



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**“GENERACIÓN DE INTENSIDAD MÁXIMA DE  
PRECIPITACIÓN PLUVIAL CON FINES DE DISEÑO  
DE INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA EN LA  
LOCALIDAD DE CAPACHICA – PUNO”**

**PRESENTADA POR EL BACHILLER**  
**FELIMON QUISPE PACOMPIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO CIVIL**

**JULIACA – PERÚ**  
**DICIEMBRE, 2018**



## ACTA DE TITULACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

En Juliaca, siendo las 17:00 horas del día 12 de diciembre del 2018, en el Salón de Grados de la Universidad Alas Peruanas y bajo la Presidencia del **Dr. Ccama Condori, Hugo Anselmo**, se inició la Sesión Pública de Sustentación y Evaluación correspondiente para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil por la modalidad de **Sustentación de Tesis**.

En la que él Bachiller: **QUISPE PACOMPIA, FELIMON**

Sustentó la **Tesis de Ingeniería**:

*Tesis*

**"GENERACIÓN DE INTENSIDAD MÁXIMA DE PRECIPITACIÓN PLUVIAL CON FINES DE DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA EN LA LOCALIDAD DE CAPACHICA - PUNO"**


Ante el jurado integrado por los señores catedráticos:

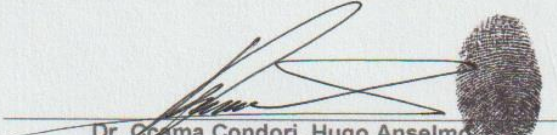
<b>Dr. Ccama Condori, Hugo Anselmo</b>	<b>(Presidente)</b>
<b>Ing. Mamani Mamani, Fausto Ponciano</b>	<b>(Miembro)</b>
<b>Ing. Claros Callo, Oscar Ulises</b>	<b>(Secretario)</b>

Sustentado el mismo, él graduando obtuvo el siguiente resultado:

**APROBADO POR UNANIMIDAD**

En fe de lo cual se asentó la presente Acta que firman el señor Presidente y los demás miembros del Jurado.

  
Ing. Claros Callo, Oscar Ulises  
Secretario  
CIP: 106447

  
Dr. Ccama Condori, Hugo Anselmo  
Presidente  
CIP: 189445

  
Ing. Mamani Mamani, Fausto Ponciano  
Miembro  
CIP: 38080

## DEDICATORIA

A mis queridos padres Alejandro y Francisca por haberme dado la vida, apoyo incondicional para lograr uno de mis sueños.

## AGRADECIMIENTO

Mi especial agradecimiento a mis señores padres Alejandro Quispe Pancca y Francisca Pacompía Cutimbo, por haberme iniciado y encaminado en el camino del conocimiento y saber de la realidad y la ciencia.

A todos mis hermanos y hermanas, por sus apoyos incondicionales.

A los miembros del Jurado calificador Dr. Hugo Anselmo Ccama Condori, Ing° Oscar Ulises Claros Callo y al Ing° Fausto Ponciano Mamani Mamani; por las acertadas observaciones y recomendaciones en bien de mejorar la calidad de la tesis.

Mi agradecimiento al Licenciado Willka Uma Churata Quispe por la revisión de la redacción de esta tesis.

Al Ingeniero Alfredo Ponce Flores, Director Asesor de tesis, por haber brindado acertadas orientaciones y aportes en el desarrollo del plan de tesis.

Al Ingeniero Ronald Ernesto Paredes Pinto, por su orientación y colaboración oportuna en la ejecución de esta tesis.

Al Ingeniero Eugenio Quispe Galindo, por animarme y brindarme su orientación en la ejecución y culminación de esta tesis.

Al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI Lima, por haberme facilitado los pluviogramas de la estación CP 708-Puno.

Al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI Puno y al ingeniero Sixto Flores Sancho, jefe del SENAMHI-Puno, por haberme facilitado el registro de precipitación diaria y permitido el acceso a la estación climatológica de Capachica.

Al señor Germán Canaza Canaza, encargado de la estación climatológica de Capachica, por haberme recibido y brindado la información necesaria para completar mi tesis.

## RESUMEN

El objetivo general de la investigación, fue generar la intensidad máxima de precipitación pluvial con fines de diseño de infraestructura hidráulica en la localidad de Capachica – Puno; que se ha logrado a través de la utilización de la ecuación IDT (3.2), obtenido a partir de la ecuación de distribución de la precipitación de F.C. Bell-Yance Tueros.

La metodología utilizada consistió en recabar la información histórica de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica a escala mensual, luego se ha formado la serie anual tomando el máximo valor por año. Estos datos anuales se han corregido por el factor de ajuste de la frecuencia de observación diaria, evaluando y verificando la calidad de los datos mediante prueba de Grubbs de detección de datos atípicos, prueba de homogeneidad, independencia y estacionalidad; pasando las pruebas anteriores se ha efectuado el análisis de frecuencia y seleccionando la distribución de mejor ajuste mediante pruebas estadísticas y ajuste gráfico. La precipitación máxima anual en 24 horas estimada con la distribución de mejor ajuste, se ha distribuido para las duraciones de 5 a 120 minutos y periodo de retorno de 2 a 100 años con los modelos de Dick Peschke, F.C. Bell-Yance Tueros y F.C. Bell-Dick Peschke; luego, se calcularon las intensidades máximas de precipitación pluvial y se ha sometido al análisis de regresión lineal múltiple, obteniéndose las ecuaciones IDT (3.1), (3.2) y (3.3).

Para la selección de la ecuación IDT adecuada, se ha efectuado prueba  $U$  de Mann-Whitney, porque los datos de intensidad máxima de precipitación pluvial generado con las tres ecuaciones IDT no se adecuan a la distribución normal. Esta prueba se ha efectuado con los datos de intensidad máxima de precipitación pluvial generados con la ecuación IDT control (3.4) de la estación CP 708-Puno, aceptándose con un nivel de significación del 5% las intensidades máximas de precipitación pluvial generadas con la ecuación IDT (3.2), donde  $I$  es la intensidad en mm/h,  $D$  es la duración en minutos y  $T$  es el periodo de retorno en años.

$$I = \frac{86.9519 \times T^{0.2030}}{D^{0.5587}}, \text{ ecuación IDT (3.2) de estación CO 788-Capachica.}$$

**Palabras clave:** Ecuación IDT, intensidad máxima, precipitación diaria.

---

## SUMMARY

The general objective of the research was to generate the maximum intensity of rainfall for the purpose of designing hydraulic infrastructure in the town of Capachica - Puno; which has been achieved through the use of the IDT equation (3.2), obtained from the precipitation distribution equation of F.C. Bell-Yance Tueros.

The methodology used consisted of collecting the historical information of maximum precipitation in 24 hours of the CO 788-Capachica station on a monthly basis, then the annual series was formed, taking the maximum value per year. These annual data have been corrected by the adjustment factor of the daily observation frequency, evaluating and verifying the quality of the data by Grubbs test of atypical data detection, homogeneity test, independence and seasonality; After passing the previous tests, the frequency analysis was carried out and the best fitting distribution was selected by means of statistical tests and graphic adjustment. The maximum annual rainfall in 24 hours estimated with the distribution of best fit, has been distributed for the durations of 5 to 120 minutes and return period of 2 to 100 years with the models of Dick Peschke, F.C. Bell-Yance Tueros and F.C. Bell-Dick Peschke; then, the maximum intensities of rainfall were calculated and subjected to the multiple linear regression analysis, obtaining the equations IDT (3.1), (3.2) and (3.3).

For the selection of the appropriate IDT equation, a Mann-Whitney  $U$  test has been carried out, because the data of maximum intensity of rainfall generated with the three IDT equations do not adapt to the normal distribution. This test was carried out with the data of maximum intensity of rainfall generated with the control IDT equation (3.4) of the CP 708-Puno station, accepting with a level of significance of 5% the maximum rainfall intensities generated with the equation IDT (3.2), where  $I$  is the intensity in mm / h,  $D$  is the duration in minutes and  $T$  is the return period in years.

$$I = \frac{86.9519 \times T^{0.2030}}{D^{0.5587}}, \text{ IDT equation (3.2) of the CO 788-Capachica station.}$$

**Key words:** Daily precipitation, IDT equation, maximum intensity.

---

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
RESUMEN .....	V
SUMMARY .....	VI
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO .....</b>	<b>3</b>
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	3
1.2. DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
1.2.1. Espacial .....	3
1.2.2. Temporal.....	4
1.3. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN.....	4
1.3.1. Problema general.....	4
1.3.2. Problemas específicos .....	4
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos .....	4
1.5. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....	5
1.5.1. Hipótesis general .....	5
1.5.2. Hipótesis específicas .....	5
1.6. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.6.1. Variable independiente .....	5
1.6.2. Variable dependiente .....	5
1.6.3. Indicadores .....	6
1.6.4. Operacionalización de variables .....	6
1.7. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
1.7.1. Tipo de investigación .....	6

---

1.7.2.	Nivel de investigación .....	6
1.7.3.	Métodos de investigación.....	6
1.7.4.	Diseño de investigación .....	12
1.8.	POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN .....	13
1.8.1.	Población .....	13
1.8.2.	Muestra .....	13
1.9.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	14
1.9.1.	Técnicas.....	14
1.9.2.	Recopilación de datos o instrumentos de investigación.....	14
1.9.3.	Instrumentos de recolección de datos .....	14
1.9.4.	Medición de la precipitación pluvial.....	15
1.10.	JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN .....	15
1.10.1.	Justificación .....	15
1.10.2.	Importancia .....	15
1.10.3.	Limitaciones.....	16
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>		<b>17</b>
2.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
2.1.1.	Antecedentes internacionales .....	17
2.1.2.	Antecedentes nacionales .....	19
2.2.	BASES TEÓRICAS.....	22
2.2.1.	Precipitación pluvial .....	22
2.2.2.	Tamaño de muestra y longitud de registro.....	26
2.2.3.	Evaluación de datos pluviométricos para el análisis de frecuencia.....	27
2.2.4.	Análisis de frecuencia usando factores de frecuencia .....	38
2.2.5.	Selección de la función de distribución de probabilidad.....	55
2.2.6.	Estudio de una tormenta .....	61
2.2.7.	Curva de intensidad – duración – periodo de retorno .....	63

