo de análisis es de 579 eventos, mientras que los eventos de sequía extrema que se ha producido entre 1995-2005 suman en total 140, es así que la caracterización de la sequía hidrológica mediante un índice de sequía de caudal estandarizado (SSI), afirma que el evento recurrente es la sequía moderada.

**Cuadro 4. 37** Cuantificación de la Intensidad Promedio (1995-2005)

N°	Estación 1995 - 2005	Río	N° de Eventos (Total)	Intensidad Prom.	N° de Eventos (Sequía Moderados)	Intensidad Prom.	N° de Eventos (Sequía Extrema)	Intensidad Prom.
A1	EL TIGRE	Tumbes	27	-1.24	23	-1.07	4	-2.26
A37	PUENTE TUMBES	Tumbes	29	-1.35	23	-1.09	6	-2.35
A2	ARDILLA	Chira	13	-1.37	10	-1.16	3	-2.08
A5	PUCHACA	La Leche	42	-1.31	35	-1.16	7	-2.03
A6	RACA RUMI	Chancay -Labayeque	30	-1.39	23	-1.19	7	-2.01
A7	EL BATAN	Zaña	28	-1.18	23	-1.05	5	-1.76
A8	YONAN	Jequetepeque	22	-1.27	21	-1.25	1	-1.70
A9	SALINAR - TAMBO	Chicama	28	-1.29	25	-1.24	3	-1.75
A10	QUIRIHUAC MOCHE	Moche	26	-1.32	22	-1.22	4	-1.87
A11	HUACAPONGO	Virú	23	-1.16	22	-1.12	1	-1.93
A12	CONDORCERRO	Santa	18	-1.16	17	-1.10	1	-2.11
A13	SAN JACINTO	Nepeña	39	-1.32	33	-1.20	6	-1.97
A14	SECTOR TUTUMA	Casma	15	-1.10	15	-1.10	0	-
A16	YANAPAMPA	Pativilca	39	-1.36	31	-1.24	8	-1.82
A17	PUENTE ALCO	Huaura	19	-1.35	16	-1.17	3	-2.31
A18	SANTO DOMINGO	Chancay.Huaral	30	-1.35	23	-1.17	7	-1.91
A39	CHOSICA	Rimac	6	-1.18	5	-1.04	1	-1.88
A21	LA CAPILLA	Mala	23	-1.54	13	-1.15	10	-2.04
A22	SOCSI Y TOMA IMPERIAL	Cañete	15	-1.28	12	-1.14	3	-1.82
A23	CONTA	San Juan	25	-1.14	24	-1.12	1	-1.73
A24	LETRAYOCC	Pisco	17	-1.28	15	-1.17	2	-2.11
A35	LA ACHIRANA	Ica	4	-1.02	4	-1.02	0	-
A36	BELLA UNIÓN	Acarí	15	-1.26	13	-1.18	2	-1.76
A27	CHUCARAPI	Tambo	25	-1.15	24	-1.11	1	-2.10
A28	CHIVAYA	Ilo-Moquegua	42	-1.67	25	-1.11	17	-2.49
A40	CORANCHAY	Locumba	51	-1.58	34	-1.17	17	-2.40
A38	ARICOTA	Locumba	6	-1.17	6	-1.17	0	-
A31	LA TRANCA	Sama	13	-1.05	13	-1.05	0	-
A32	AGUAS CALIENTES	Caplina	40	-1.48	25	-1.19	15	-1.98
A42	PIEDRAS BLANCAS	Hospicio	9	-1.65	4	-1.14	5	-2.06
<b>TOTAL DE EVENTOS PRODUCIDOS</b>			<b>719</b>	<b>-1.30</b>	<b>579</b>	<b>-1.14</b>	<b>140</b>	<b>-2.01</b>

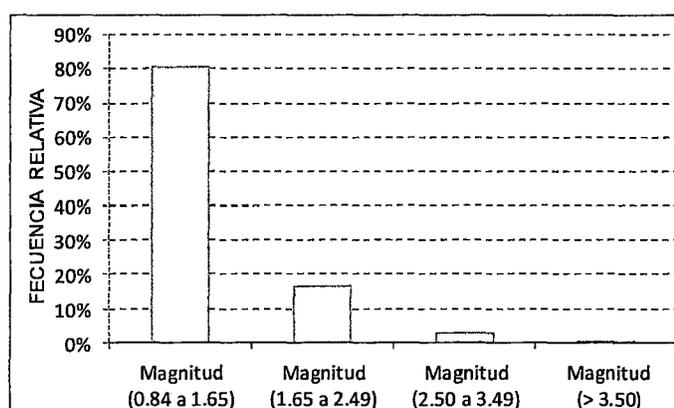
De igual manera el análisis del **Cuadro 4.38** muestra el resultado de las agrupaciones de los eventos de sequía que se han producido entre los años de 1995 a 2005, se observa que el evento recurrente es la sequía moderada, con un total de 579 eventos que representa el 80.53% del total de eventos que se ha producido en el periodo de análisis, la sequía fuerte con una magnitud entre 1.65 a 2.49, se presenta como segundo evento recurrente con 16.41% del total de eventos producidos, este análisis estadístico de la frecuencia de ocurrencia de la severidad o magnitud de la sequía nos indica que la Vertiente del Pacífico es potencialmente propensa a sufrir sequías moderadas, cuyo rango de intensidades varía de -0.84 a -1.65 en la escala de un índice de sequía de caudales estandarizados (SSI).

La **Figura 4.38** muestra la frecuencia de ocurrencia de los eventos de sequía según su magnitud, siendo la más recurrente la sequía moderada en el periodo de análisis de 1995-2005.

**Cuadro 4. 38** Frecuencia de ocurrencia de sequías según su magnitud (1995-2005)

N°	Estación 1995 - 2005	Magnitud ( 0.84 a 1.65 )	Magnitud ( 1.65 a 2.49 )	Magnitud ( 2.50 a 3.49 )	Magnitud ( > 3.50 )	Total
A1	EL TIGRE	23	2	2	0	27
A37	PUENTE TUMBES	23	5	0	1	29
A2	ARDILLA	10	2	1	0	13
A5	PUCHACA	35	6	1	0	42
A6	RACA RUMI	23	7	0	0	30
A7	EL BATAN	23	5	0	0	28
A8	YONAN	21	1	0	0	22
A9	SALINAR - TAMBO	25	3	0	0	28
A10	QUIRIHUAC MOCHE	22	4	0	0	26
A11	HUACAPONGO	22	1	0	0	23
A12	CONDORCERRO	17	1	0	0	18
A13	SAN JACINTO	33	6	0	0	39
A14	SECTOR TUTUMA	15	0	0	0	15
A16	YANAPAMPA	31	8	0	0	39
A17	PUENTE ALCO	16	2	1	0	19
A18	SANTO DOMINGO	23	7	0	0	30
A39	CHOSICA	5	1	0	0	6
A21	LA CAPILLA	13	8	2	0	23
A22	SOCSI Y TOMA IMPERIAL	12	3	0	0	15
A23	CONTA	24	1	0	0	25
A24	LETRAYOCC	15	2	0	0	17
A35	LA ACHIRANA	4	0	0	0	4
A36	BELLA UNIÓN	13	2	0	0	15
A27	CHUCARAPI	24	1	0	0	25
A28	CHIVAYA	25	10	6	1	42
A40	CORANCHAY	34	10	6	1	51
A38	ARICOTA	6	0	0	0	6
A31	LA TRANCA	13	0	0	0	13
A32	AGUAS CALIENTES	25	15	0	0	40
A42	PIEDRAS BLANCAS	4	5	0	0	9

Estación 1995 - 2005	Moderada ( 0.84 a 1.65 )	Fuerte ( 1.65 a 2.49 )	Muy Fuerte ( 2.50 a 3.49 )	Ext.Fuerte ( > 3.50 )	Total
Número de eventos de sequía	579	118	19	3	719
Porcentaje de eventos (%)	80.53%	16.41%	2.64%	0.42%	100%



**Figura 4. 38** Frecuencia de ocurrencia de sequías según su magnitud (1995-2005)

### 4.3.3 Extensión espacial

La caracterización espacial y temporal de un evento de sequía en la Vertiente del Pacífico, nos ayuda a entender la evolución, el inicio y el fin de este fenómeno, e identificar las zonas con mayor riesgo a sufrir temporadas secas, lo suficientemente severas como para ocasionar un grave desequilibrio hidrológico en un área extensa, ocasionando el desabastecimiento e incluso pérdidas económicas y humanas.

La **Figura 4.39** muestra la distribución espacial de la intensidad promedio de las sequías producidas entre 1960 a 2005. Se calculó el promedio de las intensidades inferiores a  $\leq -0.84$  (intensidad moderada) para cada estación analizada. En ninguna estación se presentó un valor promedio de intensidad inferior a -1.65 (sequía extrema), pero si podemos encontrar zonas con intensidad moderada promedio de grado 3 (SSI entre -1.16 a -1.32), de grado 4 (SSI entre -1.32 a -1.48) y grado 5 (SSI entre -1.48 a -1.65) en la escala del índice de sequía de caudales estandarizada (SSI), la intensidad promedio predominante es la moderada de grado 3,4 (SSI entre -1.16 a -1.48). En la **Figura 4.39** se subdividió el rango de intensidad moderada a fin de apreciar con más detalle el grado de intensidad predominante que es de grado 3 y 4, visualizando espacialmente que ambas intensidades son recurrentes en la Vertiente del Pacífico.

La **Figura 4.40** muestra la distribución espacial de la intensidad promedio de las sequías producidas entre 1995 a 2005. Se calculó el promedio de las intensidades inferiores a  $\leq -0.84$  (intensidad moderada), ninguna estación presento un valor promedio de intensidad inferior a -1.65 (sequía extrema), la intensidad promedio predominante es la sequía moderada de grado 3 y 4 en la escala del índice de sequía de caudales estandarizado (SSI), la figura muestra en detalle el grado de intensidad predominante que es de grado 3 y 4, visualizando espacialmente que ambas intensidades son recurrentes en la Vertiente del Océano Pacífico para el periodo de 1995 a 2005.

Las **Figuras 4.41** al **4.46** muestran la evolución temporal y espacial de los eventos de sequía producidas en el año de 1997-1998 como año representativo, se muestra un patrón espacial del comportamiento los caudales mínimos registrados (sequías), que indican el inicio y/o término de un evento seco en la Vertiente del Pacífico.

El **Anexo VIII** muestra los mapas de la caracterización espacial de la sequía, detallando el avance de los eventos producidos entre los años 2003-2005 a un paso mensual.

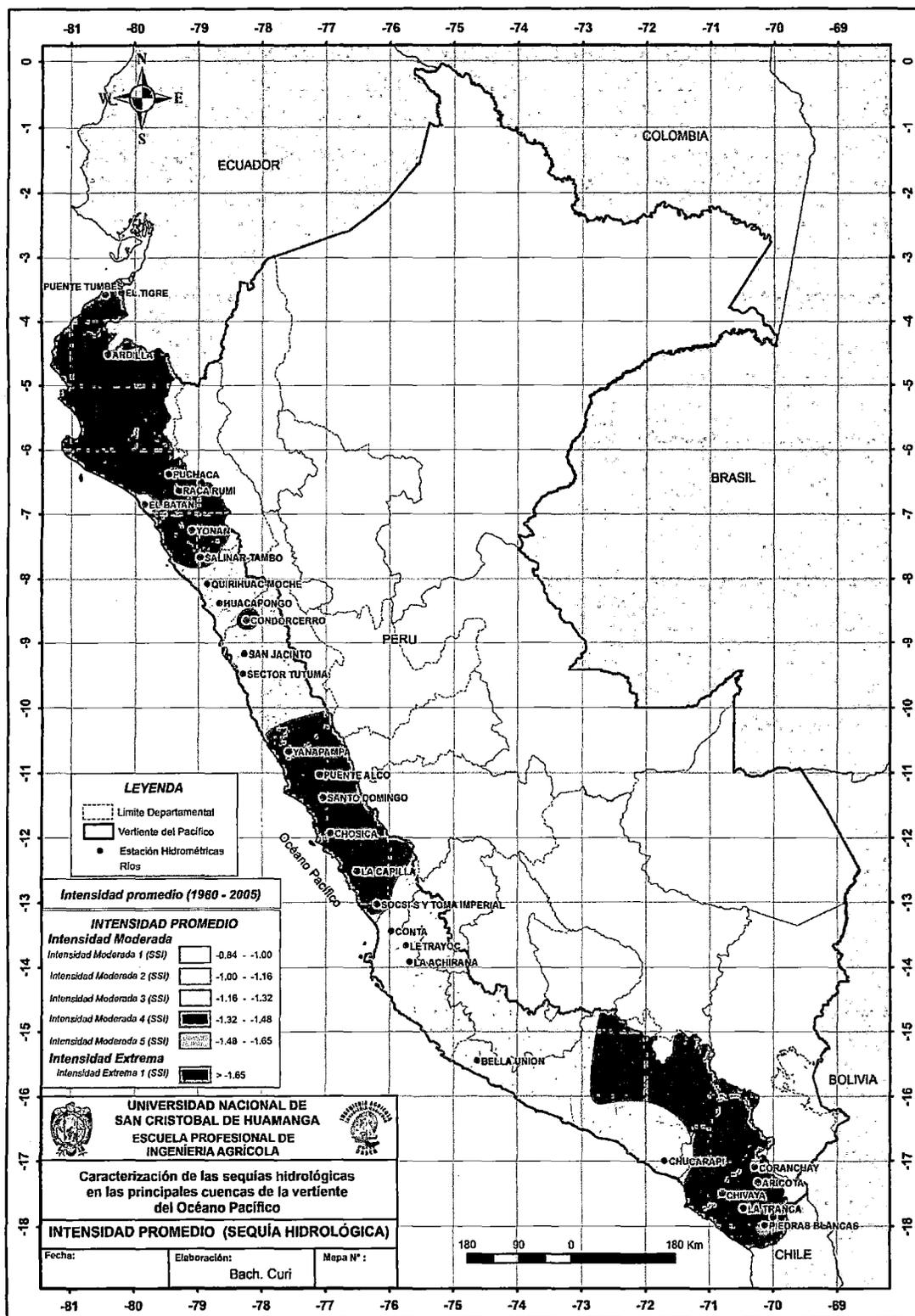


Figura 4. 39 Intensidad promedio de la sequía (SSI mensual) entre 1960 a 2005

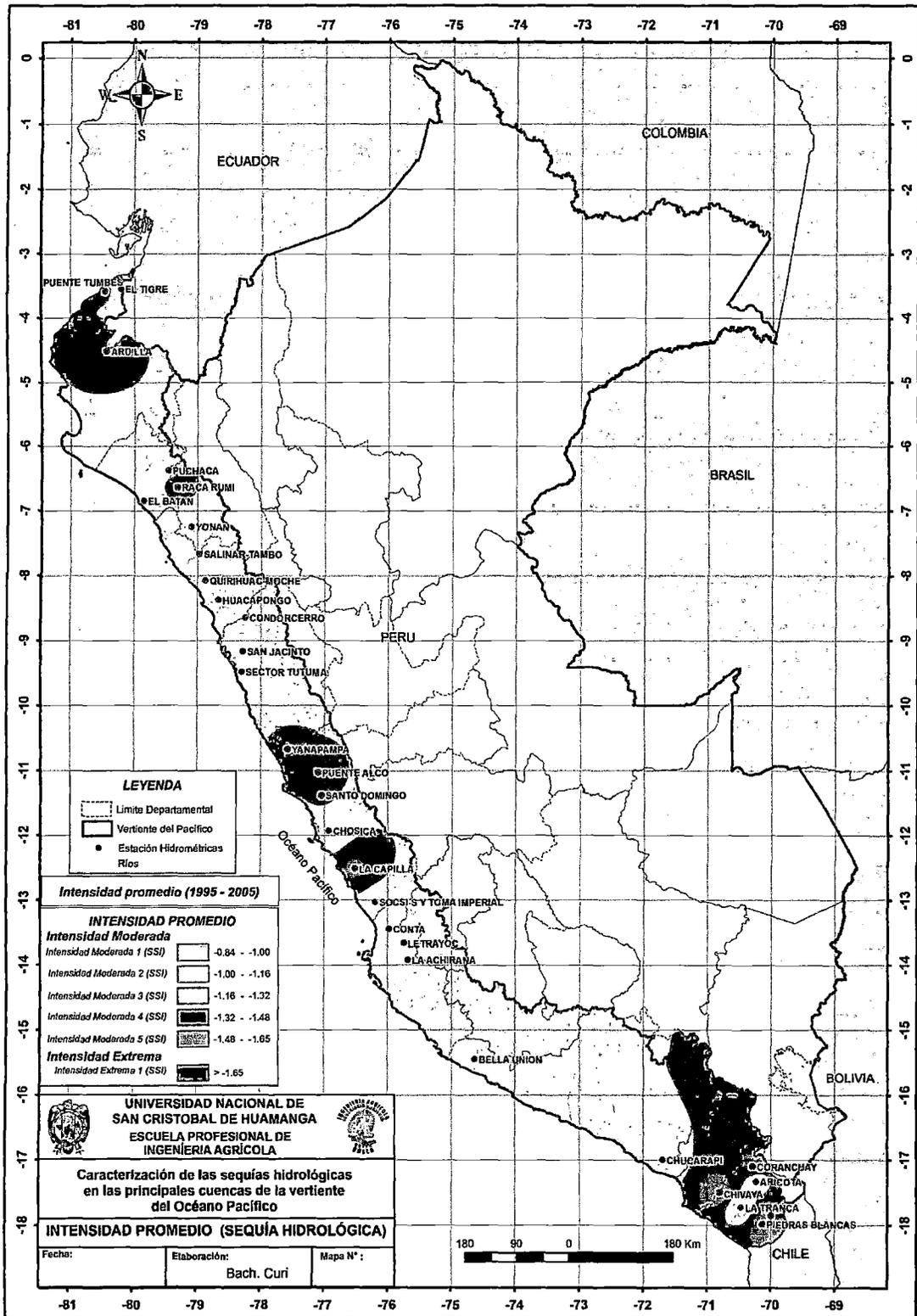


Figura 4. 40 Intensidad promedio de la sequía (SSI mensual) entre 1995 a 2005

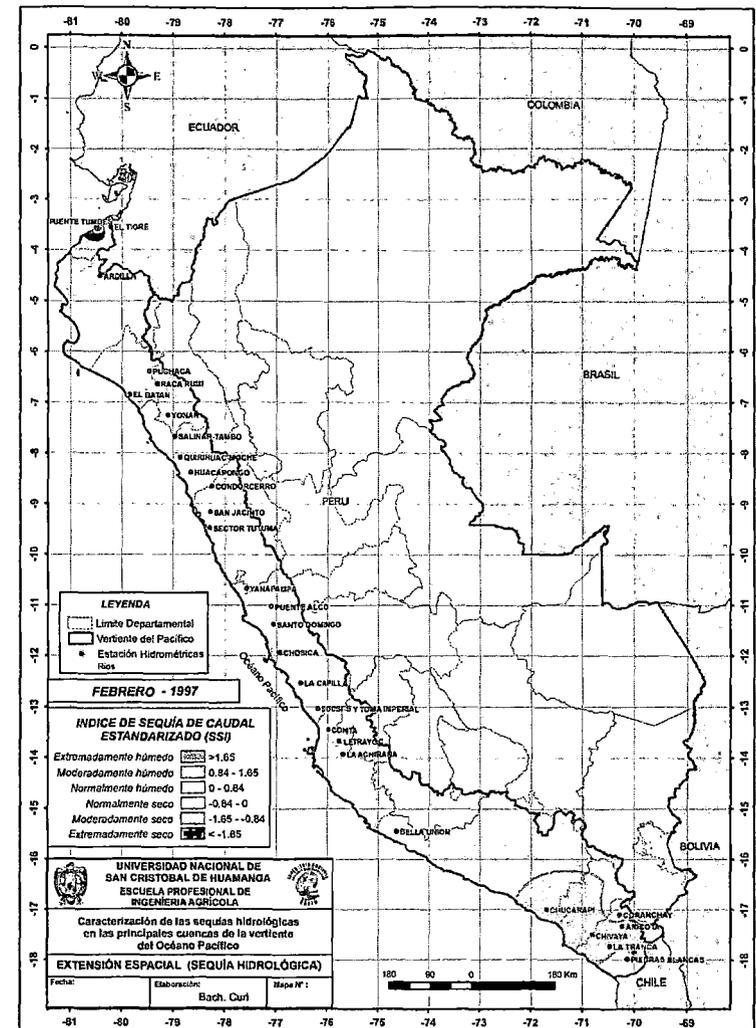
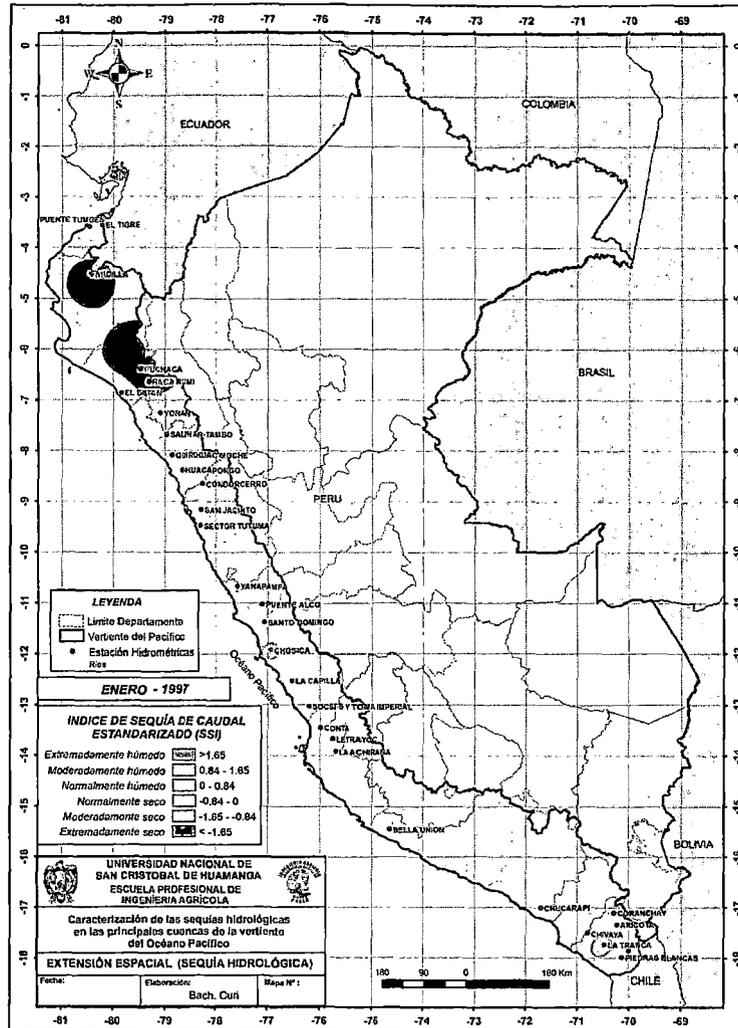


Figura 4. 41 caracterización espacial de la sequía año de 1997 (Enero - Febrero)

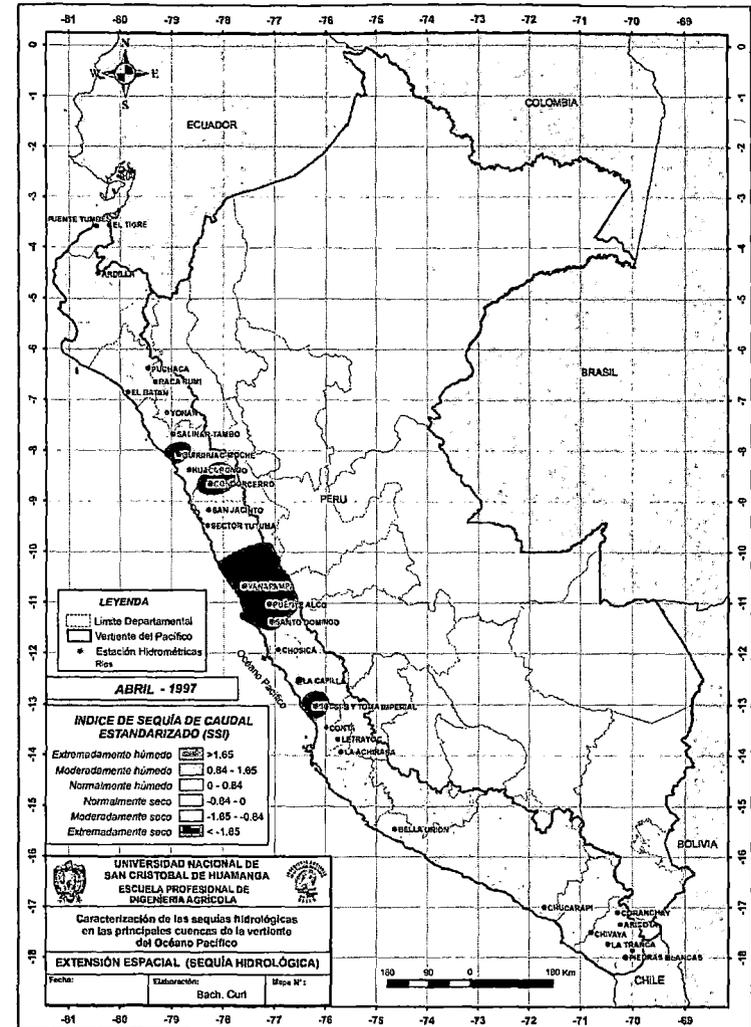
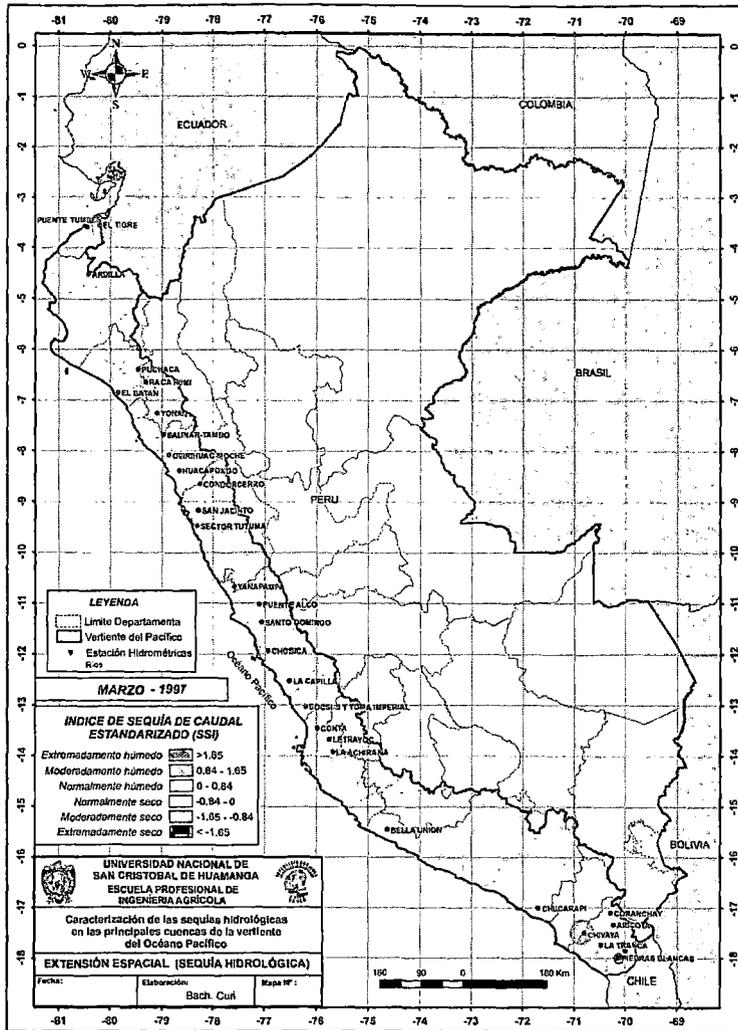


Figura 4. 42 caracterización espacial de la sequía año de 1997 (Marzo - Abril)

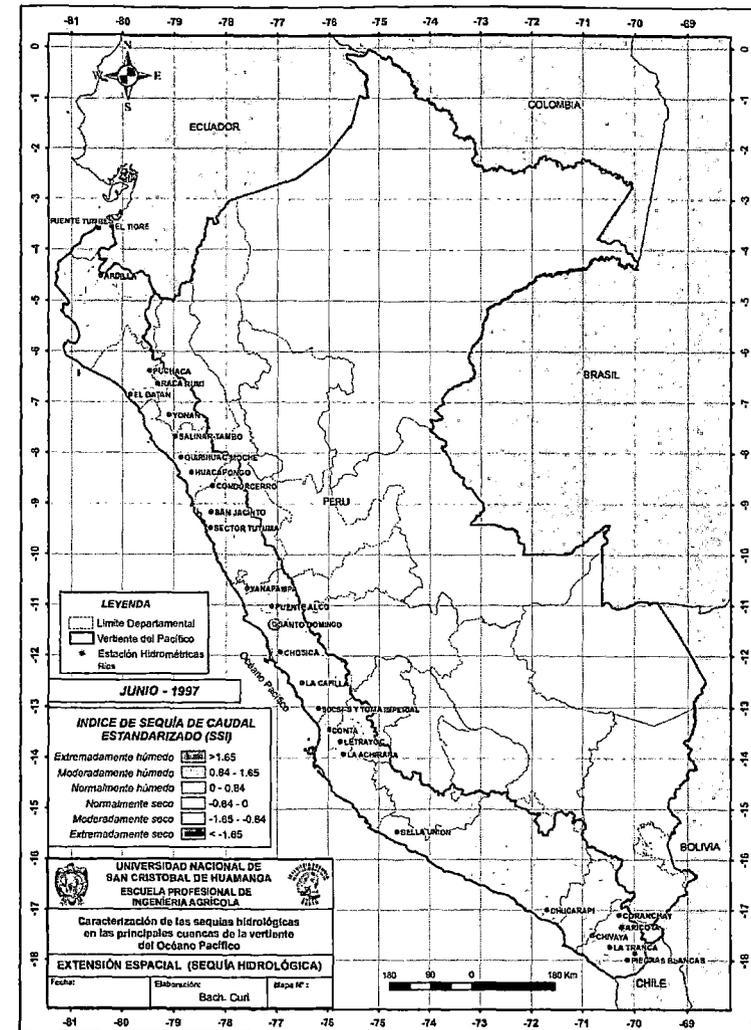
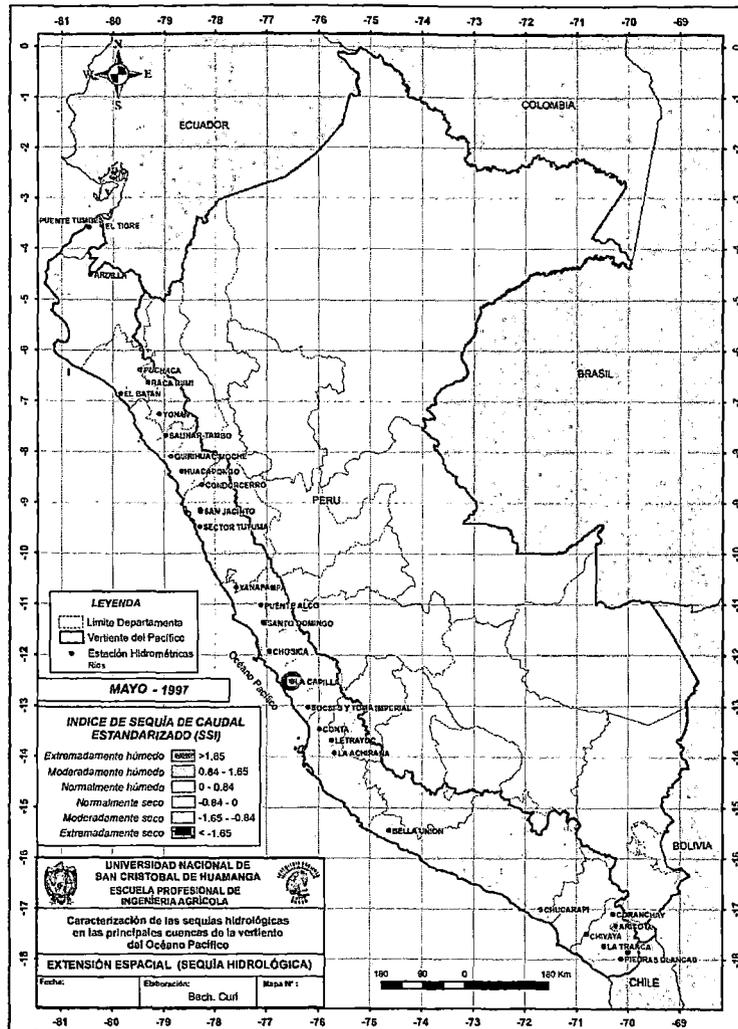


Figura 4. 43 caracterización espacial de la sequía año de 1997 (Mayo - Junio)

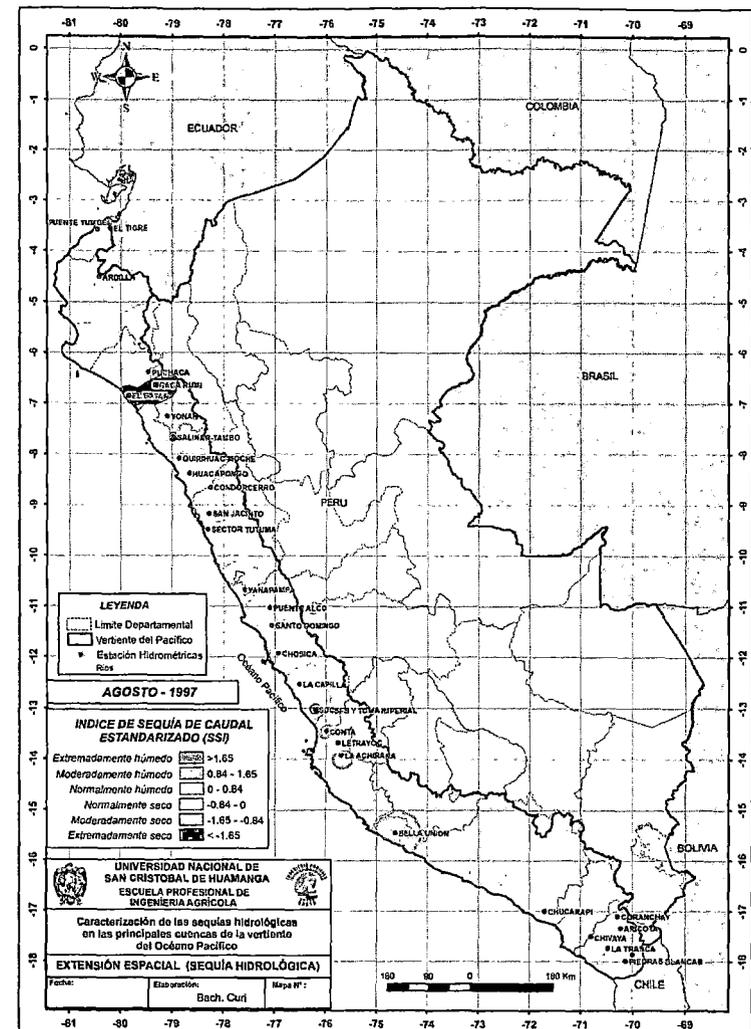
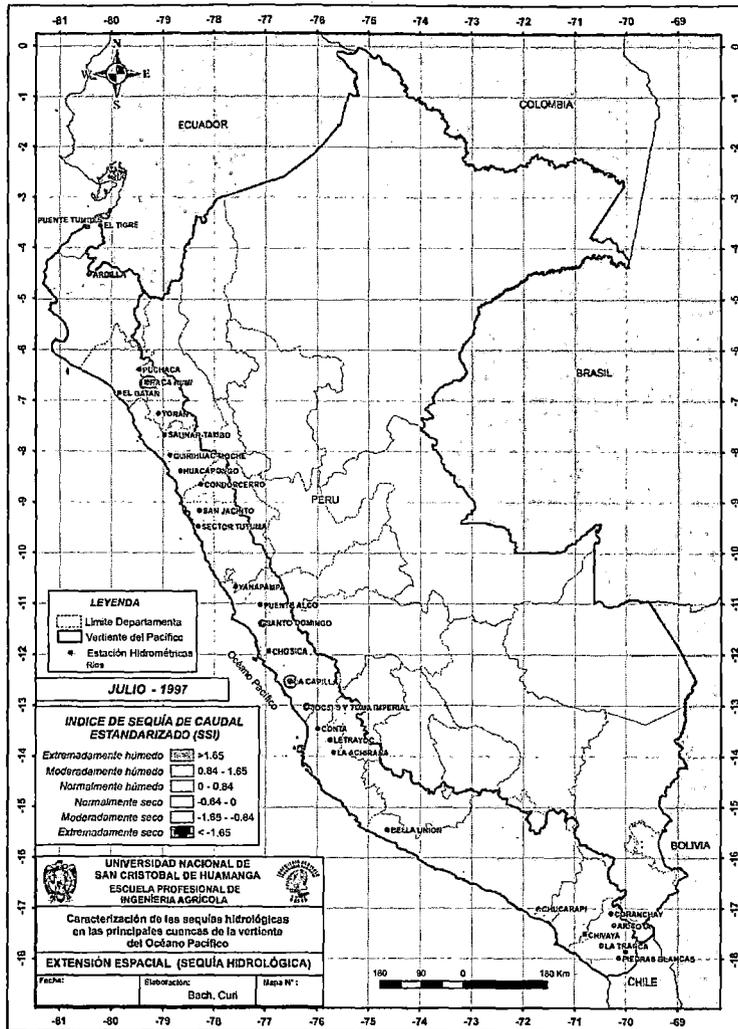


Figura 4. 44 caracterización espacial de la sequía año de 1997 (Julio - Agosto)

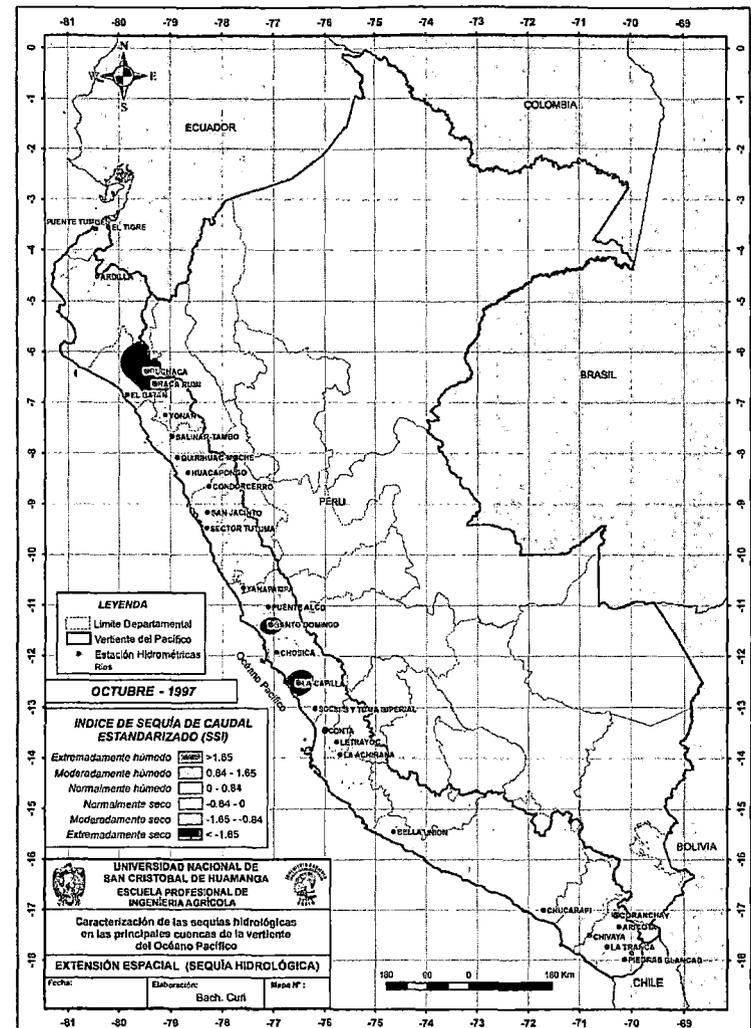
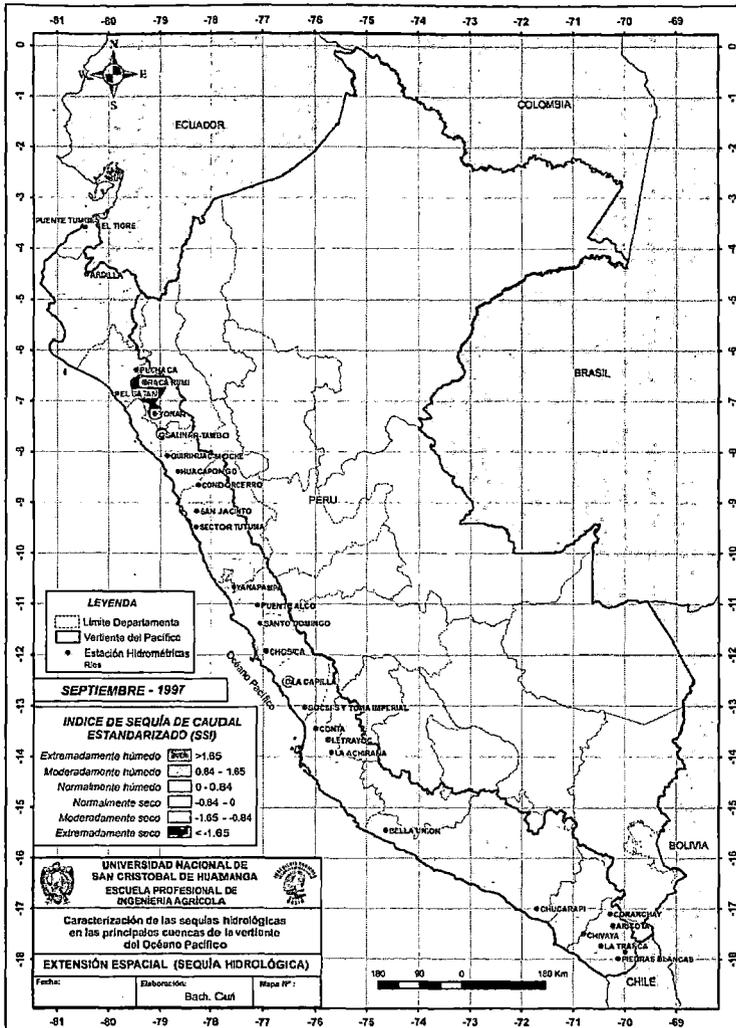


Figura 4. 45 caracterización espacial de la sequía año de 1997 (Septiembre - Octubre)

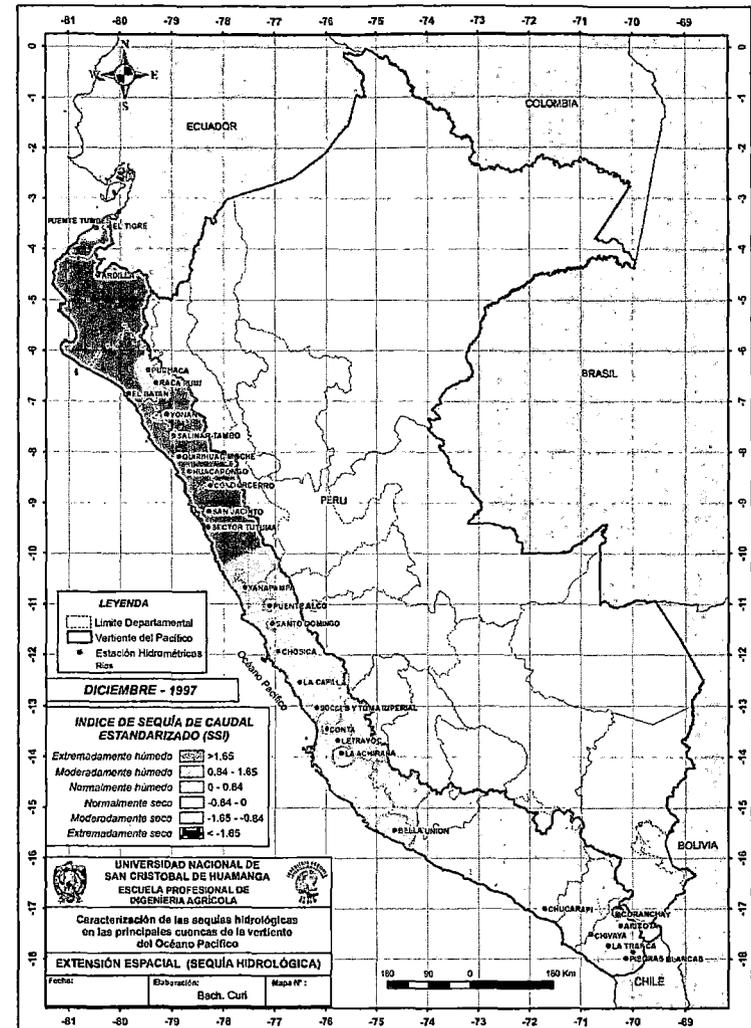
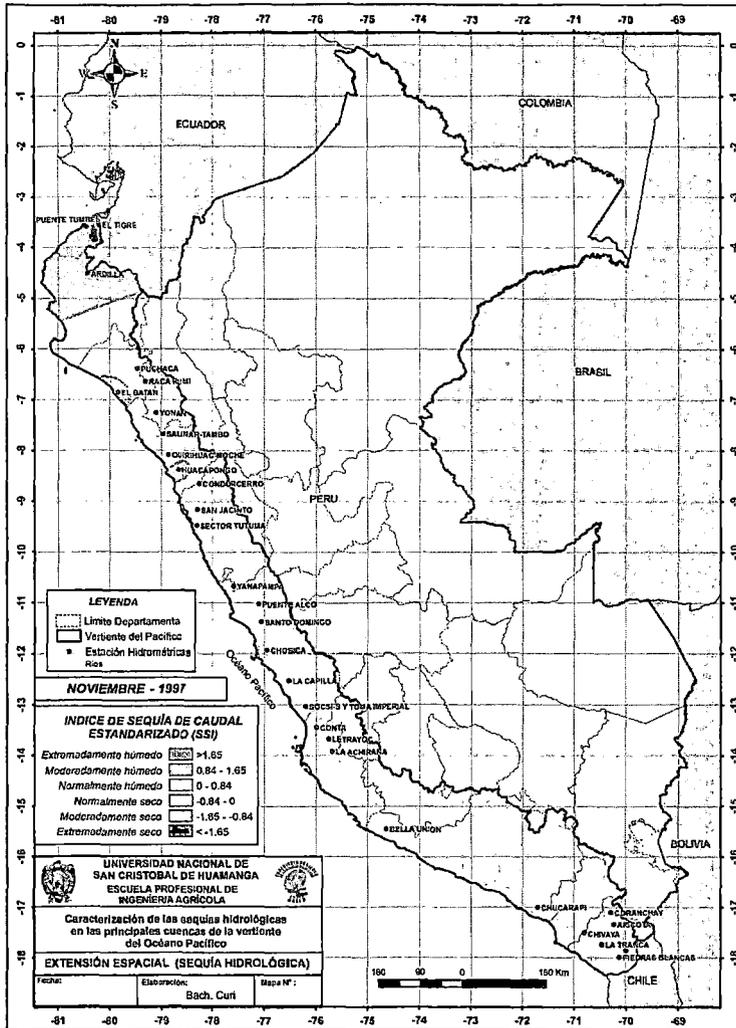


Figura 4. 46 caracterización espacial de la sequía año de 1997 (Noviembre - Diciembre)

## V. CONCLUSIONES

- Las distribuciones de probabilidad teóricas evaluadas, que caracterice las sequías hidrológicas, mediante un índice de sequía de caudales estandarizada (SSI), debe cumplir los valores estadísticamente esperados de toda variable estandarizada, media y desviación estándar de (0,1), las estaciones analizadas en la Vertiente del Pacífico, muestran que el uso de una única distribución de probabilidad para cada estación, no proporciona un índice (SSI) fiable, esto es debido a la gran variabilidad de las propiedades estadísticas de la serie mensual, sin embargo si una distribución es seleccionada para obtener un índice (SSI), se recomendaría la distribución Log Logistic, sin embargo el comportamiento hidrológico anual en una estación no puede ser descrito por una sola distribución de probabilidad, dado la estacionalidad (primavera, verano, otoño e invierno) de los recursos hídricos, con marcadas diferencias entre las épocas de avenida y estiaje, siendo estos comportamientos descritos por diferentes distribuciones de probabilidad para la serie de caudal registrado en el periodo de un año.
- Se evaluó los rendimientos del índice de sequía de caudales (SSI) a través de dos métodos diferentes, como es la distancia mínima ortogonal (AWD), y el mejor ajuste mensual (BMF), mediante el uso de varias distribuciones de probabilidad para una estación en los doce últimos meses del año, ambos métodos tuvieron una mayor flexibilidad al momento de cuantificar las condiciones secas y húmedas que se encuentran dentro del área de estudio (Vertiente del Pacífico), ambos métodos proporcionaron un robusto índice que garantice la comparación espacial y temporal de las condiciones de sequía, considerando que están conformados por varias distribuciones de probabilidad en el periodo de un año, estos métodos proporcionan resultados similares al promedio esperado (media) y la desviación estándar de los eventos secos, caracterizados mediante un índice de sequía de caudales estandarizados (SSI).

- El procedimiento para obtener un índice de sequía de caudales estandarizado (SSI) fue convirtiendo los caudales a su equivalente estandarizado (z-scores). Para esta estandarización, se ajustaron varias distribuciones de probabilidad, a los datos de caudal disponibles (data observada), seleccionando la distribución de probabilidad que se ajuste a la data empírica, este procedimiento se realiza mediante una prueba de bondad de ajuste (Distancia mínima ortogonal (AWD) o Mejor ajuste mensual (BMF)), se observó que ambos métodos proporcionan un robusto índice (SSI), la prueba de bondad de ajuste denominada “Mejor ajuste mensual (BMF)”, se realiza mediante el test de Kolmogorov Smirnov, seleccionando la distribución de probabilidad teórica que tenga la menor distancia con respecto a la distribución empírica, la prueba de bondad de ajuste denominado “Distancia mínima ortogonal (AWD)”, se basa en el cálculo de la distancia mínima, entre la data observada para un determinado mes y una distribución teórica en un diagrama de L-momentos, seleccionando la prueba de la “Distancia mínima ortogonal (AWD)”, por proporcionar datos próximos a los valores esperados de toda variable estandarizada (0,1).
- El índice (SSI) aplicado a la Vertiente del Pacífico, demostró ser un indicador adecuado para caracterizar las sequías hidrológicas mediante mapas o figuras, que a su vez permitió:
  - ✓ Reconocer eventos de sequía de diferentes intensidades (moderada y extrema)
  - ✓ Diferenciar espacialmente la intensidad y/o gravedad de los eventos de sequía.
  - ✓ Clasificar a los eventos de sequía según sus características principales (intensidad, duración , magnitud y cobertura espacial)
  - ✓ Las imágenes y/o mapas a un paso mensual permitió observar la evolución temporal y espacial de un evento de sequía en la Vertiente del Pacífico.

## VI. RECOMENDACIONES

- Instar a las instituciones y/o Ministerio encargados en temas ambientales a introducir nuevas metodologías para clasificar los rangos de vulnerabilidad de la sequía en los diferentes sectores (social, productivo, etc), a fin de contar en un futuro cercano con diversas metodologías acorde a nuestra realidad, para minimizar los riesgos que la sequía produce en la sociedad, generando como producto final un mapas nacional de zonificación de riesgo de sequías, el índice (SSI) y las características de las sequías que de él se derivan permitirán zonificar el riesgo y/o vulnerabilidad de las sequías en la Vertiente del Pacífico.
- Este trabajo es una herramienta muy útil para los tomadores de decisión y planificadores, que les permita administrar el normal abastecimiento del recurso hídrico para las diferentes actividades productivas, y desarrollar la capacidad institucional sobre prevención en temas de sequía, desarrollando un sistema de alerta temprana a eventos de sequía.
- Se recomienda mantener la continuidad de los registros de caudales e instalar estaciones automáticas que brinden información en tiempo real en las subcuencas, a fin de contribuir con mayor detalle al conocimiento del potencial hídrico en estas subcuencas y alertar tempranamente ante eventos de sequía que se estén produciendo con el objetivo de minimizar los potenciales riesgos.
- Para estudios futuros en temas de sequías, se recomienda hacer cruces de información de otros índices estandarizados (SPI,SDI, SSI, etc), a fin de tener una idea clara de los impactos que ha ocasionado los eventos de sequía que se han producido históricamente en la Vertiente del Pacífico y el resto del país.

## VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Abramowitz, M., and Stegun, I. A. 1965. Handbook of mathematical functions, Dover Publications, New York.
- Acuña, J. 2010. Tesis magister. “Análisis regional de caudales medios mensuales para diversos niveles de persistencia de los ríos peruanos pertenecientes a la Vertiente del Océano Pacífico” UNALM.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA) y Ministerio de Agricultura (MINAG). Recursos Hídricos en el Perú. 2010.
- Beran, M.A. y Rodier, J.A. 1985. Hydrological aspects of droughts. Studies and reports in hydrology, N39. Unesco, WMO.
- Bhalme H.N. & Mooley D. A, 1980. Large Scale drought/flood and monsoon circulation, Monthly Weather Review, 108, 1179 – 1211.
- Brass, R.L. 1990. Hydrology: An introduction to hydrologic science. Reading, Mass: Addison-Wesley-Longman.
- Ceresta, 1986. Centre d’Enseignement et de Recherche de Statistique Appliquée. Aide-mémoire pratique des techniques statistiques pour ingénieurs et techniciens supérieurs. Revue de statistique appliquée, vol. XXXIV numéro spécial.
- Damberg, L. 2013. Tesis Doctoral “Analysis of Trends and Patterns of Droughts Using Satellite Data and Climate Model Simulations”.
- Doesken et al., 1991. Development of a surface water supply index for the western United States. Climatology Report Number 91-3, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Fattorelli, S & Fernandez, P. 2011. Diseño Hidrológico.
- Fernández, B. 1997. Identificación y caracterización de sequías hidrológicas en Chile. Artículo publicado en Ingeniería del Agua. Vol.4 Num.4.
- García, A, 2008. Tesis Doctoral. “Metodología para la generación y evaluación depolíticas de operación en sistemas de recursos hídricos. Aplicación a un sistema de México.”

- Gibbs, W.J., & Maher, J.V. 1967. Rainfall deciles as drought indicators. Bureau of Meteorology Bulletin 48. Commonwealth of Australia, Melbourne.
- Gonzalez, J. 2005. Caracterización Estocástica de la realización Espacio-Temporal de Eventos hidrológicos Extremos de sequías, Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Valencia.
- Grubbs, E. 1969. Technometrics.
- Guttman, B. N. 1999. "Accepting the standardized precipitation index a calculation algorithm". Journal of Water Resources Association 35(2): 311-322.
- Heddinghaus, T. R. & Sabol, P. 1991. A review of the palmer drought severity index and where do we go from here. Páginas 242—246 de: 7<sup>th</sup> conf. on applied climatology. Boston, Massachusetts: Amer. Meteor. Soc.
- Heim, R. 2002. A Review of Twentieth Century Drought Indices Used in the United States, American Meteorological Society, 2002 p. 1149 - 1165.
- Hosking, J.R.M. 1990. L-moments: Analysis and estimación of distributions using linear combinations of order statistics. Journal of the Royal Statistical Society, Series B, 52, 105-124.
- Hosking, J.R.M. and Wallis, J.R. 1997. Regional Frequency Analysis: An Approach based on L-moments. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Hyun-Suk Shin et al., 2000. Regional drought analysis based on neural networks, Journal of Hydrologic Engineering, p 145 – 155.
- IPCC. 2007: climate change 2007, the Scientific basis. Contribution of working group I to the fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S,D,Qin, M, Manning,Z.Chen,M. Marquis , K,B. Avery,M. Tignor and H, L. Miller (eds). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA 996pp.
- IPCC. 2009. Glosario corto de términos y conceptos importantes relacionados con el cambio climático
- Kendall S.M and Stuart A., (1943, 1999) The advanced theory of statistics. Charles. Griffin Londres. 2ème volume, 690 p.
- Keyantash, A & Dracup, A. 2004. An aggregate drought index: Assessing drought severity based on fluctuations in the hydrologic cycle and surface water storage.

- Kroll, C.N and Vogel, R.M. 2002. Probability distribution of low streamflow series in the United States. ASCE Journal of Hydrologic Engineering
- Kundzewicz et al., 1993. Extreme hydrological events in perspective, Extreme hydrological events: Precipitation, Floods and Drought.
- Kundzewicz, W and Robson, A. 2000 Detecting Trend And Other Changes In Hydrological Data
- Liu, W.T., & Kogan, F.N. 1995. Monitoring regional drought using the vegetation condition index, International Journal of Remote Sensing.
- Lorenzo, J. 2012. Tesis Doctoral. "Las sequias hidrológicas en la Península Ibérica: Analisis y caracterización espacio temporal, influencias climáticas y el efecto de la gestión hidrológica en un contexto de cambio global."
- McKee et al., 1993. The relationship of drought frequency and duration to times scales Eighth conference on applied Climatology.
- Moneo, M. 2004. Tipos de sequía. Clima y Alimentos. Bases. Environmental Science Publisher for Everybody Round the Earth. Universidad politécnica de Madrid. España.  
[www.atmosphere.mpg.de/enid/3\\_La\\_sequ\\_a\\_en\\_el\\_Mediterr\\_neo/causas\\_y\\_tipos\\_de\\_sequ\\_a\\_1se.html](http://www.atmosphere.mpg.de/enid/3_La_sequ_a_en_el_Mediterr_neo/causas_y_tipos_de_sequ_a_1se.html)
- Modelo digital de elevación de terreno (DEM):  
<http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>
- Nalbantis, I. & Tsakiris, G. 2009. Assessment of hydrological drought revisited, Water Resources Management.
- Núñez D., et al. 2007. Caracterización de la sequía a diversas escalas de tiempo en chihuahua, México. Agrociencia. Vol. 41, 2007, pp. 253-262.
- Organización Meteorológica Mundial 2006. "Vigilancia y alerta temprana de la sequía" OMM-N°1006-2006.
- Organización Meteorológica Mundial 1966. Vocabulario Meteorológico Internacional. Nota Técnica N° 182. Ginebra, Suiza. p 91.
- Palmer W.C. 1965 Meteorological drought. U.S. Weather Bureau Research, Paper 45, 58.
- Palmer W.C. 1968. Keeping track of crop moisture conditions, nationwide. The new Crop Moisture Index.

- Panu & Sharma, T. 2002. Challenges in drought research: some perspectives and future directions, *Hydrological Sciences* S19 - S30.
- Pettitt, A. N., (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, 28, n°2, 126-135.
- Shafer, B.A. & Dezman, L.E. 1982. Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snow pack runoff areas. In: *The Western Snow Conference*. Colorado State University. Fort Collins, Colorado, USA.
- Shukla, S. & Wood, A.W., (2008): Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought, *Geophysical Research Letters* 35.
- Siegel, S., and Castelan, N. J. 1988. *Nonparametric statistics for the behavioral sciences*, McGraw-Hill, New York.
- Stedinger et al., 1993. “Chapter 18: Frequency analysis of extreme events.” *Handbook of hydrology*, D. R. Maidment, ed., McGraw-Hill, New York.
- Valiente, M. 2001. *Sequía: Definiciones, topologías y Métodos de Cuantificación*. Universidad de Alicante. Instituto universitario de Geografía. Investigaciones Geográficas.
- Vauchel, P. 2004. *Derniers développements du logiciel Hydraccess*
- Velasco, I. 2013. *Agua, sequía y cambio climático*.  
[https://www.imta.gob.mx/conamexphi/index.php?option=com\\_content&view=article&id=435:agua-sequia-y-cambio-climatico&catid=16:noticias-conamexphi&Itemid=62](https://www.imta.gob.mx/conamexphi/index.php?option=com_content&view=article&id=435:agua-sequia-y-cambio-climatico&catid=16:noticias-conamexphi&Itemid=62)
- Vicente, S.M. et al., 2012. Accurate computation of a streamflow drought index.
- Villalobos, A. 2007. Tesis Doctoral. *Análisis y seguimiento de distintos tipos de sequía en la cuenca del río Júcar*, Universidad Politécnica de Valencia.
- Wilhite, D.A. and Glantz, M.H. 1985. Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International* 10(3):111-120.
- Yue, S., Pilon, P., Phinney, B. & Cavadias, G. (2002b). The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. *Hydrological Processes* 16, 1807–1829.

## VIII. ANEXOS.

- ANEXO I: DISTRIBUCIONES Y SUS L-MOMENTOS
- ANEXO II: GRAFICAS DE BOXPLOT
- ANEXO III: GRAFICAS DEL TEST DE GRUBBS (anual)
- ANEXO IV: GRAFICAS DEL TEST DE PETTIT (anual)
- ANEXO V: ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS L-MOMENTOS
- ANEXO VI: DISTANCIA MÍNIMA ORTOGONAL
- ANEXO VII: INTENSIDAD, DURACIÓN Y MAGNITUD
- ANEXO VIII: MAPAS DE SEQUÍA

---

**ANEXO I: DISTRIBUCIONES Y SUS L-MOMENTOS**

## I.1.- DISTRIBUCIÓN GENERAL DE PARETO

### I.1.1.- DEFINICIÓN

Parámetros (3):  $\xi$  (localización),  $\alpha$  (escala),  $k$  (forma).

Rango de  $x$ :  $\xi \leq x \leq \xi + \alpha/k$  para  $k > 0$ ;  $\xi \leq x < \infty$  para  $k \leq 0$ .

$$f(x) = \alpha^{-1} e^{-(1-k)y}, \quad y = \begin{cases} -k^{-1} \log\{1 - k(x - \xi)/\alpha\}, & k \neq 0 \\ (x - \xi)/\alpha, & k = 0 \end{cases} \quad (I.1)$$

$$F(x) = 1 - e^{-y} \quad (I.2)$$

$$x(F) = \begin{cases} \xi + \alpha \{1 - (1 - F)^k\}/k, & k \neq 0 \\ \xi - \alpha \log(1 - F), & k = 0 \end{cases} \quad (I.3)$$

Casos especiales:  $k = 0$  es la distribución exponencial;  $k = 1$  es la distribución uniforme en el intervalo  $\xi \leq x \leq \xi + \alpha$ .

### I.1.2.- L-MOMENTOS

Los L-momentos se definen para  $k > -1$ .

$$\lambda_1 = \xi + \alpha/(1+k) \quad (I.4)$$

$$\lambda_2 = \alpha/\{(1+k)(2+k)\} \quad (I.5)$$

$$\tau_3 = (1-k)/(3+k) \quad (I.6)$$

$$\tau_4 = (1-k)(2-k)/\{(3+k)(4+k)\} \quad (I.7)$$

La relación entre  $\tau_3$  y  $\tau_4$  viene dada por

$$\tilde{\tau}_4 = \frac{\tau_3(1+5\tau_3)}{5+\tau_3} \quad (I.8)$$

### I.1.3.- PARÁMETROS

Si  $\xi$  es conocido, los dos parámetros  $\alpha$  y  $k$  vienen dados por

$$k = (\lambda_1 - \xi)/\lambda_2 - 2, \quad \alpha = (1+k)(\lambda_1 - \xi) \quad (I.9)$$

Si  $\xi$  es desconocido, los tres parámetros vienen dados por

$$k = (1-3\tau_3)/(1+\tau_3), \quad \alpha = (1+k)(2+k)\lambda_2, \quad \xi = \lambda_1 - (2+k)\lambda_2 \quad (I.10)$$

## I.2.- DISTRIBUCIÓN GENERAL DE VALORES EXTREMOS

### I.2.1.- DEFINICIÓN

Parámetros (3):  $\xi$  (localización),  $\alpha$  (escala),  $k$  (forma).

Rango de  $x$ :  $-\infty < x \leq \xi + \alpha/k$  para  $k > 0$ ;  $-\infty < x < \infty$  para  $k = 0$ ;  $\xi + \alpha/k \leq x < \infty$  para  $k < 0$ .

$$f(x) = \alpha^{-1} e^{-(1-k)y}, \quad y = \begin{cases} -k^{-1} \log\{1 - k(x - \xi)/\alpha\}, & k \neq 0 \\ (x - \xi)/\alpha, & k = 0 \end{cases} \quad (I.11)$$

$$F(x) = e^{-e^{-y}} \quad (I.12)$$

$$x(\bar{F}) = \begin{cases} \xi + \alpha \{1 - (-\log F)^k\} / k, & k \neq 0 \\ \xi - \alpha \log(-\log F), & k = 0 \end{cases} \quad (I.13)$$

Casos especiales:  $k = 0$  es la distribución Gumbel;  $k = 1$  es una distribución exponencial revertida; esto es,  $1 - F(-x)$  es la función de distribución acumulada de una distribución exponencial.

Las distribuciones de Valores Extremos se dividen en tres tipos, caracterizados por las siguientes funciones de distribución acumulada:

Tipo I:  $F(x) = \exp(e^{-x}), \quad -\infty < x < \infty \quad (I.14)$

Tipo II:  $F(x) = \exp(-x^{-\delta}), \quad 0 \leq x < \infty \quad (I.15)$

Tipo III:  $F(x) = \exp(-|x|^\delta), \quad -\infty < x \leq 0 \quad (I.16)$

La distribución General de Valores Extremos recoge todos estos tipos, I, II y III, que corresponden a  $k = 0$ ,  $k < 0$ , y  $k > 0$ , respectivamente. La distribución Weibull, definida por

$$F(x) = 1 - \exp[-\{(x - \zeta) / \beta\}^\delta], \quad \zeta \leq x < \infty \quad (I.17)$$

es una distribución General de Valores Extremos revertida, con parámetros

$$k = 1/\delta, \quad \alpha = \beta/\delta, \quad \xi = \zeta - \beta \quad (I.18)$$

### I.2.2.- L-MOMENTOS

Los L-momentos están definidos para  $k > -1$ .

$$\lambda_1 = \xi + \alpha \{1 - \Gamma(1+k)\} / k \quad (I.19)$$

$$\lambda_2 = \alpha(1 - 2^{-k})\Gamma(1+k) / k \quad (I.20)$$

$$\tau_3 = 2(1 - 3^{-k}) / (1 - 2^{-k}) - 3 \quad (I.21)$$

$$\tau_4 = \{5(1 - 4^{-k}) - 10(1 - 3^{-k}) + 6(1 - 2^{-k})\} / (1 - 2^{-k}) \quad (I.22)$$

Aquí  $\Gamma(\cdot)$  denota la función Gamma

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} e^{-t} dt \quad (I.23)$$

### I.2.3.- PARÁMETROS

El valor de  $k$  se estima resolviendo la expresión (I.21) para  $k$ . No es posible obtener una solución explícita, pero la aproximación siguiente tiene una precisión mayor que  $9 \times 10^{-4}$  para  $-0.5 \leq \tau_3 \leq 0.5$ :

$$k \approx 7.8590c + 2.9554c^2, \quad c = \frac{2}{3 + \tau_3} - \frac{\log 2}{\log 3} \quad (I.24)$$

Los otros parámetros vienen dados por

$$\alpha = \frac{\lambda_2 k}{(1 - 2^{-k})\Gamma(1 + k)}, \quad \xi = \lambda_1 - \alpha \{1 - \Gamma(1 + k)\} / k. \quad (I.25)$$

## I.3.- DISTRIBUCIÓN LOGÍSTICA GENERALIZADA

### I.3.1.- DEFINICIÓN

Parámetros (3):  $\xi$  (localización),  $\alpha$  (escala),  $k$  (forma).

Rango de  $x$ :  $-\infty < x \leq \xi + \alpha/k$  si  $k > 0$ ;  $-\infty < x < \infty$  si  $k = 0$ ;  $\xi + \alpha/k \leq x < \infty$  si  $k < 0$ .

$$f(x) = \frac{\alpha^{-1} e^{-(1-k)y}}{(1 + e^{-y})^2}, \quad y = \begin{cases} -k^{-1} \log\{1 - k(x - \xi)/\alpha\}, & k \neq 0 \\ (x - \xi)/\alpha, & k = 0 \end{cases} \quad (I.26)$$

$$F(x) = 1/(1 + e^{-y}) \quad (I.27)$$

$$x(F) = \begin{cases} \xi + \alpha[1 - \{(1 - F)/F\}^k] / k, & k \neq 0 \\ \xi - \alpha \log\{(1 - F)/F\}, & k = 0 \end{cases} \quad (I.28)$$

Casos especiales:  $k = 0$  es la distribución Logística.

Esta generalización de la distribución Logística difiere de otras definidas en la literatura. Se trata de una versión reparametrizada de la distribución LogLogística de Ahmad et al. (1988). Se ha adoptado este nombre para reflejar la similitud de la distribución con la General de Pareto y con la General de Valores Extremos.

### I.3.2.- L-MOMENTOS

Los L-momentos vienen definidos para  $-1 < k < 1$ .

$$\lambda_1 = \xi + \alpha(1/k - \pi / \sin k\pi) \quad (I.29)$$

$$\lambda_2 = \alpha k\pi / \sin k\pi \quad (I.30)$$

$$\tau_3 = -k \quad (I.31)$$

$$\tau_4 = (1 + 5k^2)/6 \quad (I.32)$$

### I.3.3.- PARÁMETROS

$$k = -\tau_3, \quad \alpha = \frac{\lambda_2 \sin k\pi}{k\pi}, \quad \xi = \lambda_1 - \alpha \left( \frac{1}{k} - \frac{\pi}{\sin k\pi} \right) \quad (I.33)$$

## I.4.- DISTRIBUCIÓN LOGNORMAL

### I.4.1.- DEFINICIÓN

Parámetros (3):  $\xi$  (localización),  $\alpha$  (escala),  $k$  (forma).

Rango de  $x$ :  $-\infty < x \leq \xi + \alpha/k$  para  $k > 0$ ;  $-\infty < x < \infty$  para  $k = 0$ ;  $\xi + \alpha/k \leq x < \infty$  para  $k < 0$ .

$$f(x) = \frac{e^{ky-y^2/2}}{\alpha\sqrt{2\pi}}, \quad y = \begin{cases} -k^{-1} \log\{1 - k(x-\xi)/\alpha\}, & k \neq 0 \\ (x-\xi)/\alpha, & k = 0 \end{cases} \quad (I.34)$$

$$F(x) = \Phi(y) \quad (I.35)$$

$x(F)$  no tiene forma analítica explícita

Aquí  $\Phi$  es la función de distribución acumulada de una distribución Normal estándar.

Caso especial:  $k = 0$  es la distribución Normal con parámetros  $\xi$  y  $\alpha$ .

La distribución LogNormal se define habitualmente por

$$F(x) = \Phi\left[\frac{\log(x-\zeta) - \mu}{\sigma}\right], \quad \zeta \leq x < \infty \quad (I.36)$$

La reparametrización de la distribución LogNormal en términos de  $\xi$ ,  $\alpha$  y  $k$  es una pequeña modificación de la parametrización de Munro y Wixley (1970). Posee varias ventajas respecto a la parametrización habitual con  $\mu$ ,  $\sigma$  y  $\zeta$ :

- dentro de una única distribución incluye la distribución LogNormal con asimetría positiva y límite inferior ( $k < 0$ ), y la distribución LogNormal con asimetría negativa y límite superior ( $k > 0$ );
- incluye la distribución Normal como un caso especial ( $k = 0$ ) en lugar de como un límite inalcanzable.
- muestra la similitud entre la estructura de la distribución LogNormal, la General de Pareto y la General de Valores Extremos;
- sus parámetros son más significativos y más estables a la hora de estimar sus valores que los de la parametrización estándar, particularmente cuando la asimetría es próxima a cero.

En esta parametrización, la distribución LogNormal es la de una variable aleatoria  $X$  relacionada con otra variable aleatoria  $Z$  de distribución Normal estándar de media 0 varianza 1, mediante

$$X = \begin{cases} \xi + \alpha(1 - e^{-kZ})/k, & k \neq 0 \\ \xi + \alpha Z, & k = 0 \end{cases} \quad (I.37)$$

La parametrización estándar (I.36) puede ser obtenida a partir de la presentada aquí mediante

$$k = -\sigma, \quad \alpha = \sigma e^\mu, \quad \xi = \zeta + e^\mu \quad (I.38)$$

y se podrían obtener expresiones para ella a partir de las mostradas a continuación.

#### I.4.2.- L-MOMENTOS

Los L-momentos se definen para cualquier valor de  $k$ .

$$\lambda_1 = \xi + \alpha(1 - e^{k^2/2})/k \quad (I.39)$$

$$\lambda_2 = \frac{\alpha}{k} e^{k^2/2} \left\{ 1 - 2\Phi\left(-k/\sqrt{2}\right) \right\} \quad (I.40)$$

No hay expresiones simples para los ratios de  $L$ -momentos. Son función únicamente de  $k$ , y pueden ser computados por integración numérica, como en Hosking (1996). Alternativamente, se pueden usar aproximaciones basadas en funciones racionales. Las siguientes aproximaciones para  $\tau_3$  y  $\tau_4$  tienen mayor precisión que  $2 \times 10^{-7}$  y  $5 \times 10^{-7}$ , respectivamente, para  $|k| \leq 4$ , lo que corresponde a  $|\tau_3| \leq 0.99$  y  $\tau_4 \leq 0.98$ :

$$\tau_3 \approx -k \frac{A_0 + A_1 k^2 + A_2 k^4 + A_3 k^6}{1 + B_1 k^2 + B_2 k^4 + B_3 k^6} \quad (I.41)$$

$$\tau_4 \approx \tau_4^0 + k^2 \frac{C_0 + C_1 k^2 + C_2 k^4 + C_3 k^6}{1 + D_1 k^2 + D_2 k^4 + D_3 k^6} \quad (I.42)$$

Los coeficientes usados en las aproximaciones vienen dados en la tabla I.1.

#### I.4.3.- PARÁMETROS

El parámetro de forma,  $k$ , es función solamente de  $\tau_3$ . No hay solución explícita posible, pero la siguiente aproximación tiene una precisión relativa mayor que  $2.5 \times 10^{-6}$  para  $|\tau_3| \leq 0.94$ , lo que corresponde a  $|k| \leq 3$ :

$$k \approx -\tau_3 \frac{E_0 + E_1 \tau_3^2 + E_2 \tau_3^4 + E_3 \tau_3^6}{1 + F_1 \tau_3^2 + F_2 \tau_3^4 + F_3 \tau_3^6} \quad (I.43)$$

Los coeficientes utilizados en la aproximación son los mostrados en la tabla I.1. El resto de parámetros vienen pues dados por

$$\alpha = \frac{\lambda_2 k e^{-k^2/2}}{1 - 2\Phi(-k/\sqrt{2})}, \quad \xi = \lambda_1 - \frac{\alpha}{k} (1 - e^{k^2/2}) \quad (I.44)$$

Tabla I.1. Coeficientes de las aproximaciones (I.41) hasta (I.43).

$\tau_4^0 = 1.2260172 \times 10^{-1}$		
$A_0 = 4.8860251 \times 10^{-1}$	$C_0 = 1.8756590 \times 10^{-1}$	$E_0 = 2.0466534$
$A_1 = 4.4493076 \times 10^{-3}$	$C_1 = -2.5352147 \times 10^{-3}$	$E_1 = -3.6544371$
$A_2 = 8.8027039 \times 10^{-4}$	$C_2 = 2.6995102 \times 10^{-4}$	$E_2 = 1.8396733$
$A_3 = 1.1507084 \times 10^{-6}$	$C_3 = -1.8446680 \times 10^{-6}$	$E_3 = -0.20360244$
$B_1 = 6.4662924 \times 10^{-2}$	$D_1 = 8.2325617 \times 10^{-2}$	$F_1 = -2.0182173$
$B_2 = 3.3090406 \times 10^{-3}$	$D_2 = 4.2681448 \times 10^{-3}$	$F_2 = 1.2420401$
$B_3 = 7.4290680 \times 10^{-5}$	$D_3 = 1.1653690 \times 10^{-4}$	$F_3 = -0.21741801$

### I.5.- DISTRIBUCIÓN DE PEARSON TIPO III

#### I.5.1.- DEFINICIÓN

Parámetros (3):  $\mu$  (localización),  $\sigma$  (escala),  $\gamma$  (forma).

Si  $\gamma \neq 0$ , sea  $\alpha = 4/\gamma^2$ ,  $\beta = 1/2 \sigma |\gamma|$ , y  $\xi = \mu - 2\sigma/\gamma$ . Si  $\gamma > 0$ , el rango de  $x$  es  $\xi \leq x < \infty$ , y

$$f(x) = \frac{(x - \xi)^{\alpha-1} e^{-(x-\xi)/\beta}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \quad (I.45)$$

$$F(x) = G\left(\alpha, \frac{x - \xi}{\beta}\right) / \Gamma(\alpha) \quad (I.46)$$

Si  $\gamma = 0$ , la distribución es Normal, el rango de  $x$  es  $-\infty < x < \infty$ , y

$$f(x) = \phi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right), \quad F(x) = \Phi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right) \quad (I.47)$$

Si  $\gamma < 0$ , el rango de  $x$  es  $-\infty < x \leq \xi$ , y

$$f(x) = \frac{(\xi - x)^{\alpha-1} e^{-(\xi-x)/\beta}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \quad (I.48)$$

$$F(x) = 1 - G\left(\alpha, \frac{\xi - x}{\beta}\right) / \Gamma(\alpha) \quad (I.49)$$

En cada caso,  $x(F)$  no tiene expresión analítica explícita.  $\Gamma$  es la función Gamma, definida en (I.23), y

$$G(\alpha, x) = \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (I.50)$$

es la función Gamma incompleta;  $\phi$  y  $\Phi$  son la función de distribución Normal y su correspondiente acumulada.

Casos especiales:  $\gamma = 2$  es la distribución exponencial;  $\gamma = 0$  es la Normal;  $\gamma = -2$  es la exponencial revertida.

La distribución de Pearson tipo III se remite generalmente al caso  $\gamma > 0$ , y se suele parametrizar por medio de  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\xi$ . La parametrización aquí expuesta se extiende a las distribuciones de Pearson tipo III más usuales. Esto permite usar la distribución de Pearson tipo III cuando los datos tienen una posible asimetría negativa. Los parámetros  $\mu$ ,  $\sigma$  y  $\gamma$  son los momentos convencionales de la distribución.

### I.5.2.- L-MOMENTOS

Se muestran a continuación las expresiones de los L-momentos de la distribución referidos a sus parámetros estándar, por ser más sencillas. Se asume  $\gamma > 0$ . Los resultados en el caso  $\gamma < 0$  serían los obtenidos al cambiar los signos de  $\lambda_1$ ,  $\tau_3$  y  $\xi$  en las expresiones (I.51) hasta (I.58).

Los L-momentos se definen para todos los valores de  $\alpha$  entre 0 e  $\infty$ .

$$\lambda_1 = \bar{\xi} + \alpha\bar{\beta} \quad (\text{I.51})$$

$$\lambda_2 = \pi^{-1/2}\beta\Gamma(\alpha + \frac{1}{2})/\Gamma(\alpha) \quad (\text{I.52})$$

$$\tau_3 = 6I_{1/3}(\alpha, 2\alpha) - 3 \quad (\text{I.53})$$

donde

$$I_x(p, q) = \frac{\Gamma(p+q)}{\Gamma(p)\Gamma(q)} \int_0^x t^{p-1}(1-t)^{q-1} dt \quad (\text{I.54})$$

No hay una expresión simple para  $\tau_4$ , si bien tanto  $\tau_4$  como  $\tau_3$  se pueden aproximar en función de  $\alpha$  mediante funciones racionales. Las siguientes aproximaciones tienen una precisión del orden de  $10^{-6}$ . Para  $\alpha \geq 1$ ,

$$\tau_3 \approx \alpha^{-1/2} \frac{A_0 + A_1\alpha^{-1} + A_2\alpha^{-2} + A_3\alpha^{-3}}{1 + B_1\alpha^{-1} + B_2\alpha^{-2}} \quad (\text{I.55})$$

$$\tau_4 \approx \frac{C_0 + C_1\alpha^{-1} + C_2\alpha^{-2} + C_3\alpha^{-3}}{1 + D_1\alpha^{-1} + D_2\alpha^{-2}} \quad (\text{I.56})$$

Para  $\alpha < 1$ ,

$$\tau_3 \approx \frac{1 + E_1\alpha + E_2\alpha^2 + E_3\alpha^3}{1 + F_1\alpha + F_2\alpha^2 + F_3\alpha^3} \quad (\text{I.57})$$

$$\tau_4 \approx \frac{1 + G_1\alpha + G_2\alpha^2 + G_3\alpha^3}{1 + H_1\alpha + H_2\alpha^2 + H_3\alpha^3} \quad (\text{I.58})$$

Los coeficientes de la aproximación son los recogidos en la tabla I.2.