---



---

2.2.8.	Ecuación que relaciona la intensidad – duración – periodo de retorno	66
2.2.9.	Bondad de ajuste de la ecuación de regresión lineal múltiple.....	68
2.2.10.	Prueba de hipótesis de la regresión y la investigación .....	72
2.3.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	76
<b>CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS</b>		
.....		77
3.1.	UBICACIÓN DEL LUGAR DE INVESTIGACIÓN.....	77
3.1.1.	Ubicación política.....	77
3.1.2.	Ubicación geográfica .....	77
3.1.3.	Ubicación hidrográfica.....	78
3.2.	DESARROLLO TÉCNICO DE LA INVESTIGACIÓN .....	78
3.2.1.	Recopilación y selección de la precipitación máxima en 24 horas.....	78
3.2.2.	Evaluación y análisis de datos pluviométricos .....	78
3.2.3.	Análisis de frecuencia de las series hidrológicas .....	95
3.2.4.	Pruebas de bondad y ajuste de las distribuciones .....	119
3.2.5.	Estimación de precipitación máxima para periodos de retorno.....	131
3.2.6.	Distribución de intensidad máxima de precipitación .....	132
3.2.7.	Análisis de regresión lineal múltiple .....	138
3.2.8.	Ecuación de intensidad – duración – periodo de retorno .....	140
3.2.9.	Supuestos de la regresión lineal múltiple por mínimos cuadrados ordinarios.....	141
3.2.10.	Prueba de hipótesis de la regresión lineal múltiple .....	147
3.2.11.	Bondad de ajuste de las ecuaciones IDT.....	149
3.2.12.	Construcción de las curvas IDT .....	153
3.3.	ESTACIÓN METEOROLÓGICA CONTROL.....	155
3.3.1.	Estación climatológica principal 708-Puno.....	155

---

---

3.3.2.	Ajuste de los datos de intensidad máxima a una distribución de probabilidad.....	158
3.3.3.	Ecuación de intensidad máxima de precipitación de la estación CP 708-Puno .....	159
3.3.4.	Intensidad máxima de precipitación pluvial y curvas IDT de la estación CP 708-Puno.....	160
3.4.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	162
3.4.1.	Generación de intensidad máxima de precipitación pluvial.....	162
3.4.2.	Distribución de probabilidad de mejor ajuste .....	163
3.4.3.	Ecuaciones IDT para estación CO 788-Capachica.....	164
3.5.	PRUEBAS DE NORMALIDAD .....	167
<b>CAPÍTULO IV: PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS.....</b>		<b>168</b>
4.1.	PRUEBA DE HIPÓTESIS GENERAL .....	168
4.2.	PRUEBA DE HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	168
4.2.1.	Prueba de primera hipótesis específica .....	168
4.2.2.	Prueba de segunda hipótesis específica .....	168
<b>CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>		<b>172</b>
5.1.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	172
5.1.1.	Generación de intensidad máxima de precipitación pluvial.....	172
5.1.2.	Sobre distribución probabilística de mejor ajuste.....	173
5.1.3.	De la ecuación intensidad – duración – periodo de retorno .....	173
5.2.	COMPARACIÓN DE LAS ECUACIONES IDT.....	174
<b>CONCLUSIONES .....</b>		<b>175</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>		<b>176</b>
<b>FUENTES DE INFORMACIÓN .....</b>		<b>177</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>179</b>

---

---

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables.....	6
Tabla 2 Factor de ajuste de la frecuencia de observación diaria.....	28
Tabla 3 Análisis de varianza – ANOVA.....	73
Tabla 4 Datos de precipitación máxima en 24 horas de estación CO 788- Capachica periodo 1957-2015.....	79
Tabla 5 Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov de la precipitación máxima en 24 horas corregida y normalizada por Box-Cox de la estación CO 788- Capachica periodo 1957-2015.....	80
Tabla 6 Prueba de Grubbs de detección de datos atípicos de precipitación máxima en 24 horas corregida y normalizada por Box-Cox de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015 .....	82
Tabla 7 Prueba estadística de Helmert de precipitación máxima en 24 horas corregida de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015 .....	84
Tabla 8 Valores de la prueba de independencia de Anderson.....	89
Tabla 9 Prueba de independencia de Anderson de precipitación máxima en 24 horas corregida de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015	89
Tabla 10 Prueba de independencia de Wald-Wolfowitz de precipitación máxima en 24 horas corregida de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015 .....	92
Tabla 11 Prueba de estacionalidad de Mann-Kendall de precipitación máxima en 24 horas corregida de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015 .....	95
Tabla 12 Ajuste gráfico de bondad de ajuste de precipitación máxima en 24 horas corregida de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015 .....	120
Tabla 13 Prueba de bondad de error estándar de ajuste de precipitación máxima en 24 horas corregida de la estación CO 788-Capachica periodo 1957- 2015 .....	122
Tabla 14 Intervalos de clase de la prueba de ajuste Chi cuadrado de precipitación máxima en 24 horas corregida de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015 .....	124
Tabla 15 Prueba de ajuste Chi cuadrado de precipitación máxima en 24 horas corregida de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015 .....	127

---

Tabla 16 Prueba de ajuste de Kolmogorov-Smirnov de precipitación máxima en 24 horas corregida de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015 .....	131
Tabla 17 Precipitación máxima estimada por distribución Gamma 3 parámetros-MPP de la estación CO 788-Capachica .....	132
Tabla 18 Precipitación pluvial máxima según modelo Dick Peschke de la estación CO 788-Capachica .....	133
Tabla 19 Intensidad máxima de precipitación pluvial derivada del modelo de Dick Peschke de la estación CO 788-Capachica .....	134
Tabla 20 Precipitación pluvial máxima según modelo de Frederick Charles Bell-Yance Tueros de la estación CO 788-Capachica.....	135
Tabla 21 Intensidad máxima de precipitación pluvial derivada del modelo de Frederick Charles Bell-Yance Tueros de la estación CO 788-Capachica .....	136
Tabla 22 Precipitación pluvial máxima según modelo de Frederick Charles Bell-Dick Peschke de la estación CO 788-Capachica .....	137
Tabla 23 Intensidad máxima de precipitación pluvial derivada del modelo de Frederick Charles Bell-Dick Peschke de la estación CO 788-Capachica .....	138
Tabla 24 Prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov de los residuos.....	143
Tabla 25 Prueba de heteroscedasticidad de Koenker-Basset de la ecuación IDT (3.1).....	143
Tabla 26 Prueba de heteroscedasticidad de Koenker-Basset de la ecuación IDT (3.2).....	144
Tabla 27 Prueba de heteroscedasticidad de Koenker-Basset de la ecuación IDT (3.3).....	144
Tabla 28 Correlaciones de orden cero o entre regresoras de las ecuaciones IDT .....	145
Tabla 29 Factor de inflación de la varianza y tolerancia de la ecuación IDT (3.1) .....	146
Tabla 30 Factor de inflación de la varianza y tolerancia de la ecuación IDT (3.2) .....	146

---

---

Tabla 31 Factor de inflación de la varianza y tolerancia de la ecuación IDT (3.3)	146
.....	
Tabla 32 Análisis de varianza de la regresión lineal múltiple de la ecuación IDT (3.1)	147
.....	
Tabla 33 Análisis de varianza de la regresión lineal múltiple de la ecuación IDT (3.2)	147
.....	
Tabla 34 Análisis de varianza de la regresión lineal múltiple de la ecuación IDT (3.3)	148
.....	
Tabla 35 Prueba t de la hipótesis individual de los coeficientes de la regresión de la ecuación IDT (3.1)	148
.....	
Tabla 36 Prueba t de la hipótesis individual de los coeficientes de la regresión de la ecuación IDT (3.2)	149
.....	
Tabla 37 Prueba t de la hipótesis individual de los coeficientes de la regresión de la ecuación IDT (3.3)	149
.....	
Tabla 38 Coeficiente de determinación $R^2$ , $R_A^2$ y error estándar de estimación.	150
Tabla 39 Prueba U de Mann-Whitney de la ecuación IDT (3.1)	151
Tabla 40 Prueba U de Mann-Whitney de la ecuación IDT (3.2)	152
Tabla 41 Prueba U de Mann-Whitney de la ecuación IDT (3.3)	152
Tabla 42 Intensidad máxima de precipitación pluvial de la ecuación IDT (3.1)	153
Tabla 43 Intensidad máxima de precipitación pluvial de la ecuación IDT (3.2)	154
Tabla 44 Intensidad máxima de precipitación pluvial de la ecuación IDT (3.3)	154
Tabla 45 Orden cronológico de la intensidad máxima de precipitación pluvial para diferentes intervalos de duración de la estación CP 708-Puno (marzo 1967 – enero 1984)	156
.....	
Tabla 46 Intensidad máxima de precipitación pluvial de la estación CP 708-Puno	157
.....	
Tabla 47 Intensidad máxima de precipitación pluvial con la distribución Gumbel de la estación CP 708-Puno	158
.....	
Tabla 48 Parámetros de la distribución Gumbel y pruebas de bondad de ajuste de la intensidad máxima de precipitación pluvial de la estación CP 708-Puno	159
.....	
Tabla 49 Intensidad máxima de precipitación pluvial con la ecuación IDT control (3.4) de la estación CP 708-Puno	161
.....	

---

---

Tabla 50 Intensidad máxima de precipitación pluvial de la ecuación IDT (3.2) para la estación CO 788-Capachica.....	162
Tabla 51 Jerarquía de las pruebas de bondad y ajuste de precipitación máxima en 24 horas corregida de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015 .....	163
Tabla 52 Parámetros de la distribución Gamma 3 parámetros-MPP de precipitación máxima en 24 horas corregida de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015.....	164
Tabla 53 Ecuaciones IDT para la estación CO 788-Capachica.....	165
Tabla 54 Ecuación IDT control de la estación CP 708-Puno.....	166
Tabla 55 Selección de la ecuación IDT mediante la prueba U de Mann-Whitney para la estación CO 788-Capachica con respecto a la intensidad de la estación control .....	166
Tabla 56 Prueba de normalidad de las intensidades máximas de precipitación pluvial generados con las ecuaciones IDT .....	167
Tabla 57 Prueba U de Mann-Whitney de ecuación IDT (3.1) con ecuación IDT control (3.4) .....	169
Tabla 58 Prueba U de Mann-Whitney de ecuación IDT (3.2) con ecuación IDT control (3.4) .....	170
Tabla 59 Prueba U de Mann-Whitney de ecuación IDT (3.3) con ecuación IDT control (3.4) .....	171
Tabla 60 Resumen de prueba U de Mann-Whitney de intensidad máxima de precipitación pluvial de las estaciones climatológicas de región climática seco-semiseco mexicano con intensidad de ecuación IDT (3.2) de estación CO 788-Capachica.....	172

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama esquemático de metodología de la investigación. ....	8
Figura 2. Esquema de pluviómetro (a), equipo pluviométrico en Capachica (b). .	25
Figura 3. Pluviógrafo (a) y pluviograma (b). ....	26
Figura 4. Curvas de intensidad-duración-frecuencia. ....	64
Figura 5. Ubicación política. ....	77
Figura 6. Pluviograma de tormenta estación CP 708-Puno. ....	157

---

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Gráfico de caja para detección de datos atípicos de la precipitación máxima en 24 horas corregida y normalizada por Box-Cox, estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015. ....	81
Gráfico 2. Correlograma de la serie de precipitación máxima en 24 horas corregida de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015. ....	90
Gráfico 3. Ajuste gráfico de precipitación máxima en 24 horas observada corregida y estimadas por las distribuciones teóricas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015. ....	121
Gráfico 4. Curvas IDT con la ecuación IDT (3.1) de la estación CO 788-Capachica. ....	153
Gráfico 5. Curvas IDT con la ecuación IDT (3.2) de la estación CO 788-Capachica. ....	154
Gráfico 6. Curvas IDT con la ecuación IDT (3.3) de la estación CO 788-Capachica. ....	155
Gráfico 7. Curvas IDT con la ecuación IDT control (3.4) de la estación CP 708-Puno. ....	160
Gráfico 8. Curvas IDT con la ecuación IDT (3.2) de la estación CO 788-Capachica. ....	162
Gráfico 9. Ajuste gráfico de precipitación máxima en 24 horas corregida estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015. ....	164



## INTRODUCCIÓN

La investigación referida a la generación de intensidad máxima de precipitación pluvial con fines de diseño de infraestructura hidráulica de control, tiene como objetivo de generar la intensidad máxima de precipitación pluvial a partir de la precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica. El problema de la ausencia del registro en bandas de pluviograma fue lo que originó esta investigación, planteándose los problemas específicos: primero ¿cuál será la distribución probabilística de mejor ajuste de la precipitación máxima en 24 horas?, segundo ¿cuál será la ecuación IDT adecuada de intensidad para diferentes tiempos de duración y periodo de retorno?; éstas interrogantes han sido respondidos mediante un procedimiento metodológico de análisis y pruebas estadísticas logrando los objetivos e hipótesis planteados de manera satisfactoria.