**I.5.3.- PARÁMETROS**

Para estimar  $\alpha$  se resuelve (I.53) reemplazando  $\tau_3$  por  $|\tau_3|$  para posibilitar la resolución en caso de que  $\tau_3$  sea negativo. La siguiente aproximación tiene una precisión relativa mayor que  $5 \times 10^{-5}$  para cualquier valor de  $\alpha$ . Para  $0 < |\tau_3| < 1/3$  y definiendo  $z = 3\pi \tau_3^2$ ,

$$\alpha \approx \frac{1 + 0.2906z}{z + 0.1882z^2 + 0.0442z^3} \quad (I.59)$$

Para  $1/3 \leq |\tau_3| < 1$  y con  $z = 1 - |\tau_3|$ ,

$$\alpha \approx \frac{0.36067z + 0.59567z^2 + 0.25361z^3}{1 - 2.78861z + 2.56096z^2 + 0.77045z^3} \quad (I.60)$$

Dado  $\alpha$ , los parámetros definidos al principio de la sección se obtienen como sigue:

$$\gamma = 2\alpha^{-1/2} \text{sign}(\tau_3), \quad \sigma = \lambda_2 \pi^{1/2} \alpha^{1/2} \Gamma(\alpha) / \Gamma(\alpha + 1/2), \quad \mu = \lambda_1 \quad (I.61)$$

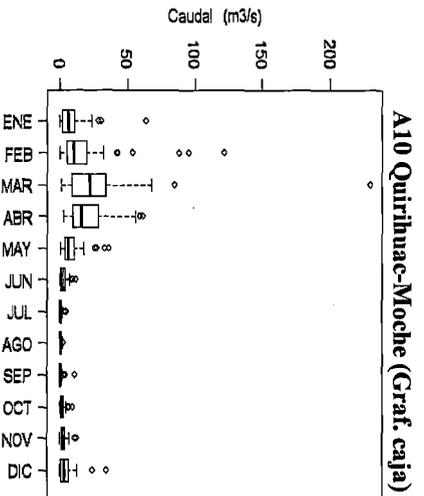
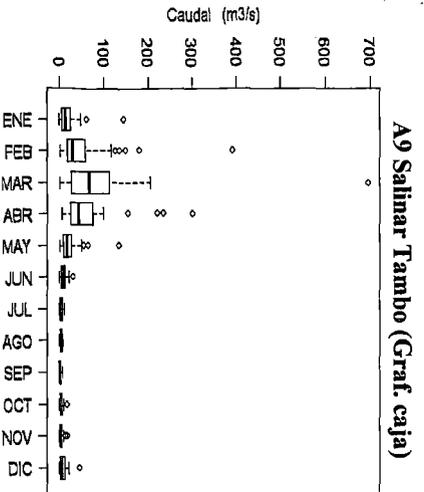
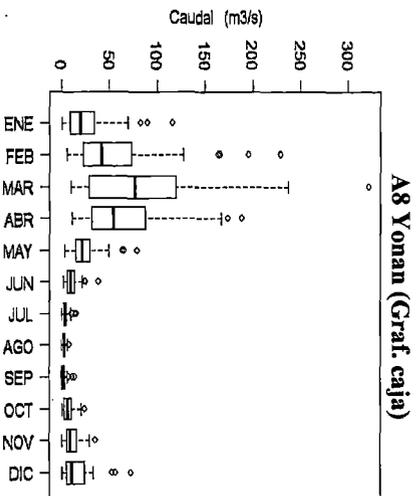
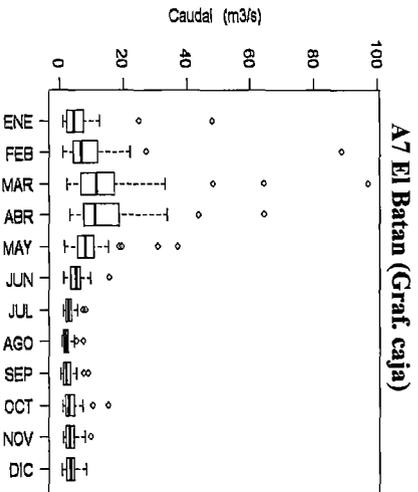
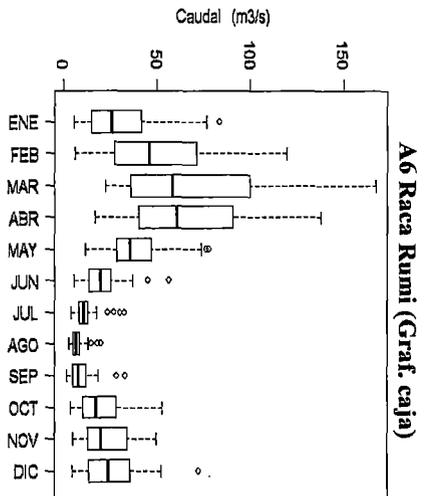
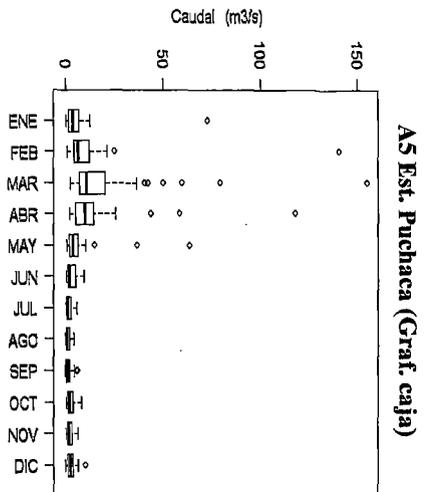
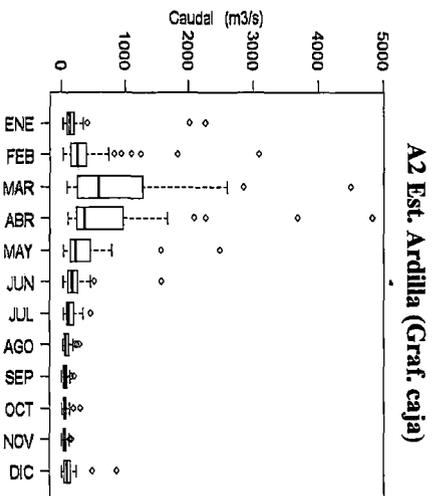
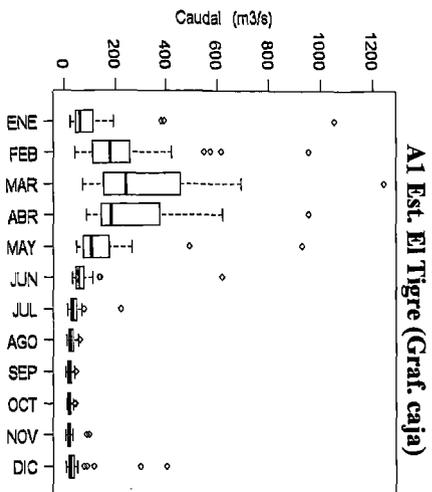
Tabla I.2. Coeficientes de las aproximaciones de  $\tau_4$  como  $\tau_3$  en función de  $\alpha$ .

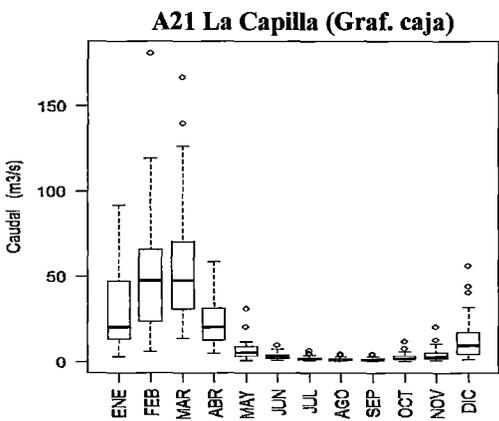
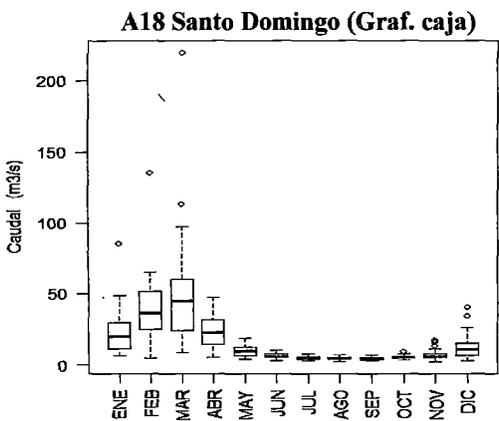
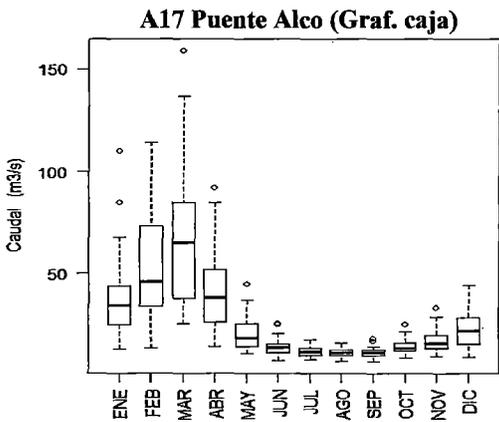
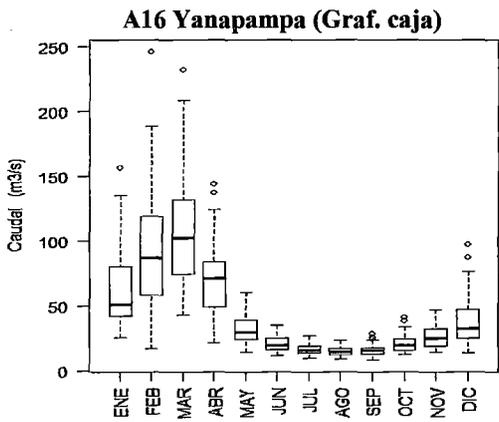
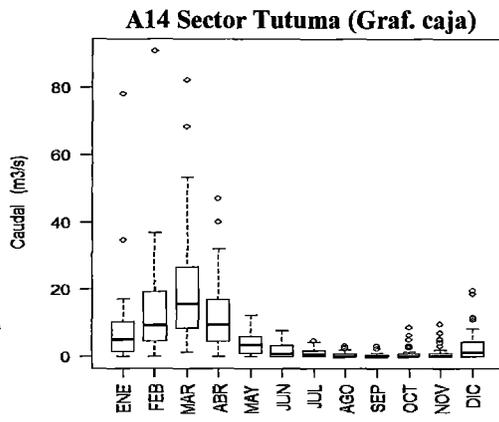
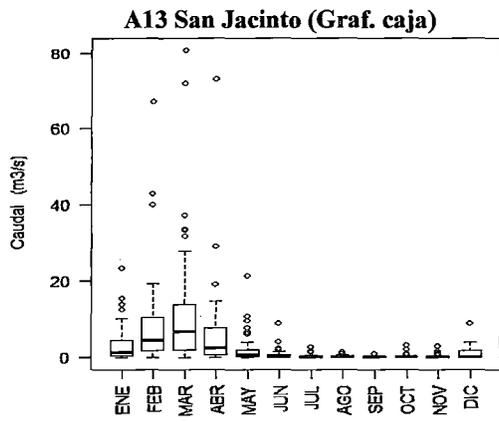
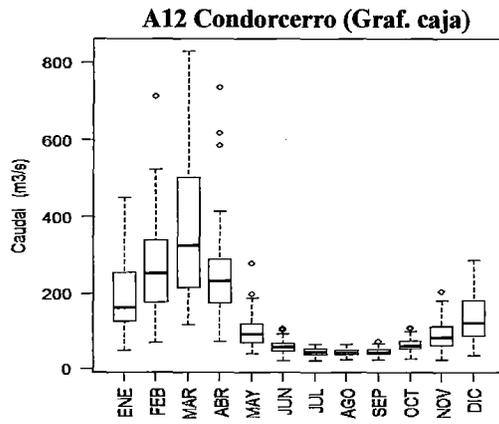
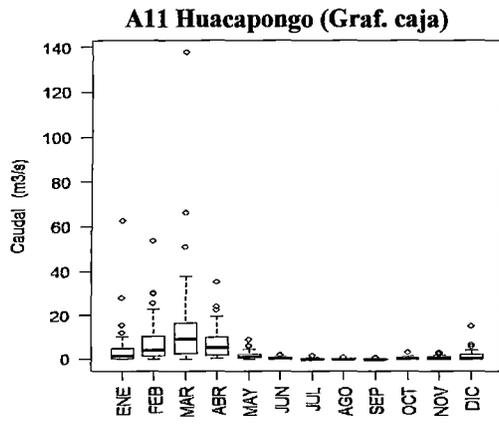
$A_0 = 3.2573501 \times 10^{-1}$	$C_0 = 1.2260172 \times 10^{-1}$
$A_1 = 1.6869150 \times 10^{-1}$	$C_1 = 5.3730130 \times 10^{-1}$
$A_2 = 7.8327243 \times 10^{-2}$	$C_2 = 4.3384378 \times 10^{-2}$
$A_3 = -2.9120539 \times 10^{-3}$	$C_3 = 1.1101277 \times 10^{-3}$
$B_1 = 4.6697102 \times 10^{-1}$	$D_1 = 1.8324466 \times 10^{-1}$
$B_2 = 2.4255406 \times 10^{-1}$	$D_2 = 2.0166036 \times 10^{-1}$
$E_1 = 2.3807576$	$G_1 = 2.1235833$
$E_2 = 1.5931792$	$G_2 = 4.1670213$
$E_3 = 1.1618371 \times 10^{-1}$	$G_3 = 3.1925299$
$F_1 = 5.1533299$	$H_1 = 9.0551443$
$F_2 = 7.1425260$	$H_2 = 2.6649995 \times 10^1$
$F_3 = 1.9745056$	$H_3 = 2.6193668 \times 10^1$

---

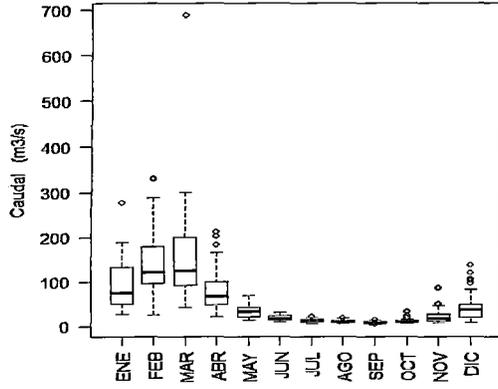
**ANEXO II: ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS MENSUALES**

**(GRÁFICA DE BOXPLOT)**

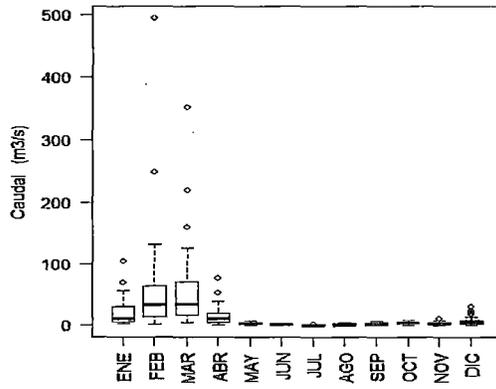




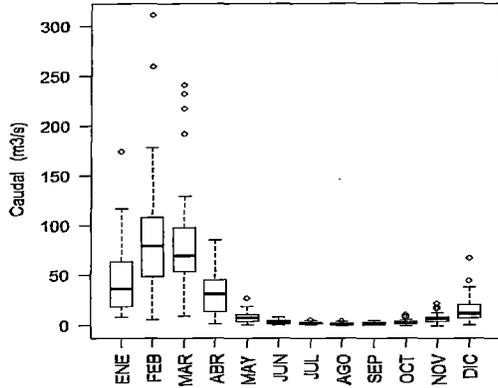
A22 Socsi-S Y Toma Imperial (Graf. caja)



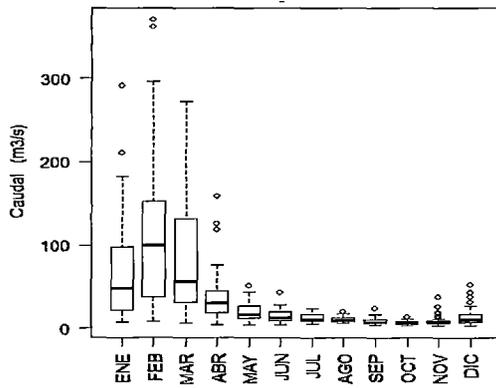
A23 Conta (Graf. caja)



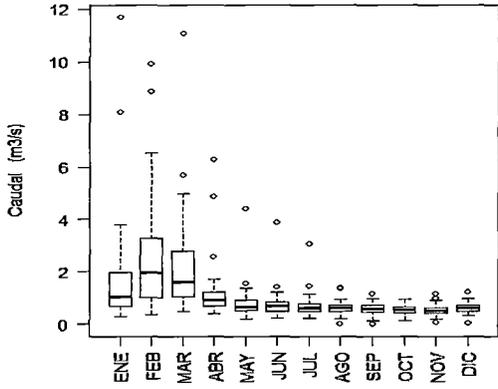
A24 Letrayocc (Graf. caja)



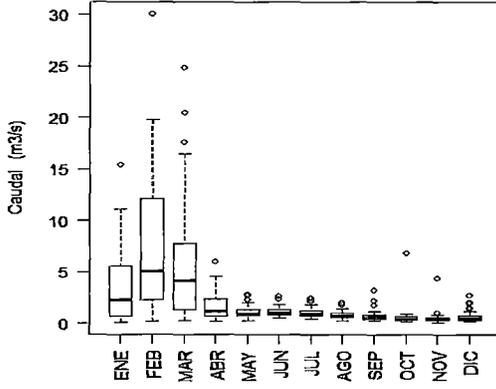
A27 Chucarapi (Graf. caja)



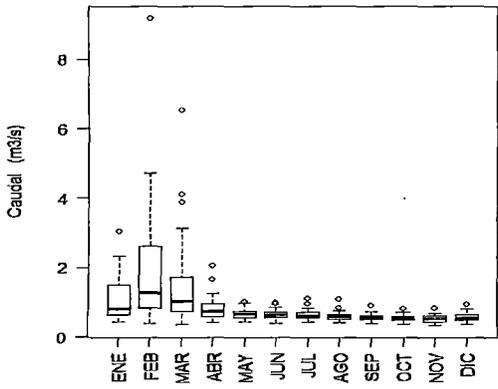
A28 Chivaya (Graf. caja)



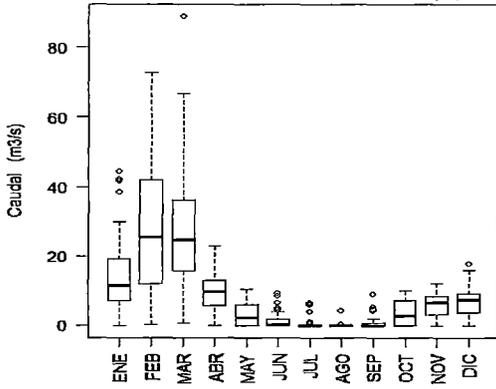
A31 La Tranca (Graf. caja)



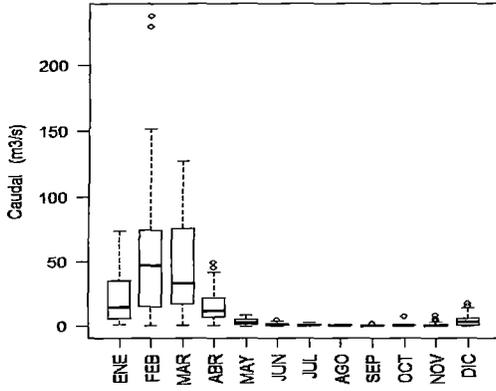
A32 Aguas Calientes (Graf. caja)



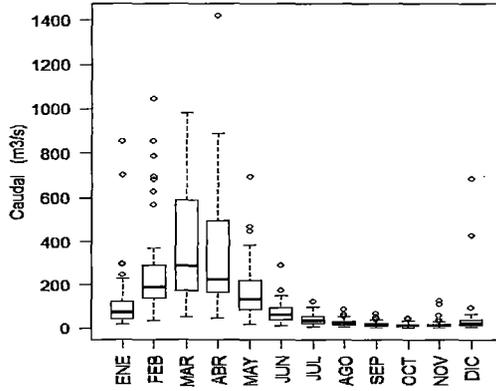
A35 La Achirana (Graf. caja)



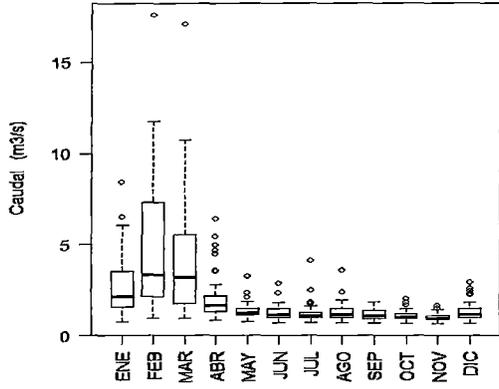
**A36 Bella Unión (Graf. caja)**



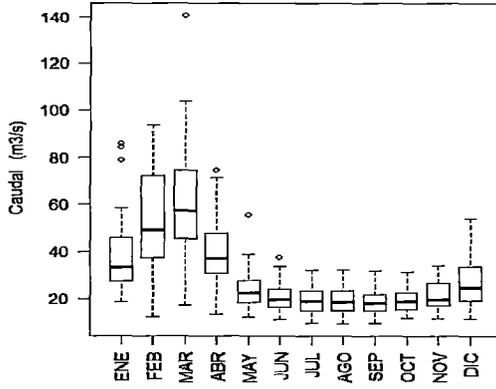
**A37 Puente Tumbes (Graf. caja)**



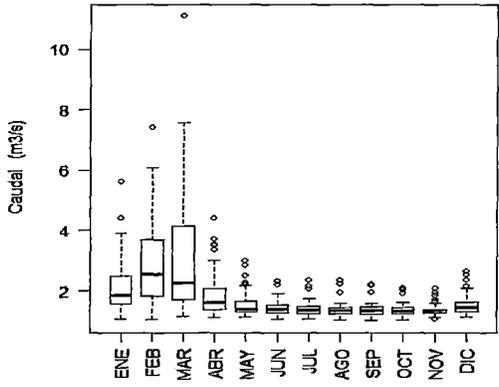
**A38 Aricota (Graf. caja)**



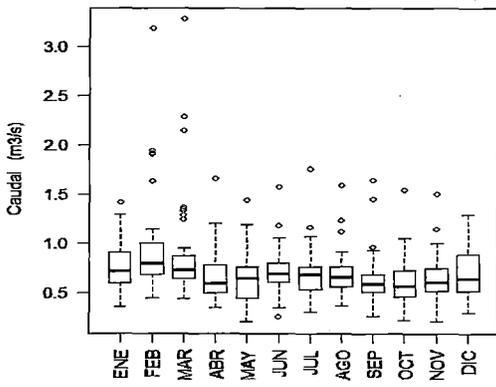
**A39 Chosica (Graf. caja)**



**A40 Coranchay (Graf. caja)**



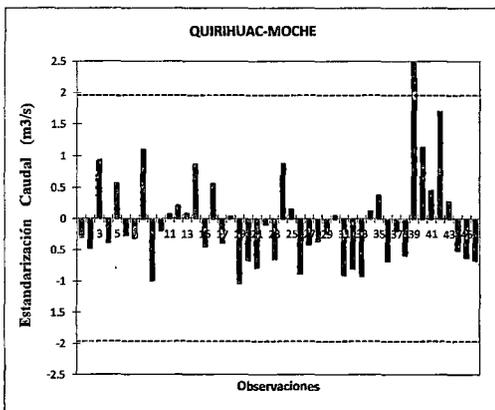
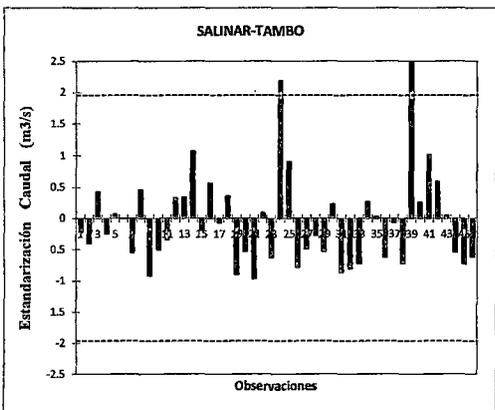
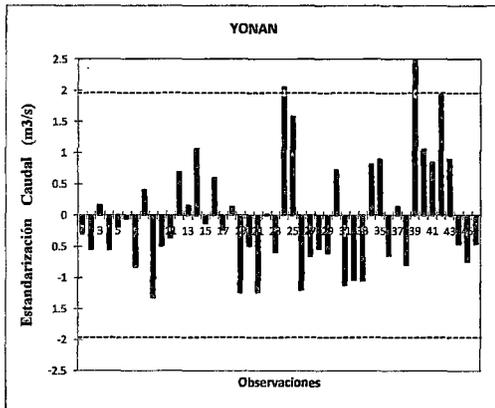
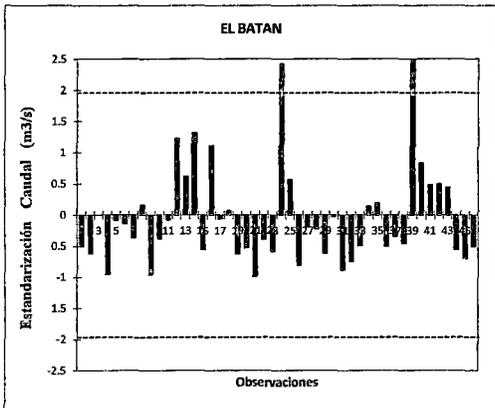
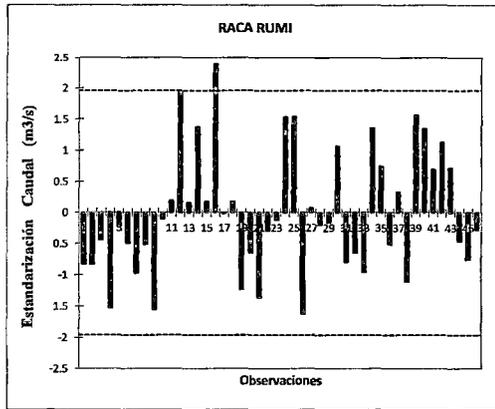
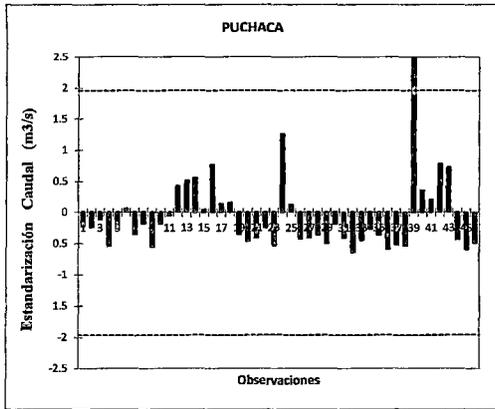
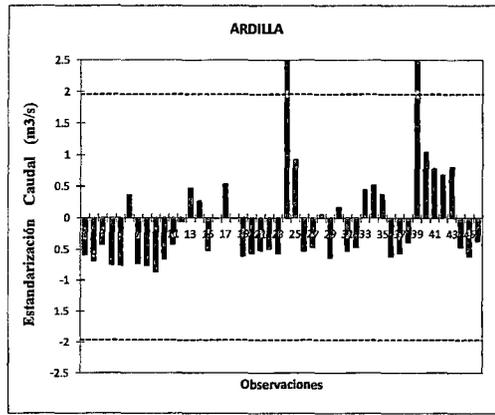
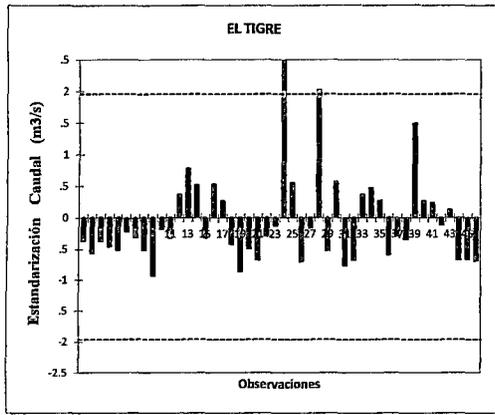
**A42 Piedras Blancas (Graf. caja)**

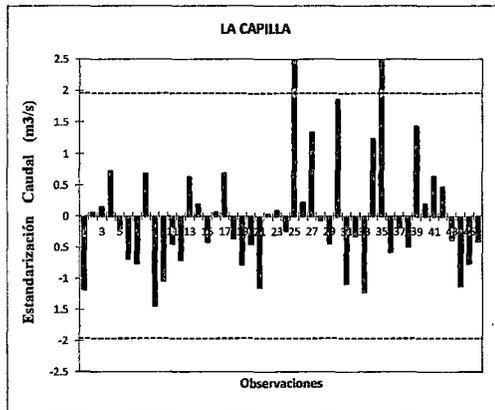
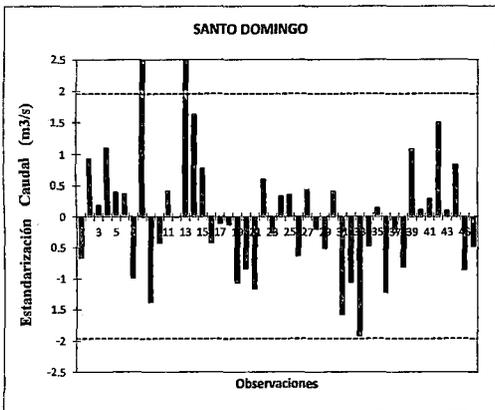
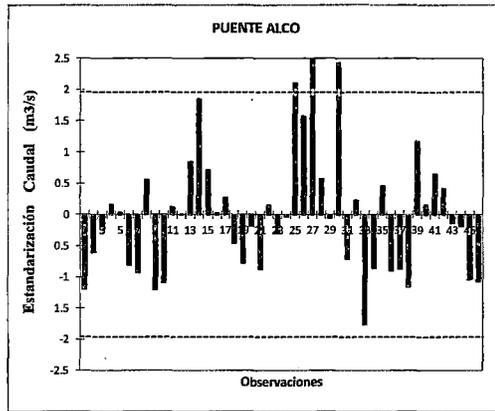
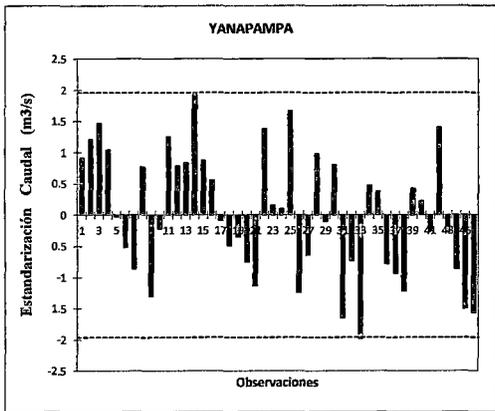
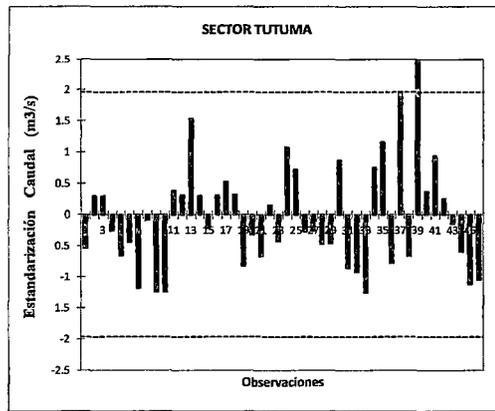
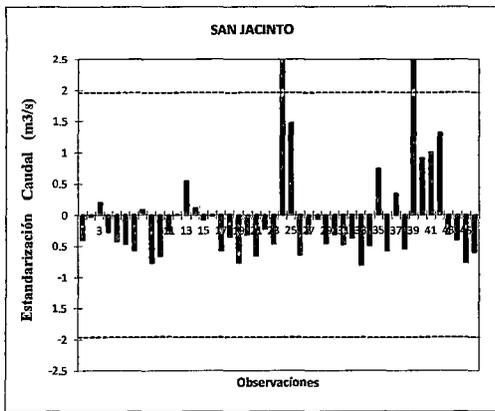
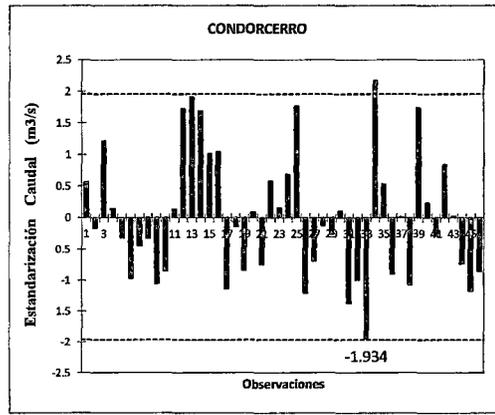
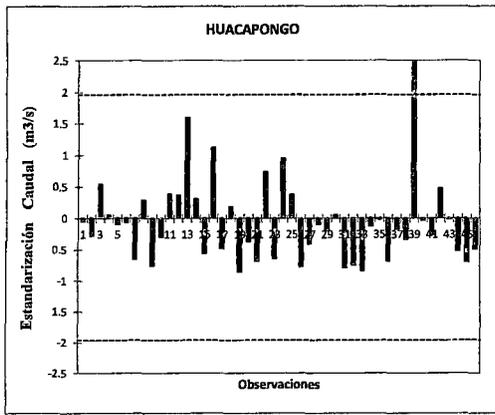


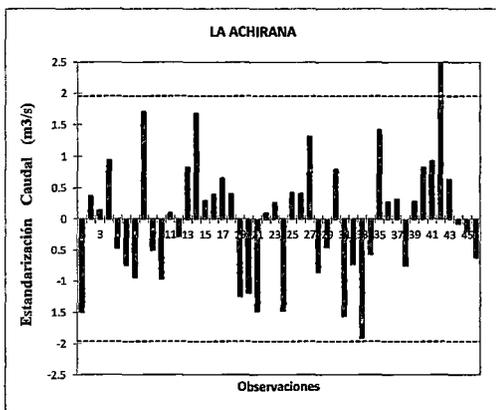
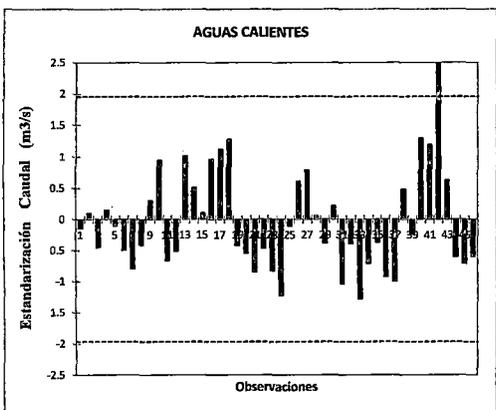
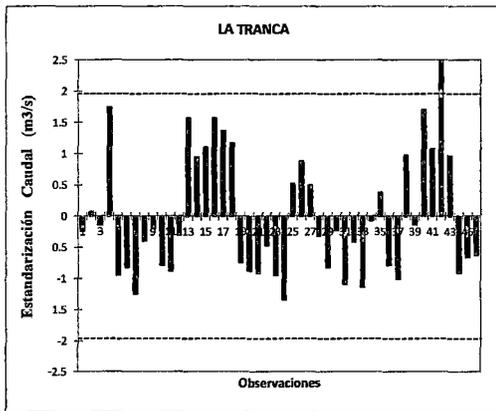
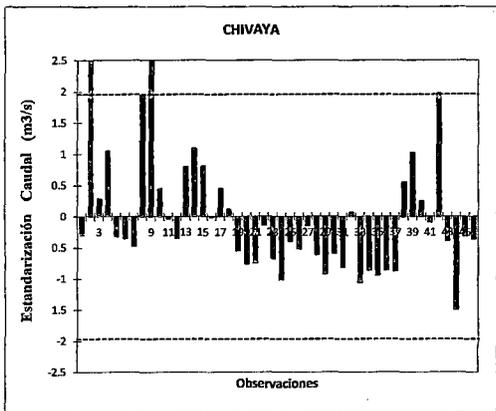
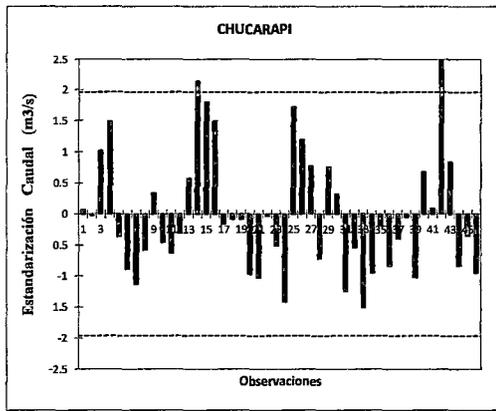
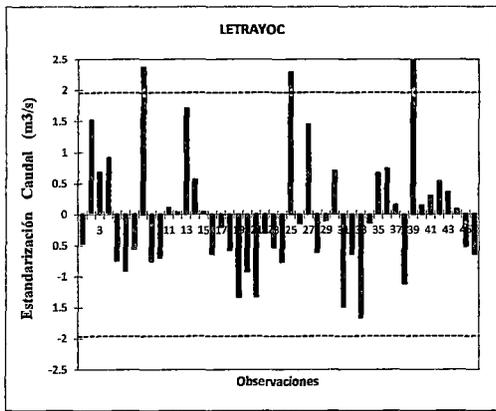
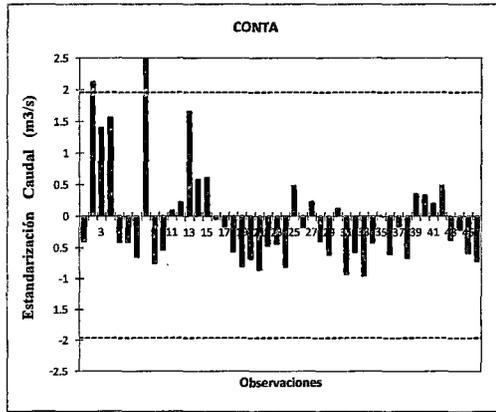
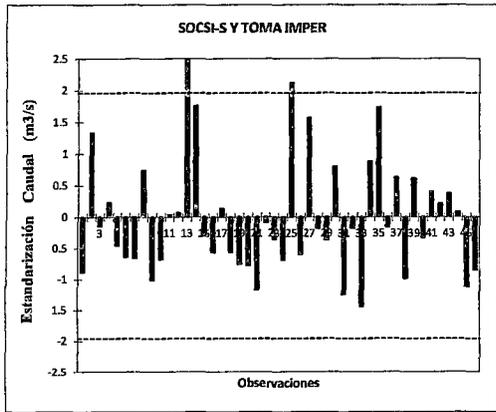
---

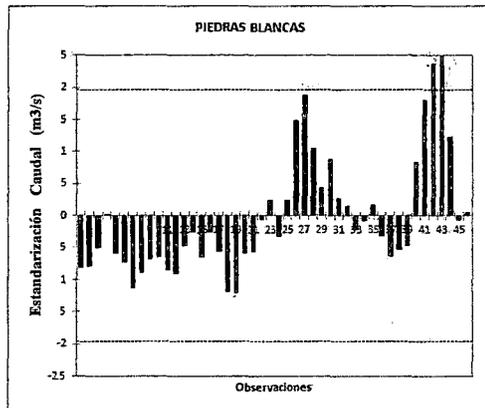
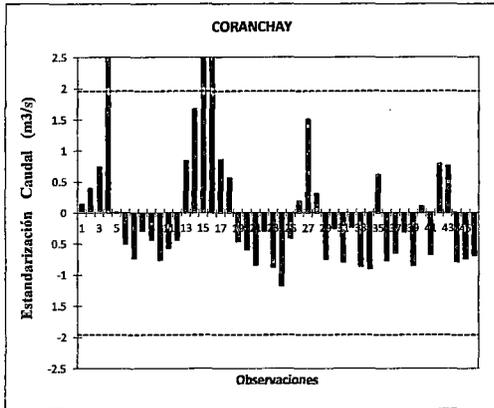
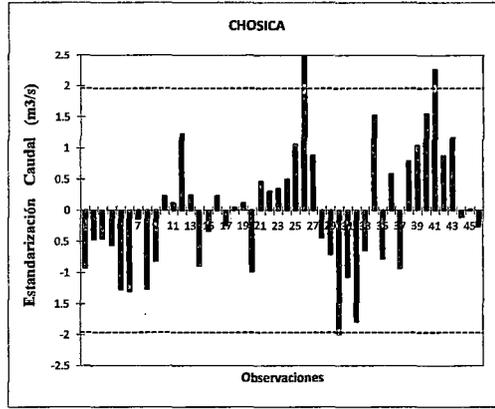
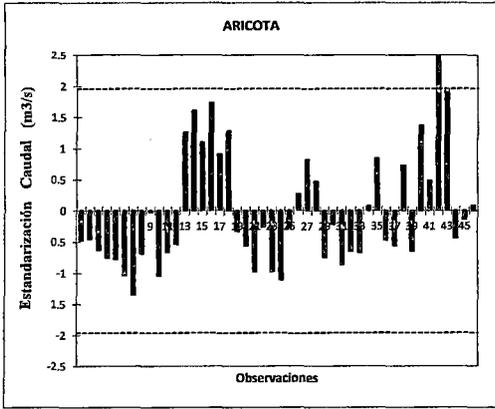
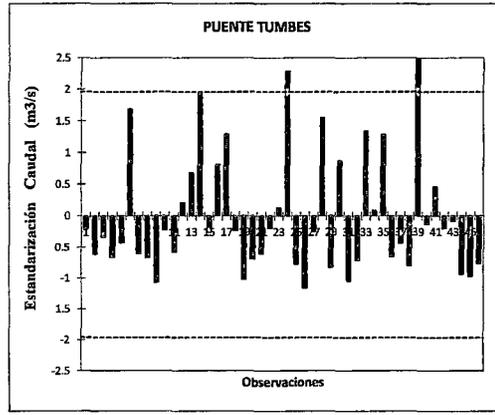
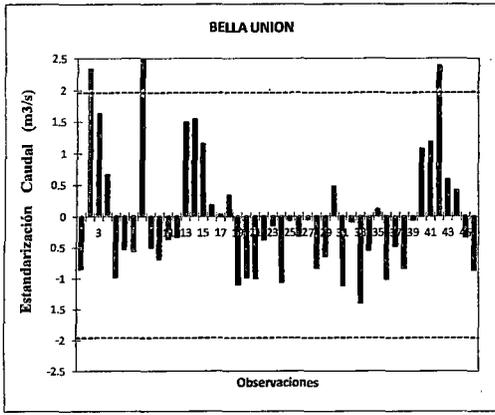
**ANEXO III: ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS ANUAL**