En seguida se desarrolla el contenido de la presente investigación, presentada por capítulos y numerales, conteniendo un total de cinco capítulos, conclusiones y recomendaciones:

En el primer capítulo se presenta el planteamiento metodológico, que comprende: la descripción de la realidad problemática; la delimitación de la investigación en el aspecto espacial y temporal; además se encuentra el planteamiento de problemas donde se enmarca el problema general y dos problemas específicos. También se presentan los objetivos de la investigación general y específicas; hipótesis de la investigación general y específicas; variables de la investigación independientes y dependientes; diseño de la investigación donde se encuentran el tipo y nivel de investigación, métodos y diseño de la investigación; La población y muestra; técnicas e instrumentos de recolección de datos y por último la justificación e importancia de la investigación.

En el segundo capítulo se encuentra el marco teórico que contiene los antecedentes tanto internacional y nacional; las bases teóricas relacionadas con la ciencia natural de la hidrología que son la base donde se sustenta esta investigación, además de la teoría sobre la bondad de ajuste de la ecuación de regresión lineal múltiple y la prueba de hipótesis ya sea de la regresión y de la investigación.

El tercer capítulo presenta el desarrollo de la investigación y presentación de resultados, donde está inmerso la ubicación del lugar de investigación; el desarrollo técnico explicado a través del procedimiento práctico del procesamiento, análisis y pruebas al que han sido sometidos los datos de la variable independiente que es la precipitación máxima en 24 horas; también está la información primordial de la estación meteorológica de control CP 708-Puno, que ayuda a realizar la prueba de hipótesis de las ecuaciones matemáticas obtenidas; en la parte final contiene, la presentación de resultados según los objetivos trazados en esta investigación.

El cuarto capítulo contiene exclusivamente la prueba o contrastación de la hipótesis.

El capítulo cinco corresponde a la discusión de los resultados y la comparación de los resultados de intensidad mediante las tres ecuaciones obtenidas.

Finalizando con las conclusiones, recomendaciones, fuentes de información y los anexos en once bloques, donde se presentan las tablas, gráficos y fotografías pertinentes a la investigación realizada.

---

## **CAPÍTULO I:**

### **PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO**

#### **1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

En el pasado y en la actualidad el problema de inundaciones que ocurre en tiempos de lluvia por el desborde de ríos y quebradas ocasionado por el incremento del caudal, arrastrando todo lo que se puede encontrar en su cauce, denominado en vocablo quechua “wayq’o” españolizado como huayco; en general en tiempos de lluvia existe bastante agua por causa de la precipitación pluvial, que requiere encauzar mediante obras de infraestructura hidráulica, para ello se requiere conocer la intensidad máxima de precipitación.

A esto se suma otro problema que es la falta de información pluviográfica, que nos permita determinar la intensidad máxima de precipitación pluvial; consecuentemente, estimar el caudal de diseño que permita dimensionar adecuadamente las infraestructuras hidráulicas de control pluvial. Por ello se recurre a utilizar los datos de precipitación máxima en 24 horas que están disponibles en la base de datos del SENAMHI.

En la localidad de Capachica el problema de inundaciones se presentan en las planicies, donde la pendiente del cauce es baja, en tiempos de lluvia el agua fluye por estos cauces desbordándose y en consecuencia afecta los terrenos de cultivo, ocasionando pérdidas económicas a la población damnificada.

#### **1.2. DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **1.2.1. Espacial**

El presente trabajo de investigación se realizó en el ámbito de la localidad del distrito de Capachica, provincia y región de Puno; con datos recopilados en la estación CO 788-Capachica ubicado en Longitud Oeste de 69° 49’ 55.70” y Latitud Sur de 15° 36’ 22.90” a una altitud de 3828 msnm.

### **1.2.2. Temporal**

El desarrollo de la investigación, tuvo un tiempo de estudio comprendido entre los meses de abril a septiembre de 2018, con datos base de la precipitación máxima en 24 horas del registro histórico de 53 años, desde el año de 1957 a 2015 de la estación CO 788-Capachica exceptuándose los años de 1979 a 1984 por no presentar registro de la precipitación pluvial.

## **1.3. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1. Problema general**

¿Cómo se genera la intensidad máxima de precipitación pluvial con fines de diseño de infraestructura hidráulica en la localidad de Capachica – Puno?

### **1.3.2. Problemas específicos**

- ¿Cuál será la distribución probabilística de mejor ajuste de la precipitación máxima en 24 horas, en la generación de intensidad máxima de precipitación pluvial con fines de diseño de infraestructura hidráulica en la localidad de Capachica – Puno?
- ¿Cuál será la ecuación IDT adecuada, en la generación de intensidad máxima de precipitación pluvial con fines de diseño de infraestructura hidráulica en la localidad de Capachica – Puno?

## **1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1. Objetivo general**

Generar la intensidad máxima de precipitación pluvial con fines de diseño de infraestructura hidráulica en la localidad de Capachica – Puno.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar la distribución probabilística de mejor ajuste de la precipitación máxima en 24 horas, en la generación de intensidad máxima de precipitación pluvial con fines de diseño de infraestructura hidráulica en la localidad de Capachica – Puno.

- Determinar la ecuación IDT adecuada, para la generación de intensidad máxima de precipitación pluvial con fines de diseño de infraestructura hidráulica en la localidad de Capachica – Puno.

## **1.5. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1. Hipótesis general**

La intensidad máxima de precipitación pluvial con fines de diseño de infraestructura hidráulica en la localidad de Capachica – Puno, se genera aplicando la ecuación IDT.

### **1.5.2. Hipótesis específicas**

- La distribución Gumbel, es la distribución probabilística de mejor ajuste de la precipitación máxima en 24 horas, en la generación de intensidad máxima de precipitación pluvial con fines de diseño de infraestructura hidráulica en la localidad de Capachica – Puno.
- La ecuación IDT adecuada es la obtenida a partir de la ecuación de distribución de la precipitación pluvial de F. C. Bell – Yance Tueros, en la generación de intensidad máxima de precipitación pluvial con fines de diseño de infraestructura hidráulica en la localidad de Capachica – Puno.

## **1.6. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.6.1. Variable independiente**

La variable independiente interviniente en la investigación es la precipitación máxima en 24 horas, extraída del registro pluviométrico diario de la estación meteorológica de CO 788-Capachica.

### **1.6.2. Variable dependiente**

La variable dependiente de la investigación es la intensidad máxima de precipitación pluvial.

### 1.6.3. Indicadores

El indicador de la variable independiente es la distribución de probabilidad de mejor ajuste; mientras que para la variable dependiente el indicador es la ecuación IDT adecuada de intensidad máxima de precipitación pluvial.

### 1.6.4. Operacionalización de variables

Tabla 1  
Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Pruebas
<b>V. Independiente:</b>			
Precipitación máxima en 24 horas del registro pluviométrico.	- Distribución de probabilidad.	- Distribución de probabilidad de mejor ajuste.	- Ajuste gráfico. - Método de error estándar de ajuste.
	- Unidad de medida en milímetros		- Prueba de Chi cuadrado. - Prueba de Kolmogorov-Smirnov.
<b>V. Dependiente:</b>			
Intensidad máxima de precipitación pluvial.	- Intensidad máxima de precipitación pluvial.	- La ecuación IDT adecuado de	- Modelamiento matemático por
	- Unidad de medida en mm/h.	intensidad máxima de precipitación pluvial.	regresión lineal múltiple.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

## 1.7. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.7.1. Tipo de investigación

La presente investigación según su aplicación es de tipo aplicado y según su finalidad corresponde al tipo de investigación predictiva.

### 1.7.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación es comprensivo, porque explica las situaciones para generar algún evento o suceso teniendo un grado profundo de análisis.

### 1.7.3. Métodos de investigación

La metodología planteada y desarrollada en esta investigación, tiene una secuencia lógica y la aplicación de las diferentes pruebas estadísticas como se

muestra en el diagrama esquemático de la figura 1. Todos los pasos a seguir se describen cada una de ellas para mejor entendimiento de los lectores.

#### **1.7.3.1. Formación de la serie anual**

La serie de precipitaciones máximas en 24 horas a escala mensual, se forma del registro histórico de precipitaciones totales diarios, escogiendo el valor máximo del día que representa al mes, y de éstos se extrae el máximo valor que representa la precipitación máxima anual, siguiendo el mismo procedimiento para los demás años registrados.

#### **1.7.3.2. Corrección de datos por horas fijas de observación**

Las observaciones de precipitación máxima diaria deben ser multiplicadas por el factor de ajuste de la frecuencia de observación diaria, según el número de observaciones realizadas por día (ver tabla 2).

#### **1.7.3.3. Evaluación de datos para el análisis de frecuencia**

Previo al análisis de frecuencia de los datos de la precipitación máxima en 24 horas, se realiza una serie de análisis y pruebas estadísticas; el primero es la detección de datos atípicos que consiste en:

- Gráfico de caja: a manera de exploración se realiza el gráfico de caja para detectar algún dato atípico.
- Normalización de datos: antes de realizar la prueba de Grubbs, se debe normalizar los datos de la muestra y cumplir con el supuesto de esta prueba.
- Prueba de normalidad: esta prueba se realiza con las técnicas estadísticas adecuadas según el tamaño de la muestra.
- Prueba de Grubbs: para confirmar si el dato dudoso es o no un atípico, se realiza la prueba estadística de Grubbs de detección de datos atípicos.