**(TEST DE GRUBBS)**





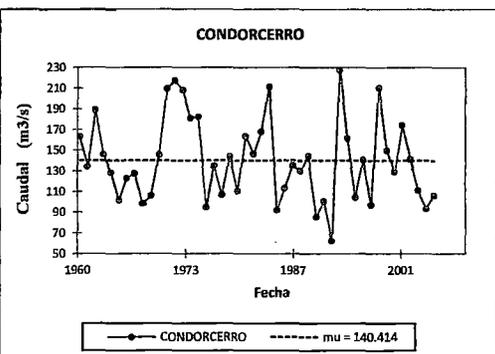
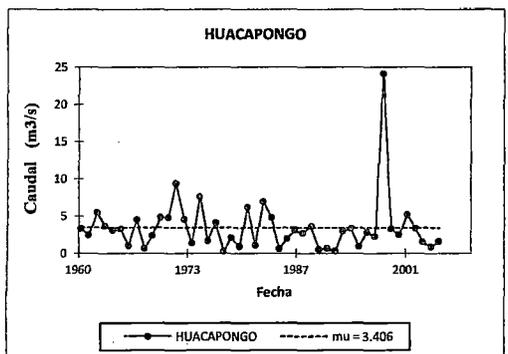
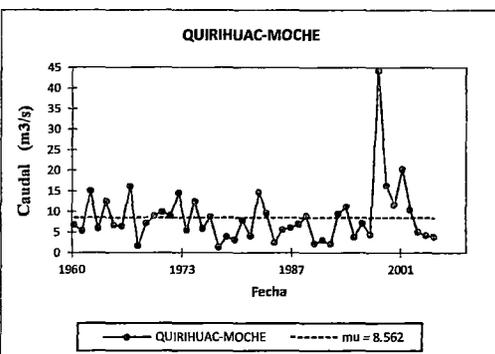
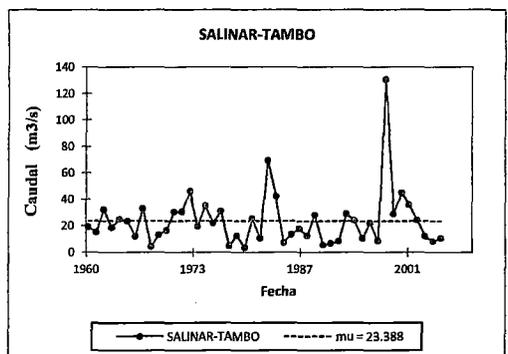
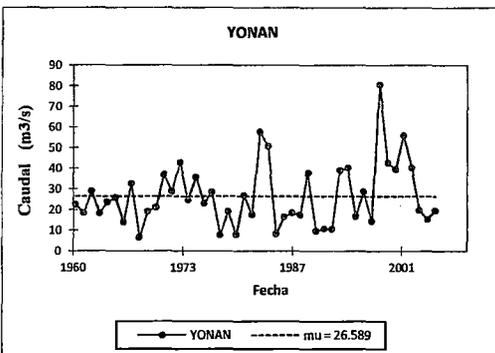
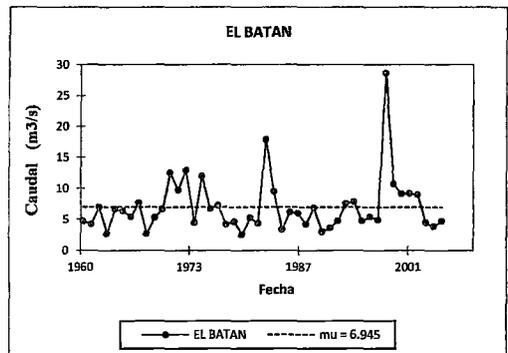
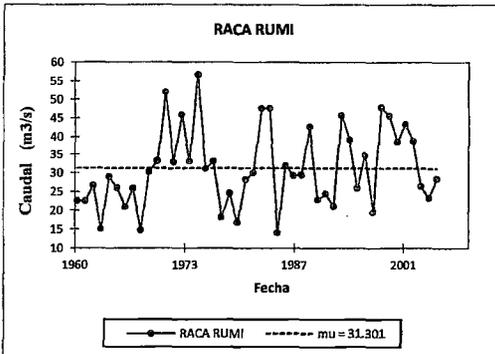
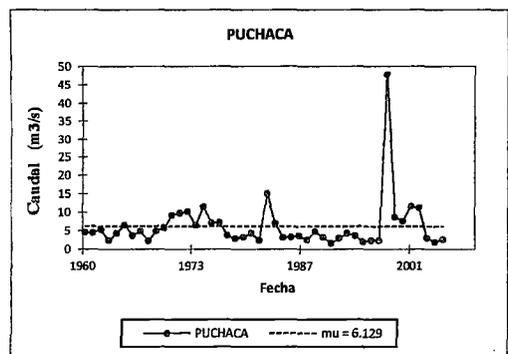
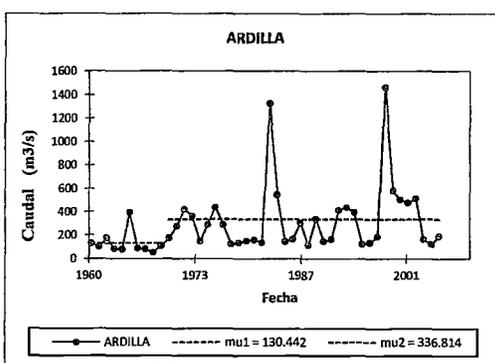
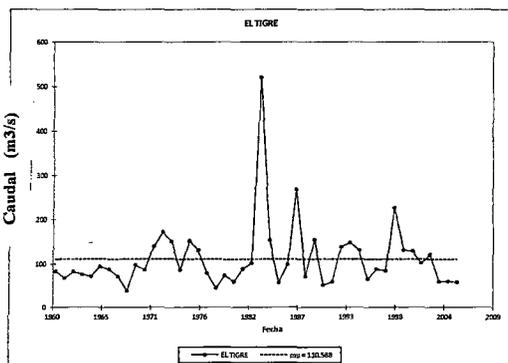


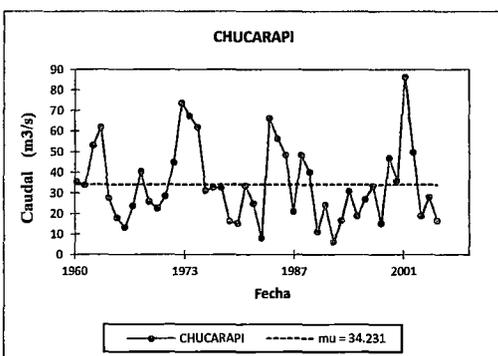
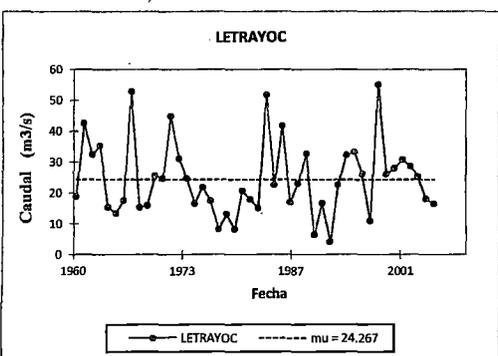
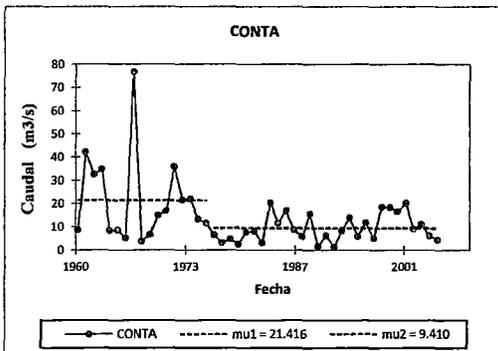
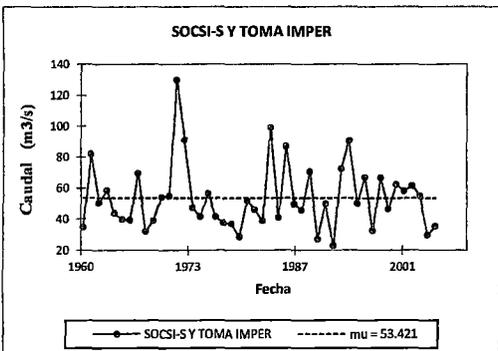
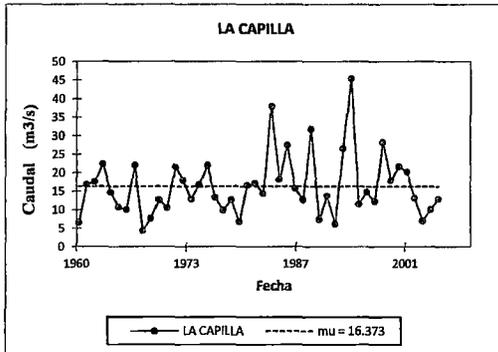
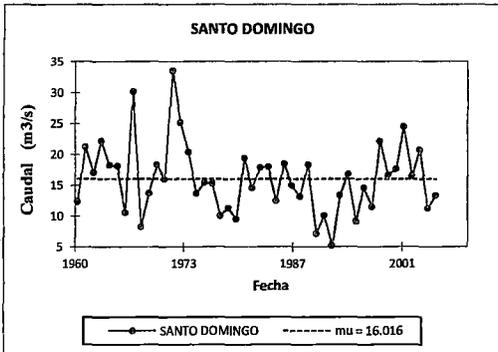
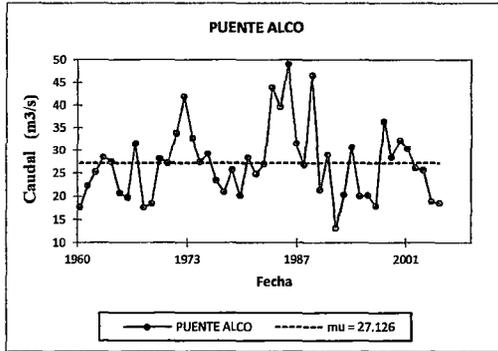
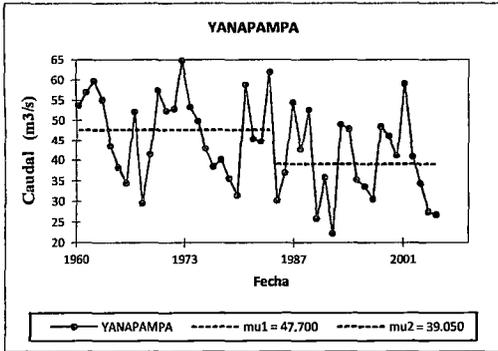
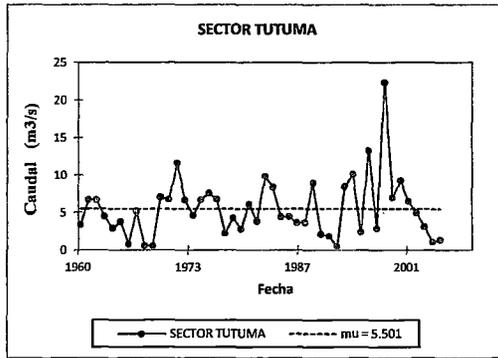
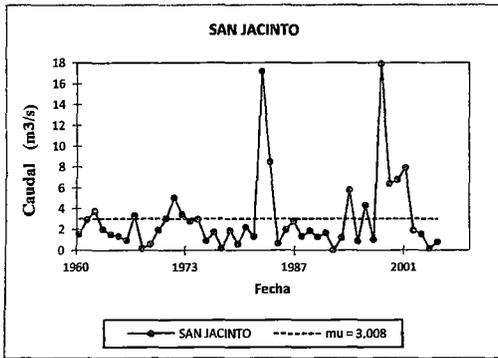


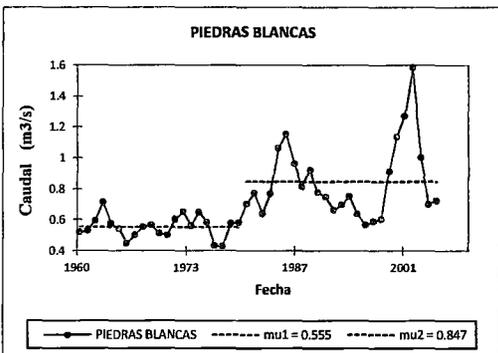
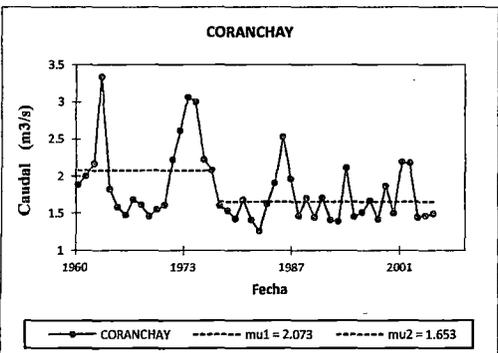
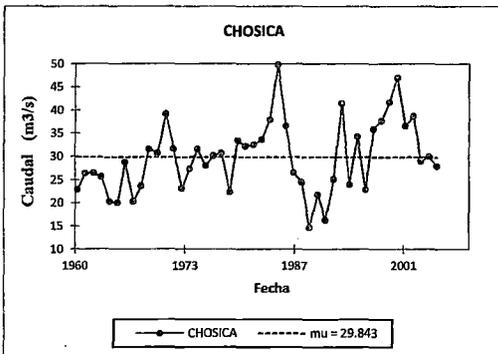
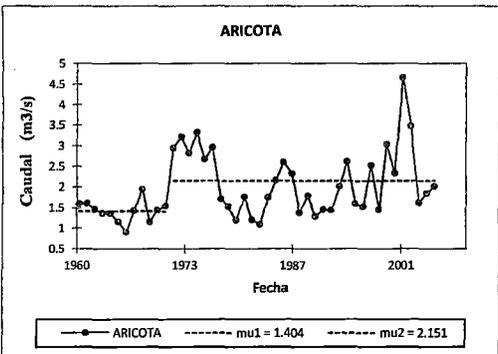
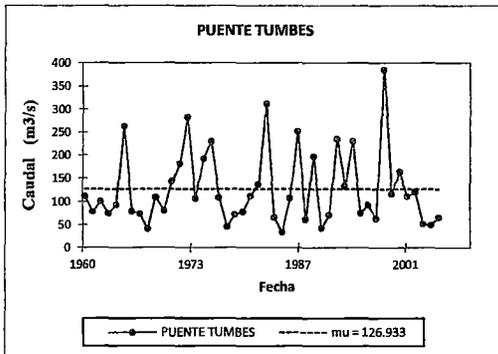
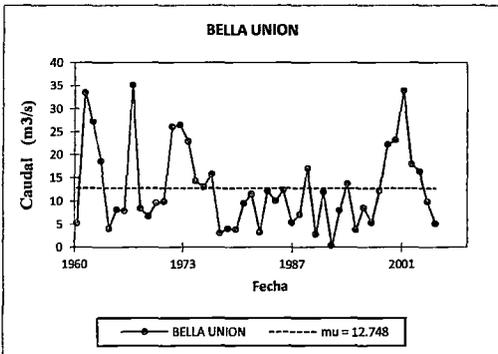
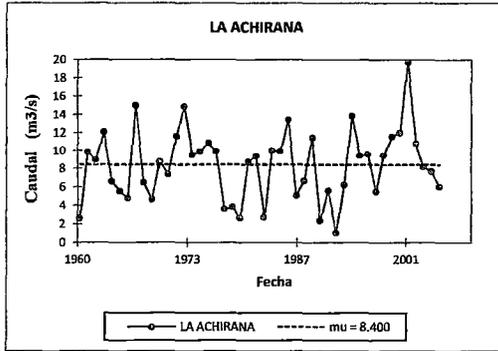
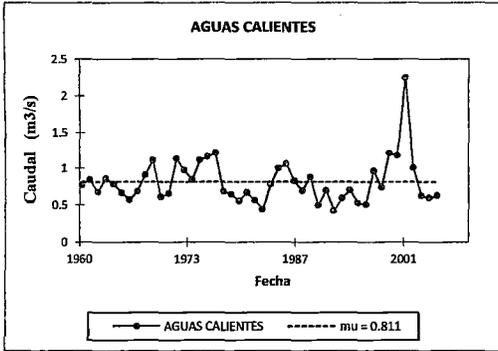
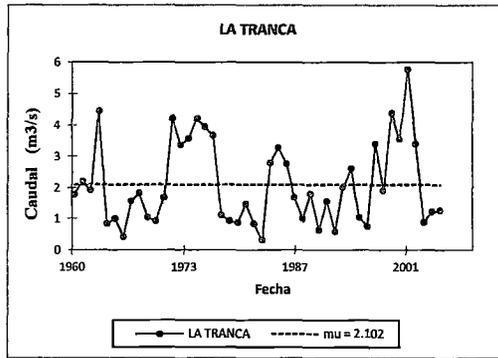
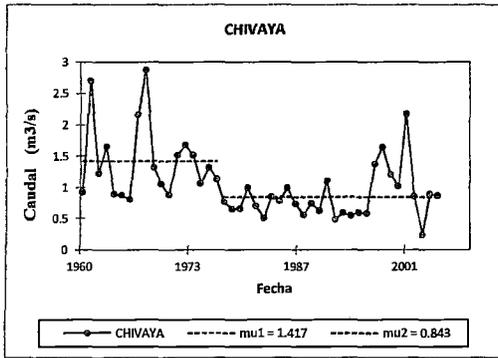
---

**ANEXO IV: ANÁLISIS HOMOGENEIDAD**

**(TEST DE PETITT)**







---

**ANEXO V: ESTIMACIÓN DE PARÁMETRO, MÉTODO DE L-MOMENTOS**

**(  $L_1, L_2, L_3, T, T Y T_4$  )**

## A1 EST. EL TIGRE

N°	name	n	L_1	L_2	L_3	L_4	t	t_3	t_4	t_5
1	ENE	46	111.52804	54.27274	31.992156	25.4052249	0.4866286	0.5894701	0.46810287	0.39859657
2	FEB	46	223.04392	85.16063	29.424333	21.8672402	0.381811	0.3455157	0.2567764	0.15573492
3	MAR	46	315.78478	113.12657	30.49968	13.1873056	0.3582395	0.2696067	0.11657125	0.09671891
4	ABR	46	270.69261	90.483517	29.779291	10.6125944	0.3342667	0.3291129	0.1172876	0.07264534
5	MAY	46	151.7763	54.611715	26.792729	19.8997598	0.3598171	0.4906041	0.36438628	0.29846307
6	JUN	46	75.4987	24.852309	14.781742	12.9046236	0.3291753	0.5947834	0.51925249	0.45664359
7	JUL	46	42.63957	11.087237	4.639446	4.0863312	0.2600223	0.4184492	0.36856172	0.32348605
8	AGO	46	27.53646	5.676722	1.131929	0.6079176	0.206153	0.1993984	0.10708956	0.07241772
9	SEP	46	21.68907	4.581659	1.089839	0.5380069	0.2112428	0.2378698	0.11742621	0.01619966
10	OCT	46	20.4037	4.623435	1.264253	0.4394501	0.2265979	0.2734445	0.09504841	0.02250418
11	NOV	46	22.14941	6.905943	3.331707	2.6106356	0.311789	0.4824406	0.37802741	0.24782854
12	DIC	46	44.32891	22.713801	15.1997	12.6687994	0.5123925	0.6691835	0.55775779	0.44872804

## A2 EST. ARDILLA

N°	name	n	L_1	L_2	L_3	L_4	t	t_3	t_4	t_5
1	ENE	46	234.11217	125.28694	83.946988	73.200829	0.5351577	0.6700378	0.5842655	0.49679196
2	FEB	46	422.89239	215.88604	116.103334	83.693589	0.5104988	0.5377992	0.3876749	0.26226609
3	MAR	46	931.52783	463.83942	181.79606	67.867046	0.497934	0.3919375	0.1463158	0.07927121
4	ABR	46	773.35587	410.14906	210.868782	117.92431	0.5303497	0.5141272	0.2875157	0.18522087
5	MAY	46	362.58217	169.50667	85.88722	60.371098	0.4674986	0.5066893	0.3561577	0.25723708
6	JUN	46	224.62891	97.0805	39.741179	28.700287	0.4321817	0.4093632	0.2956339	0.23902566
7	JUL	46	144.13891	47.60598	12.623897	7.081658	0.3302784	0.2651746	0.1487557	0.06322503
8	AGO	46	93.48826	30.26461	8.453065	5.365551	0.3237263	0.2793053	0.177288	0.03557315
9	SEP	46	66.10783	21.08265	5.170162	3.222148	0.318913	0.2452331	0.1528341	0.07439348
10	OCT	46	67.95413	23.05075	7.49429	5.508627	0.3392104	0.3251213	0.2389782	0.18805795
11	NOV	46	62.64891	19.36594	3.625395	2.605704	0.3091185	0.1872048	0.1345509	0.03568542
12	DIC	46	119.91044	55.89869	24.390674	20.441833	0.4661703	0.4363372	0.3656943	0.30199869

## A5 EST. PUCHACA

N°	name	n	L_1	L_2	L_3	L_4	t	t_3	t_4	t_5
1	ENE	46	6.060109	3.2369936	1.8012735	1.46328874	0.5341478	0.5564649	0.45205178	0.400936355
2	FEB	46	11.181478	5.8940562	3.3893784	2.95644807	0.5271267	0.5750502	0.50159822	0.43742316
3	MAR	46	19.577348	10.4164406	5.7391814	4.0295807	0.532066	0.5509734	0.38684814	0.25574285
4	ABR	46	13.701848	6.9467859	3.7261728	2.98375501	0.5069963	0.536388	0.4295159	0.37328953
5	MAY	46	6.538913	3.3801972	1.9915806	1.66613704	0.5169356	0.5891906	0.4929112	0.43921649
6	JUN	46	3.275326	1.3687821	0.2651445	0.02038475	0.4179071	0.1937084	0.01489262	0.00344476
7	JUL	46	2.049826	0.8351816	0.1983005	0.05460723	0.4074402	0.237434	0.06538366	0.02582241
8	AGO	46	1.373478	0.5910097	0.1251718	0.03056552	0.4303014	0.2117932	0.05171746	0.05595967
9	SEP	46	1.736391	0.846885	0.2385146	0.08483253	0.4877271	0.2816376	0.10017007	0.07759591
10	OCT	46	2.776087	1.2124048	0.3419375	0.10195657	0.4367316	0.2820325	0.08409449	-0.0302039
11	NOV	46	2.386978	0.9358469	0.2019797	0.10264289	0.3920634	0.2158256	0.10967915	0.01887892
12	DIC	46	2.8855	1.102956	0.1707275	0.1079164	0.3822409	0.1547909	0.09784288	0.10899651

## A6 EST. RACA RUMI

N°	name	n	L_1	L_2	L_3	L_4	t	t_3	t_4	t_5
1	ENE	46	30.932304	10.881889	2.2852348	1.2226521	0.3517969	0.2100035	0.11235661	0.04105746
2	FEB	46	49.893152	16.210056	1.9015896	0.9940798	0.3248954	0.1173093	0.06132489	0.04793118
3	MAR	46	71.053043	23.633266	4.8012542	0.16355	0.3326144	0.2031566	0.00692033	0.00735425
4	ABR	46	66.038043	17.294381	2.4592463	1.1880286	0.2618851	0.1421991	0.06869448	-0.0034068
5	MAY	46	38.816087	9.441256	1.5809289	1.5086959	0.2432305	0.167449	0.15979822	0.00245722
6	JUN	46	20.609609	5.249112	1.0107298	0.9852434	0.2546925	0.1925525	0.18769715	0.10076754
7	JUL	46	11.933174	2.999335	0.8639911	0.8837696	0.2513443	0.2880609	0.29465516	0.15543036
8	AGO	46	7.723304	1.923092	0.5492708	0.3948406	0.2489986	0.2856186	0.20531552	0.06382147
9	SEP	46	9.534978	3.182741	0.9294589	0.607482	0.3337963	0.292031	0.19086759	0.12233599
10	OCT	46	20.001456	7.050664	1.3942068	0.5286747	0.3525075	0.1977412	0.07498226	0.02350684
11	NOV	46	23.542109	7.042974	0.7154666	0.217117	0.299165	0.1015859	0.03082746	0.00024799
12	DIC	46	25.541131	8.512216	1.2407723	0.6683782	0.3332748	0.1457637	0.07851988	0.07571727

**A7 EST. EL BATAN**

N°	name	n	L1	L2	L3	L4	t	t3	t4	t5
1	ENE	46	6.480174	2.8576473	1.4204876	1.1584067	0.4409831	0.4970829	0.4053708	0.33111757
2	FEB	46	10.471761	4.8947811	2.3794156	1.7988217	0.4674267	0.4861128	0.3674979	0.29562283
3	MAR	46	16.453261	7.4758213	3.5671268	2.4448945	0.4543672	0.4771552	0.3270403	0.2288137
4	ABR	46	14.997804	5.6325638	2.1304738	1.281608	0.3755592	0.3782423	0.2275355	0.13184506
5	MAY	46	9.737978	3.1258101	1.1283897	0.95227	0.3209917	0.3609911	0.3046474	0.16895128
6	JUN	46	5.39287	1.3043739	0.2185601	0.2410616	0.2418701	0.1675594	0.1848102	0.11724019
7	JUL	46	3.452174	0.882657	0.2793646	0.2033258	0.2556815	0.3165041	0.2303565	0.08501909
8	AGO	46	2.335804	0.6291715	0.1592088	0.1386846	0.2693597	0.2530452	0.2204242	0.1494691
9	SEP	46	2.725022	0.9094285	0.2556635	0.1689896	0.3337326	0.2811255	0.1858196	0.12259271
10	OCT	46	3.706674	1.1985309	0.4122433	0.2742622	0.323344	0.3439572	0.228832	0.19822598
11	NOV	46	3.733761	1.0487928	0.2593739	0.1347542	0.2808945	0.2473071	0.1284851	0.08374064
12	DIC	46	3.855696	1.0565488	0.1757248	0.1142141	0.2740229	0.1663196	0.1081011	0.0537436

**A8 EST. YONAN**

N°	name	n	L1	L2	L3	L4	t	t3	t4	t5
1	ENE	46	27.035479	12.4183412	3.8782199	2.34669253	0.459335	0.3122977	0.18896989	0.14969437
2	FEB	46	56.07074	26.3740669	9.162947	5.23340171	0.4703713	0.3474226	0.19842983	0.11470191
3	MAR	46	86.954283	35.3506836	7.5882972	3.64992846	0.4065433	0.2146577	0.10324916	0.12296938
4	ABR	46	65.191304	24.7729081	5.7837154	2.78250311	0.3800033	0.2334694	0.11232041	0.05779372
5	MAY	46	26.298435	8.6416978	2.5544364	1.92226644	0.3286012	0.2955943	0.22244083	0.066963
6	JUN	46	10.978391	3.5560262	1.0842202	0.76262893	0.3239114	0.3048966	0.214461	0.0887259
7	JUL	46	5.263022	1.9593715	0.6501426	0.36934625	0.3722902	0.3318118	0.18850241	0.05286694
8	AGO	46	2.610761	0.9846652	0.1616049	0.09508207	0.3771564	0.1641216	0.09656285	0.02112824
9	SEP	46	2.916848	1.2664942	0.4887382	0.32932277	0.4341996	0.3858985	0.26002707	0.14051444
10	OCT	46	7.544957	3.2620038	0.9549959	0.34606565	0.4323423	0.2927636	0.1060899	0.05150586
11	NOV	46	11.447761	4.5745165	0.9918168	0.40299968	0.3995992	0.2168135	0.08809667	0.03431675
12	DIC	46	16.742543	7.9395048	2.6476189	1.22465128	0.4742114	0.3334741	0.15424782	0.09626465

**A9 EST. SALINAR TAMBO**

N°	name	n	L1	L2	L3	L4	t	t3	t4	t5
1	ENE	46	19.885457	10.364653	4.26001589	2.77938255	0.5212177	0.41101385	0.26815974	0.2172976
2	FEB	46	51.431804	27.607464	13.3146795	9.35462479	0.5367781	0.4822855	0.33884405	0.23369634
3	MAR	46	88.017217	44.120125	17.813859	12.2892546	0.501267	0.40375812	0.27854079	0.25459781
4	ABR	46	61.547152	28.573813	11.4952431	7.65493382	0.4642589	0.40229993	0.26790033	0.18448082
5	MAY	46	22.673217	9.37345	3.6847732	3.10356915	0.4134151	0.39310746	0.33110211	0.25159178
6	JUN	46	9.01587	3.142752	0.70109342	0.49744895	0.34858	0.22308266	0.15828452	0.09625448
7	JUL	46	5.201761	1.785201	0.26633109	0.14542969	0.3431918	0.14918826	0.08146402	0.05613711
8	AGO	46	3.297848	1.206603	0.09992635	0.04210252	0.365876	0.08281624	0.03489342	0.03620457
9	SEP	46	2.79113	1.141386	0.18317536	0.07220787	0.4089331	0.1604851	0.06326335	0.02000039
10	OCT	46	3.875022	1.507398	0.34565625	0.20462791	0.3890036	0.22930662	0.13574913	0.11049177
11	NOV	46	4.769348	1.755769	0.4801452	0.38238779	0.3681361	0.27346716	0.21778934	0.08711476
12	DIC	46	8.138826	3.792489	1.28251691	0.71560146	0.4659749	0.33817288	0.18868913	0.14430335

**A10 EST. QUIRIHUAC-MOCHE**

N°	name	n	L1	L2	L3	L4	t	t3	t4	t5
1	ENE	46	9.404913	5.3528667	2.16171504	1.17147845	0.5691564	0.4038425	0.2188507	0.17594826
2	FEB	46	19.3034346	11.1683921	5.61364782	3.71506635	0.5785702	0.5026371	0.3326411	0.20504186
3	MAR	46	28.9679564	14.2193245	6.16869753	4.76130213	0.4908639	0.4338249	0.3348473	0.29114952
4	ABR	46	21.889674	8.8740527	2.34017613	1.04292951	0.405399	0.26371	0.1175257	0.03133954
5	MAY	46	8.6948696	3.8646116	1.53478393	1.08717516	0.4444703	0.397138	0.2813155	0.12254999
6	JUN	46	2.5894348	1.2742812	0.478522	0.23397264	0.4921078	0.3755231	0.1836115	0.0790944
7	JUL	46	1.0554783	0.5426	0.21826614	0.10845753	0.5140798	0.4022598	0.1998849	0.07093998
8	AGO	46	0.5441522	0.2617213	0.09136153	0.03392725	0.4809707	0.3490795	0.1296312	0.0273792
9	SEP	46	0.8640217	0.5877077	0.38111963	0.27401452	0.6802002	0.648485	0.4662428	0.35083784
10	OCT	46	1.8197609	0.9709425	0.32746246	0.14207362	0.533555	0.3372625	0.1463255	0.12987979
11	NOV	46	2.8725	1.4263744	0.44650383	0.21432583	0.496562	0.3130341	0.1502592	0.08694624
12	DIC	46	4.7307608	2.7935087	1.27102013	0.71893619	0.5904988	0.4549906	0.2573596	0.21406508

A11 EST. HUACAPONGO

N°	name	n	L1	L2	L3	L4	t	t3	t4	t5
1	ENE	46	5.00195649	3.5712821	2.2423001	1.60169486	0.713977	0.6278698	0.448493	0.36961004
2	FEB	46	8.30856516	5.00326564	2.23674303	1.1406629	0.6021817	0.4470566	0.2279837	0.14260624
3	MAR	46	14.7592173	8.9155922	4.62703761	3.40812332	0.6040694	0.5189826	0.3822655	0.32604555
4	ABR	46	7.46997829	3.83005075	1.28639555	0.67294101	0.5127258	0.3358691	0.1757003	0.12005793
5	MAY	46	1.7752174	0.88294107	0.34063479	0.22007056	0.4973707	0.3857956	0.2492472	0.13457245
6	JUN	46	0.48734783	0.25302222	0.10050699	0.04205716	0.519182	0.3972259	0.1662193	0.093535667
7	JUL	46	0.21	0.11275845	0.04540646	0.02446715	0.536945	0.4026878	0.2169873	0.13338292
8	AGO	46	0.11941304	0.06785072	0.029122	0.01546624	0.568202	0.4292069	0.2279451	0.12778872
9	SEP	46	0.09321739	0.05726763	0.02676416	0.01394002	0.6143449	0.4673524	0.2434188	0.11936353
10	OCT	46	0.3772826	0.24676763	0.1135473	0.05381161	0.6540657	0.4601385	0.2180659	0.16696365
11	NOV	46	0.6691087	0.40908744	0.17024466	0.06616252	0.6113916	0.4161572	0.161732	0.05417786
12	DIC	46	1.59984782	1.08504686	0.57493913	0.30704057	0.6782188	0.5298749	0.2829745	0.1894519

A12 EST. CONDORCERRO

N°	name	n	L1	L2	L3	L4	t	t3	t4	t5
1	ENE	46	200.038004	55.763686	15.5661317	6.0057537	0.2787654	0.2791446	0.1077001	-0.0235194
2	FEB	46	277.13565	73.650415	15.3017971	9.0775428	0.2657558	0.20776254	0.1232518	0.03156872
3	MAR	46	357.57609	101.359759	19.2660867	10.5298161	0.2834635	0.19007629	0.1038777	0.04738235
4	ABR	46	252.69891	66.165705	16.1053795	17.1239094	0.2618361	0.24340978	0.2588034	0.1651281
5	MAY	46	102.64435	24.59572	6.42762303	4.6523946	0.2396208	0.26133096	0.1891546	0.09847745
6	JUN	46	60.32544	10.749435	1.47393675	2.9341222	0.1781908	0.1371176	0.1892306	0.09301739
7	JUL	46	46.12261	6.297246	-0.0149144	0.7305184	0.1365327	-0.0023684	0.116006	-0.0446455
8	AGO	46	42.70217	5.295063	0.12099477	0.8525044	0.1239998	0.02285049	0.1609999	0.03133239
9	SEP	46	46.25174	6.386183	-0.0087195	0.9803204	0.1380745	-0.0013654	0.1535065	0.03115489
10	OCT	46	65.85456	10.66185	1.86386423	1.5817164	0.1618999	0.17481621	0.1483529	-0.0297956
11	NOV	46	95.59957	23.037575	4.89491279	2.5080134	0.2409799	0.21247518	0.1088662	-0.0048066
12	DIC	46	138.0137	37.193608	6.68846762	3.8190416	0.2694922	0.17982841	0.10268	-0.0054422

A13 EST. SAN JACINTO

N°	name	n	L1	L2	L3	L4	t	t3	t4	t5
1	ENE	46	3.4846522	2.32457009	1.15861834	0.53400006	0.6670881	0.4984226	0.2297199	0.11788846
2	FEB	46	8.5956957	5.37436137	2.72120635	1.76903387	0.6252387	0.5063311	0.3291617	0.25100232
3	MAR	46	12.4460652	7.57731834	3.69549602	2.22702263	0.6088124	0.4877705	0.2939064	0.19761692
4	ABR	46	6.229652	4.18582307	2.43701308	1.70253387	0.6719192	0.5822064	0.4067381	0.33047137
5	MAY	46	2.217913	1.60791013	0.95863846	0.56313249	0.7249654	0.5962015	0.3502263	0.20538647
6	JUN	46	0.7558478	0.52879468	0.31634795	0.22181206	0.6996007	0.5982434	0.4194673	0.33331133
7	JUL	46	0.367913	0.23218357	0.10667062	0.00606719	0.6310827	0.4594236	0.2612897	0.21928375
8	AGO	46	0.2432174	0.14608309	0.05657839	0.02348253	0.6006277	0.3873028	0.1607477	0.11789452
9	SEP	46	0.1531522	0.08653285	0.02834229	0.01016159	0.5650122	0.3275322	0.1174304	0.08951212
10	OCT	46	0.267913	0.19262319	0.1235332	0.09284338	0.7189765	0.6413205	0.4819948	0.39632225
11	NOV	46	0.2972609	0.19672078	0.11486021	0.08217433	0.6617782	0.5838743	0.4177207	0.30136593
12	DIC	46	1.0411956	0.71277632	0.35437233	0.14796614	0.6845748	0.4971719	0.2075913	0.13050369

A14 EST. SECTOR TUTUNA

N°	name	n	L1	L2	L3	L4	t	t3	t4	t5
1	ENE	46	7.9214783	4.6887933	2.2185993	1.69865944	0.5919089	0.4731706	0.36228072	0.33775213
2	FEB	46	13.6308478	7.0802382	2.549526	1.72883035	0.5194276	0.3600904	0.24417686	0.17297301
3	MAR	46	19.737739	8.5973835	2.6184742	1.69298982	0.435581	0.3045664	0.19691919	0.14004529
4	ABR	46	12.1362391	5.5883812	1.3738785	0.79349024	0.4604706	0.2458455	0.14198928	0.12391167
5	MAY	46	3.8419565	1.950257	0.4573871	0.14055127	0.5076208	0.2345266	0.07206808	0.04478844
6	JUN	46	1.769587	1.1157802	0.3891287	0.03907457	0.6305314	0.3487503	0.03501995	0.00212393
7	JUL	46	1.0155217	0.699686	0.3099661	0.07007196	0.6889916	0.4430075	0.10014773	-0.0040182
8	AGO	46	0.5514348	0.4078754	0.2132701	0.06922025	0.739662	0.5228805	0.16970931	0.02039882
9	SEP	46	0.3127826	0.2419739	0.1435684	0.06971571	0.7736169	0.5933217	0.2881125	0.17893405
10	OCT	46	0.8403478	0.6889121	0.4696598	0.28060324	0.819794	0.6817413	0.40731357	0.23881195
11	NOV	46	1.1625652	0.8977691	0.5446739	0.27571286	0.7722312	0.6066971	0.30710888	0.14193872
12	DIC	46	3.0889348	2.1295589	1.0734037	0.51750918	0.6894153	0.5040498	0.24301238	0.14623657

**A16 EST. YANAPAMPA**

N°	name	n	L1	L2	L3	L4	t	t3	t4	t5
1	ENE	46	62.97652	16.174705	4.2911647	2.06657	0.2568371	0.26530095	0.12776554	0.02898524
2	FEB	46	95.17761	26.561416	5.2259156	4.1735688	0.2790721	0.19674838	0.157129	0.0546129
3	MAR	46	107.77913	22.724435	3.1744269	2.949821	0.2108426	0.13969223	0.12980833	0.10093042
4	ABR	46	69.50826	15.335874	1.938967	2.0781536	0.2206338	0.12643342	0.1355093	0.09648375
5	MAY	46	32.3887	6.287836	0.7646205	0.5133436	0.1941367	0.12160314	0.08164074	0.00740474
6	JUN	46	20.90239	3.358865	0.3962082	0.3745749	0.1606928	0.11795896	0.11151831	0.05052551
7	JUL	46	16.93978	2.452304	0.2906943	0.2942074	0.144766	0.11853924	0.11997183	0.06642422
8	AGO	46	15.30389	2.022898	0.1751859	0.2126558	0.1321819	0.08660145	0.10512435	0.05983809
9	SEP	46	16.28617	2.385156	0.379263	0.4689019	0.1464528	0.15900968	0.19659167	0.07482755
10	OCT	46	21.65935	3.837541	0.9419118	0.6447772	0.1771771	0.2454467	0.16801831	0.10438325
11	NOV	46	27.30152	5.346227	1.0676324	0.4184097	0.1958216	0.19969829	0.07826262	0.00279583
12	DIC	46	38.78522	9.855894	2.9241541	1.7650045	0.2541147	0.29669091	0.17908113	0.0759932

**A17 EST. PUENTE ALCO**

N°	name	n	L1	L2	L3	L4	t	t3	t4	t5
1	ENE	46	37.87674	9.247222	2.77829788	2.1079022	0.2441399	0.30044675	0.22794978	0.11895785
2	FEB	46	54.21391	14.420242	2.93735587	1.4073644	0.2659878	0.20369672	0.09759645	-0.0067134
3	MAR	46	67.08978	18.776324	4.23062586	1.6137165	0.2798686	0.22531705	0.08594422	0.06748051
4	ABR	46	41.71761	11.08929	2.21141231	1.1270036	0.265818	0.19941875	0.10162992	0.03230631
5	MAY	46	20.82283	4.326217	1.02906316	0.4153264	0.2077632	0.23786673	0.09600219	0.03845036
6	JUN	46	14.04774	1.949228	0.39433744	0.3890071	0.1387574	0.20230442	0.19956982	0.09348897
7	JUL	46	12.11526	1.395636	0.12381253	0.1558941	0.1151965	0.08871407	0.11170114	0.04639363
8	AGO	46	11.28591	1.133681	-0.0193292	0.1538703	0.100451	-0.01705	0.13572628	0.02324332
9	SEP	46	11.60122	1.190591	0.11039764	0.2156913	0.1026264	0.09272506	0.18116317	0.04234376
10	OCT	46	14.44063	1.88347	0.38065838	0.3101424	0.1304285	0.20210483	0.16466544	0.03241594
11	NOV	46	17.11202	2.667022	0.4656884	0.3256446	0.1558566	0.1746099	0.12210048	0.07633989
12	DIC	46	23.18435	5.167145	0.84172992	0.4593858	0.2228721	0.16290039	0.08890515	0.01955027

**A18 EST. SANTO DOMINGO**

N°	name	n	L1	L2	L3	L4	t	t3	t4	t5
1	ENE	46	22.81137	7.6355859	2.15058511	1.09296729	0.3347272	0.28165292	0.14314125	0.11596434
2	FEB	46	38.509348	11.7248579	1.07169148	1.76617648	0.3044678	0.09140337	0.15063521	0.14572775
3	MAR	46	49.198217	16.5490286	5.09076659	4.22047066	0.3363746	0.30761725	0.2550283	0.20397997
4	ABR	46	24.033022	6.2195009	0.56624042	0.56147018	0.2587898	0.09104274	0.09027576	0.00094934
5	MAY	46	10.146196	2.179757	0.19416866	0.19832382	0.2148349	0.08907812	0.09098437	0.04684788
6	JUN	46	6.643087	1.0824106	0.09596271	0.10085184	0.1629379	0.08865648	0.09317336	-0.0280595
7	JUL	46	5.354283	0.6409725	0.00140605	0.07280637	0.1197121	0.00219362	0.11358736	0.01589623
8	AGO	46	4.881652	0.5865981	-0.0258362	0.08302815	0.1201638	-0.0488175	0.1415418	0.05003743
9	SEP	46	4.81837	0.5691889	0.02555876	0.06041111	0.1181289	0.04490382	0.10613543	0.06925847
10	OCT	46	5.483783	0.6397517	0.10944969	0.15470486	0.1166625	0.17108151	0.24182016	0.07856705
11	NOV	46	7.461109	1.7529425	0.57461144	0.41809253	0.234944	0.32779823	0.23850898	0.03579384
12	DIC	46	12.858174	4.3652049	1.4891251	0.84180294	0.3394887	0.34113522	0.19284386	0.08605993

**A21 EST. LA CAPILLA**

N°	name	n	L1	L2	L3	L4	t	t3	t4	t5
1	ENE	46	29.927587	12.77961	3.8376634	1.42873612	0.4270177	0.3002958	0.1117981	-0.0009704
2	FEB	46	52.825783	20.8791914	5.5506304	4.3125006	0.3952462	0.2658451	0.20654538	0.13389056
3	MAR	46	55.951087	18.9346716	4.885564	2.96623874	0.3384147	0.2580221	0.15665647	0.07994817
4	ABR	46	22.7425	7.743755	1.2626683	0.28318308	0.3404971	0.1630563	0.03656922	0.02581994
5	MAY	46	6.691	2.4839923	0.7810194	0.52382961	0.3712438	0.314421	0.21088214	0.17914179
6	JUN	46	3.310043	1.0776174	0.283944	0.1309181	0.3255599	0.2634924	0.12148849	0.06315415
7	JUL	46	2.145391	0.6188155	0.1852544	0.11915459	0.2884394	0.2993694	0.1925527	0.09692125
8	AGO	46	1.64787	0.4217082	0.1288161	0.10672383	0.2559112	0.3054626	0.25307505	0.1307251
9	SEP	46	1.562848	0.433444	0.1341292	0.09032073	0.2773424	0.30945	0.20837925	0.09381288
10	OCT	46	2.572891	1.0112024	0.4005354	0.2371439	0.3930218	0.3960982	0.23451674	0.12719883
11	NOV	46	4.264152	1.7973695	0.7542279	0.4783487	0.4215069	0.4196287	0.2661382	0.14098855
12	DIC	46	12.842587	5.7495338	2.1234928	1.23870917	0.4476928	0.369333	0.21544515	0.14938704

**A22 EST. SOCCI-S Y TOMA IMPERIAL**

N°	name	n	L1	L2	L3	L4	t	t3	t4	t5
1	ENE	46	94.05261	30.76916	6.59944309	1.352384	0.3271484	0.21448239	0.04395258	0.03672678
2	FEB	46	136.4713	41.023604	6.58253906	6.659634	0.3006024	0.16045736	0.16233664	0.05726104
3	MAR	46	155.72609	48.059845	14.7510153	10.9348078	0.3086178	0.30693015	0.22752482	0.17687267
4	ABR	46	80.31674	24.063329	5.78122003	3.86525	0.2996054	0.24025022	0.16062824	0.0877403
5	MAY	46	34.30109	7.617812	1.36806864	0.6392454	0.2220866	0.17958814	0.08391457	0.06133056
6	JUN	46	20.08565	3.191304	0.15683796	0.1336968	0.1588848	0.04914541	0.04189409	0.0510795
7	JUL	46	14.54887	2.000048	0.18827791	0.321723	0.137471	0.09413668	0.16085763	0.03756241
8	AGO	46	12.10661	1.552399	0.1674705	0.2674405	0.1282274	0.10787851	0.17227564	-0.0049471
9	SEP	46	10.75085	1.339331	0.04783914	0.2048687	0.1245791	0.03571869	0.1529635	-0.0363728
10	OCT	46	13.48089	2.634981	0.99957177	0.8049466	0.1954605	0.37934684	0.30548478	0.17932062
11	NOV	46	24.16617	8.366588	3.38798962	2.062208	0.3462107	0.40494283	0.24648137	0.16176358
12	DIC	46	45.07	16.342966	4.78128184	2.8090677	0.362613	0.292559	0.17188237	0.06867255

**A23 EST. CONTA**

N°	name	n	L1	L2	L3	L4	t	t3	t4	t5
1	ENE	46	19.9033262	10.4552856	4.30665627	1.71727133	0.5253034	0.41191187	0.16424911	0.08196347
2	FEB	46	56.0449354	32.0319654	15.3586813	11.2053196	0.5715408	0.47947983	0.3498168	0.3132267
3	MAR	46	53.9376089	27.8996079	12.8820983	8.66864443	0.517257	0.46173044	0.31070847	0.2098762
4	ABR	46	15.1017827	7.3441547	2.53784547	1.60103205	0.4863104	0.34555992	0.21800086	0.1515585
5	MAY	46	2.3968913	1.1544343	0.28929144	0.0836994	0.4816382	0.25059151	0.07250253	0.04014168
6	JUN	46	0.6733478	0.3382232	0.04184651	-0.0199765	0.5023009	0.12372453	-0.0590632	0.0322262
7	JUL	46	0.4016304	0.2556121	0.09010316	0.01278269	0.636436	0.35249963	0.05000817	0.05154575
8	AGO	46	1.0702391	0.7177647	0.28588787	0.03752362	0.6706583	0.39830304	0.05227843	-6.842E-05
9	SEP	46	2.7231087	1.1428546	0.01923636	0.02484859	0.4196875	0.01683186	0.02174256	0.1045932
10	OCT	46	3.4819565	1.1022145	0.03829907	0.15171459	0.3165503	0.03474738	0.13764525	0.01852739
11	NOV	46	3.6094348	1.2684445	0.19128987	0.18924194	0.3514247	0.15080666	0.14919214	0.1249952
12	DIC	46	6.8241956	3.1460584	1.34342503	0.90978115	0.4610153	0.42701846	0.28918126	0.1109814

**A24 EST. LETRAYOCC**

N°	name	n	L1	L2	L3	L4	t	t3	t4	t5
1	ENE	46	47.986326	20.0930564	5.57521419	1.80959668	0.4187246	0.2774697	0.0900608	0.06764029
2	FEB	46	84.924869	32.1601194	7.11391451	6.80349442	0.3786891	0.221203	0.21155066	0.15903171
3	MAR	46	81.620522	26.2403383	6.81238224	7.48273784	0.3214919	0.2596149	0.28516164	0.12749961
4	ABR	46	31.248131	11.0200609	1.15290406	0.86844268	0.352663	0.1046187	0.07880562	0.09507957
5	MAY	46	8.2085	2.9032884	0.50003322	0.3437412	0.3536929	0.17223	0.11839719	0.10923941
6	JUN	46	3.844109	1.2721754	0.18300816	0.06833561	0.3309416	0.1438545	0.05371556	0.03442385
7	JUL	46	2.33013	0.6613845	0.08246455	0.0724738	0.2838401	0.1246847	0.10957891	0.07906046
8	AGO	46	1.896391	0.5513256	0.08070592	0.06493428	0.2907235	0.1463852	0.11777847	0.07760183
9	SEP	46	2.194196	0.6998217	0.12019197	0.04551574	0.3189423	0.1717465	0.06503905	0.02624722
10	OCT	46	3.445913	1.1295295	0.19946693	0.20056867	0.3277881	0.1765929	0.17756834	0.10564689
11	NOV	46	7.468587	2.3764981	0.48694942	0.59495744	0.3181992	0.2049021	0.25035048	0.07151753
12	DIC	46	16.033	6.3908841	2.2627825	1.31478349	0.3986081	0.3540641	0.20572795	0.08571747

**A27 EST. CHUCARAPI**

N°	name	n	L1	L2	L3	L4	t	t3	t4	t5
1	ENE	46	69.207935	32.757291	11.0186444	4.56167398	0.473317	0.33637227	0.13925675	0.05941677
2	FEB	46	120.715478	53.213894	13.5080475	6.29450498	0.4408208	0.25384437	0.11828687	0.05034714
3	MAR	46	83.734522	35.827565	10.767225	3.85434312	0.4278709	0.30052908	0.10758038	0.03426726
4	ABR	46	38.123022	14.514178	5.8215206	4.18255856	0.3807195	0.40109198	0.28817054	0.16459798
5	MAY	46	19.890848	5.488895	1.0395544	0.39911842	0.2759508	0.18939229	0.0727138	0.05133377
6	JUN	46	15.408217	3.821117	0.9543604	0.38386954	0.2479921	0.24975954	0.10046003	0.04666822
7	JUL	46	12.937478	2.509887	0.4814098	0.02495558	0.1940012	0.19180539	0.00994291	-0.053513
8	AGO	46	10.931	1.903563	0.4144401	0.16298035	0.1741436	0.21771803	0.08561856	0.01286999
9	SEP	46	9.215109	1.944933	0.593482	0.33508324	0.2110591	0.30514264	0.17228525	0.07422565
10	OCT	46	7.4465	1.233681	0.1033114	0.1729408	0.1656726	0.08374238	0.14018279	0.0180014
11	NOV	46	8.82963	2.522038	1.2767208	1.00712057	0.2856335	0.50622581	0.39932806	0.23253027
12	DIC	46	14.320283	5.069011	2.1494561	1.19692292	0.3539742	0.42403855	0.23612553	0.08611321

A28 EST. CHIVAYA

N°	name	n	L1	L2	L3	L4	t	t3	t4	t5
1	ENE	46	1.6915217	0.79870917	0.42905744	0.30675407	0.4721838	0.53718857	0.3840623	0.27836556
2	FEB	46	2.5182609	1.05850242	0.32775008	0.20910338	0.4203307	0.30963565	0.1975464	0.13616501
3	MAR	46	2.1926956	0.86589757	0.34227258	0.20208806	0.3949009	0.39528069	0.2333856	0.1631751
4	ABR	46	1.1686522	0.40708696	0.20926496	0.17349403	0.3483389	0.51405468	0.4261842	0.32243539
5	MAY	46	0.8260217	0.23099951	0.09482608	0.08521722	0.2796531	0.41050338	0.3689065	0.27090648
6	JUN	46	0.7625	0.2146459	0.0828668	0.07581992	0.2815028	0.38606282	0.3532326	0.27770849
7	JUL	46	0.7076956	0.17637874	0.06515929	0.06028179	0.2492297	0.36942824	0.3417747	0.25717485
8	AGO	46	0.6273696	0.13069324	0.01322095	0.03335621	0.2083194	0.10116016	0.2552252	0.05002978
9	SEP	46	0.5990435	0.11478454	-0.0041088	0.02195984	0.191613	-0.035796	0.1913136	0.00329976
10	OCT	46	0.5589565	0.09853913	0.0014805	0.01469397	0.1762912	0.0150245	0.1491181	0.01598886
11	NOV	46	0.5347609	0.09987874	0.00655415	0.02419188	0.1867727	0.06562106	0.2422125	0.08142343
12	DIC	46	0.6241957	0.12347971	0.00783136	0.02571697	0.1978221	0.06342223	0.2082688	0.06150651

A31 EST. LA TRANCA

N°	name	n	L1	L2	L3	L4	t	t3	t4	t5
1	ENE	46	3.6243696	1.9637348	0.70785087	0.22099011	0.5418142	0.3604615	0.11253562	0.02861071
2	FEB	46	7.2616956	3.6689874	0.9705436	0.27206141	0.5052522	0.2645263	0.07415163	0.04016569
3	MAR	46	5.8451739	3.0669372	1.13257073	0.4448196	0.5246956	0.369284	0.14503708	0.07428583
4	ABR	46	1.7312391	0.712043	0.2291415	0.09206052	0.411291	0.3218085	0.12929068	0.02569886
5	MAY	46	1.0906957	0.2875159	0.07330685	0.05558478	0.2636079	0.2549662	0.19332763	0.08909729
6	JUN	46	1.1328478	0.2675087	0.06182833	0.04270295	0.2361382	0.2311264	0.15963202	0.07574973
7	JUL	46	1.0450652	0.2467338	0.06692161	0.04921288	0.2360942	0.27123	0.19945739	0.09067261
8	AGO	46	0.8513043	0.2059159	0.05120567	0.04493244	0.2418829	0.2486727	0.2182077	0.10480244
9	SEP	46	0.7319565	0.2197855	0.10201371	0.08053883	0.3002713	0.4641512	0.36644283	0.24690741
10	OCT	46	0.6521087	0.2367522	0.14288656	0.13700802	0.3630563	0.603528	0.57869803	0.53807338
11	NOV	46	0.5511957	0.1852681	0.09204993	0.08866365	0.3361204	0.4968471	0.47856939	0.42346489
12	DIC	46	0.7078261	0.2704184	0.1087938	0.0690762	0.3820407	0.4023166	0.25544198	0.11634045

A32 EST. AGUAS CALIENTES

N°	name	n	L1	L2	L3	L4	t	t3	t4	t5
1	ENE	46	1.0459348	0.30837246	0.0919718	0.03134104	0.2948295	0.29824908	0.10163372	0.04630481
2	FEB	46	1.8350435	0.75282512	0.2714992	0.14800191	0.4102492	0.36064047	0.19712667	0.12271753
3	MAR	46	1.4402609	0.55305894	0.24479341	0.14104131	0.3839991	0.44261722	0.25502039	0.13365281
4	ABR	46	0.7872391	0.15564106	0.04503083	0.0324324	0.1977049	0.28932488	0.20837945	0.13391002
5	MAY	46	0.6486522	0.08091691	0.01198722	0.00754626	0.1247462	0.14814235	0.09325938	0.04353256
6	JUN	46	0.6327174	0.06949614	0.00858024	0.0114077	0.1098376	0.12346355	0.16414873	0.04037733
7	JUL	46	0.6212609	0.06885024	0.0148278	0.01419559	0.1108234	0.21536307	0.20618074	0.10799145
8	AGO	46	0.5885	0.06281111	0.01272859	0.01415922	0.1067309	0.20264871	0.22542539	0.09950914
9	SEP	46	0.5531957	0.0595058	0.00420672	0.0106579	0.1075674	0.07069429	0.17910683	0.08201563
10	OCT	46	0.5222174	0.05560966	0.00325982	0.00949944	0.1064876	0.05861959	0.17082357	0.0530196
11	NOV	46	0.5139565	0.05957971	0.00287339	0.00478747	0.1159236	0.04822758	0.08035396	0.06766711
12	DIC	46	0.5465217	0.06659517	0.00831502	0.00776526	0.1218527	0.12485919	0.1166039	0.0311173

A35 EST. LA ACHIRANA

N°	name	n	L1	L2	L3	L4	t	t3	t4	t5
1	ENE	46	14.4027391	5.945941	1.51948387	1.11837846	0.412834	0.25554977	0.18809108	0.05027993
2	FEB	46	27.4854565	11.044901	1.95447694	0.79931592	0.4018453	0.1769574	0.07236968	0.00494928
3	MAR	46	26.918087	9.4645884	1.96784749	1.6701154	0.351607	0.20791686	0.17645938	0.10110122
4	ABR	46	9.6222826	3.2678091	0.01416546	0.35015102	0.3396085	0.00433485	0.10715161	0.04243785
5	MAY	46	3.0919348	1.8014613	0.45816745	-0.0518489	0.5826324	0.25433099	-0.0287816	0.00434807
6	JUN	46	1.234913	0.9597362	0.58391106	0.28656386	0.7771691	0.60840786	0.29858606	0.12859206
7	JUL	46	0.5772826	0.5210102	0.42763453	0.3209297	0.9025218	0.82077964	0.61597591	0.41241605
8	AGO	46	0.1218478	0.1138478	0.10187681	0.09146127	0.9343443	0.89485074	0.80336422	0.75793818
9	SEP	46	0.9639348	0.7955126	0.5324751	0.27466167	0.8252763	0.66934845	0.34526377	0.11661558
10	OCT	46	3.5957391	1.9284357	0.2338021	-0.2731373	0.5363114	0.12123925	-0.1416367	0.01761985
11	NOV	46	5.8737174	2.0944874	-0.1985833	0.11759198	0.3565863	-0.0948123	0.05614356	0.102941
12	DIC	46	6.9066305	2.4913812	0.15178896	0.38809556	0.3607231	0.06092562	0.15577526	0.10984937

**A36 EST. BELLA UNIÓN**

N°	name	n	L1	L2	L3	L4	t	t3	t4	t5
1	ENE	46	23.0096958	11.4295314	3.16414205	0.52655345	0.4967268	0.2768392	0.04606956	-0.0071573
2	FEB	46	54.841174	27.5441431	8.9938768	5.14406839	0.502253	0.3265259	0.18675725	0.14455161
3	MAR	46	46.2649563	19.520537	4.32563833	0.88993921	0.4219292	0.2215942	0.04558989	-0.0295642
4	ABR	46	16.075674	6.9790102	1.72084978	0.88716979	0.4341348	0.246575	0.12711972	0.01439309
5	MAY	46	3.1506304	1.3201097	0.17016376	-0.0132166	0.4189986	0.1289012	-0.0100118	0.02798963
6	JUN	46	1.3183261	0.546272	0.13640962	0.0650077	0.4143679	0.2497101	0.11900244	0.05811927
7	JUL	46	0.8813913	0.3500502	0.07440329	0.02509817	0.3971564	0.2125503	0.07169876	-0.0235444
8	AGO	46	0.6357174	0.2427483	0.03873254	0.01139668	0.3818494	0.1595584	0.04694855	-0.0303911
9	SEP	46	0.5766087	0.2099884	0.04240013	0.0354703	0.3641784	0.2019165	0.16891549	0.1149504
10	OCT	46	0.6890217	0.36127	0.17333017	0.13967017	0.5243231	0.4797801	0.38660877	0.32938443
11	NOV	46	1.2613913	0.769287	0.37635981	0.20991101	0.6098718	0.489232	0.27286439	0.15850712
12	DIC	46	4.2618043	2.3125734	0.7788203	0.26339329	0.5426278	0.3367765	0.11389618	0.06092897

**A37 EST. PUENTE TUMBES**

N°	name	n	L1	L2	L3	L4	t	t3	t4	t5
1	ENE	46	120.46739	61.612977	33.838487	26.174533	0.5114494	0.5492104	0.42482176	0.31465314
2	FEB	46	269.40456	110.02469	45.358117	29.67356	0.4083995	0.412254	0.2696991	0.10649873
3	MAR	46	380.83913	143.49718	30.944118	7.604313	0.3767921	0.2156427	0.05299277	-0.0085432
4	ABR	46	336.80739	135.381439	47.824189	21.521552	0.4019551	0.3532551	0.15896974	0.05109791
5	MAY	46	168.20217	65.4574	24.252717	14.71791	0.3891591	0.3705115	0.22484715	0.10215761
6	JUN	46	72.36278	24.34514	6.881651	5.248843	0.3364318	0.2826704	0.21560126	0.14117937
7	JUL	46	42.69715	13.772761	3.494707	2.008186	0.3225686	0.2537405	0.1458085	0.03241983
8	AGO	46	25.7902	8.434329	2.695502	1.583559	0.3270363	0.319587	0.18775161	0.08874806
9	SEP	46	19.07035	5.775769	2.007754	1.575971	0.3028665	0.3476167	0.27285911	0.16533692
10	OCT	46	17.21343	5.007072	1.312885	1.191392	0.2908817	0.2622061	0.23794178	0.09761182
11	NOV	46	20.20009	8.661519	5.117726	4.270985	0.4287862	0.5908579	0.4930988	0.34607011
12	DIC	46	50.11113	30.922659	23.188217	20.683765	0.6170817	0.7498778	0.668887	0.58326925

**A38 EST. ARICOTA**

N°	name	n	L1	L2	L3	L4	t	t3	t4	t5
1	ENE	46	2.691304	0.8550792	0.27833965	0.16762924	0.3177193	0.3255133	0.19603942	0.05577081
2	FEB	46	4.819913	1.8688145	0.61021899	0.18269639	0.3877278	0.3265273	0.09776058	0.02871587
3	MAR	46	4.16213	1.6635449	0.56967577	0.28603523	0.3996859	0.3424469	0.1719432	0.09299546
4	ABR	46	2.062696	0.6099411	0.26103518	0.17791269	0.295701	0.4279679	0.29168832	0.11304319
5	MAY	46	1.357217	0.2107005	0.06676495	0.0586068	0.1552445	0.3168714	0.27815217	0.10670742
6	JUN	46	1.257043	0.2046589	0.06644466	0.04734209	0.1628098	0.3246604	0.23132187	0.08234683
7	JUL	46	1.242783	0.2223034	0.09816706	0.08979602	0.1788755	0.4415905	0.40393458	0.24731653
8	AGO	46	1.292587	0.2230565	0.07848076	0.05819606	0.172566	0.3518425	0.26090273	0.17593491
9	SEP	46	1.146196	0.1538884	0.02795942	0.01654568	0.1342602	0.1816863	0.1075174	0.00436753
10	OCT	46	1.099674	0.1395357	0.03790185	0.03583044	0.1268883	0.2716282	0.25678321	0.08606082
11	NOV	46	1.031739	0.1136589	0.02843412	0.01910494	0.1101625	0.2501706	0.16809009	0.00699024
12	DIC	46	1.311848	0.2473396	0.08158604	0.06567411	0.1885429	0.3298543	0.26552198	0.08498382

**A39 EST. CHOSICA**

N°	name	n	L1	L2	L3	L4	t	t3	t4	t5
1	ENE	46	37.725	8.648971	2.2634149	1.49928	0.2292636	0.2616976	0.17334779	0.0913379
2	FEB	46	52.63	12.208628	0.2914913	0.8912309	0.2319709	0.02387584	0.07300009	-0.0251928
3	MAR	46	59.65391	13.141875	1.9151966	2.4715732	0.220302	0.14573238	0.18806854	0.04502935
4	ABR	46	39.74891	8.022749	1.1702885	1.2802622	0.2018357	0.14587126	0.15957899	-0.0326274
5	MAY	46	24.03739	4.082367	1.0053124	0.9688229	0.169834	0.24625721	0.23731889	0.08795114
6	JUN	46	20.62978	3.536382	0.5376417	0.4040775	0.1714212	0.15203158	0.11426297	0.0354812
7	JUL	46	19.26028	3.1565	0.3318294	0.2251438	0.1638865	0.10512573	0.07132705	-0.0139513
8	AGO	46	19.23422	3.243744	0.3471093	0.2441187	0.1686444	0.10700886	0.0752583	0.01077219
9	SEP	46	18.60965	2.891952	0.2738643	0.2039685	0.1554006	0.09469879	0.0705297	0.01393005
10	OCT	46	19.27783	2.786541	0.3457366	0.2454791	0.1445464	0.12407373	0.08809457	0.03530281
11	NOV	46	21.07804	3.357676	0.3423175	0.1644069	0.1592973	0.10195071	0.0489645	-0.0208275
12	DIC	46	26.22935	5.27328	0.7149895	0.6442595	0.201045	0.13558724	0.12217433	0.03294058

A40 EST. CORANCHAY

N°	name	n	L1	L2	L3	L4	t	t3	t4	t5
1	ENE	46	2.153848	0.4473541	0.16360606	0.10342072	0.20769996	0.3657194	0.2311831	0.10534273
2	FEB	46	3.027217	0.8170986	0.20594915	0.0820536	0.26991737	0.2520493	0.1004207	0.03327436
3	MAR	46	3.025543	0.9997696	0.42221279	0.21040312	0.33044297	0.4223101	0.2104516	0.09587437
4	ABR	46	1.968435	0.4041565	0.15561357	0.05782345	0.20531873	0.3850329	0.1430719	0.02221141
5	MAY	46	1.581478	0.2188077	0.08551594	0.050005	0.13835646	0.3908269	0.228534	0.06037571
6	JUN	46	1.460196	0.1347444	0.03684348	0.03480276	0.09227835	0.2734322	0.2582871	0.15623517
7	JUL	46	1.428022	0.1183493	0.0388444	0.03787782	0.08287638	0.3282183	0.3200511	0.18039479
8	AGO	46	1.4009326	0.1185445	0.03456061	0.03699472	0.08411428	0.2915413	0.3120747	0.20179492
9	SEP	46	1.403065	0.1222304	0.02768643	0.03165258	0.08711672	0.2265101	0.2589583	0.14117371
10	OCT	46	1.390283	0.1085348	0.02827022	0.03073183	0.07806671	0.2604716	0.2831519	0.0937189
11	NOV	46	1.414609	0.1004522	0.02856232	0.03109077	0.07101057	0.2843375	0.3095082	0.11704976
12	DIC	46	1.543239	0.1772604	0.0585191	0.04339787	0.11486255	0.3301308	0.2448256	0.09997569

A42 EST. PIEDRAS BLANCAS

N°	name	n	L1	L2	L3	L4	t	t3	t4	t5
1	ENE	46	0.7693044	0.1411729	0.02141331	0.01990959	0.1835073	0.1516814	0.14102977	0.00681281
2	FEB	46	0.9158696	0.2188	0.08825665	0.07763065	0.2388986	0.4033668	0.35480188	0.22033394
3	MAR	46	0.8863478	0.2230841	0.10522912	0.08505534	0.2516891	0.4717016	0.38127034	0.23034605
4	ABR	46	0.6723043	0.1394415	0.03997681	0.02458147	0.2074084	0.2866923	0.17628511	0.06655799
5	MAY	46	0.6387174	0.141871	0.01472635	0.02239156	0.2221186	0.103801	0.1578304	0.11516849
6	JUN	46	0.7068696	0.116456	0.01516719	0.03220446	0.164749	0.1302397	0.27653746	0.09192706
7	JUL	46	0.6897391	0.1215691	0.02291871	0.03222524	0.1762537	0.1885241	0.26507762	0.16753715
8	AGO	46	0.6866087	0.1056425	0.02783992	0.02775943	0.1538613	0.2635295	0.2627676	0.15051732
9	SEP	46	0.6271739	0.1168773	0.03558564	0.04074112	0.1863555	0.3044701	0.34858032	0.16404007
10	OCT	46	0.6220652	0.1237841	0.02991199	0.02237877	0.1989889	0.2416465	0.18078876	0.04524819
11	NOV	46	0.6563261	0.1238246	0.02716667	0.02651388	0.1886633	0.2193963	0.21412447	0.02540917
12	DIC	46	0.6959783	0	0.02259591	0.01288607	0.1913888	0.1696359	0.09674055	-0.0070517

---

**ANEXO VI: AJUSTE DE LAS DISTRIBUCIONES MEDIANTE LA PRUEBA:  
DISTANCIA MÍNIMA ORTOGONAL (AWD)**

El ajuste de la distribución es aquella que posea la menor distancia entre la distribución empírica y las distribuciones teóricas evaluadas.

DISTANCIA MÍNIMA ORTOGONAL - ENERO								
Estación	Dist. Min	Dist. Prob.	Estación	Dist. Min	Dist. Prob.	Estación	Dist. Min	Dist. Prob.
ENE_A1	0.011871529	GLO	ENE_A13	0.018548136	PE3	ENE_A28	0.016496219	GEV
ENE_A2	0.043263784	GEV	ENE_A14	0.009036119	GLO	ENE_A31	0.063963166	PE3
ENE_A5	0.027338491	GLO	ENE_A16	0.010220973	GPA	ENE_A32	0.038917347	GPA
ENE_A6	0.009427897	WEI	ENE_A17	0.012876253	GEV	ENE_A35	0.001539263	GEV
ENE_A7	0.032792096	GLO	ENE_A18	0.001553144	WEI	ENE_A36	0.079331757	GPA
ENE_A8	0.010505054	LN3	ENE_A21	0.030239824	GPA	ENE_A37	0.006792713	GLO
ENE_A9	0.011447408	LN3	ENE_A22	0.04159503	GPA	ENE_A38	0.010148493	LN3
ENE_A10	0.006995108	GPA	ENE_A23	0.034182768	PE3	ENE_A39	0.003095517	LN3
ENE_A11	0.006608142	LN3	ENE_A24	0.035776082	GPA	ENE_A40	0.002775584	LN3
ENE_A12	0.019296992	GPA	ENE_A27	0.028682253	PE3	ENE_A42	0.000316444	LN3

DISTANCIA MÍNIMA ORTOGONAL - FEBRERO								
Estación	Dist. Min	Dist. Prob.	Estación	Dist. Min	Dist. Prob.	Estación	Dist. Min	Dist. Prob.
FEB_A1	0.009377440	GLO	FEB_A13	0.001344304	LN3	FEB_A28	0.000611438	LN3
FEB_A2	0.013470531	GEV	FEB_A14	0.009581232	GEV	FEB_A31	0.042873176	GPA
FEB_A5	0.059360340	GLO	FEB_A16	0.004031476	GEV	FEB_A32	0.008270643	GPA
FEB_A6	0.024749295	GPA	FEB_A17	0.018285305	GPA	FEB_A35	0.007667543	GPA
FEB_A7	0.003907315	GLO	FEB_A18	0.021330418	LN3	FEB_A36	0.019957033	LN3
FEB_A8	0.019529545	LN3	FEB_A21	0.011362340	GEV	FEB_A37	0.012162624	LN3
FEB_A9	0.011185091	GEV	FEB_A22	0.015964635	GEV	FEB_A38	0.063924485	GPA
FEB_A10	0.007875070	LN3	FEB_A23	0.002250064	GEV	FEB_A39	0.031846613	WEI
FEB_A11	0.006241620	WEI	FEB_A24	0.004105187	GLO	FEB_A40	0.008368666	GPA
FEB_A12	0.002034096	WEI	FEB_A27	0.008328425	GPA	FEB_A42	0.052545123	GLO

DISTANCIA MÍNIMA ORTOGONAL - MARZO								
Estación	Dist. Min	Dist. Prob.	Estación	Dist. Min	Dist. Prob.	Estación	Dist. Min	Dist. Prob.
MAR_A1	0.003879866	GPA	MAR_A13	0.011737053	GPA	MAR_A28	0.013089897	LN3
MAR_A2	0.042978669	PE3	MAR_A14	0.001236841	LN3	MAR_A31	0.034858162	PE3
MAR_A5	0.014245555	GPA	MAR_A16	0.001171114	PE3	MAR_A32	0.006428045	GPA
MAR_A6	0.072083676	GPA	MAR_A17	0.006065176	GPA	MAR_A35	0.010318538	GEV
MAR_A7	0.018495126	GEV	MAR_A18	0.009501664	GLO	MAR_A36	0.044177027	GPA
MAR_A8	0.017598569	GPA	MAR_A21	0.010126455	PE3	MAR_A37	0.033237427	GPA
MAR_A9	0.007021995	GEV	MAR_A22	0.008514875	GEV	MAR_A38	0.000406123	WEI
MAR_A10	0.011341204	GLO	MAR_A23	0.018129630	LN3	MAR_A39	0.003700334	GLO
MAR_A11	0.001044920	GEV	MAR_A24	0.062325284	GLO	MAR_A40	0.006932648	PE3
MAR_A12	0.013181583	WEI	MAR_A27	0.034627454	GPA	MAR_A42	0.029182415	GLO

DISTANCIA MÍNIMA ORTOGONAL - ABRIL								
Estación	Dist. Min	Dist. Prob.	Estación	Dist. Min	Dist. Prob.	Estación	Dist. Min	Dist. Prob.
ABR_A1	0.046393025	GPA	ABR_A13	0.000999464	GPA	ABR_A28	0.039304892	GLO
ABR_A2	0.001607210	WEI	ABR_A14	0.001987903	PE3	ABR_A31	0.028779554	GPA
ABR_A5	0.023086760	GLO	ABR_A16	0.000266903	LN3	ABR_A32	0.000094947	GEV
ABR_A6	0.021140759	GPA	ABR_A17	0.017556265	WEI	ABR_A35	0.000355061	GEV
ABR_A7	0.008348933	LN3	ABR_A18	0.013720636	WEI	ABR_A36	0.005193539	WEI
ABR_A8	0.015319480	GPA	ABR_A21	0.021022799	GPA	ABR_A37	0.014860561	PE3
ABR_A9	0.016553400	GEV	ABR_A22	0.007319405	LN3	ABR_A38	0.012759415	GEV
ABR_A10	0.001047527	GPA	ABR_A23	0.001073552	LN3	ABR_A39	0.018546527	GEV
ABR_A11	0.006755534	GPA	ABR_A24	0.025965364	WEI	ABR_A40	0.043251910	PE3
ABR_A12	0.042759997	GLO	ABR_A27	0.004633103	GEV	ABR_A42	0.011007821	LN3

DISTANCIA MÍNIMA ORTOGONAL - MAYO								
Estación	Dist. Mín	Dist. Prob.	Estación	Dist. Mín	Dist. Prob.	Estación	Dist. Mín	Dist. Prob.
MAY_A1	0.002859879	GLO	MAY_A13	0.011936360	WEI	MAY_A28	0.061809511	GLO
MAY_A2	0.015782060	GEV	MAY_A14	0.025588256	GPA	MAY_A31	0.004006995	GEV
MAY_A5	0.036954339	GLO	MAY_A16	0.024551143	WEI	MAY_A32	0.016163264	WEI
MAY_A6	0.010743628	GEV	MAY_A17	0.003737091	GPA	MAY_A35	0.139057838	GPA
MAY_A7	0.029382390	GLO	MAY_A18	0.012926437	WEI	MAY_A36	0.051563734	GPA
MAY_A8	0.010270430	GEV	MAY_A21	0.010348232	LN3	MAY_A37	0.006390172	LN3
MAY_A9	0.035654729	GLO	MAY_A22	0.017829367	GPA	MAY_A38	0.027809617	GLO
MAY_A10	0.000761861	GEV	MAY_A23	0.035341266	GPA	MAY_A39	0.020113581	GLO
MAY_A11	0.008724460	LN3	MAY_A24	0.004968804	WEI	MAY_A40	0.014132095	GPA
MAY_A12	0.003573022	GEV	MAY_A27	0.001369683	GPA	MAY_A42	0.017818432	GLO

DISTANCIA MÍNIMA ORTOGONAL - JUNIO								
Estación	Dist. Mín	Dist. Prob.	Estación	Dist. Mín	Dist. Prob.	Estación	Dist. Mín	Dist. Prob.
JUN_A1	0.057777552	GLO	JUN_A13	0.006835838	GPA	JUN_A28	0.062359306	GLO
JUN_A2	0.005777936	GEV	JUN_A14	0.137189578	PE3	JUN_A31	0.004928185	LN3
JUN_A5	0.058818713	GPA	JUN_A16	0.005673711	WEI	JUN_A32	0.015223926	GLO
JUN_A6	0.009869790	GLO	JUN_A17	0.001205942	GLO	JUN_A35	0.041049603	PE3
JUN_A7	0.005256467	GLO	JUN_A18	0.010719950	WEI	JUN_A36	0.011728660	GPA
JUN_A8	0.003307182	GEV	JUN_A21	0.005155789	GPA	JUN_A37	0.010982189	GEV
JUN_A9	0.003400985	LN3	JUN_A22	0.029675475	GPA	JUN_A38	0.001210938	GEV
JUN_A10	0.001226354	PE3	JUN_A23	0.098363320	GPA	JUN_A39	0.004262895	WEI
JUN_A11	0.025414971	PE3	JUN_A24	0.005392931	GPA	JUN_A40	0.029313060	GLO
JUN_A12	0.006892986	GLO	JUN_A27	0.006845708	GPA	JUN_A42	0.095732211	GLO

DISTANCIA MÍNIMA ORTOGONAL - JULIO								
Estación	Dist. Mín	Dist. Prob.	Estación	Dist. Mín	Dist. Prob.	Estación	Dist. Mín	Dist. Prob.
JUL_A1	0.055975853	GLO	JUL_A13	0.016284288	GPA	JUL_A28	0.061374139	GLO
JUL_A2	0.000637175	PE3	JUL_A14	0.114199883	PE3	JUL_A31	0.001303099	GEV
JUL_A5	0.034084732	GPA	JUL_A16	0.006847386	PE3	JUL_A32	0.000859854	GLO
JUL_A6	0.058836211	GLO	JUL_A17	0.007805453	WEI	JUL_A35	0.008296536	PE3
JUL_A7	0.005413234	GEV	JUL_A18	0.006330010	GEV	JUL_A36	0.012717267	GPA
JUL_A8	0.020987311	LN3	JUL_A21	0.000635935	LN3	JUL_A37	0.000197572	PE3
JUL_A9	0.028111287	WEI	JUL_A22	0.013197104	GLO	JUL_A38	0.074763421	GLO
JUL_A10	0.004885373	WEI	JUL_A23	0.123547787	PE3	JUL_A39	0.033479072	WEI
JUL_A11	0.007832847	GPA	JUL_A24	0.003075244	WEI	JUL_A40	0.063608751	GLO
JUL_A12	0.006395677	PE3	JUL_A27	0.062720792	GPA	JUL_A42	0.068789942	GLO

DISTANCIA MÍNIMA ORTOGONAL - AGOSTO								
Estación	Dist. Mín	Dist. Prob.	Estación	Dist. Mín	Dist. Prob.	Estación	Dist. Mín	Dist. Prob.
AGO_A1	0.012091830	WEI	AGO_A13	0.026542286	PE3	AGO_A28	0.000027409	GLO
AGO_A2	0.006691659	LN3	AGO_A14	0.095979851	PE3	AGO_A31	0.000006159	GLO
AGO_A5	0.032256822	GPA	AGO_A16	0.001311906	WEI	AGO_A32	0.024533444	GLO
AGO_A6	0.001003002	GEV	AGO_A17	0.012680924	LN3	AGO_A35	0.004363364	LN3
AGO_A7	0.000394489	GLO	AGO_A18	0.016873738	LN3	AGO_A36	0.008907054	GPA
AGO_A8	0.015402631	WEI	AGO_A21	0.008649210	GLO	AGO_A37	0.015390061	LN3
AGO_A9	0.011701111	GPA	AGO_A22	0.004092465	GLO	AGO_A38	0.008927811	GLO
AGO_A10	0.042695490	PE3	AGO_A23	0.139839268	PE3	AGO_A39	0.029682237	WEI
AGO_A11	0.005933091	WEI	AGO_A24	0.008607970	WEI	AGO_A40	0.074574674	GLO
AGO_A12	0.006105259	GLO	AGO_A27	0.001838165	GPA	AGO_A42	0.038224654	GLO

DISTANCIA MÍNIMA ORTOGONAL - SEPTIEMBRE								
Estación	Dist. Mín	Dist. Prob.	Estación	Dist. Mín	Dist. Prob.	Estación	Dist. Mín	Dist. Prob.
SEP_A1	0.012161716	WEI	SEP_A13	0.045028941	GPA	SEP_A28	0.023575800	GLO
SEP_A2	0.008980418	PE3	SEP_A14	0.036934391	PE3	SEP_A31	0.020243278	GLO
SEP_A5	0.028562266	GPA	SEP_A16	0.008851690	GLO	SEP_A32	0.008272111	GLO
SEP_A6	0.001124133	LN3	SEP_A17	0.007328252	GLO	SEP_A35	0.060491422	PE3
SEP_A7	0.001031900	LN3	SEP_A18	0.002388561	WEI	SEP_A36	0.005475405	GEV
SEP_A8	0.012175247	GEV	SEP_A21	0.010312775	LN3	SEP_A37	0.005491717	GLO
SEP_A9	0.006949810	GPA	SEP_A22	0.014769683	GLO	SEP_A38	0.007764373	WEI
SEP_A10	0.002306379	LN3	SEP_A23	0.018072390	GPA	SEP_A39	0.033643798	WEI
SEP_A11	0.005471874	WEI	SEP_A24	0.003041260	GPA	SEP_A40	0.049532740	GLO
SEP_A12	0.013165094	GLO	SEP_A27	0.013987316	PE3	SEP_A42	0.104658947	GLO

DISTANCIA MÍNIMA ORTOGONAL - OCTUBRE								
Estación	Dist. Mín	Dist. Prob.	Estación	Dist. Mín	Dist. Prob.	Estación	Dist. Mín	Dist. Prob.
OCT_A1	0.028018884	GPA	OCT_A13	0.004083600	GPA	OCT_A28	0.017739982	GLO
OCT_A2	0.008572199	GEV	OCT_A14	0.013346497	PE3	OCT_A31	0.108490892	GLO
OCT_A5	0.004913663	GPA	OCT_A16	0.001919024	LN3	OCT_A32	0.001290035	GLO
OCT_A6	0.000969623	GPA	OCT_A17	0.001141485	GEV	OCT_A35	0.179872661	GPA
OCT_A7	0.012788024	LN3	OCT_A18	0.050759522	GLO	OCT_A36	0.028115441	GLO
OCT_A8	0.030509239	GPA	OCT_A21	0.012488904	LN3	OCT_A37	0.013978648	GLO
OCT_A9	0.005052729	PE3	OCT_A22	0.018895239	GLO	OCT_A38	0.028628552	GLO
OCT_A10	0.021911837	PE3	OCT_A23	0.013889134	LN3	OCT_A39	0.018345959	WEI
OCT_A11	0.005980022	PE3	OCT_A24	0.015089111	GLO	OCT_A40	0.059944255	GLO
OCT_A12	0.001731964	LN3	OCT_A27	0.011920626	LN3	OCT_A42	0.001610463	GEV

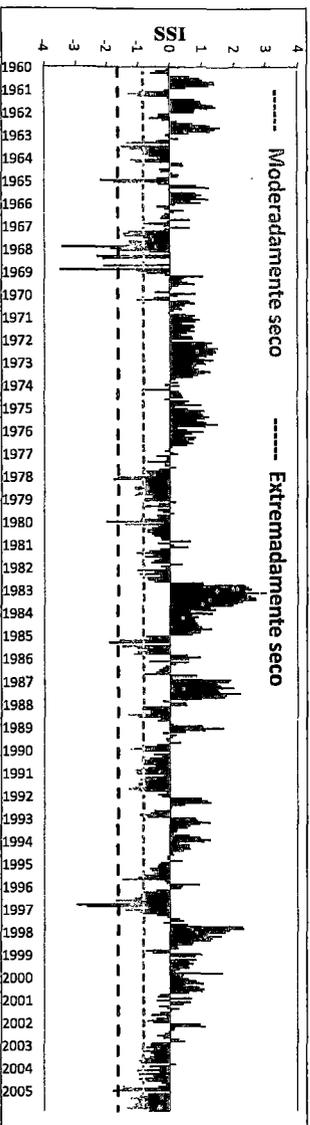
DISTANCIA MÍNIMA ORTOGONAL - NOVIEMBRE								
Estación	Dist. Mín	Dist. Prob.	Estación	Dist. Mín	Dist. Prob.	Estación	Dist. Mín	Dist. Prob.
NOV_A1	0.017400710	GLO	NOV_A13	0.008068684	GPA	NOV_A28	0.071954108	GLO
NOV_A2	0.000444586	PE3	NOV_A14	0.030837849	PE3	NOV_A31	0.106185971	GLO
NOV_A5	0.013620183	WEI	NOV_A16	0.001213461	GPA	NOV_A32	0.023288371	WEI
NOV_A6	0.000618472	GPA	NOV_A17	0.008220586	WEI	NOV_A35	0.048035810	GEV
NOV_A7	0.004063626	WEI	NOV_A18	0.006382398	GEV	NOV_A36	0.007222854	WEI
NOV_A8	0.001175433	GPA	NOV_A21	0.003646064	LN3	NOV_A37	0.035502455	GLO
NOV_A9	0.011200650	GLO	NOV_A22	0.006234200	LN3	NOV_A38	0.003694068	LN3
NOV_A10	0.001183088	GPA	NOV_A23	0.006391910	GEV	NOV_A39	0.018612809	GPA
NOV_A11	0.038748907	PE3	NOV_A24	0.048693231	GLO	NOV_A40	0.075465322	GLO
NOV_A12	0.013553958	WEI	NOV_A27	0.019105105	GLO	NOV_A42	0.007342354	GLO

DISTANCIA MÍNIMA ORTOGONAL - DICIEMBRE								
Estación	Dist. Mín	Dist. Prob.	Estación	Dist. Mín	Dist. Prob.	Estación	Dist. Mín	Dist. Prob.
DIC_A1	0.017740539	GEV	DIC_A13	0.039827672	PE3	DIC_A28	0.038246851	GLO
DIC_A2	0.040366551	GLO	DIC_A14	0.009125591	PE3	DIC_A31	0.004435772	LN3
DIC_A5	0.012583035	WEI	DIC_A16	0.012839716	LN3	DIC_A32	0.010082083	WEI
DIC_A6	0.029304458	GPA	DIC_A17	0.022850075	WEI	DIC_A35	0.013988004	GLO
DIC_A7	0.004249446	WEI	DIC_A18	0.019746277	GPA	DIC_A36	0.054178097	PE3
DIC_A8	0.012729236	PE3	DIC_A21	0.015092686	LN3	DIC_A37	0.031272335	GEV
DIC_A9	0.017932952	GPA	DIC_A22	0.017037793	PE3	DIC_A38	0.008182465	GLO
DIC_A10	0.015920612	GPA	DIC_A23	0.014509162	GEV	DIC_A39	0.006082245	PE3
DIC_A11	0.012011738	PE3	DIC_A24	0.015958774	LN3	DIC_A40	0.011190677	GEV
DIC_A12	0.012225050	WEI	DIC_A27	0.007983594	GPA	DIC_A42	0.016207153	WEI