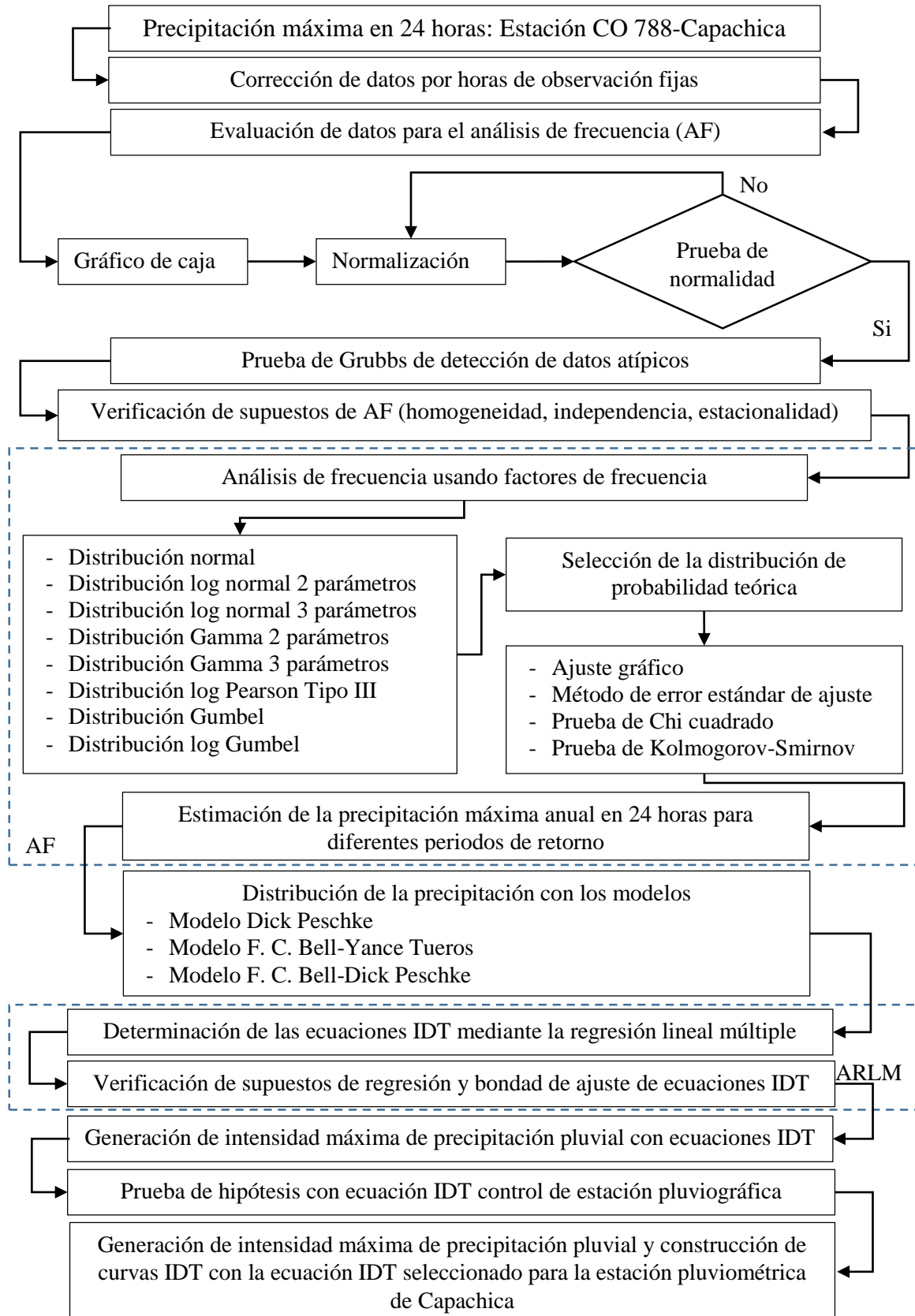


Figura 1. Diagrama esquemático de metodología de la investigación.  
 Fuente: Elaboración propia, 2018.



Como la segunda parte es realizar el análisis de consistencia de los datos y cumplir con los supuestos del análisis de frecuencia; para esto, se debe realizar el análisis de homogeneidad con la prueba de Helmer (prueba no paramétrica), o prueba estadística de t de Student y la prueba de Cramer (pruebas paramétricas) dependiendo, si los datos de la muestra se adecuan a la distribución normal se aplicará las pruebas paramétricas de lo contrario la prueba no paramétrica. El análisis de independencia con la prueba de independencia de Anderson y la prueba de independencia corrida de Wald-Wolfowitz y por último el análisis de estacionalidad con la prueba de estacionalidad de Mann-Kendall.

#### **1.7.3.4. Análisis de frecuencia de la precipitación máxima en 24 horas**

Las funciones de distribución de probabilidad teóricas a emplear, son las distribuciones más conocidas y recomendadas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones del país:

- Distribución Normal.
- Distribución Log Normal 2 Parámetros.
- Distribución Log Normal 3 Parámetros.
- Distribución Gamma 2 Parámetros.
- Distribución Gamma 3 Parámetros.
- Distribución Log Pearson Tipo III.
- Distribución Gumbel.
- Distribución Log Gumbel.

#### **1.7.3.5. Selección de la distribución de probabilidad teórica**

Para la selección de la distribución de mejor ajuste a la serie de datos se emplea pruebas de bondad y ajuste mediante los cuatro métodos conocidos, que son:

- Ajuste gráfico.
- Método de error estándar de ajuste.
- Prueba de ajuste Chi Cuadrado.
- Prueba de Kolmogorov-Smirnov.

#### **1.7.3.6. Estimación de precipitación máxima anual en 24 horas**

Después de procesado y ajustado la distribución de probabilidad teórica de la serie de precipitaciones máximas en 24 horas, se estima las precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno (2, 5, 10, 25, 50, 100 años).

#### **1.7.3.7. Distribución de la precipitación y obtención de intensidad máxima**

La precipitación máxima en 24 horas estimada con la distribución de mejor ajuste, se distribuye para la duración de 5 minutos a 120 minutos (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 90, 120 minutos) y periodos de retorno entre 2 y 100 años (2, 5, 10, 25, 50, 100 años), utilizando los modelos matemáticos de Dick Peschke y F.C. Bell.

##### **a. Distribución según Dick Peschke**

Cuando sólo existe información de las precipitaciones diarias, se suele usar la metodología de Dick Peschke para estimar la precipitación total máxima  $P_d$  para cualquier duración  $d$  en función de la precipitación máxima en 24 horas  $P_{24h}$ .

##### **b. Ecuación de Frederick Charles Bell**

Para duraciones inferiores a 2 horas se emplean los coeficientes de Bell, que estudió las razones entre lluvias de distintas duraciones e igual frecuencia o periodos de retorno y también la razón entre lluvias de diferentes periodos de retorno e igual duración.

Entonces la precipitación de duración  $t$ , entre 5 y 120 minutos y periodo de retorno  $T$ , entre 2 y 100 años, se puede estimar en base a la precipitación de una hora y 10 años de periodo de retorno calculados con la ecuación de Dick Peschke o de Yance Tueros.

#### **1.7.3.8. Determinación de las ecuaciones IDT**

La fórmula de intensidad-duración-periodo de retorno, se determina con los datos de intensidad obtenidas para diferentes duraciones y periodo de retorno

considerados usando la ecuación matemática de tipo potencial propuesto por Bernard en 1932, y sus parámetros se determinan mediante una regresión lineal múltiple.

#### **1.7.3.9. Verificación de los supuestos de regresión lineal múltiple**

Se realiza la verificación de los supuestos de regresión que deben cumplir todas las ecuaciones obtenidas mediante el análisis de regresión lineal múltiple.

#### **1.7.3.10. Bondad de ajuste de las ecuaciones IDT**

Para saber y obtener ecuaciones IDT confiables, se realiza las pruebas de bondad de ajuste de la ecuación obtenido de las intensidades primigenias, para ello se determina el coeficiente de determinación  $R^2$  y  $R_A^2$ , además la prueba  $U$  de Mann-Whitney conocido también como la prueba de suma de rangos de Wilcoxon.

#### **1.7.3.11. Estimación de intensidad máxima de precipitación pluvial**

La estimación final de intensidad máxima de precipitación pluvial se realiza con las ecuaciones IDT obtenidos, para cualquier duración comprendido entre 5 y 120 minutos, y periodo de retorno entre 2 a 100 años.

#### **1.7.3.12. Prueba de hipótesis**

Para contrastar las hipótesis se asume como población 1, las intensidades máximas de precipitación pluvial de la estación CP 708-Puno como estación control. Mientras que la población 2 las intensidades máximas de precipitación pluvial de la estación en estudio que corresponde a la estación CO 788-Capachica.

El tamaño  $n_1$  corresponde a las intensidades máximas de la estación de control para duraciones de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 90 y 120 minutos; mientras el tamaño  $n_2$  corresponde a las intensidades máximas de precipitación pluvial generadas para la estación CO 708-Capachica para las mismas duraciones y periodos de retorno 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

### 1.7.3.13. Construcción de curvas IDT

Con los datos de intensidad estimadas con las ecuaciones IDT, se construye la gráfica de las curvas de intensidad-duración-periodo de retorno, para los diferentes periodos de retorno y duraciones consideradas.

### 1.7.4. Diseño de investigación

El diseño de la investigación para la primera hipótesis específica como hipótesis nula  $H_0$  "La distribución Gumbel, es la distribución probabilística de mejor ajuste de la precipitación máxima en 24 horas, en la generación de intensidad máxima de precipitación pluvial con fines de diseño de infraestructura hidráulica en la localidad de Capachica – Puno", son las pruebas estadísticas de selección de la distribución de mejor ajuste, como: método del error estándar de ajuste, prueba de ajuste de Chi-cuadrado y la prueba de Kolmogorov-Smirnov, además como una forma de confirmar las pruebas antes mencionadas, el ajuste gráfico de las observaciones con la curva de distribución; estas pruebas nos indican la distribución teórica que mejor representa a los datos de la muestra.

Para la segunda hipótesis específica como hipótesis nula  $H_0$  "La ecuación IDT adecuada es la obtenida a partir de la ecuación de distribución de la precipitación pluvial de F. C. Bell – Yance Tueros, en la generación de intensidad máxima de precipitación pluvial con fines de diseño de infraestructura hidráulica en la localidad de Capachica – Puno", el diseño de investigación se practica mediante los modelos de precipitación caída en 60 minutos con un periodo de retorno de 10 años propuesto por Yance Tueros y por Dick Peschke, aplicando por separado en la formulación de la ecuación de precipitación de Frederick Charles Bell, que permite determinar la intensidad para diferentes periodos de retorno de 2 a 100 años y duraciones de 5 a 120 minutos; y mediante una regresión lineal múltiple se determina la fórmula de la intensidad-duración-periodo de retorno, posteriormente a partir de esto se construye las curvas IDT. Otro modelo de precipitación total a emplear es la de Dick Peschke que utiliza la precipitación máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno (2 a 100 años) y duraciones (5 a 120 minutos), obteniendo un conjunto de precipitaciones para las duraciones y periodos de retorno considerados, con ello se obtiene la intensidad máxima para las duraciones

y periodos de retorno que conllevan a la obtención de la fórmula de intensidad-duración-periodo de retorno mediante el método de regresión lineal múltiple y construir las curvas IDT.

El diseño de investigación está basado en el diagrama siguiente:

$E_i$	X	$l_i$
$E_c$	Y	$l_c$

Donde:

$E_i$  : Estación meteorológica de investigación.

$E_c$  : Estación meteorológica control.

X : Aplicación de metodología para generar la intensidad máxima de precipitación pluvial (ecuación IDT).