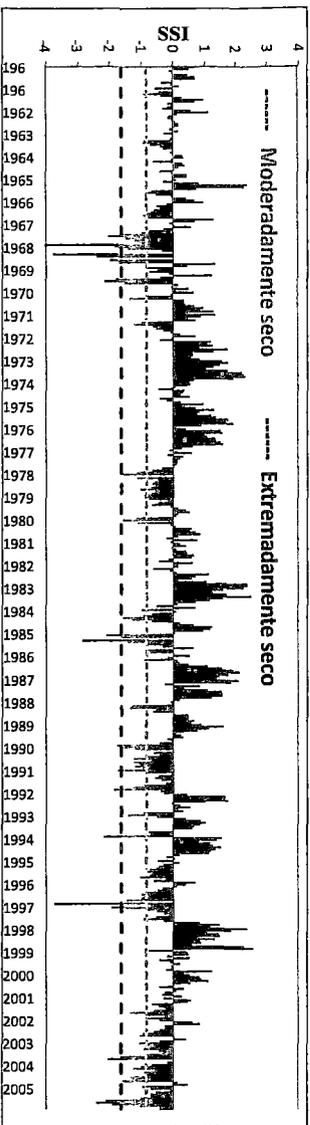
---

**ANEXO VII: CARACTERIZACIÓN DE SEQUÍAS**  
**(INTENSIDAD, DURACIÓN Y MAGNITUD)**

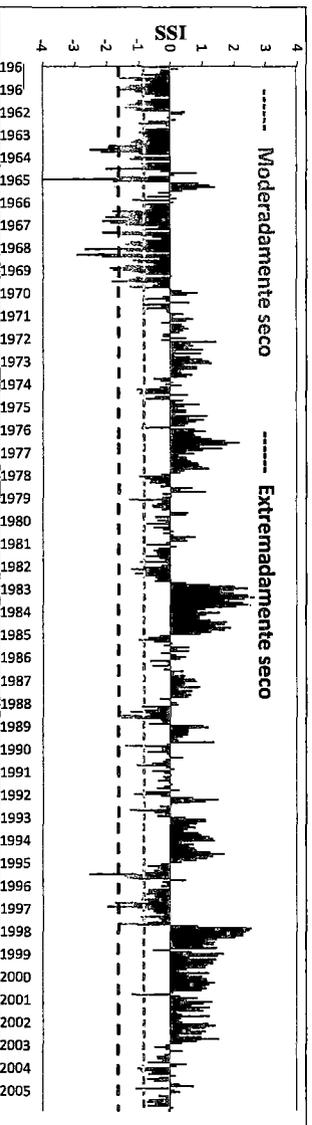
### A1 EL TIGRE (TUMBES)



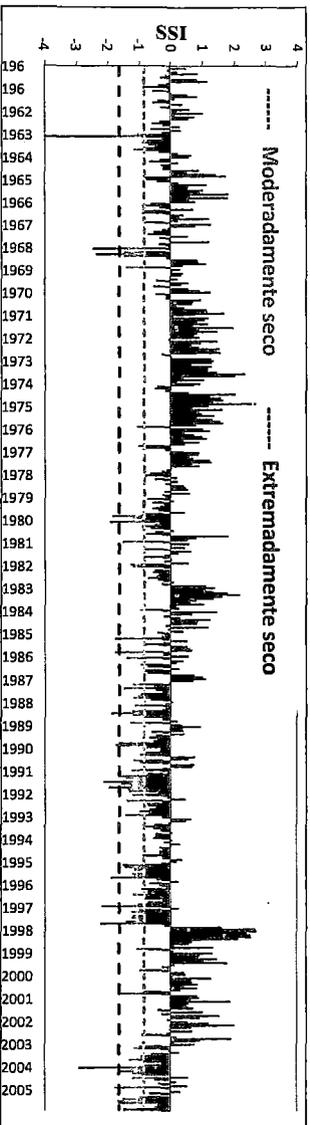
### A37 Puente Tumbes (TUMBES)



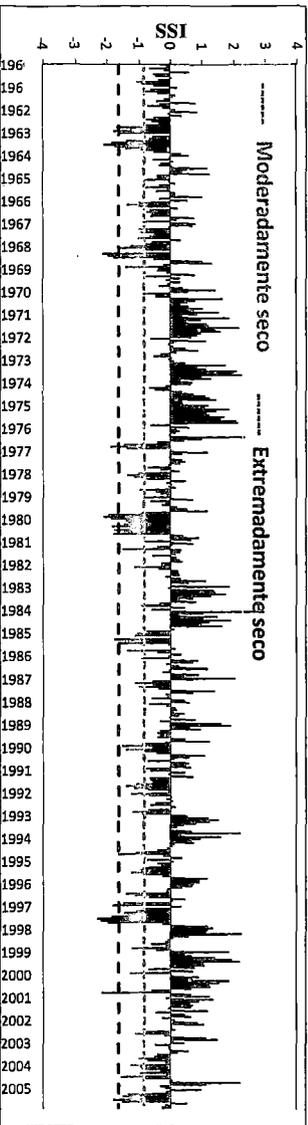
### A2 ARDILLA



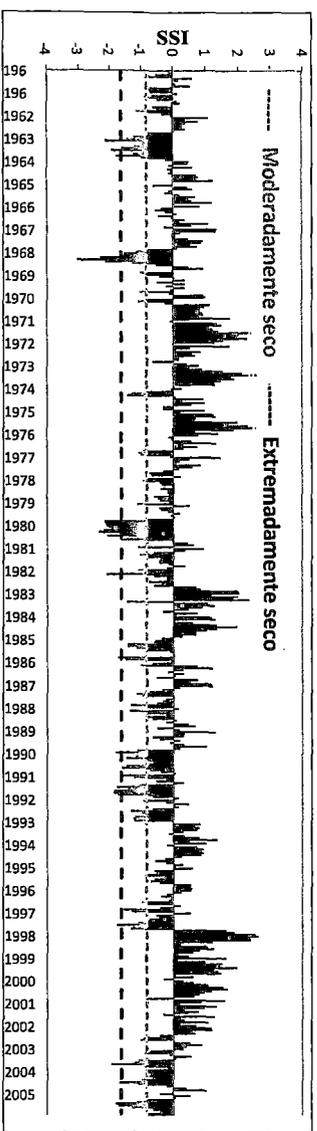
### A5 PUCHACA



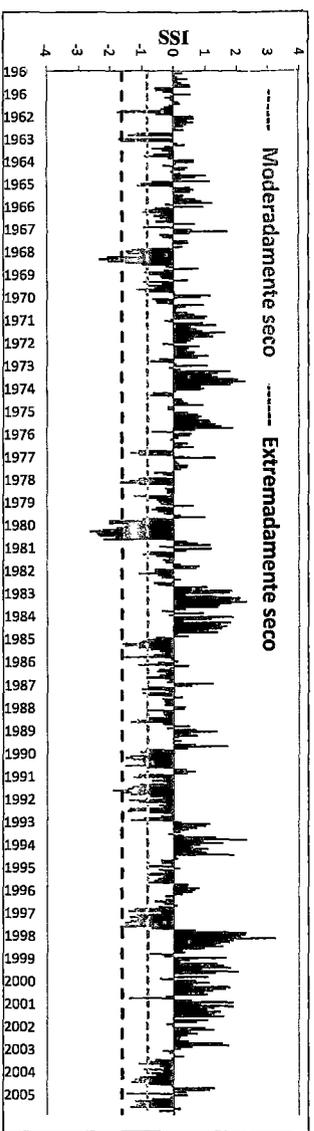
### A6 RACA RUMI



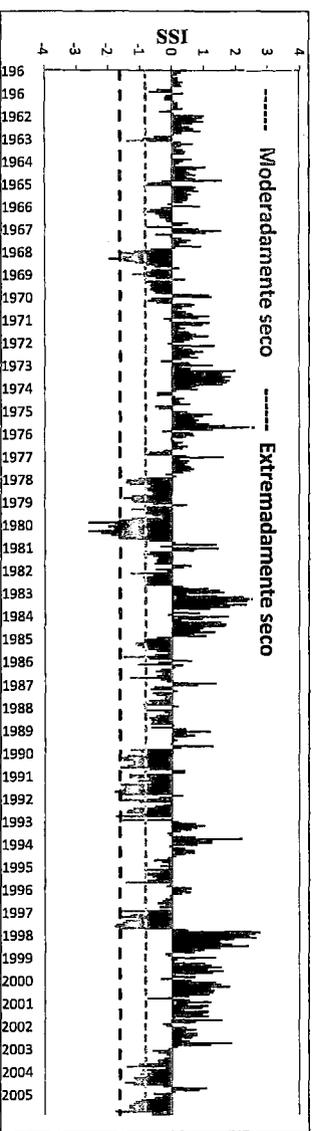
### A7 EL BATAN



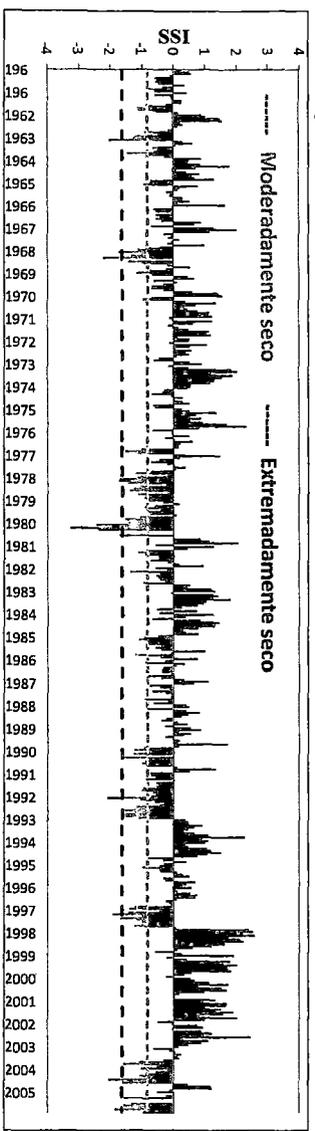
### A8 YONAN



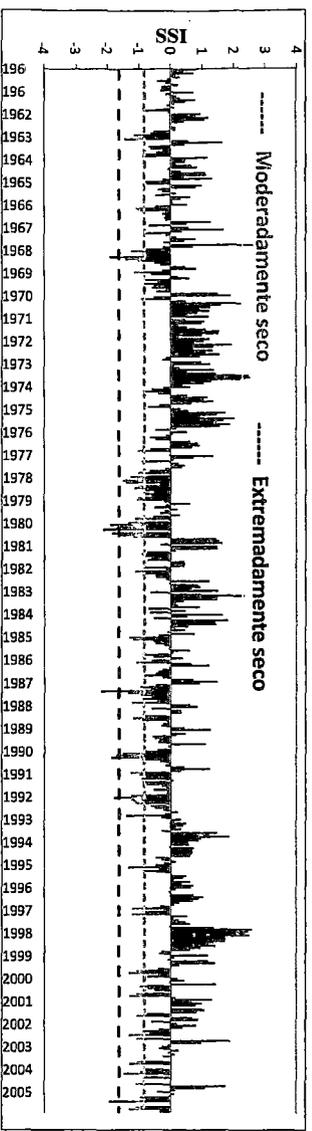
### A9 SALINAR TAMBO



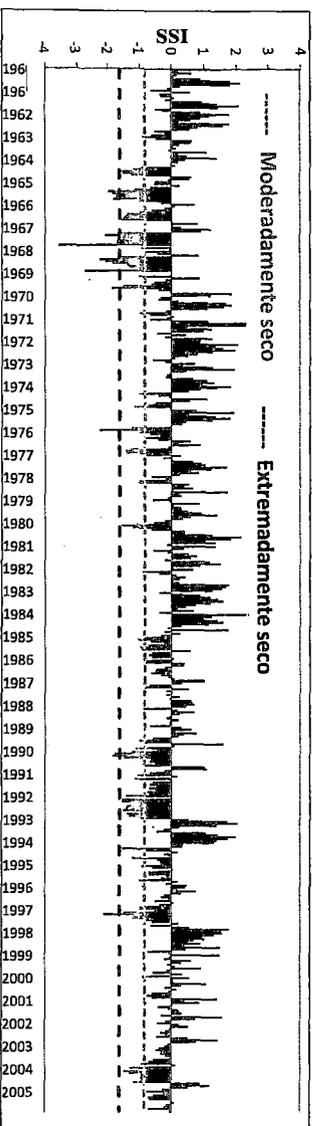
### A10 QUIRHUAC-MOCHE



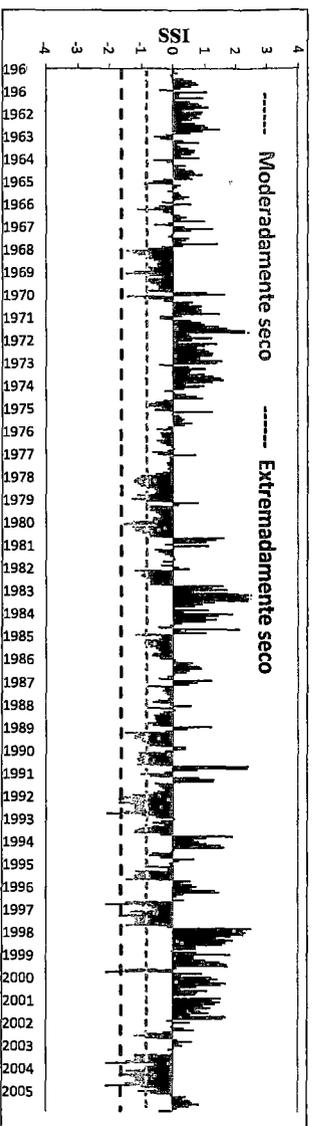
### A11 HUACAPONGO



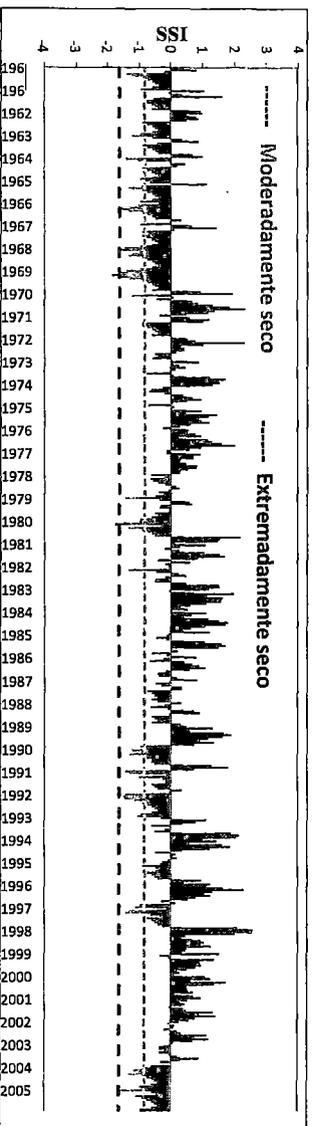
### A12 CONDORCERRO



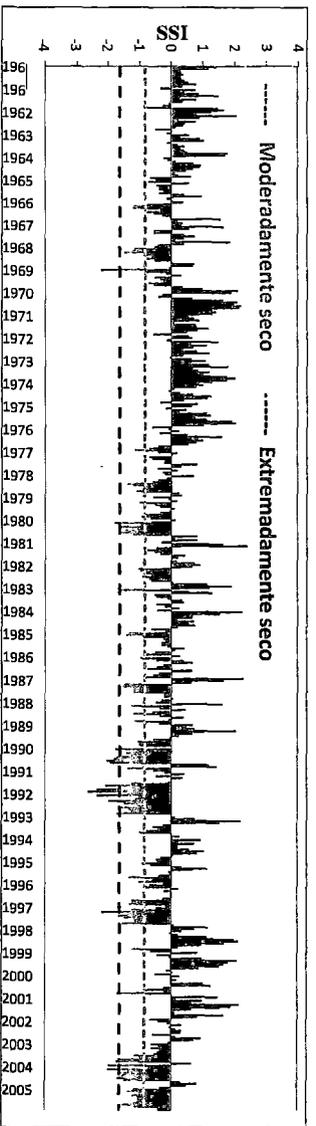
### A13 SAN JACINTO



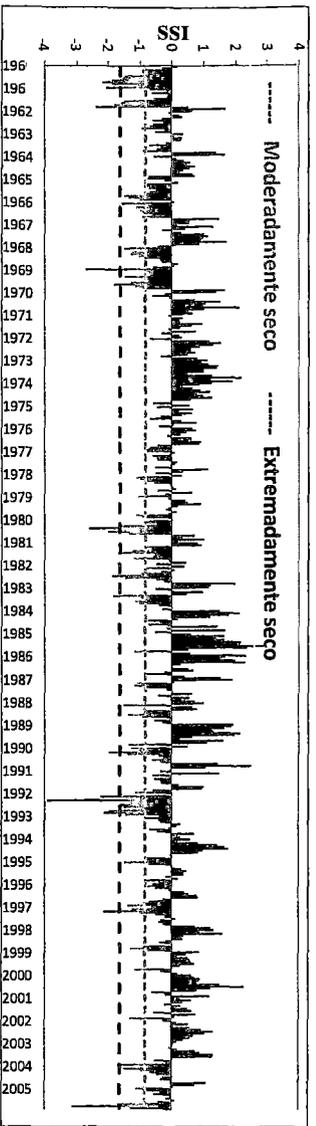
### A14 SECTOR TUTUMA



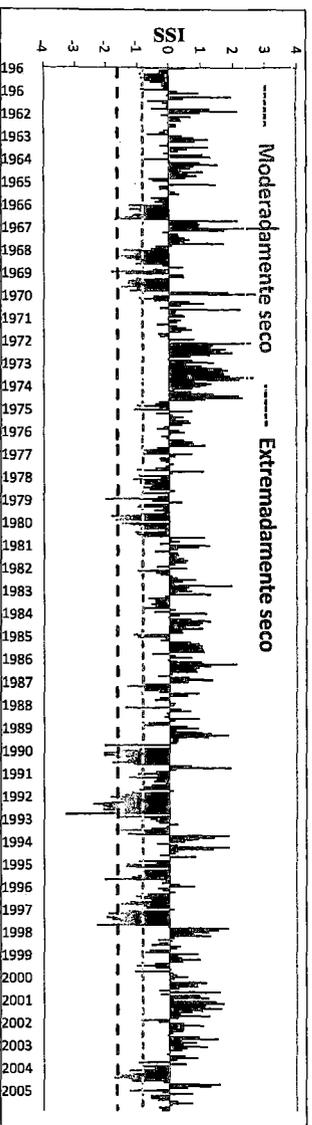
### A16 YANAPAMPA



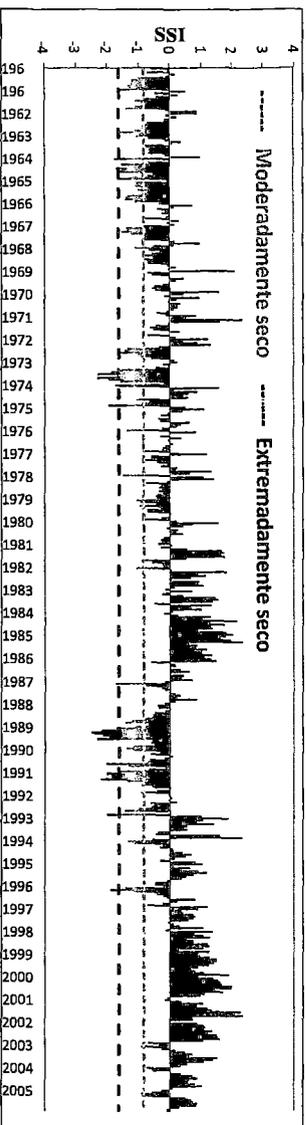
### A17 PUENTE ALCO



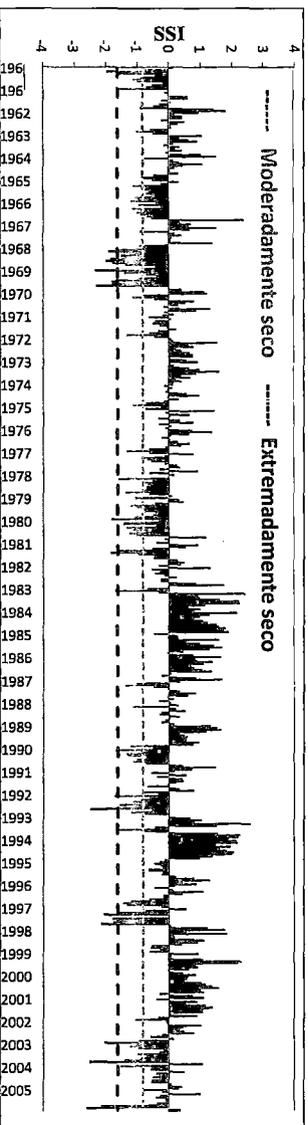
A18 SANTO DOMINGO



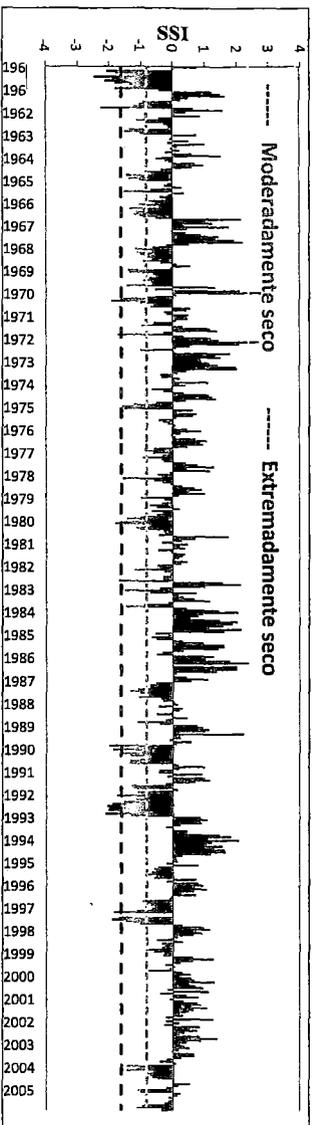
A39 CHOSICA



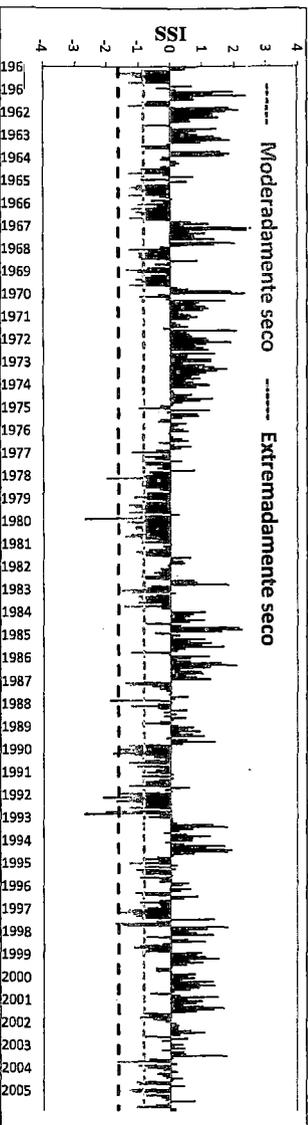
A21 LA CAPILLA

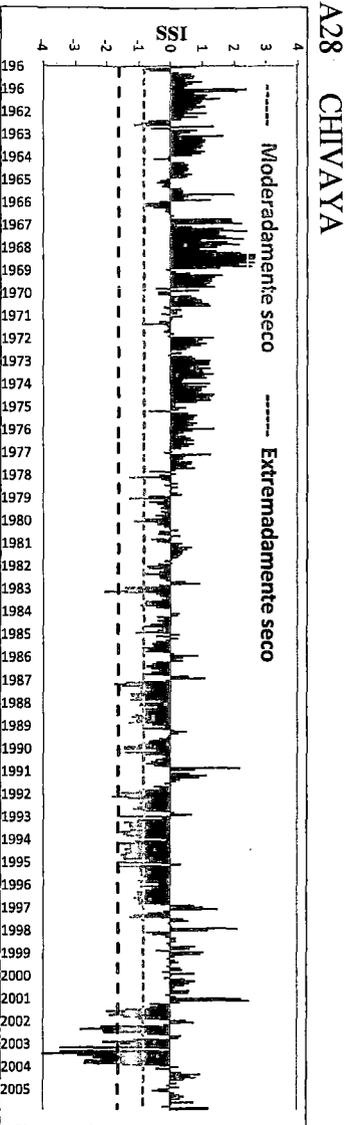
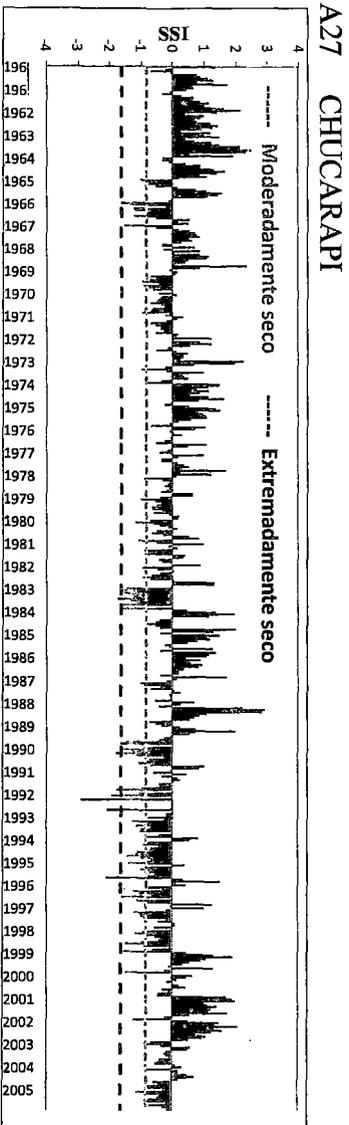
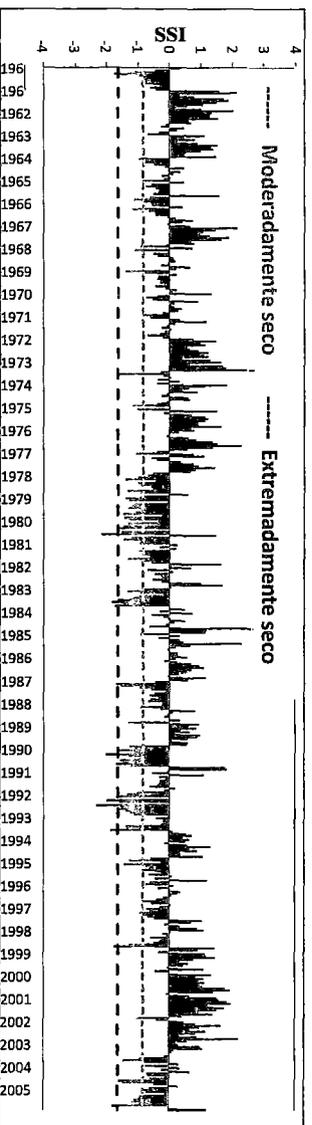
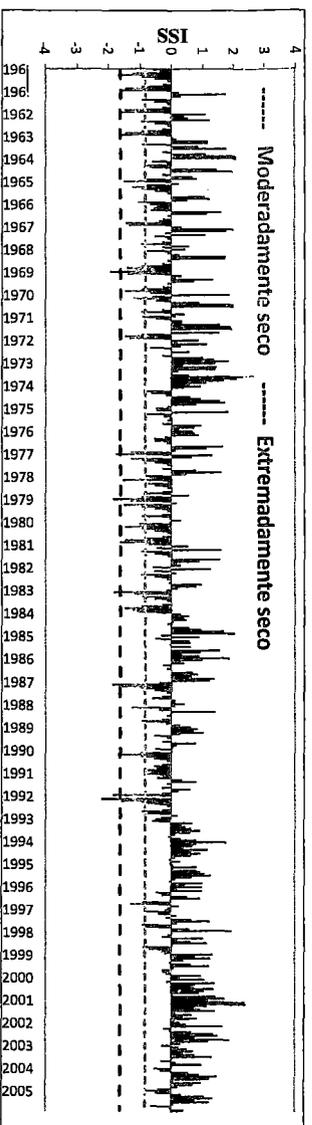
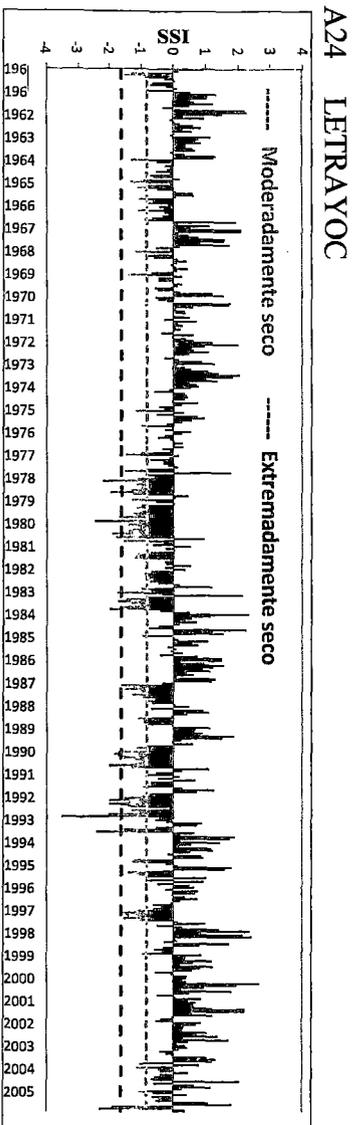


A22 SOCSI-S Y TOMA IMPERIAL

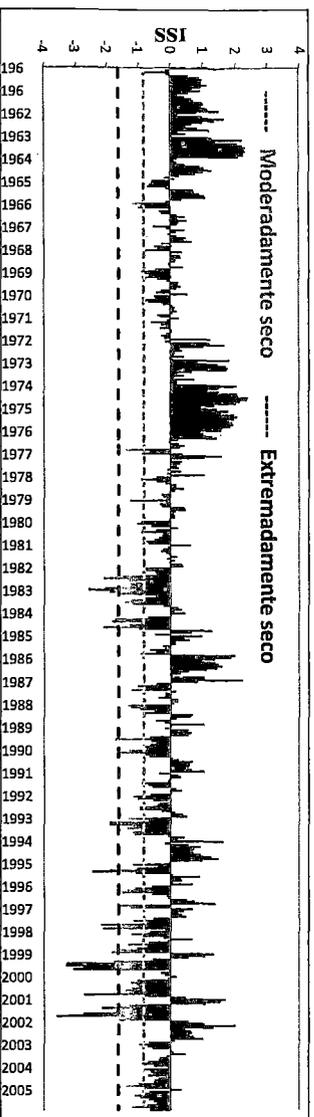


A23 CONTA

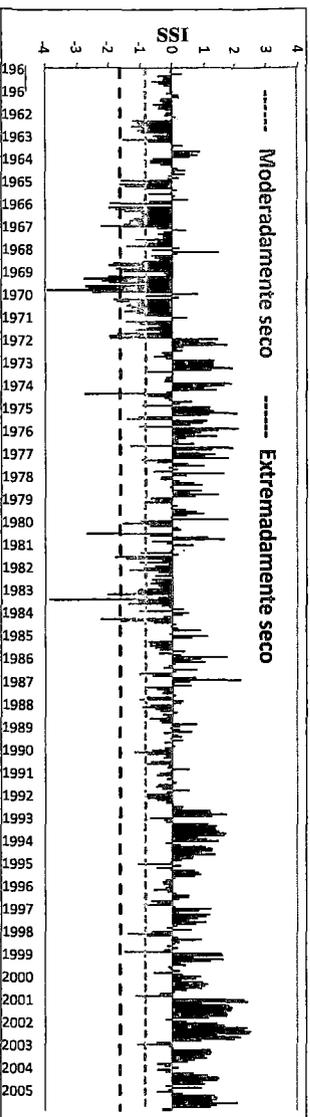




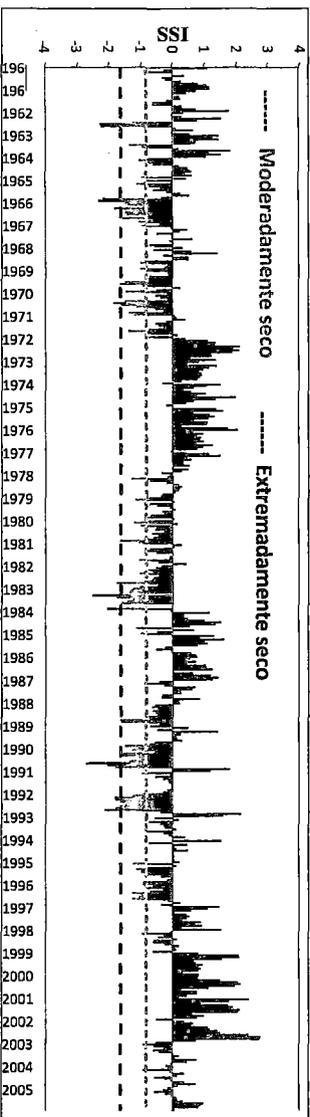
A40 CORANCHAY



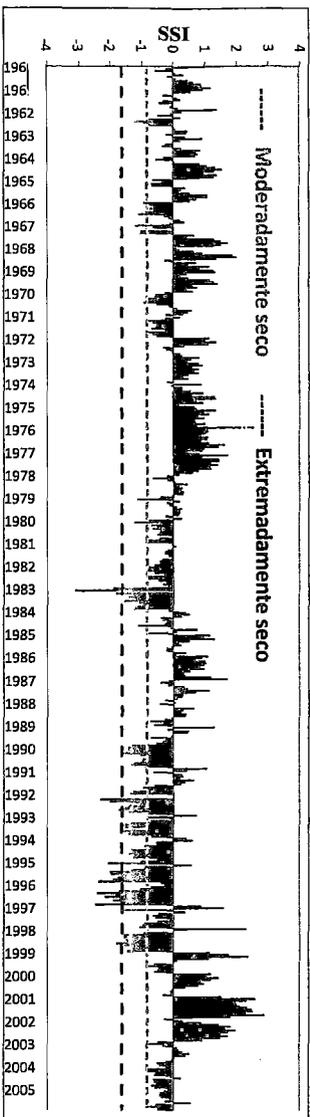
A38 ARICOTA



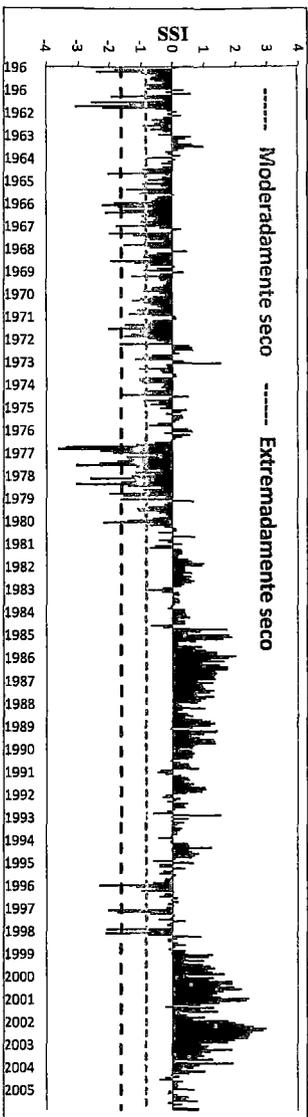
A31 LA TRANCA



A32 AGUAS CALIENTES



A42 PIEDRAS BLANCAS



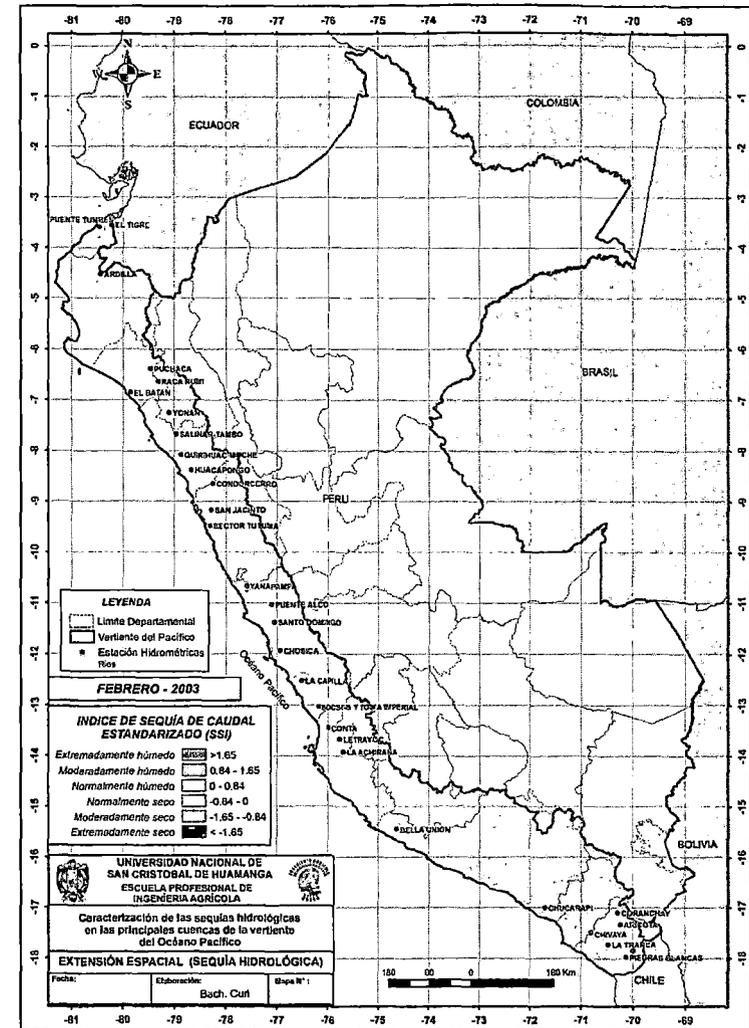
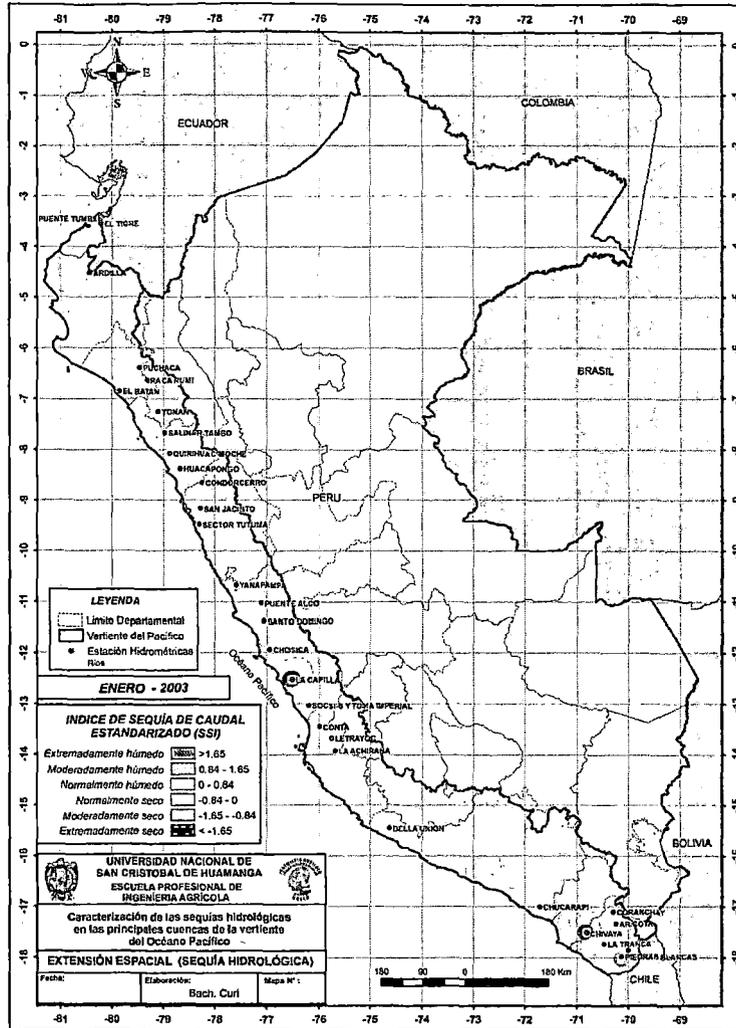
---

**ANEXO VIII: CARACTERIZACIÓN DE LAS SEQUÍAS**

**(EXTENSIÓN ESPACIAL)**

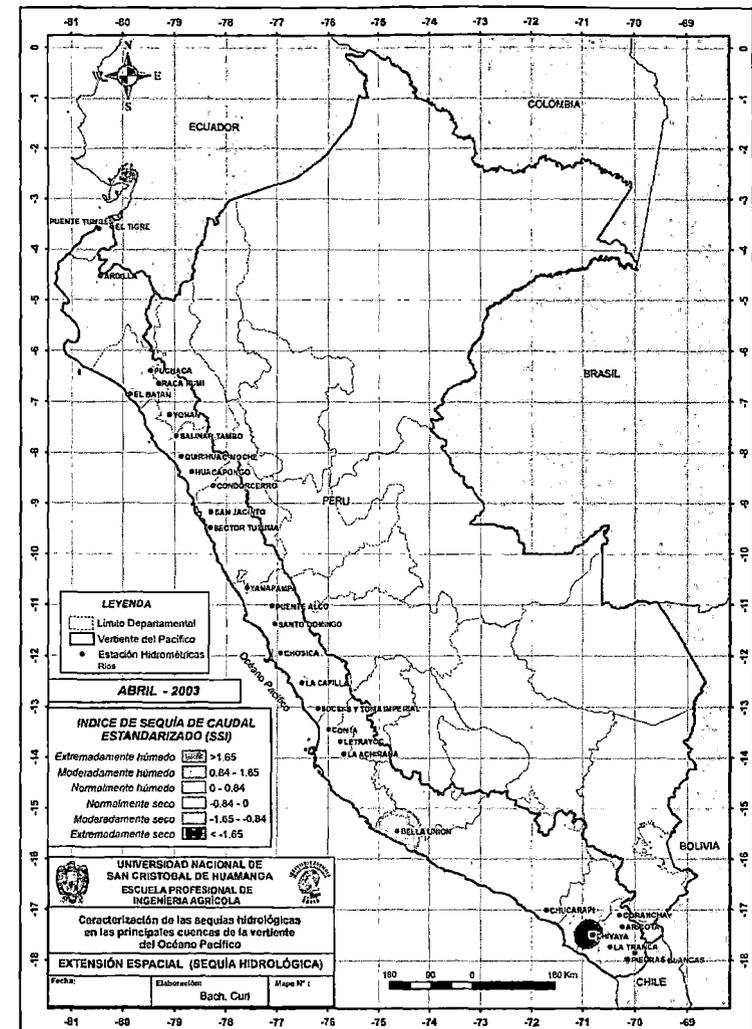
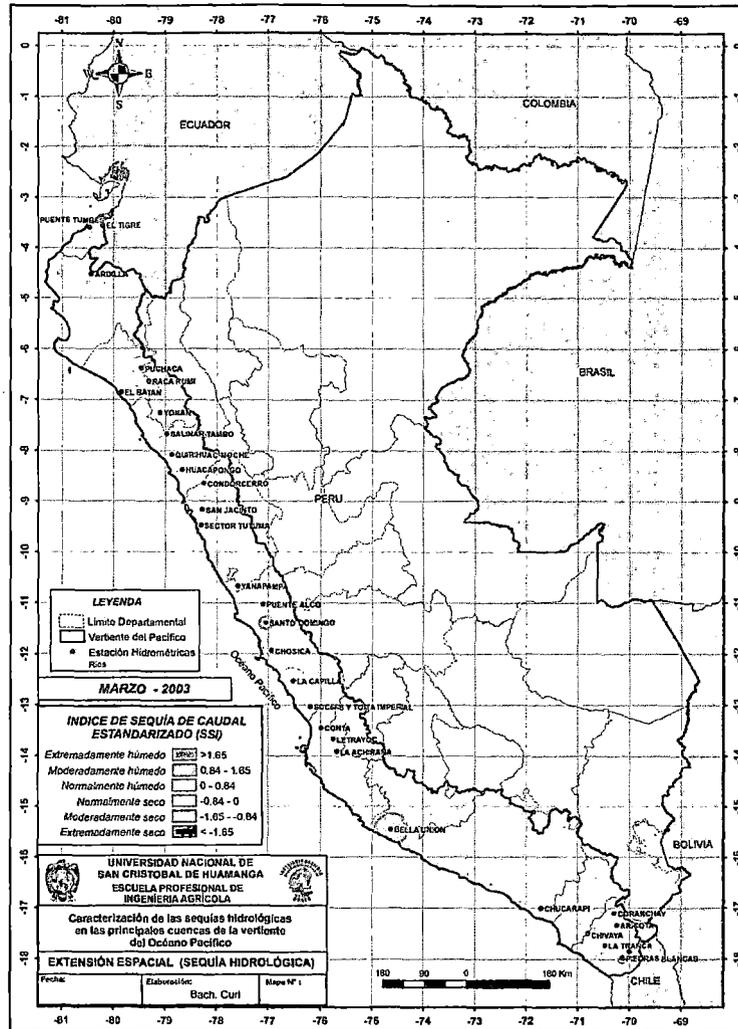
**MAPEO MENSUAL DEL AVANCE DE LA SEQUÍA HIDROLÓGICA EN LA  
COSTA PERUANA (2003 - 2005)**

Anexo VIII: Caracterización de las Sequías (Extensión espacial)



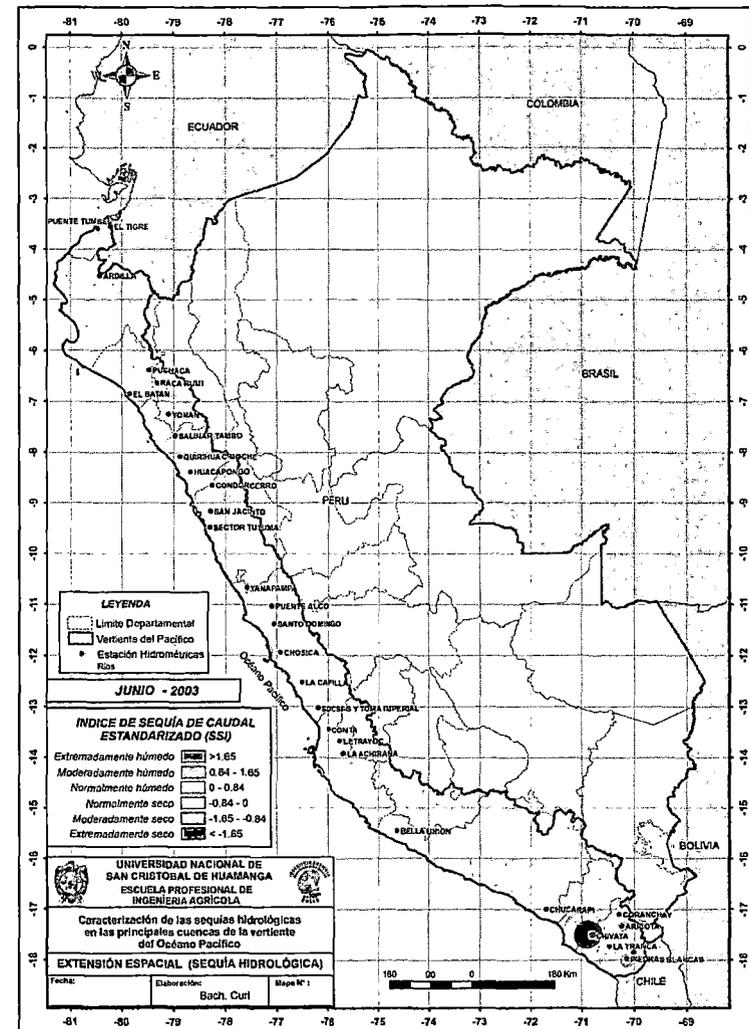
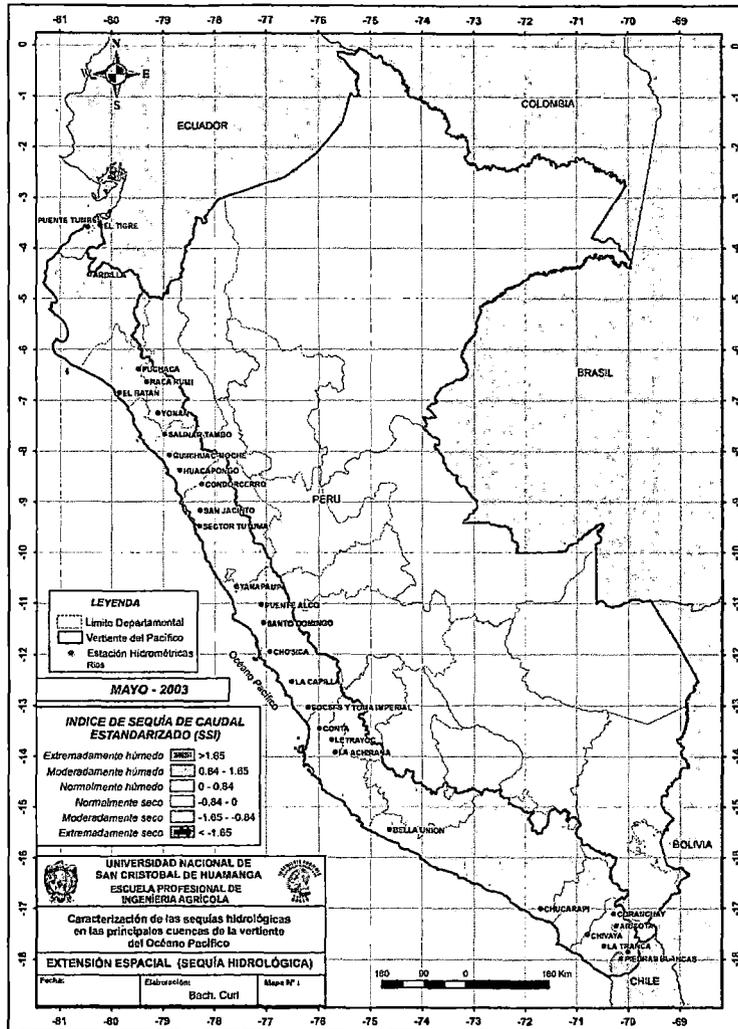
Extensión Espacial de la sequía hidrológica en la Vertiente del Océano Pacífico (ENERO y FEBRERO del 2003)

Anexo VIII: Caracterización de las Sequías (Extensión espacial)



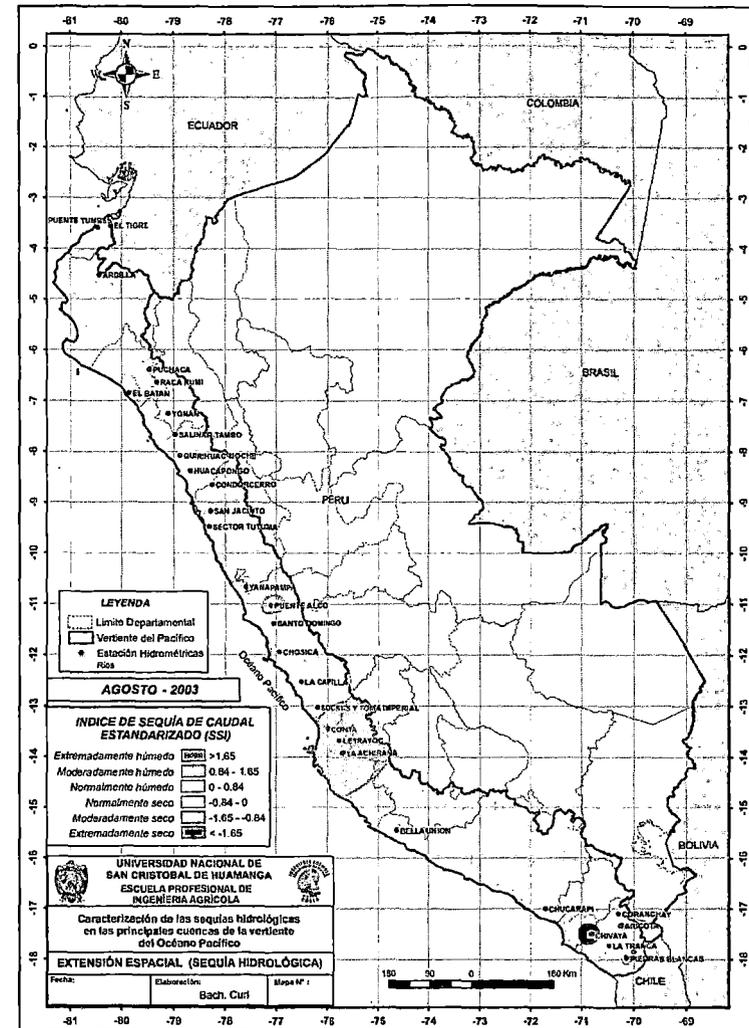
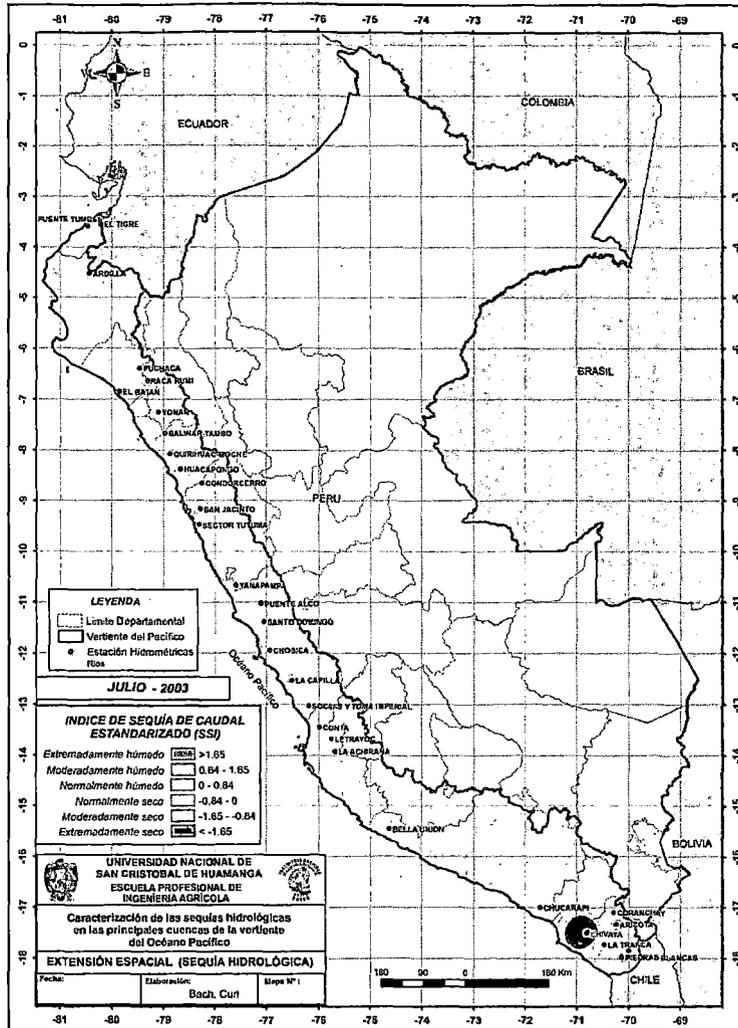
Extensión Espacial de la sequía hidrológica en la Vertiente del Océano Pacífico (MARZO y ABRIL del 2003)

Anexo VIII: Caracterización de las Sequías (Extensión espacial)



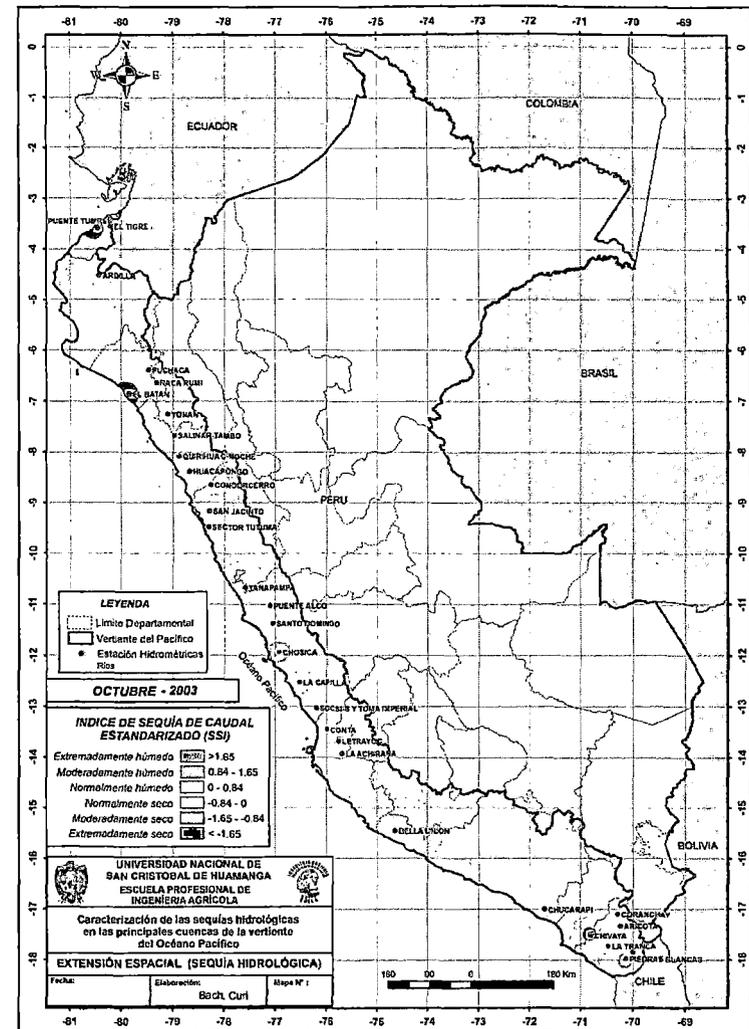
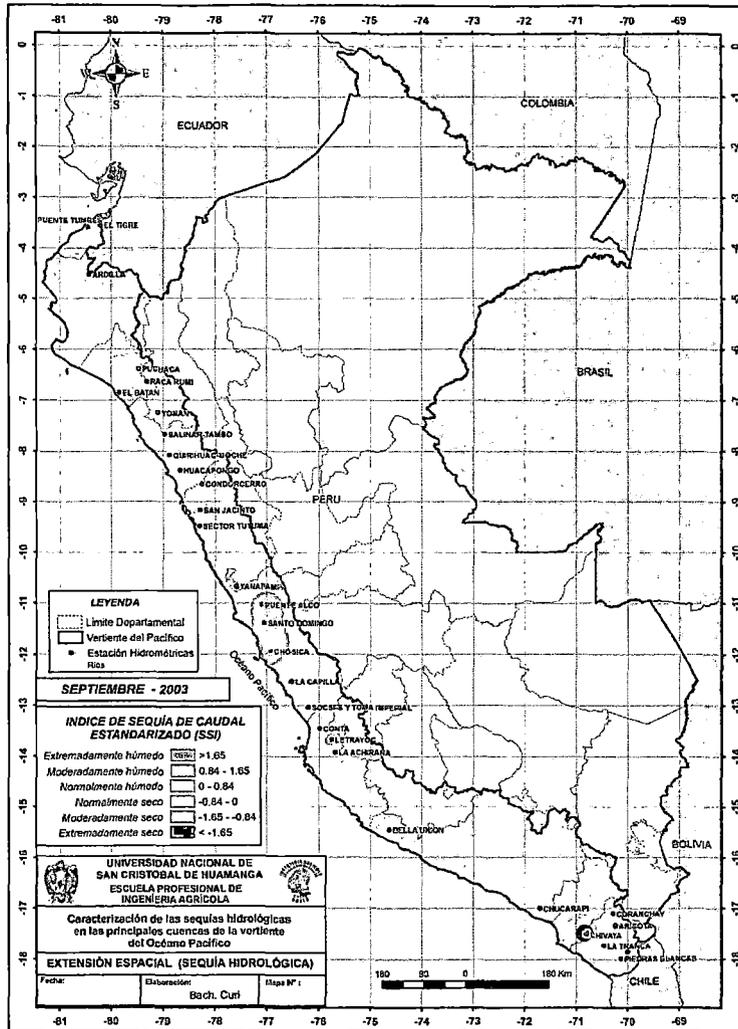
Extensión Espacial de la sequía hidrológica en la Vertiente del Océano Pacífico (MAYO y JUNIO del 2003)

Anexo VIII: Caracterización de las Sequías (Extensión espacial)



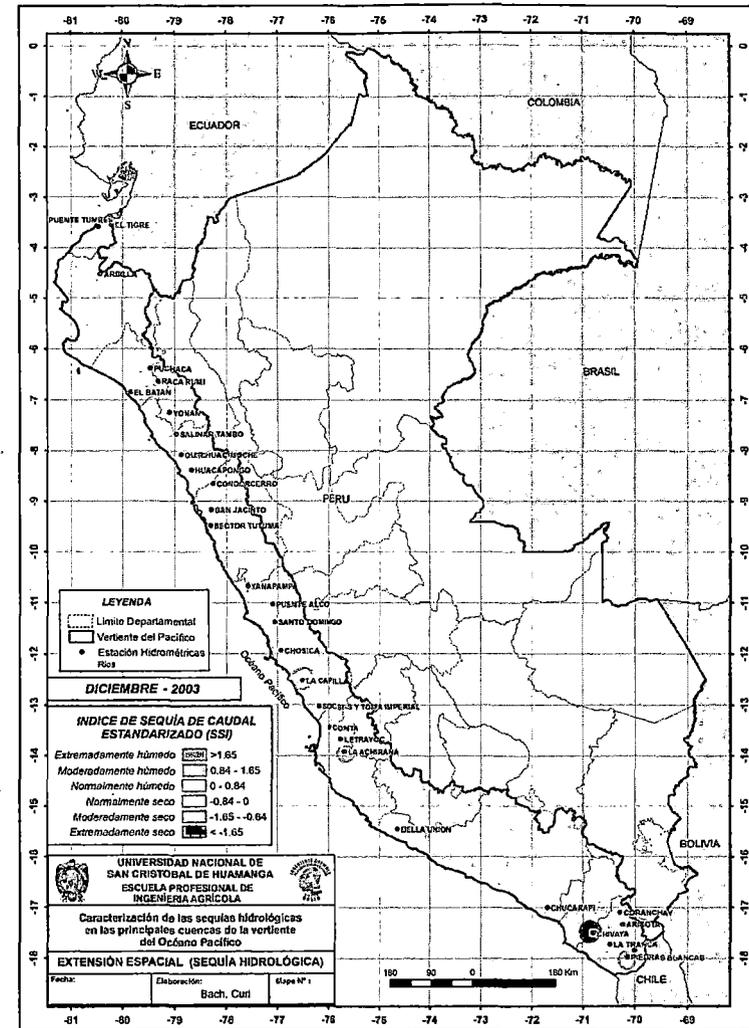
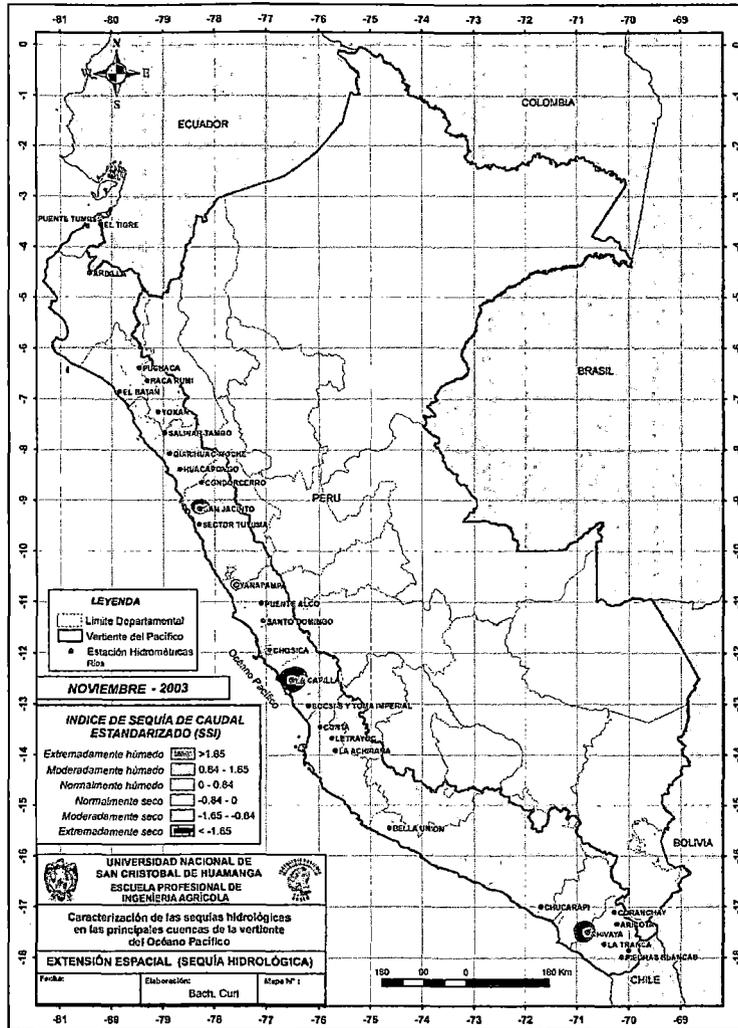
Extensión Espacial de la sequía hidrológica en la Vertiente del Océano Pacífico (JULIO y AGOSTO del 2003)

Anexo VIII: Caracterización de las Sequías (Extensión espacial)



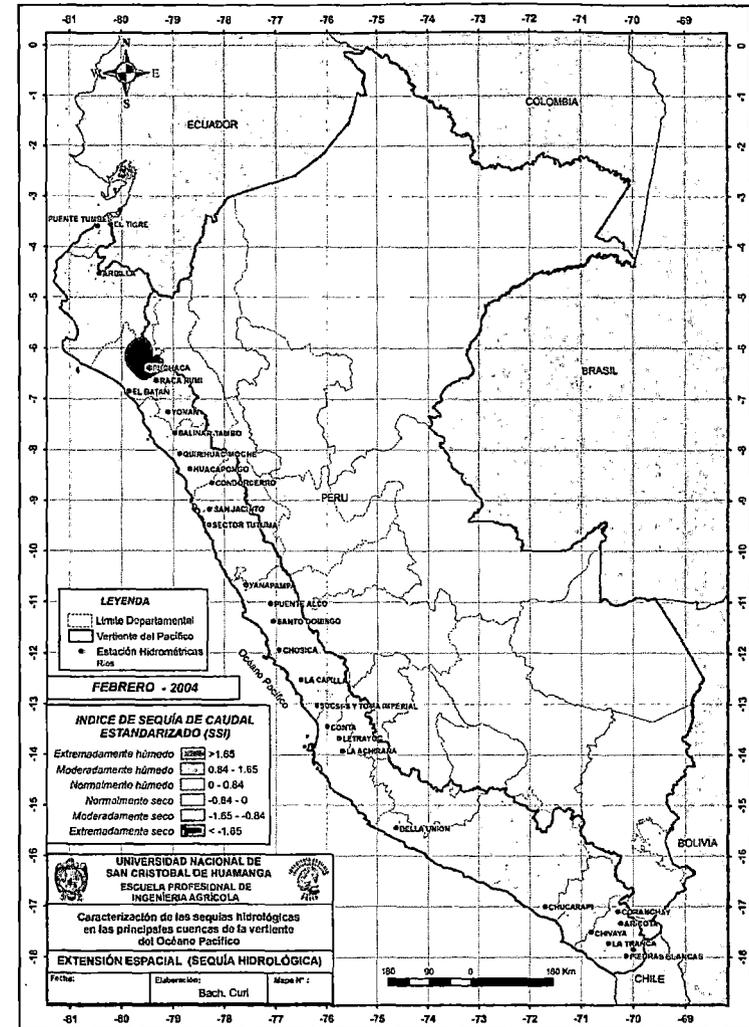
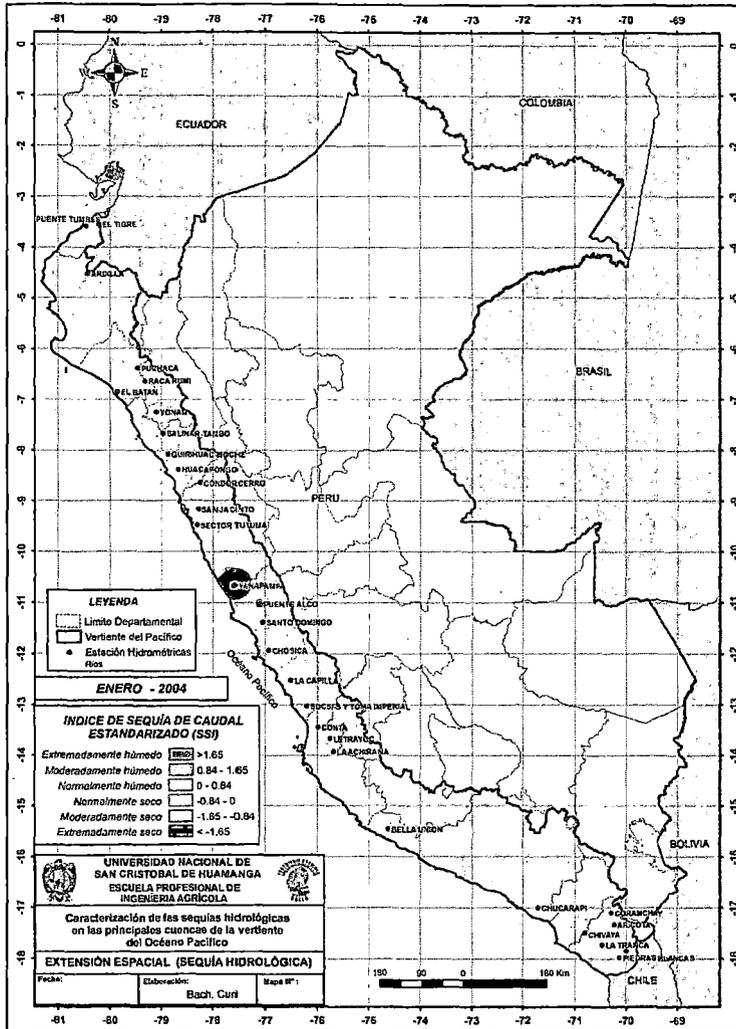
Extensión Espacial de la sequía hidrológica en la Vertiente del Océano Pacífico (SEPTIEMBRE y OCTUBRE del 2003)

Anexo VIII: Caracterización de las Sequías (Extensión espacial)



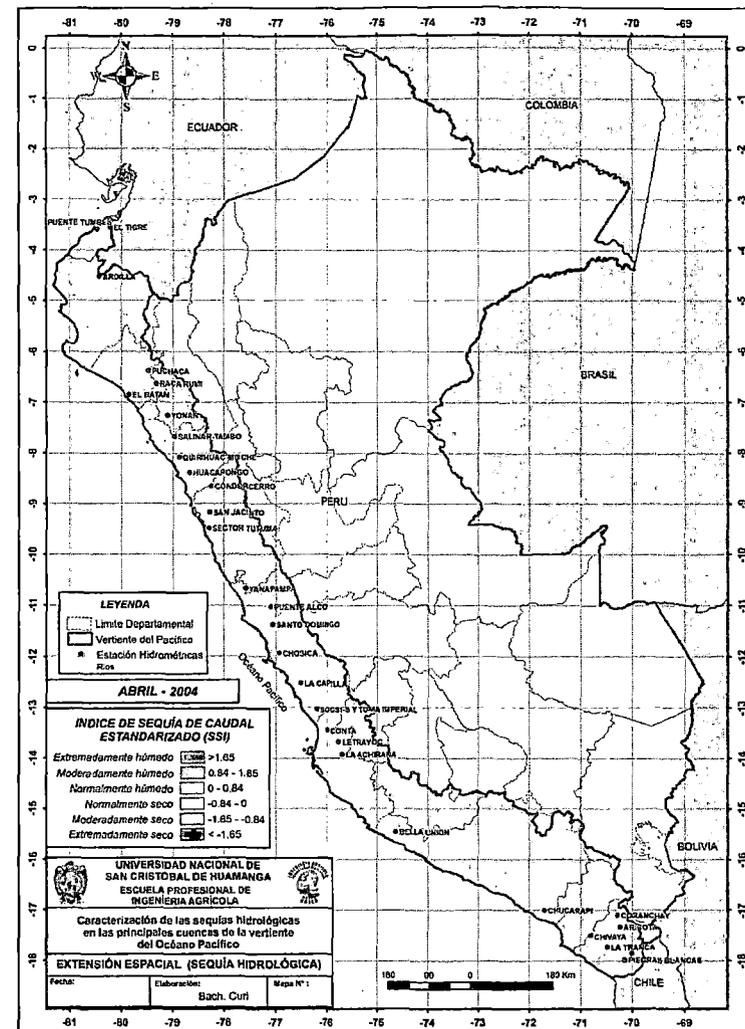
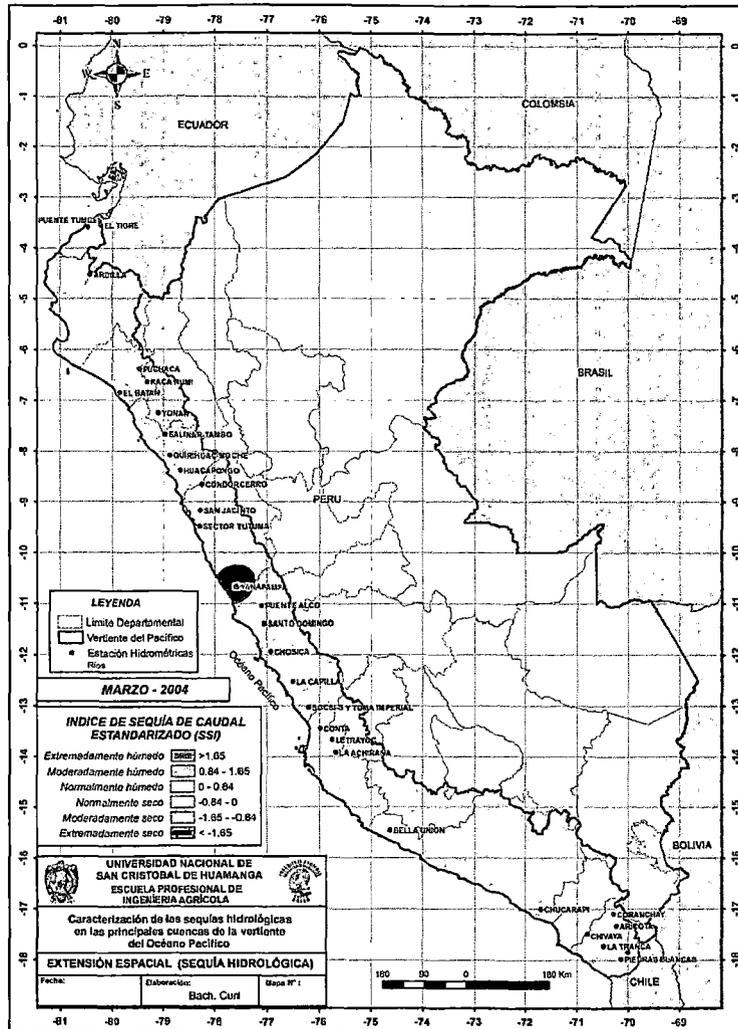
Extensión Espacial de la sequía hidrológica en la Vertiente del Océano Pacífico (NOVIEMBRE y DICIEMBRE del 2003)

Anexo VIII: Caracterización de las Sequías (Extensión espacial)



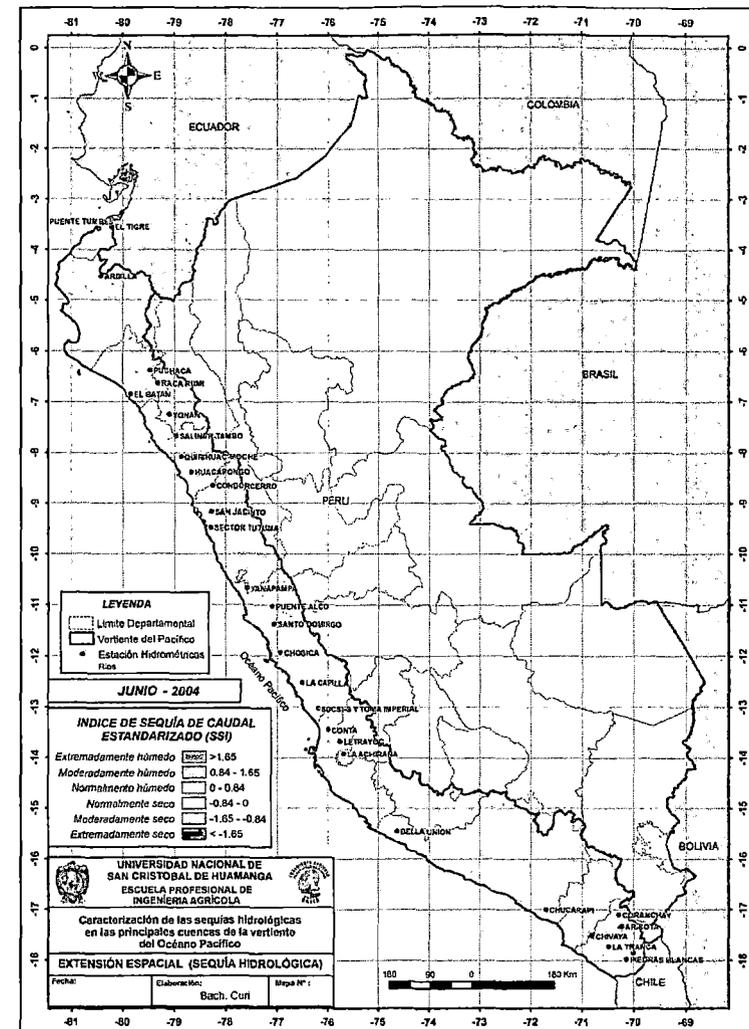
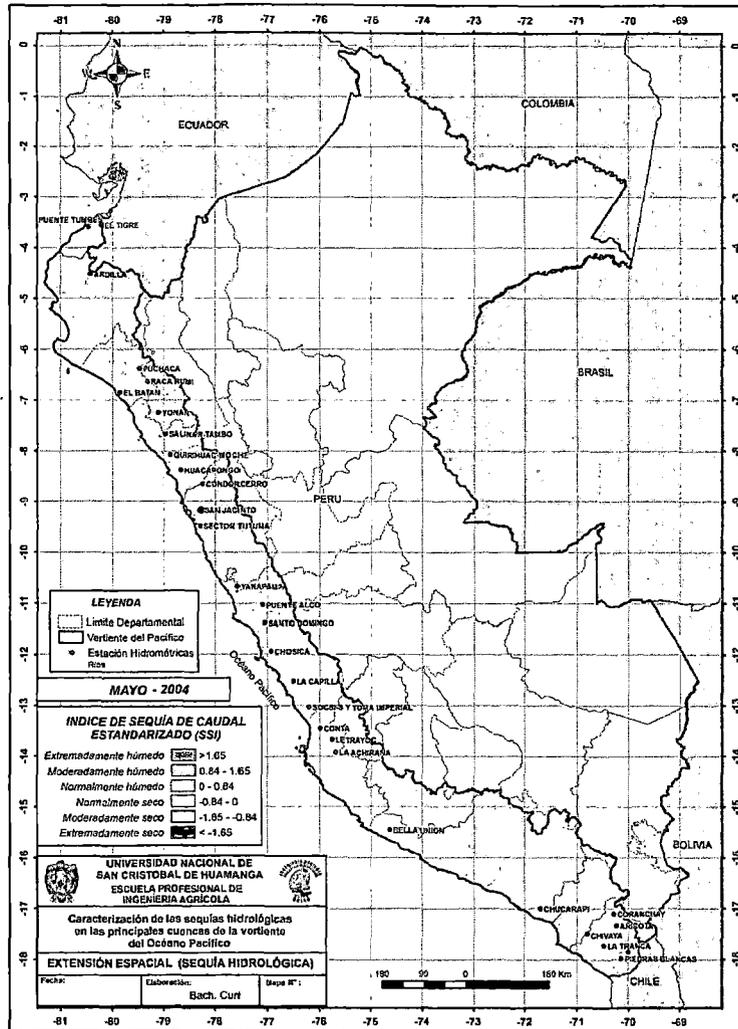
Extensión Espacial de la sequía hidrológica en la Vertiente del Océano Pacífico (ENERO y FEBRERO del 2004)

Anexo VIII: Caracterización de las Sequías (Extensión espacial)



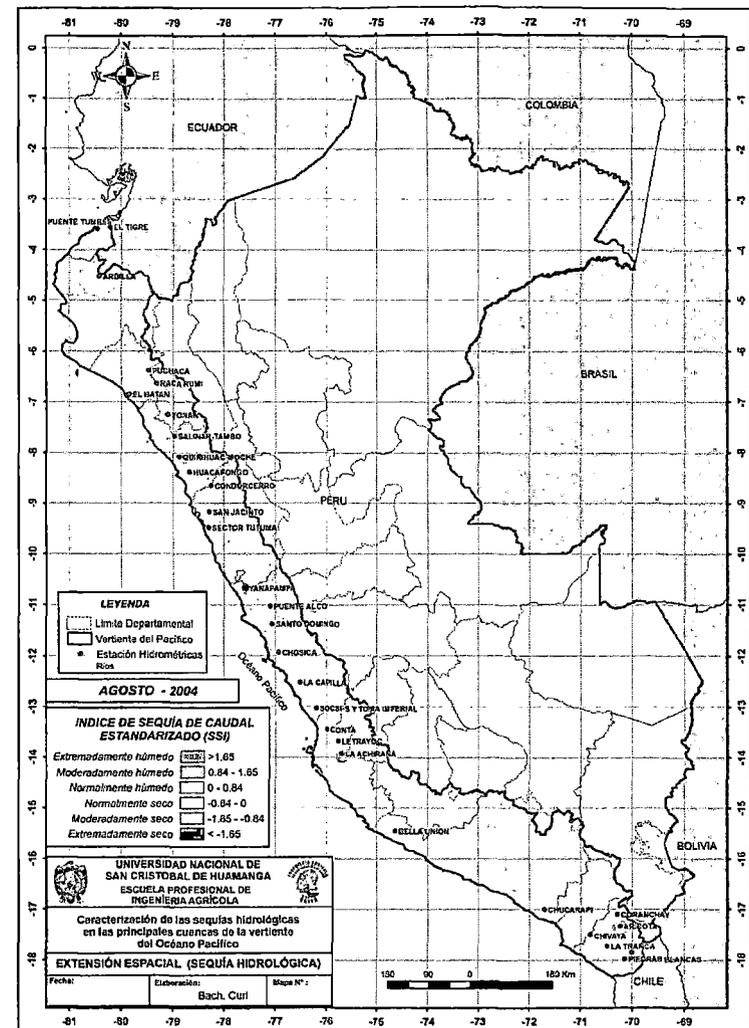
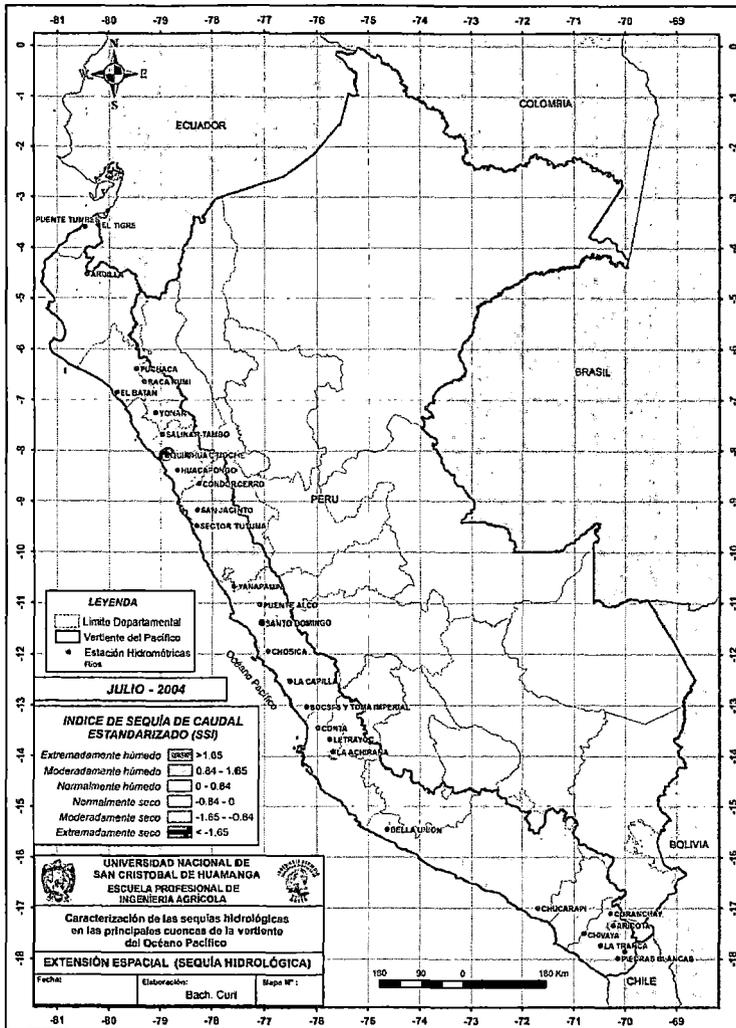
Extensión Espacial de la sequía hidrológica en la Vertiente del Océano Pacífico (MARZO y ABRIL del 2004)