Y : Generación de la ecuación IDT control, derivadas del análisis de tormentas registradas en pluviograma.

$l_i$  : Intensidades máximas de precipitación pluvial generadas con ecuación IDT de la estación de investigación.

$l_c$  : Intensidades máximas de precipitación pluvial generadas con ecuación IDT de la estación control.

## 1.8. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.8.1. Población

La población en el campo de la investigación asumida es la precipitación pluvial máxima diaria, que ocurre de manera natural en todos los tiempos en la localidad de Capachica.

### 1.8.2. Muestra

La muestra es, la precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica, que ha sido extraído del registro de precipitación pluvial a escala mensual, con una longitud de registro de 53 años (1957-2015) registrada por SENAMHI, sin considerar los años de 1979 a 1984 por no haberse registrado la precipitación de estos años.

---

## **1.9. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

### **1.9.1. Técnicas**

La técnica de recolección de datos consiste en recibir la precipitación pluvial en un recipiente fabricado para este propósito denominado pluviómetro, donde se mide la altura de agua recogida en el recipiente y se expresa generalmente en milímetros (mm) de agua.

Los datos de precipitación máxima en 24 horas son los valores máximos de algún día del mes, teniendo así un dato por mes y doce datos por año; de los doce datos del año se toma el máximo valor que representa la máxima precipitación en 24 horas del año.

### **1.9.2. Recopilación de datos o instrumentos de investigación**

Para recopilación de los datos de precipitación máxima en 24 horas, se ha solicitado a SENAMHI-Puno, recibiendo los datos máximos por meses en formato digital en archivo Excel el que se presenta en el anexo 1 tabla 1.1, también se ha extraído los datos de precipitación pluvial a escala diario desde la página web del SENAMHI con lo que se ha corroborado.

### **1.9.3. Instrumentos de recolección de datos**

El instrumento estándar utilizado por SENAMHI es el **pluviómetro**, que es un recipiente cilíndrico de lámina, de 20 cm de diámetro y 60 cm de alto aproximadamente. La tapa del cilindro es un embudo receptor, que se comunica con una probeta de sección 10 veces menor que la tapa.

Esto permite medir la altura de agua en la probeta, con una aproximación hasta décimos de milímetro, ya que cada centímetro medido en la probeta, corresponde a un milímetro de altura de agua; para medirla se saca la probeta y se introduce una regla graduada, con la cual se toma lectura; generalmente se acostumbra hacer una lectura cada 24 horas.

#### **1.9.4. Medición de la precipitación pluvial**

En la estación CO 788-Capachica según manifiesta el encargado y también los datos de precipitación pluvial presentados en la web del SENAMHI<sup>1</sup>, las mediciones se realizan a las 19:00 horas y 7:00 horas del día siguiente, sumando las dos mediciones parciales para el día que corresponde al día de medición de las 19:00 horas.

### **1.10. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.10.1. Justificación**

La intensidad máxima de precipitación pluvial es indispensable para determinar el caudal máximo de diseño y este último es necesario para el diseño hidráulico de las diferentes obras de control de máximas avenidas las que serán evacuadas mediante estas obras.

En cuencas pequeñas o quebradas que no cuenten con registros hidrométricos vale decir medición de caudales del río o riachuelo, como normalmente ocurre en nuestro país; se recurre a la precipitación pluvial máxima en 24 horas, para determinar la intensidad máxima de precipitación pluvial mediante técnicas o métodos estadísticos y modelos de precipitación estudiados en otros países.

La intensidad máxima de precipitación pluvial se utiliza como un dato importante para determinar el caudal máximo de diseño en el método racional, método Mac Math, y la fórmula de Burkli - Zieger; de los cuales el método racional es el más utilizado para cuencas menores a 1300 hectáreas.

#### **1.10.2. Importancia**

La ecuación IDT, es muy importantes para conocer la intensidad máxima de precipitación pluvial en función de la duración y periodo de retorno, que es un dato imprescindible en la estimación de caudales máximos de diseño, consecuentemente en el dimensionamiento adecuado de infraestructura hidráulica, que contribuirán en el adecuado servicio durante la vida útil de la estructura.

---

<sup>1</sup> (SENAMHI, Red de estaciones hidrometeorológicas en la región Puno, 2017) [http://www.senamhi.gob.pe/include\\_mapas/\\_dat\\_esta\\_tipo.php?estaciones=000788](http://www.senamhi.gob.pe/include_mapas/_dat_esta_tipo.php?estaciones=000788)

---

### **1.10.3. Limitaciones**

En la estación CO 788-Capachica por no presentar información pluviográfica, difícilmente puede elaborarse las curvas IDT; sin embargo, se cuenta con registro de precipitación pluvial total diario, de donde se puede obtener la precipitación máxima en 24 horas, que facilita determinar la intensidad máxima de precipitación pluvial primigenia a través del empleo de los métodos estadísticos como probabilísticos, y consecuentemente desarrollar la ecuación IDT adecuada que nos permita determinar la intensidad máxima de precipitación pluvial.



## **CAPÍTULO II:**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

###### **Tema:**

Ledezma, A. L. (2012). *Obtención de la Relación Intensidad, Duración, Frecuencia de la Precipitación en el Altiplano Central Mexicano*. Tesis de Ingeniero Civil. Universidad Autónoma de Querétaro. México.

###### **Resumen:**

Ledezma (2012), obtiene las curvas IDF para 26 estaciones climatológicas del altiplano central mexicano a partir de datos de lluvia máxima en 24 horas, mediante el ajuste de distribución Gumbel. Determinando la precipitación e intensidad de lluvia para duraciones de 5 a 120 minutos y periodo de retorno de 5 a 50 años, con la aplicación del método de Cheng. Al final presenta los promedios de precipitaciones y parámetros del método de Cheng para la obtención de las curvas IDF a nivel regional.

###### **Objetivos:**

El objetivo general es obtener la relación de intensidad, duración, frecuencia de la precipitación en el altiplano central mexicano. Y los objetivos particulares son:

- Determinar las precipitaciones máximas en 24 horas en el altiplano central mexicano.
- Encontrar la distribución de probabilidad que mejor se ajusta a los datos de lluvias máximas en 24 horas.
- Determinar los valores a, b, c de la ecuación de Cheng, correspondientes a la zona de estudio.
- Obtener las intensidades máximas de diseño para diferentes periodos de retorno.

### **Metodología:**

Aplicando el método planteado por Cheng (1983), se obtiene las curvas IDF y cuyos pasos a seguir son:

- Se determina la lluvia de una hora y periodo de retorno de dos años, utilizando como parámetros de entrada la lluvia media anual y la media anual del número de días de lluvia.
- Se obtiene el coeficiente lluvia/duración (R).
- Se calculan las magnitudes en milímetros (mm), para diferentes periodos de retorno y duraciones, con los parámetros regionales a, b, c que dependen del cociente (R).
- Las magnitudes de las láminas de precipitación se convierten a intensidades con sus respectivos periodos de retorno.

### **Conclusiones:**

De los ocho párrafos de conclusiones y recomendaciones, la más resaltante e importante es el primer párrafo como concluye, Ledezma (2012), a partir de los datos de precipitación máximas en 24 horas registrados en las 26 estaciones climatológicas que conforman la zona de estudio y empleando la metodología establecida por Cheng (1983), se pudo obtener la relación Intensidad, Duración y Frecuencia en el altiplano central mexicano, haciendo posible la estimación de intensidades máximas de precipitación, para una duración y periodo de retorno determinado. (p. 112)

“La variabilidad de las intensidades es mayor en la región correspondiente al clima templado sub húmedo, para un rango de periodos de retorno entre 2 años y 50 años y duraciones entre 5 y 120 minutos. Las menores intensidades se registran en el clima seco-semi seco, para los mismos rangos de periodos de retorno y duraciones mencionados anteriormente” (Ledezma, 2012, p. 112).

El autor manifiesta que la función de distribución de Gumbel utilizada para el diseño de las curvas IDF, resulta ser apropiada al momento de trabajar con datos extremos como es el caso de las intensidades máximas de precipitación. La estimación de parámetros de la función de distribución de probabilidad es realizada

empleando los métodos de momentos y máxima verosimilitud. Las intensidades de precipitación estimadas por los métodos mencionados no difieren de manera considerable. (Ledezma, 2012, p. 112)

El autor indica que el único inconveniente en la construcción de las curvas IDF, es la necesidad de realizar diversos muestreos para obtener curvas, donde se pueda apreciar claramente la relación de la intensidad de precipitación con la duración, y donde además se verifica que la hipótesis de que a menores duraciones, se debieran encontrar intensidades mayores. Así mismo, la forma y la tendencia de las curvas IDF, no difieren mayormente una de otra, produciéndose sólo diferencias con relación a la escala de intensidad de precipitaciones. (Ledezma, 2012, p. 113)

“Las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia de la lluvia representan una familia de curvas típicas de las relaciones Intensidad-Duración-Frecuencia, y se puede observar en dichas curvas la relación de proporcionalidad inversa entre la intensidad y la duración para cada periodo de retorno” (Ledezma, 2012, p. 113).

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

#### **Tema:**

Paredes, Pinto R. E. (2015). *Generación de intensidades de precipitación máxima en estaciones sin información pluviográfica (Cuenca del Río Illpa – Puno)*. Tesis para optar el título de ingeniero Agrícola. Universidad Nacional del Altiplano Puno. Perú.

#### **Resumen:**

Paredes (2015), en base a los datos de precipitación máxima en 24 horas, de las estaciones meteorológicas de Mañazo, Illpa, Umayo y Puno, aplicando las funciones de distribución de probabilidad log normal de 2 parámetros, log normal de 3 parámetros, log Pearson tipo III y valor extremo tipo I o Gumbel, resultándole elegida mediante la prueba de bondad de ajuste error cuadrático mínimo, Kolmogorov-Smirnov y ajuste gráfico la distribución log normal de 3 parámetros para la estación Mañazo, en la estación Illpa la distribución log normal de 2

parámetros, en la estación Umayo la distribución Gumbel y en la estación Puno log Pearson Tipo III.

El cálculo de intensidades, curvas IDF y sus respectivas ecuaciones, mediante los modelos de F. C. Bell, Dick Peschke y el método del Servicio de Conservación de Suelos (SCS). Los resultados de estos modelos presentan variaciones para intensidades menores a una hora de duración. (Paredes, 2015, p. xiv)

### **Objetivos:**

El objetivo general es generar la intensidad a partir de la precipitación máxima en 24 horas en zonas sin información pluviográfica, para contribuir en el diseño de obras hidráulicas.

Los objetivos específicos planteados son:

- Realizar el análisis estadístico de datos de precipitación en 24 horas.
- Realizar el análisis de frecuencia de la precipitación máxima en 24 horas, empleando los métodos probabilísticos y sus respectivos ajustes.
- Generar la intensidad de precipitación para diferentes duraciones y periodos de retorno.
- Determinar la ecuación de intensidad en función de la duración y periodo de retorno para la zona en estudio

### **Metodología:**

La metodología aplicada consta de ocho pasos como presenta en el capítulo III, a saber: la recopilación de información histórica de precipitación máxima en 24 horas, selección de la precipitación máxima en 24 horas, análisis de la información pluviométrica, análisis de frecuencia de las series hidrológicas, selección de la distribución de probabilidades teóricas, estimación de precipitación máxima en 24 horas, distribución de intensidad de lluvia máxima, determinación de la ecuación de intensidad-duración-frecuencia.