Anexo VIII: Caracterización de las Sequías (Extensión espacial)



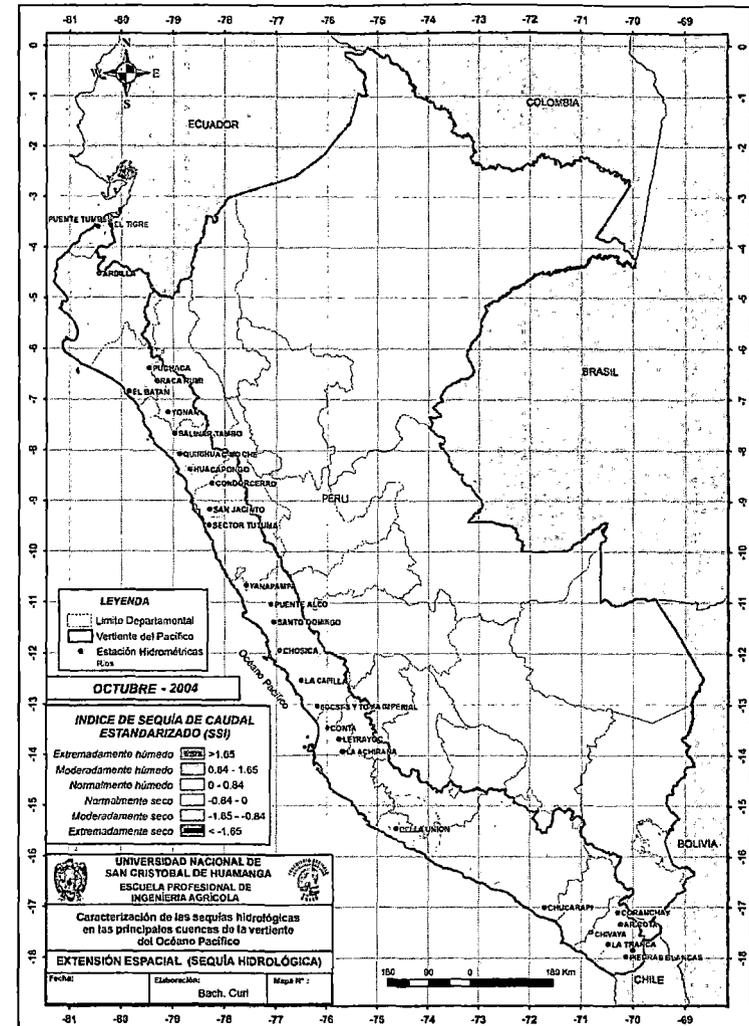
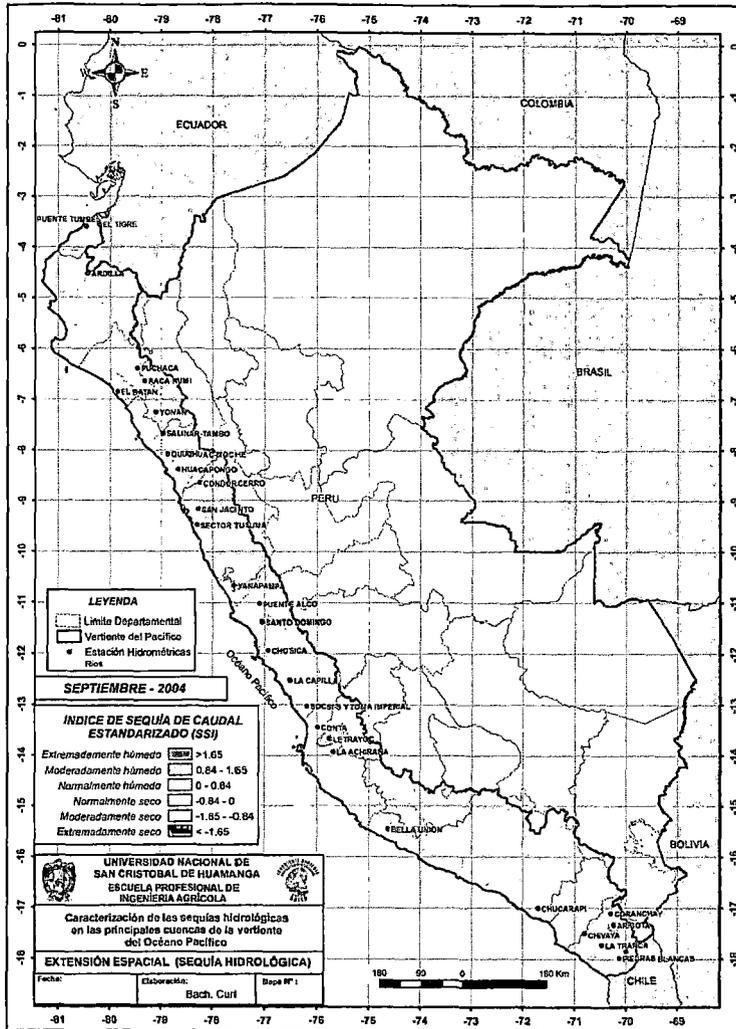
Extensión Espacial de la sequía hidrológica en la Vertiente del Océano Pacífico (MAYO y JUNIO del 2004)

Anexo VIII: Caracterización de las Sequías (Extensión espacial)



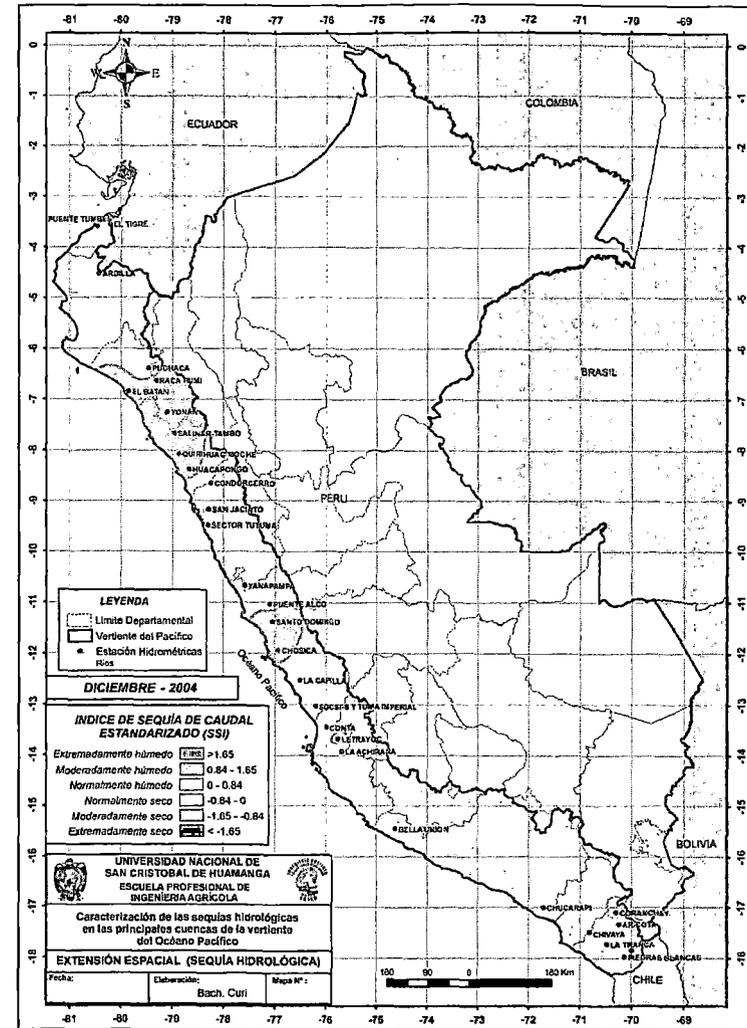
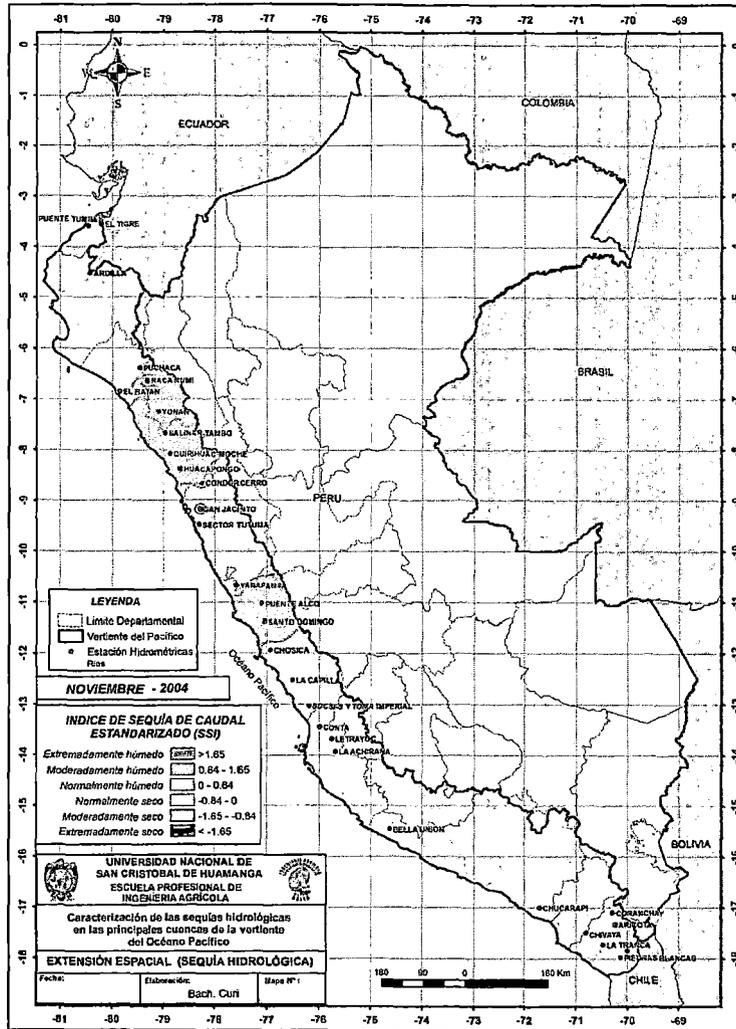
Extensión Espacial de la sequía hidrológica en la Vertiente del Océano Pacífico (JULIO y AGOSTO del 2004)

Anexo VIII: Caracterización de las Sequías (Extensión espacial)



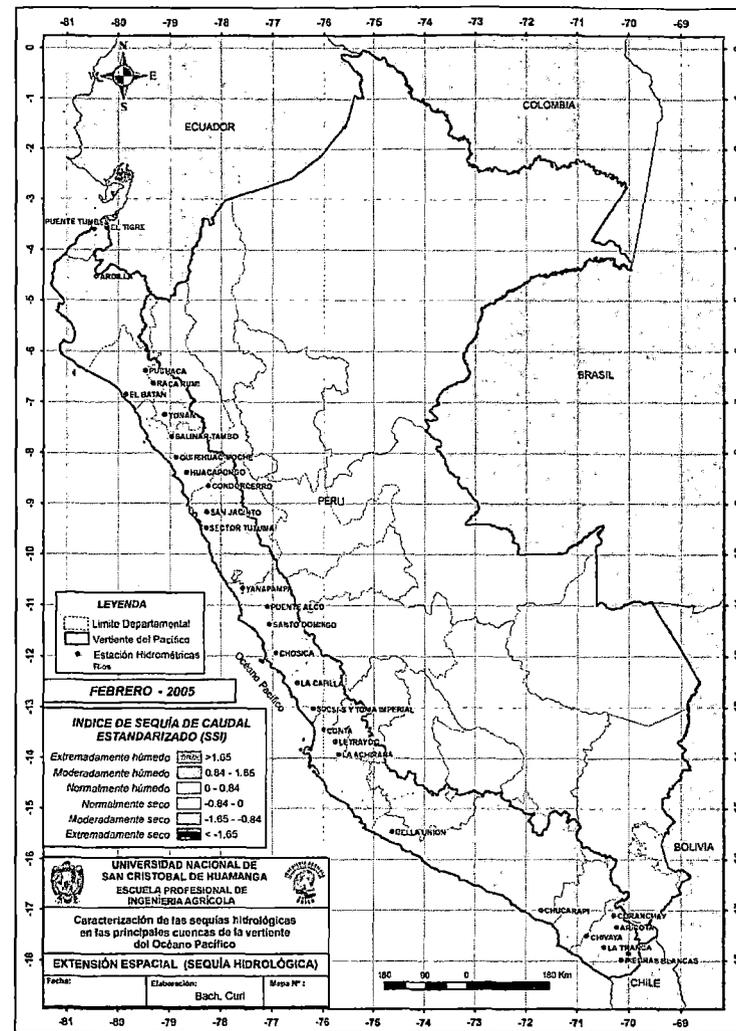
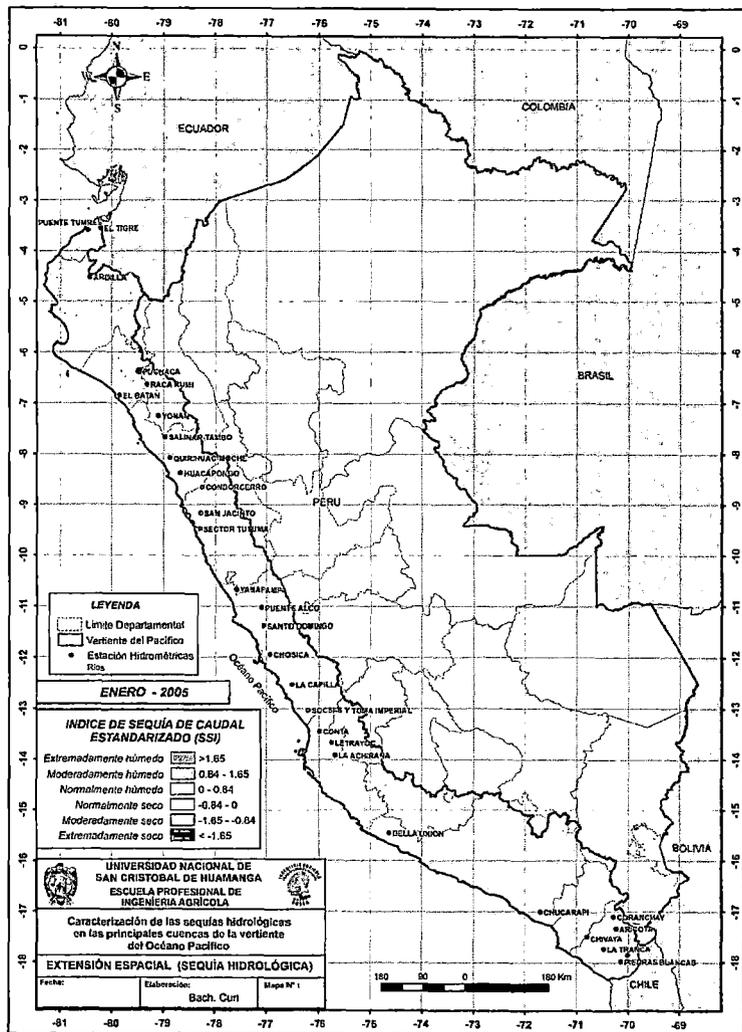
Extensión Espacial de la sequía hidrológica en la Vertiente del Océano Pacífico (SEPTIEMBRE y OCTUBRE del 2004)

Anexo VIII: Caracterización de las Sequías (Extensión espacial)



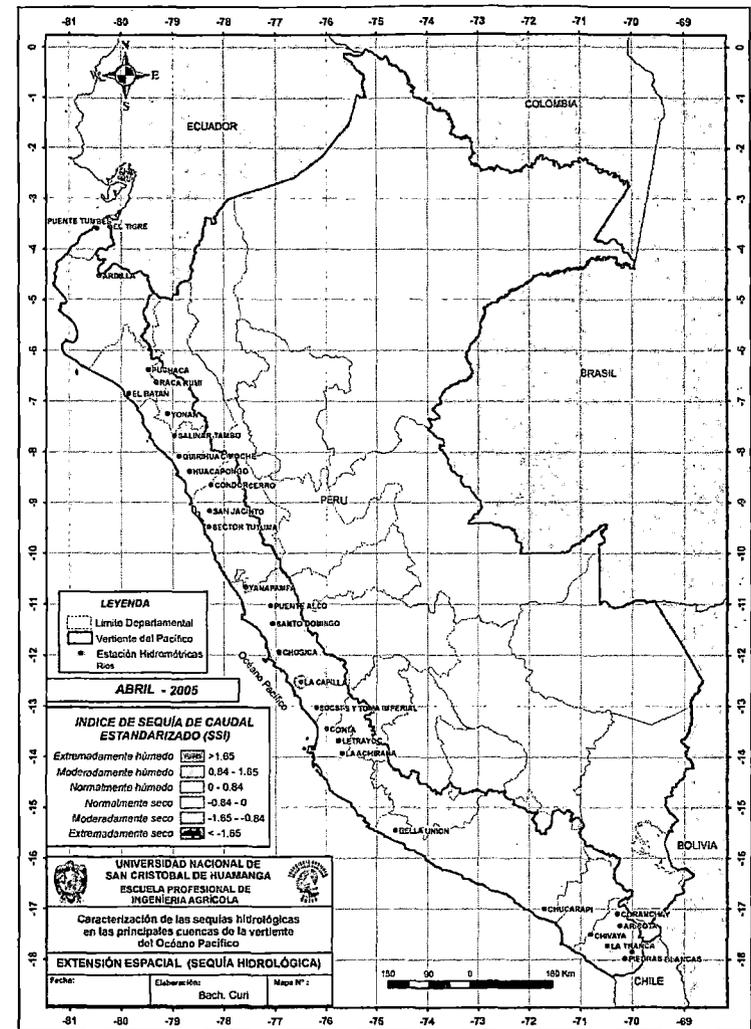
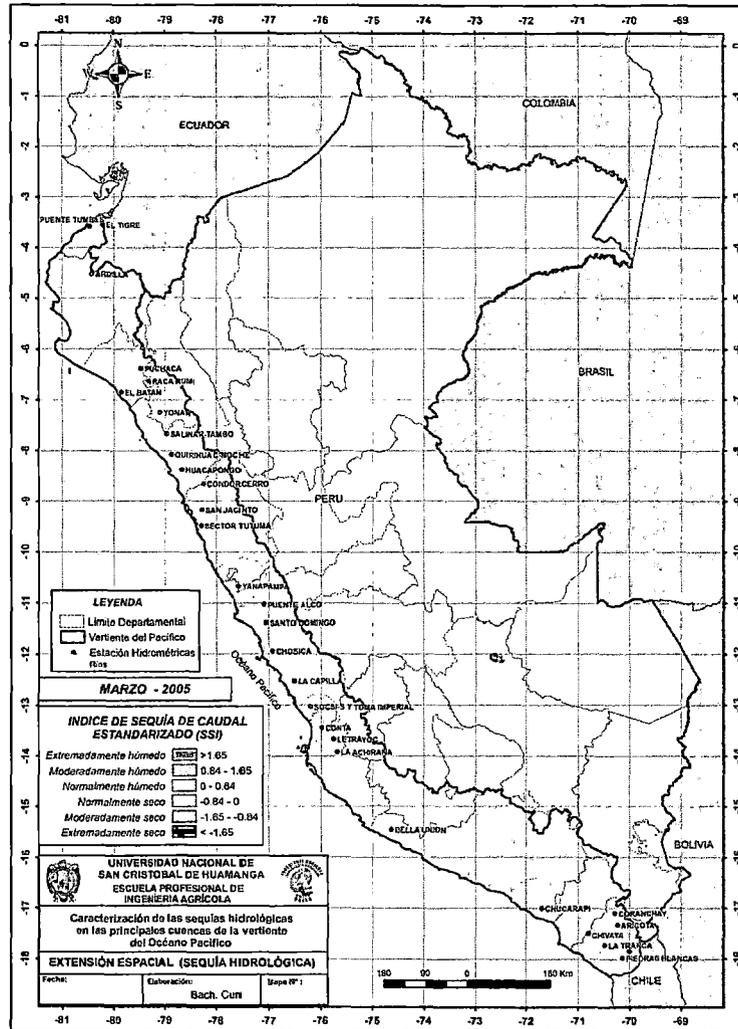
Extensión Espacial de la sequía hidrológica en la Vertiente del Océano Pacífico (NOVIEMBRE y DICIEMBRE del 2004)

Anexo VIII: Caracterización de las Sequías (Extensión espacial)



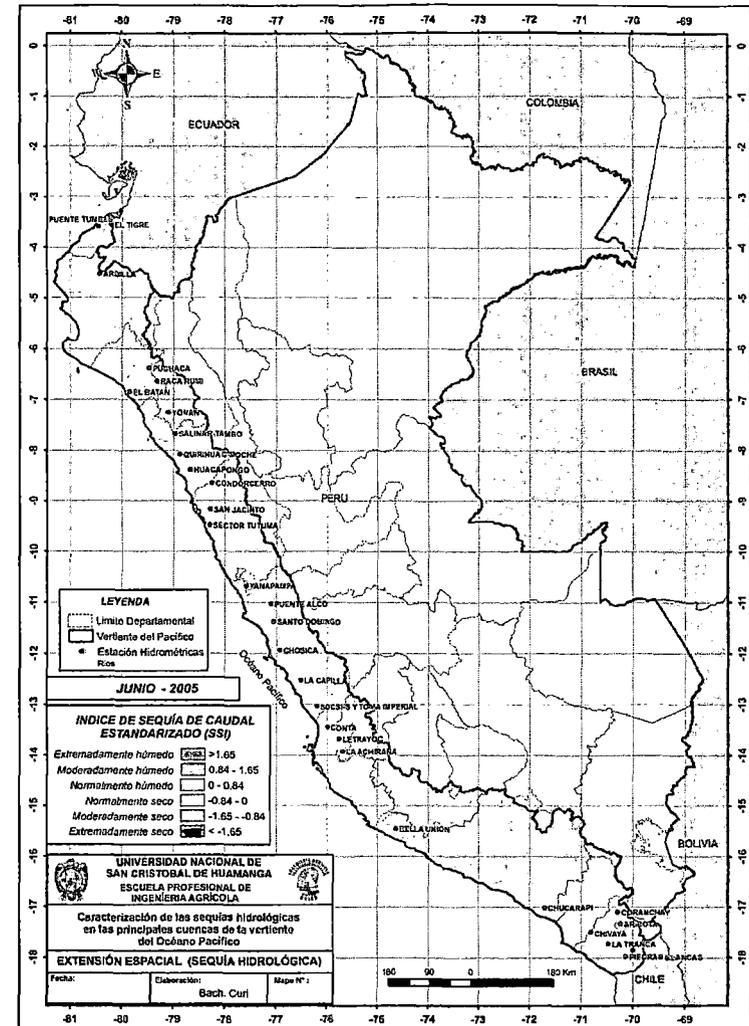
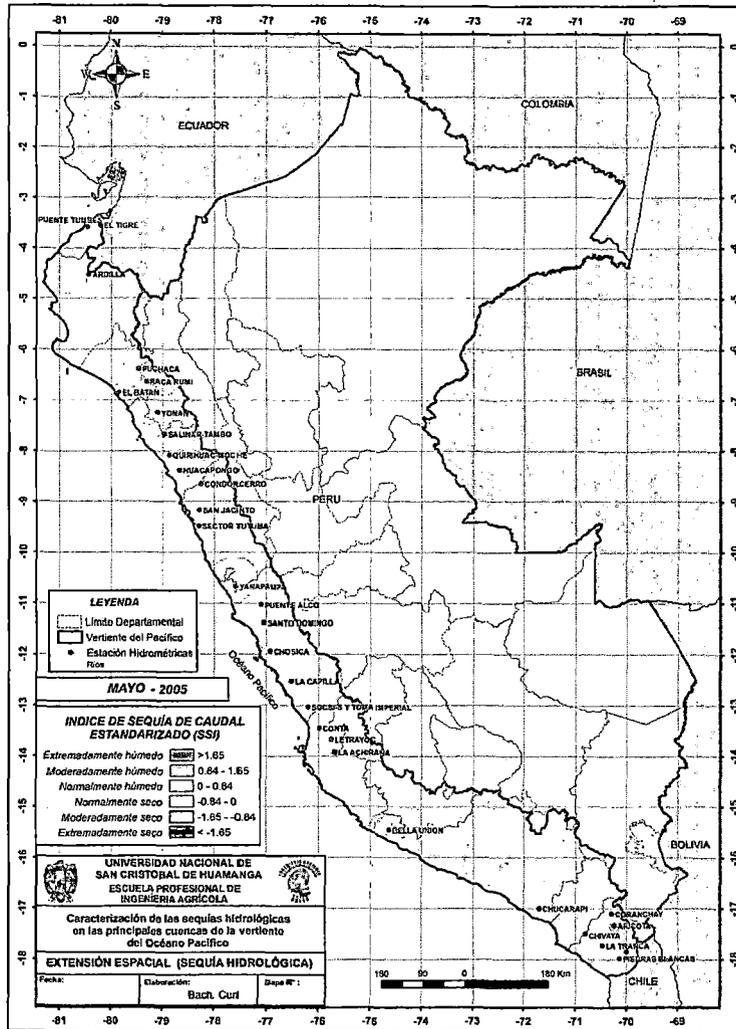
Extensión Espacial de la sequía hidrológica en la Vertiente del Océano Pacífico (ENERO y FEBRERO del 2005)

Anexo VIII: Caracterización de las Sequías (Extensión espacial)



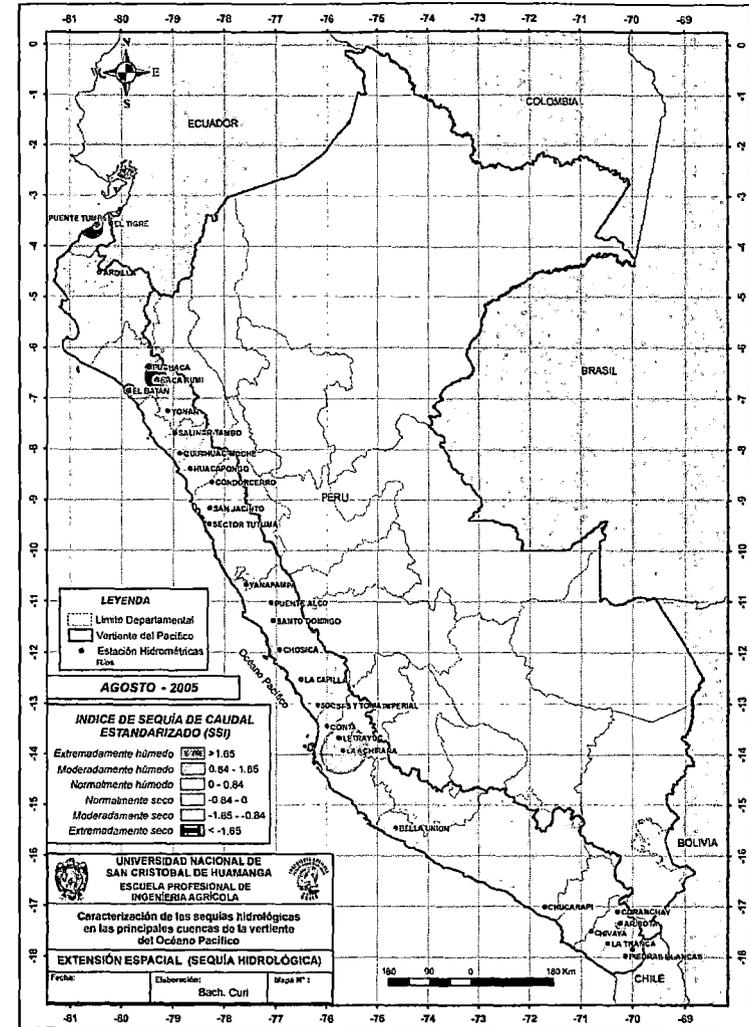
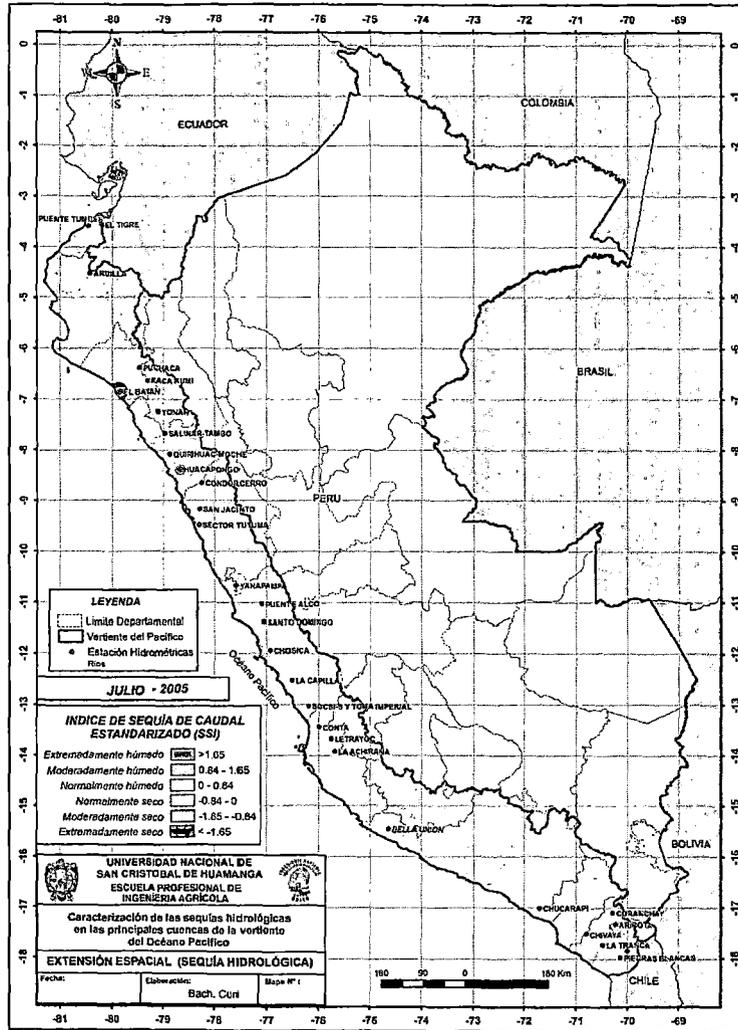
Extensión Espacial de la sequía hidrológica en la Vertiente del Océano Pacífico (MARZO y ABRIL del 2005)

Anexo VIII: Caracterización de las Sequías (Extensión espacial)



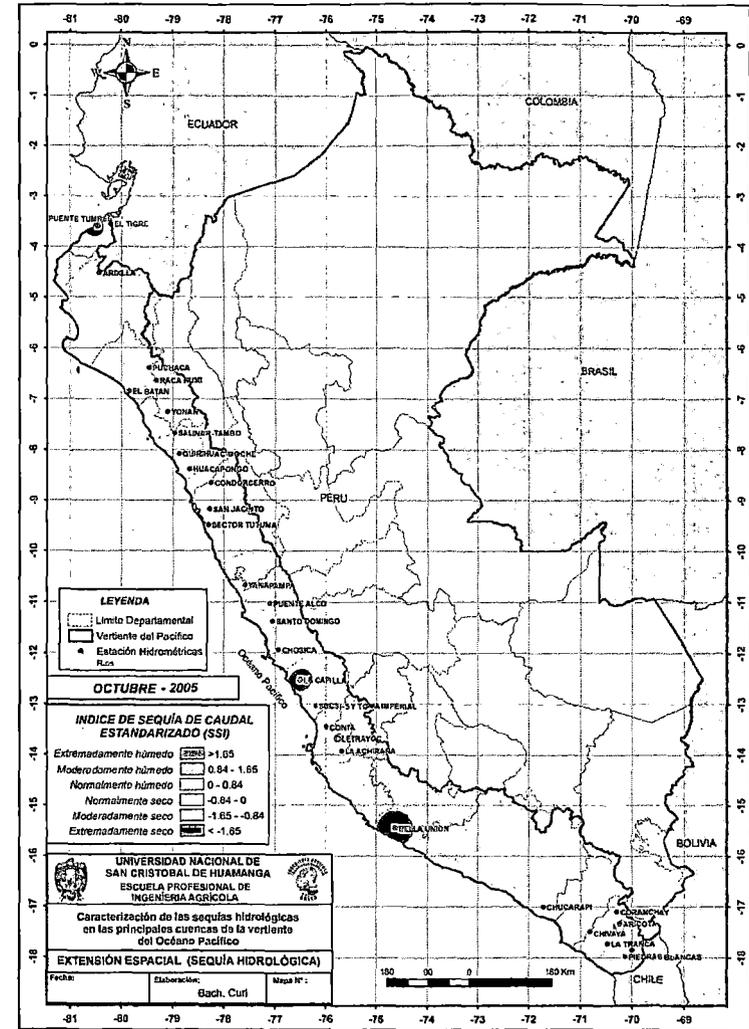
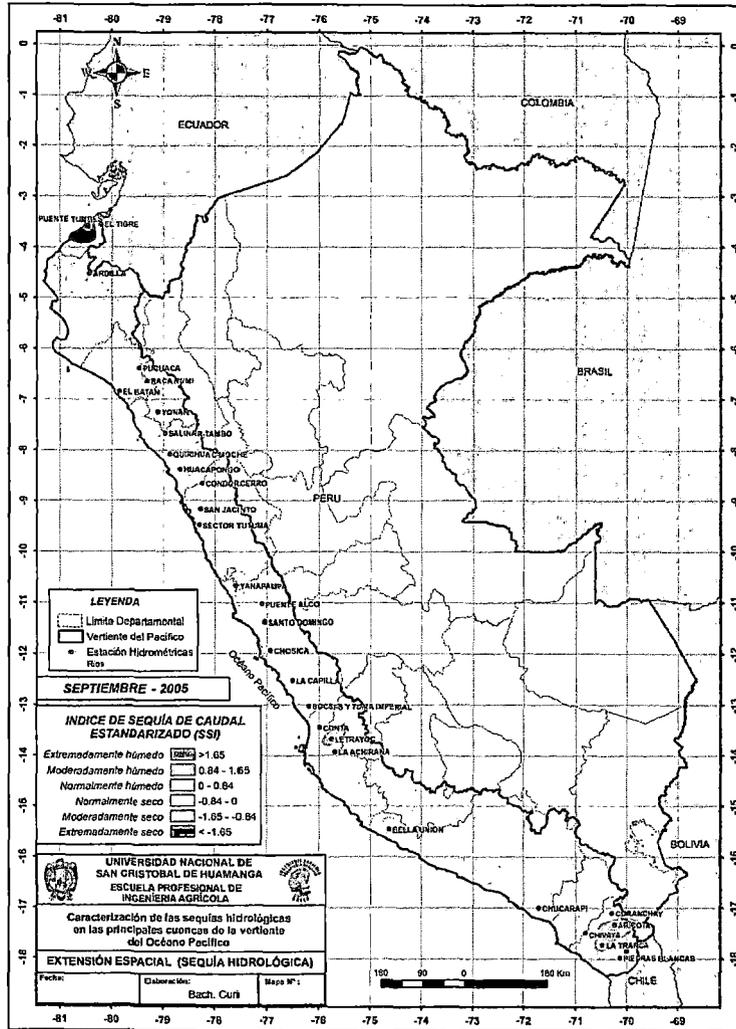
Extensión Espacial de la sequía hidrológica en la Vertiente del Océano Pacífico (MAYO y JUNIO del 2005)

Anexo VIII: Caracterización de las Sequías (Extensión espacial)



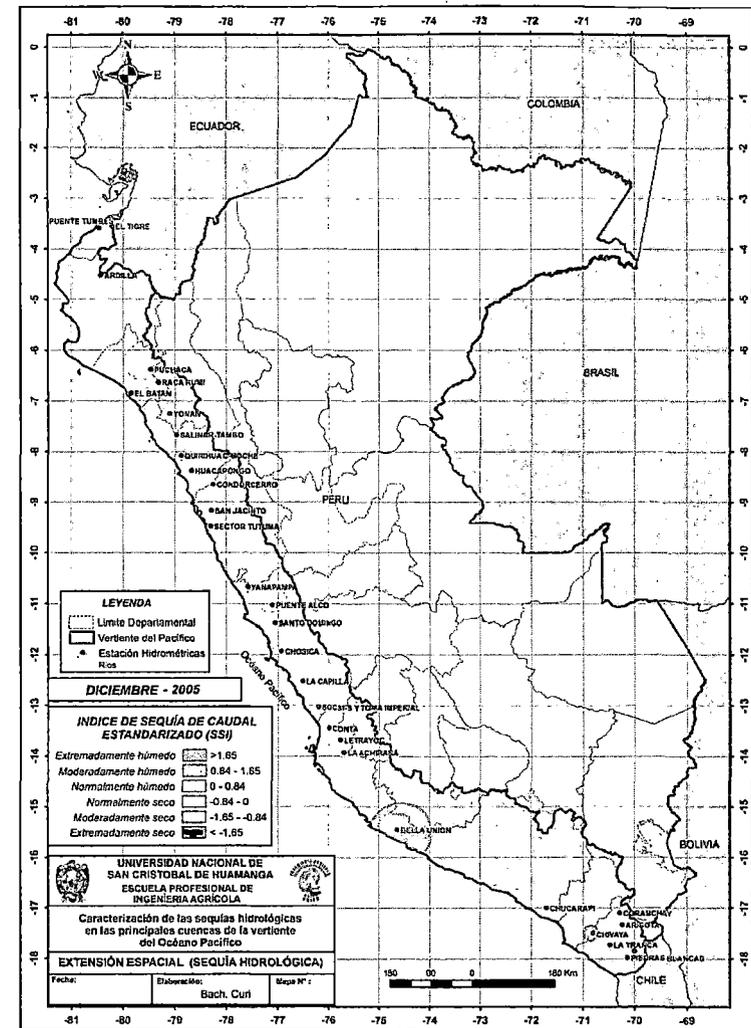
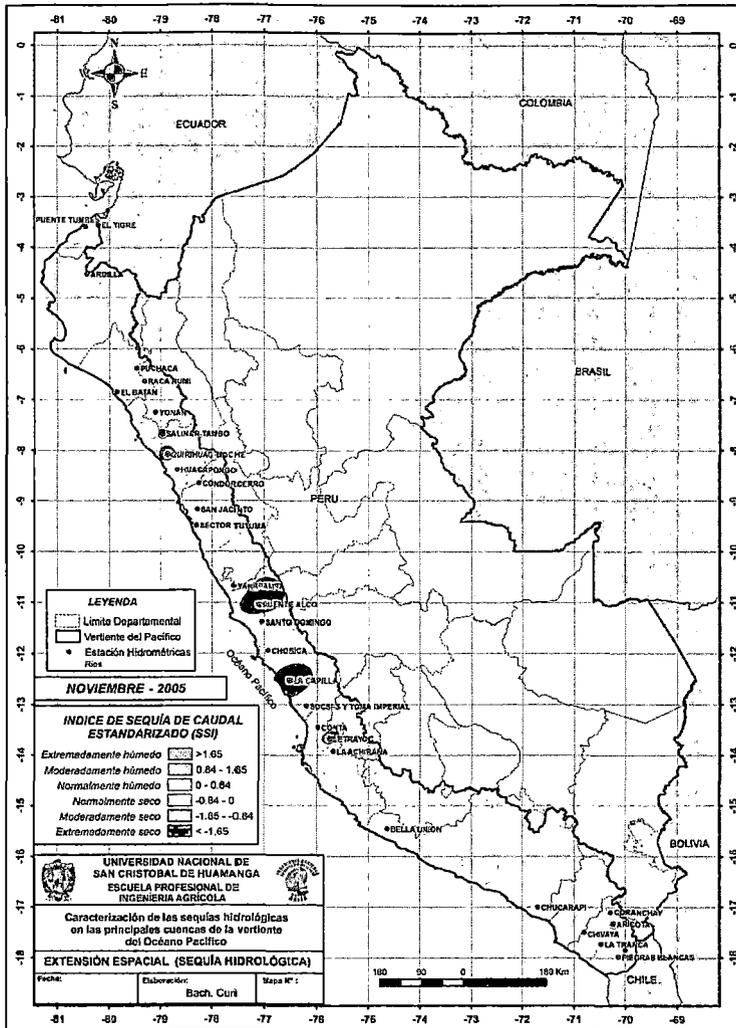
Extensión Espacial de la sequía hidrológica en la Vertiente del Océano Pacífico (JULIO y AGOSTO del 2005)

Anexo VIII: Caracterización de las Sequías (Extensión espacial)



Extensión Espacial de la sequía hidrológica en la Vertiente del Océano Pacífico (SEPTIEMBRE y OCTUBRE del 2005)

Anexo VIII: Caracterización de las Sequías (Extensión espacial)



Extensión Espacial de la sequía hidrológica en la Vertiente del Océano Pacífico (NOVIEMBRE y DICIEMBRE del 2005)