### **Conclusiones:**

El autor de la tesis tiene un total de cuatro conclusiones, una para cada objetivo específico de los cuales la más resaltante es la tercera y cuarta conclusión; en la

tercera conclusión, la generación de la intensidad es logrado mediante la distribución de la precipitación para diferentes duraciones y periodos de retorno a partir del método SCS del perfil de lluvia tipo II para duraciones de 1 a 24 horas y para duraciones menores a una hora mediante las ecuaciones de F. C. Bell y Dick Peschke.

En la cuarta conclusión afirma que las ecuaciones de intensidad en función de duración y periodo de retorno, se determinan mediante el análisis de correlación lineal múltiple; encontrándose diferencias entre las intensidades calculadas con las ecuaciones derivadas de Dick Peschke y F. C. Bell.

---

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Precipitación pluvial**

La precipitación pluvial es la caída libre del agua atmosférica de ocurrencia natural, en sus diversas formas y estados. Aparicio (1992) refiere que la precipitación pluvial es la fuente principal del agua de la superficie terrestre, cuya medición es el punto de inicio de la mayor parte de los estudios relacionados al uso y control del agua.

Chereque (s.f.) define que, la precipitación pluvial es toda forma de humedad, que se origina en las nubes, llegando hasta la superficie del suelo. Por lo tanto, la lluvia, la granizada, la garúa y la nevada son distintas formas de la misma ocurrencia meteorológica.

#### **2.2.1.1. Origen de la precipitación**

La precipitación proviene desde las nubes, mediante la condensación del vapor de agua, tal precipitación puede ser de distintas formas como granizo, lluvia, nieve o agua nieve.

Según Villón (2002), una nube está constituida por pequeñísimas gotas de agua, que se mantienen estables gracias a su pequeño tamaño, algunas características de las gotitas de las nubes son:

- Diámetro aproximado de las gotitas 0.02mm.
- Espaciamiento entre gotitas 1mm.
- Masa 0.5 a 1g/m<sup>3</sup>.

Por el contrario, las gotas de lluvia, tienen un diámetro de 0.5 a 2 mm, es decir, un aumento en el volumen de las gotitas de las nubes, de 100000 a 1000000 de veces.

En este sorprendente aumento, está el origen de las precipitaciones y se asume principalmente gracias a dos fenómenos:

- Unión entre sí de numerosas gotitas.

- Engrosamiento de una gota por la fusión y condensación de otras. (pp. 69-70)

### **2.2.1.2. Formas de la precipitación**

Según Villón (2002), las formas de precipitación son:

- **Llovizna**, pequeñas gotas de agua, cuyo diámetro varía 0.1 y 0.5 mm, las cuales tienen velocidades de caída muy bajas.
- **Lluvia**, gotas de agua con diámetro mayor 0.5mm.
- **Escarcha**, capa de hielo por lo general transparente y suave, pero que usualmente contiene bolsas de aire.
- **Nieve**, compuesta de cristales de hielo blanco, translúcido, principalmente en forma compleja.
- **Granizo**, precipitación en forma de bolas o formas irregulares de hielo, que se producen por nubes convectivas, pueden ser esféricos, cónicos o forma irregular, su diámetro varía entre 5 y 125mm. (p. 70)

### **2.2.1.3. Tipos de precipitación**

"Las precipitaciones se clasifican en tres grupos, según el factor responsable del levantamiento del aire que favorece el enfriamiento necesario para que se produzcan cantidades significativas de precipitación" (Chereque, s.f., p. 16).

#### **a. Precipitaciones convectivas**

Son causadas por el ascenso de aire cálido más liviano que el aire frío de los alrededores. Las diferencias de temperatura pueden ser sobre todo el resultado de calentamientos diferenciales en la superficie o en la capa superior de la capa de aire. La precipitación convectiva es puntual y su intensidad puede variar entre aquella correspondiente a lloviznas ligeras y aguaceros. (Chereque, s.f., p. 16)

#### **b. Precipitaciones orográficas**

Resultan del ascenso del aire cálido hacia una cadena de montañas. Las regiones que quedan del otro lado de las montañas pueden sufrir la ausencia de lluvias," puesto que todas las nubes son interceptadas y precipitadas en el lado de donde ellas provienen. (Chereque, s.f., p. 16)

### **c. Precipitaciones ciclónicas**

“Se producen cuando hay un encuentro de nubes de diferentes temperaturas: las más calientes son impulsadas a las partes más altas donde precipitan” (Chereque, s.f., p. 16).

“En la naturaleza, los efectos de estos tres tipos de enfriamiento están interrelacionados y la precipitación resultante no puede identificarse como de un solo tipo” (Chereque, s.f., p. 17).

#### **2.2.1.4. Medición de la precipitación**

“Fundamentalmente, existen tres tipos de instrumentos” (Chereque, s.f., p. 17).

##### **a. Pluviómetros simples**

En principio cualquier recipiente abierto de paredes verticales puede servir de pluviómetro, porque lo que interesa es retener el agua llovida para luego medirla. En el sistema métrico se mide en milímetros y décimos de milímetro. Sin embargo, es importante que las dimensiones de estos instrumentos sean normalizadas para poder comparar las medidas tomadas en diferentes localidades. (Chereque, s.f., p. 17)

El pluviómetro estándar del U.S. National Weather Service, consta de un recipiente cilíndrico (a), un embudo colector (b) de diámetro 8" y un tubo medidor (c) de área igual a un décimo del área del embudo colector; de esta manera, 1 mm de lluvia llenará el tubo medidor 10 mm con el cual se mejora la precisión de la lectura. Con una regla graduada en mm es posible estimar hasta los décimos de mm. (Chereque, s.f., p. 17)

“Cuando se espera que nieve se retiran tanto el embudo como el tubo y se recibe la nieve en el depósito cilíndrico; después que la nieve se ha fundido se vierte en el tubo medidor” (Chereque, s.f., p. 17).



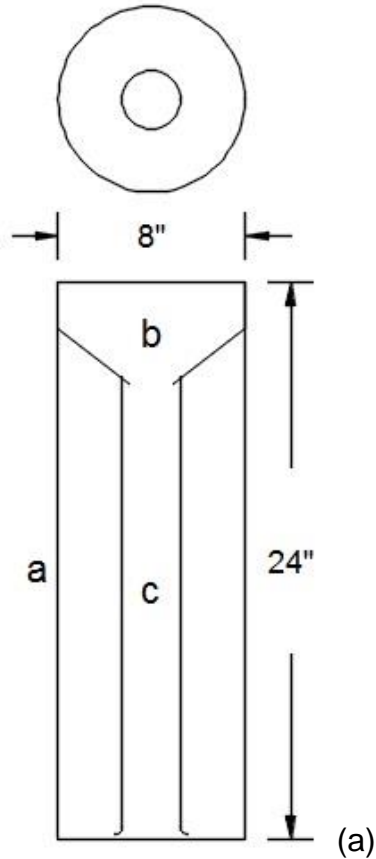


Figura 2. Esquema de pluviómetro (a), equipo pluviométrico en Capachica (b).  
Fuente: Elaboración propia en base a esquema en libro de Chereque (a), foto con permiso de SENAMHI-Puno (b).

### b. Pluviómetros registradores (pluviógrafo)

Los pluviómetros simples sólo registran la cantidad de lluvia caída; no nos dicen nada acerca de la intensidad que ella adquiere en el transcurso de la precipitación, lo cual se consigue con los pluviógrafos. La intensidad de la lluvia es un parámetro importante para el diseño de obras hidráulicas. (Chereque, s.f., p. 17)

“Básicamente, el agua es recibida por un embudo y conducida a un depósito con doble compartimiento, oscilante alrededor de un pivote” (Chereque, s.f., p. 17).

“El movimiento oscilante del depósito es transmitido a una aguja que va marcando su trazo en un papel enrollado sobre un tambor que gira gracias a

un mecanismo de relojería. El gráfico resultante recibe el nombre de pluviograma" (Chereque, s.f., p. 18).

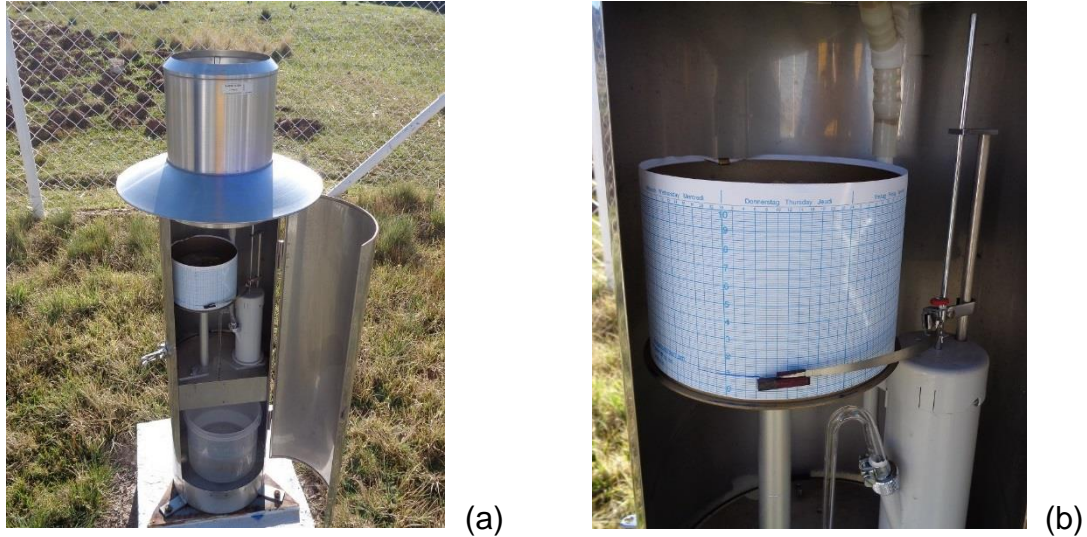


Figura 3. Pluviógrafo (a) y pluviograma (b).

Fuente: Fotografía tomada por el ejecutor, con permiso de SENAMHI-Puno.

### c. Pluviómetros totalizadores

Se utilizan cuando hay necesidad de conocer la pluviometría mensual o estacional de una zona de difícil acceso, donde sólo se va unas pocas veces al año. Estos pluviómetros acumulan el agua llovida durante un período de tiempo más o menos largo. Para proteger el agua de la congelación se usa cloruro de calcio u otro anticongelante, y para protegerla de la evaporación una capa de aceite. (Chereque, s.f., p. 18)

#### 2.2.2. Tamaño de muestra y longitud de registro

Para definir una distribución estable que permita estimar las probabilidades de advenimiento futuro de un fenómeno hidrológico, es necesario que la longitud del registro o el tamaño de la muestra sean suficientemente grandes. Sevruck y Geiger (1981) señalan que, para calcular la precipitación extrema diaria, la longitud de registro necesaria para obtener una distribución estable está relacionado con la humedad general de la región y con sus condiciones fisiográficas, que determinan

la variabilidad de la suma de las precipitaciones diarias. (Citada en OMM-N° 168, 2011 p. II.5-10)

Nuevamente Sevruk y Geiger (1981) arguyen que, "para un análisis de frecuencia de precipitación extrema, un registro de 25 años puede ser suficiente en regiones húmedas, ..., pero serán necesarios más de 50 años en otras regiones en que la precipitación presenta una fluctuación netamente periódica". Según esos factores, un registro de 40 a 50 años es, por lo general, satisfactorio para los análisis de frecuencia de precipitaciones extremas. (Citada en OMM-N° 168, 2011 p. II.5-10)

### **2.2.3. Evaluación de datos pluviométricos para el análisis de frecuencia**

El registro de medición diaria de la precipitación pluvial son datos numéricos de procedencia estocástica. Chereque (s.f.) manifiesta que, las precipitaciones medidas con pluviómetros en altura de agua varían en el tiempo y espacio. Estas medidas forman un conjunto de datos numéricos, que necesariamente deben analizarse y resumirse en valores más manejables y fáciles de utilizar en proyectos hidráulicos. Recurriendo a la estadística para determinar un modelo matemático adecuado que represente el comportamiento de la lluvia en el lugar en estudio.

"Los datos pluviométricos utilizados para los análisis de frecuencia suelen estar disponibles en series de máximos anuales, o son convertidos a este formato a partir de registros continuos de datos de precipitación horarios o diarios" (OMM-N° 168, 2011 p. II.5-17).

Dado que los datos de precipitación de lluvia son obtenidos a horas de observación fijas (por ejemplo, horas enteras), no siempre permitirán conocer las cantidades máximas verdaderas durante el período deseado. Así, por ejemplo, estudios efectuados a partir de millares de años-estación de datos de precipitación de lluvia indican que, multiplicando por 1,13 las cantidades máximas anuales de lluvia horarias o diarias de un único intervalo de observación fijo comprendido entre 1 y 24 horas, se obtendrán valores cercanos a los obtenidos mediante un análisis de máximos verdaderos. (OMM-N° 168, 2011 p. II.5-18)

Tabla 2  
 Factor de ajuste de la frecuencia de observación diaria

Número de observaciones/día	1	2	3 - 4	5 - 8	9 - 24	> 24
Factor de ajuste	1.13	1.04	1.03	1.02	1.01	1.00

Fuente: Consejo Nacional de Investigación de Canadá, 1989, (citada en OMM-N° 168, 2011 p II.5-18).

Los factores de la tabla 2, “aplicados a los resultados de un análisis de frecuencia de series máximas anuales, permitirán resolver el problema de las horas de observación fijas (Consejo Nacional de Investigación de Canadá, 1989)”, (citada en OMM-N° 168, 2011 p. II.5-18).

### 2.2.3.1. Pruebas de normalidad

Para detectar si los datos de la muestra provienen o siguen una distribución normal existen variadas pruebas estadísticas como la de Jarque-Bera, Kolmogorov-Smirnov corrección de significación de Lilliefors y de Shapiro-Wilk; también se puede detectar mediante las gráficas como los histogramas y probabilidad normal (P-P plot).

### 2.2.3.2. Diagrama o gráfico de caja

El gráfico de caja es una prueba visual que permite identificar los datos anómalos o atípicos. Esta caja está conformada por los cuartiles  $Q_1$  y  $Q_3$ , es decir, del rango intercuartil  $Q_3 - Q_1$ , y los intervalos de confianza de 5% y 95% son indicados con barras de error fuera de la caja. Aquellos valores que están fuera de los intervalos de confianza son candidatos a ser atípicos (Iglewicz y Hoaglin, 1993). (Citada por Fernández, 2015, p. 6)

$$L_I = Q_1 - (Q_3 - Q_1) \times 1.5$$

$$L_S = Q_3 + (Q_3 - Q_1) \times 1.5 \tag{2.1}$$

Donde  $L_I$ ,  $L_S$  es el valor crítico en la prueba del gráfico caja y  $Q_i$  es el cuartil  $i$ -ésimo.

### 2.2.3.3. Prueba de Grubbs de detección de datos anómalos

Los datos dudosos son definidos como datos que se alejan significativamente de la tendencia observada en la muestra. La eliminación de estos datos puede afectar la magnitud de los parámetros estadísticos, especialmente en muestras pequeñas.

La prueba de Grubbs es recomendado por la Agencia de Protección Medioambiental de los Estados Unidos (*Environmental Protection Agency – EPA*), como una prueba estadística para outliers (EPA, 1992). La EPA recomienda tomar los datos medioambientales en logaritmos, que son a menudo distribuidos log-normal. Los datos son clasificados en orden ascendente y se calcula la media y la desviación típica. Aquellos puntos más altos o más bajos pueden ser declarados estadísticamente como outlier. Esta prueba se encuentra en Barnett y Lewis, 1984. (Citada por Fernández, 2015, p. 7)

El estadístico  $z$  de prueba es:

$$z = \frac{x_i - \bar{x}}{s} \quad (2.2)$$

Donde:

$x_i$  = Es el dato en prueba.

$z$  = Estadístico de prueba.

$\bar{x}$  = Es la media de los datos.

$s$  = Es la desviación estándar.

La hipótesis nula  $H_0$ : No hay valores atípicos en los datos.

La hipótesis alternativa:  $H_1$ : El valor mínimo o máximo es un valor atípico.

El estadístico  $z$ , también denominado  $G$  es comparado con el valor crítico de  $z$  o  $G_{crítico}$  según el tamaño de la muestra y el nivel de significación  $\alpha$  seleccionado. Si el estadístico  $z$  es más grande que  $z$  crítico, la hipótesis nula es rechazada y la conclusión es que el dato analizado es un outlier.

#### 2.2.3.4. Pruebas de homogeneidad

Las características estadísticas de las series hidrológicas, como la media, desviación estándar y los coeficientes de correlación serial, se afectan cuando la serie presenta tendencia en la media o en la varianza, o cuando ocurren saltos negativos o positivos; tales anomalías son producidas por la pérdida de homogeneidad y la inconsistencia. (Escalante y Reyes, 2002, p. 129)

En general la falta de homogeneidad de los datos es inducida por las actividades humanas como la deforestación, apertura de nuevas áreas de cultivo, rectificación de cauces, construcción de embalses y reforestación. También es producto de los procesos naturales súbitos, como incendios forestales, terremotos, deslizamiento de laderas y erupciones volcánicas. (Escalante y Reyes, 2002, p. 129)

“Las pruebas estadísticas que miden la homogeneidad de una serie de datos presentan una hipótesis nula y una regla para aceptarla o rechazarla” (Escalante y Reyes, 2002, p. 129).

##### a. Prueba estadística de Helmer

Esta prueba es sencilla y consiste en analizar el signo de las desviaciones de cada evento  $X_i^j$  de la serie  $j$  para  $i = 1, 2, \dots, n_j$ , con respecto a su valor medio  $\bar{X}^j$ . Si una desviación de un cierto signo es seguida de otra del mismo signo, entonces se dice que se forma una secuencia  $S$ , de lo contrario se considera como un cambio  $C$ . (Escalante y Reyes, 2002, p. 130)

La serie se considera homogénea si se cumple

$$-\sqrt{n_j - 1} \leq (S - C) \leq \sqrt{n_j - 1} \quad (2.3)$$

##### b. Prueba estadística t de Student

“Cuando la causa probable de la pérdida de homogeneidad de la serie sea un cambio abrupto en la media, la prueba del estadístico  $t$  es muy útil” (Escalante y Reyes, 2002, p. 130).

Si se considera una serie  $X_i^j$  para  $i=1,2,\dots,n_j$ , del sitio  $j$ , la cual se divide en dos conjuntos en tamaño  $n_1 = n_2 = \frac{n_j}{2}$ , entonces, el estadístico de prueba se define con la expresión

$$t_d = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\left[ \frac{n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{1/2}} \quad (2.4)$$

Donde:

$\bar{X}_1, S_1^2$  = son la media y la varianza de la primera parte del registro de tamaño  $n_1$ .

$\bar{X}_2, S_2^2$  = son la media y la varianza de la segunda parte del registro de tamaño  $n_2$ .

El valor absoluto de  $t_d$  se compara con el valor de la distribución  $t$  de Student de dos colas y con  $\nu = n_1 + n_2 - 2$  grados de libertad y para un nivel  $\alpha = 0.05$ .

“Sí y sólo si el valor absoluto de  $t_d$  es mayor que el de la distribución  $t$  de Student, se concluye que la diferencia entre las medias es evidencia de inconsistencia y por lo tanto la serie  $P_i^j$  se considera no homogénea” (Escalante y Reyes, 2002, p. 130).

### c. Prueba estadística de Cramer

Esta prueba se utiliza con el propósito de verificar homogeneidad en el registro  $X_i^j$  de la serie  $j$  para  $i=1,2,\dots,n_j$ , y también para determinar si el valor medio no varía significativamente de un periodo de tiempo a otro. Con este

propósito se consideran tres bloques, el primero, del tamaño total de la muestra  $n_j$ ; el segundo de tamaño  $n_{60}$  (60% de los últimos valores de la muestra  $n_j$ ); y el tercero de tamaño  $n_{30}$  (30% de los últimos valores de la muestra  $n_j$ ). (Escalante y Reyes, 2002, p. 131)

La prueba compara el valor de  $\bar{X}^j$  del registro total con cada una de las medias de los bloques elegidos  $\bar{X}_{60}^j$  y  $\bar{X}_{30}^j$ . Para que se considere la serie analizada como estacionaria en la media, se deberá cumplir que no existe una diferencia significativa entre las medias de los bloques. (Escalante y Reyes, 2002, p. 131)

$$\bar{X}^j = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{X_i^j}{n_j}, \text{ para una sola muestra analizada } j = 1 \quad (2.5)$$

$$S_X^j = \left[ \frac{1}{(n_j - 1)} \cdot \sum_{i=1}^{n_j} (X_i^j - \bar{X}^j)^2 \right]^{1/2} \quad (2.6)$$

$$\bar{X}_{60}^j = \sum_{k=1}^{n_{60}} \frac{X_k^j}{n_{60}} \quad (2.7)$$

$$\bar{X}_{30}^j = \sum_{k=1}^{n_{30}} \frac{X_k^j}{n_{30}} \quad (2.8)$$

$$\tau_{60}^j = \frac{\bar{X}_{60}^j - \bar{X}^j}{S_X^j} \quad (2.9)$$

$$\tau_{30}^j = \frac{\bar{X}_{30}^j - \bar{X}^j}{S_X^j} \quad (2.10)$$

$$t_w = \left\{ \frac{n_w(n_j - 2)}{n_j - n_w [1 + (\tau_w^j)^2]} \right\}^{1/2} |\tau_w^j|, \text{ para } w = 60 \text{ y } w = 30 \quad (2.11)$$

Donde:

$\bar{X}^j$  = valor medio de la serie analizada.

$S_X^j$  = desviación típica.

$\bar{X}_{60}^j, \bar{X}_{30}^j$  = medias de las sub muestras de 60% y 30% de los datos.



$\tau_{60}^j, \tau_{30}^j$  = estadísticos de cada una de las sub muestras.

$t_w$  = estadístico de la prueba para cada una de las sub muestras (30 y 60%).

El estadístico  $t_w$  tiene distribución  $t$  de Student de dos colas con  $\nu = n_1 + n_2 - 2$  grados de libertad y para un nivel  $\alpha = 0.05$ .

Sí y sólo si el valor absoluto de  $t_w$ , para  $w = 60$  y  $w = 30$ , es mayor que el de la distribución  $t$  de Student, se concluye que la diferencia entre las medias es evidencia de inconsistencia y por lo tanto la serie  $X_i^j$  se considera no homogénea. (Escalante y Reyes, 2002, p. 131)

### 2.2.3.5. Pruebas de independencia

#### a. Prueba de independencia de Anderson

Para que se pueda llevar a cabo el análisis de frecuencia se requiere que la muestra  $X_i^j$  de la serie  $j$  para  $i = 1, 2, \dots, n_j$ , este compuesta por variables aleatorias. Para probarlo se aplica la prueba de independencia de Anderson (Salas et al., 1988), la cual hace uso del coeficiente de autocorrelación serial  $r_k^j$  para diferentes tiempos de retraso  $k$ . Si se analiza un solo registro, entonces  $j = 1$ . (Escalante y Reyes, 2002, p. 132)

La expresión para obtener el coeficiente de autocorrelación serial de retraso  $k$  es:

$$r_k^j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j-k} (X_i^j - \bar{X}^j)(X_{i+k}^j - \bar{X}^j)}{\sum_{i=1}^{n_j} (X_i^j - \bar{X}^j)^2}; \text{ para } r_0^j = 1 \text{ y } k = 1, 2, \dots, \frac{n_j}{3} \quad (2.12)$$

Donde:

$$\bar{X}^j = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{X_i^j}{n_j} \quad (2.13)$$

Además, los límites al 95% de confianza para  $r_k^j$  se puede obtener como

$$r_k^j(95\%) = \frac{-1 \pm 1.96\sqrt{(n_j - k - 1)}}{n_j - k} \quad (2.14)$$

“La gráfica de los valores estimados para  $r_k^j$  (ordenadas) contra los tiempos de retraso  $k$  (abscisas), junto con sus correspondientes límites de confianza, se llama correlograma de la muestra” (Escalante y Reyes, 2002, p. 132).

“Sí sólo el 10% de los valores  $r_k^j$  sobrepasan los límites de confianza se dice que la serie  $X_i^j$  es independiente y por lo tanto es una variable que sigue las leyes de la probabilidad” (Escalante y Reyes, 2002, p. 132).

#### b. Prueba de independencia corrida de Wald-Wolfowitz

En general suele suponerse que los datos recolectados en un estudio constituyen una muestra aleatoria, de modo que cada observación o medida es tomada de la población de manera aleatoria e independiente. Tal suposición, sin embargo, puede ser probada mediante el empleo de un procedimiento no paramétrico conocido como prueba de corridas de una muestra de Wald-Wolfowitz. Este procedimiento no paramétrico no está relacionado con la prueba de cualquier parámetro en particular y, por tanto, no tiene una contraparte paramétrica. Los procedimientos estadísticos paramétricos consisten en la aplicación de ecuaciones matemáticas que tienen como condición necesaria la existencia de una particular y reconocida distribución de la población. Berenson y Levine (citada por Ganancias, 2010, p. 47)

Para probar la aleatoriedad, la hipótesis nula es:

$H_0$ : El proceso que genera el conjunto de datos numéricos es aleatorio.

Y la hipótesis alternativa:

*H<sub>1</sub>: El proceso que genera el conjunto de datos numéricos no es aleatorio.*

La hipótesis nula, de aleatoriedad, puede probarse mediante la observación del orden o de la secuencia en que se obtienen los elementos de la muestra. Si a cada elemento se le asigna uno de los términos, como E y F (por éxito y fracaso), dependiendo de si la medida es mayor o menor a un cierto valor, la aleatoriedad de la secuencia puede ser investigada. Si ésta es generada de manera aleatoria, el valor (E o F) de un elemento será independiente tanto de su posición en la secuencia como del valor de los elementos que le preceden. Por otra parte, si el valor de un elemento de la secuencia es afectado por los valores de los demás elementos, o si la probabilidad de su ocurrencia depende de su posición en la secuencia, el proceso que la genera no es considerado aleatorio.

En los casos no aleatorios los elementos parecidos tenderán a agruparse (del mismo modo que cuando existe una tendencia presente en los datos) o se mezclarán de manera alternada, de modo que se presentaría algún efecto sistemático.

Para estudiar, si una secuencia observada es aleatoria o no, se considera como estadístico de prueba al número de corridas presentes en los datos. Una corrida se define como una serie consecutiva de elementos similares que están limitados por elementos de un tipo diferente o por el inicio o fin de la secuencia.

### **Procedimiento de la prueba**

El siguiente procedimiento es extraído de la tesis de maestría de Ganancias Martínez, Facundo Matías, (2010, pp. 47-48).

Para probar la hipótesis nula de aleatoriedad, es necesario dividir el tamaño completo de la muestra:  $n$ , en dos partes:  $n_1$  (el número de éxitos, o de valores

superiores al valor de referencia) y  $n_2$  (el número de fracasos, o de valores inferiores al valor de referencia).

La estadística de prueba, es representada por la letra Z, para una prueba de dos colas, si se está interesado en probar la aleatoriedad contra una alternativa específica de un efecto de tendencia (de que hay una tendencia de agrupamiento de los elementos parecidos), se necesita una prueba de una cola. En el otro extremo, si se está interesado en probar la aleatoriedad contra un efecto sistemático o periódico, se utiliza una prueba de una cola que rechaza la hipótesis nula sólo si se presentan numerosas corridas.

Independientemente si la prueba es de una cola o de dos colas, para una muestra de tamaño  $n$ , mayor a 40, el estadístico Z está distribuido de manera aproximadamente normal.

La ecuación para determinar el valor del estadístico Z, se presenta a continuación.

$$Z = \frac{R - \mu_R}{\sigma_R} \quad (2.15)$$

Donde:

R = número total de corridas observadas.

$\mu_R$  = valor medio de R.

$\sigma_R$  = desviación estándar de R.

$$\mu_R = \frac{2 \cdot n_1 \cdot n_2}{n} + 1 \quad (2.16)$$

La desviación estándar de R es dada por

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{(\mu_R - 1)(\mu_R - 2)}{n - 1}} \quad (2.17)$$

El valor del estadístico Z obtenido por el procedimiento indicado, se contrasta con el valor de la tabla de la distribución normal estándar para un cierto nivel de significancia establecido, y como fue indicado previamente, si se encuentra comprendido entre los límites de tabla, se dice que las variables que integran la serie son aleatorias; de lo contrario se rechaza tal afirmación.

### 2.2.3.6. Prueba de estacionalidad de Mann-Kendall

“La prueba de Mann-Kendall es una prueba no paramétrica basada en la correlación de rango que permite evaluar el significado de una tendencia” (citada en OMM-N° 168, 2011 p. II.5-8).

“Este test ha sido ampliamente aplicado en estudios de identificación de tendencias en series hidrometeorológicas y otras series ambientales” (Muñoz, 2008, p. 18).

Según Muñoz (2008, pp. 18-19) resume su desarrollo como:

- a. Se listan los valores de las variables (precipitación por ejemplo), de forma ordenada  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ .
- b. Se obtiene el signo de la diferencia de cada par de valores al comparar sus magnitudes  $(x_j - x_k)$  con  $(j > k)$  de acuerdo con lo siguiente:

$$\text{signo}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & \text{si } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{si } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{si } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (2.18)$$

- c. Obtención del estadístico  $S$  de Mann-Kendall, mediante la ecuación:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{signo}(x_j - x_k) \quad (2.19)$$

Si  $S$  es positivo se infiere de forma subjetiva que la tendencia es creciente, cuando  $S$  es negativo se infiere que hay tendencia decreciente.

- d. Con base a los indicadores se estima una varianza para el estadístico  $S$  de Mann-Kendall, que considera el caso de los empates (*signo*  $x_j - x_k = 0$ ) obtenidos en el paso b, mediante la ecuación:

$$Var[S] = \frac{1}{18} \left[ n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \quad (2.20)$$

- e. Cálculo del estadístico  $Z_{MK}$  mediante:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{[Var(S)]^{1/2}} & si \ S > 0 \\ 0 & si \ S = 0 \\ \frac{S+1}{[Var(S)]^{1/2}} & si \ S < 0 \end{cases} \quad (2.21)$$

- f. A partir del estadístico  $Z$  se evalúa la hipótesis de interés, que puede ser:

- $H_0$ : No hay tendencia vs.  $H_1$ : Hay tendencia decreciente
- $H_0$ : No hay tendencia vs.  $H_1$ : Hay tendencia creciente

El test de Mann-Kendall nos proporciona un valor de significancia *p*-valor, así un valor de *p*-valor inferior a 0.05 - 0.1 nos garantiza que la hipótesis adoptada tiene unas altas garantías de veracidad; a medida que este valor se hace más grande, las probabilidades van disminuyendo; hasta que llegando a un valor de 1, la probabilidad es nula. (Muñoz, 2008, p. 19)

#### 2.2.4. Análisis de frecuencia usando factores de frecuencia

Los eventos extremos de mayor magnitud ocurren con menor frecuencia. "El objetivo del análisis de frecuencia de información hidrológica es relacionar la magnitud de los eventos extremos con su frecuencia de ocurrencia mediante el uso de distribuciones de probabilidad" (Chow et al., 1994, p. 391).

## Factor de frecuencia

Para las distribuciones como: distribución Normal, distribución Log Normal 2 Parámetros, distribución Log Normal 3 Parámetros, distribución Gamma 2 Parámetros, distribución Gamma 3 Parámetros y distribución Log Pearson Tipo III; el factor de frecuencia para una probabilidad acumulada  $0 < p \leq 0.5$  es:

$$U_T \approx v - \frac{b_0 + b_1v + b_2v^2}{1 + b_3v + b_4v^2 + b_5v^3} \quad (2.22)$$

Donde:

$$\begin{aligned} b_0 &= 2.515517 & b_1 &= 0.802853 & b_2 &= 0.010328 \\ b_3 &= 1.432788 & b_4 &= 0.189269 & b_5 &= 0.001308 \end{aligned}$$

$$v = \sqrt{\ln \left\{ \frac{1}{p^2} \right\}} \quad (2.23)$$

Para una probabilidad acumulada  $0.5 < p \leq 1$  se cambia  $p$  por  $[1-p]$  en la expresión (2.23) y se le cambia el signo al valor  $U_T$  calculado con la ecuación (2.22).

### 2.2.4.1. Distribución Normal

La distribución Normal presenta la función de densidad de probabilidad siguiente:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{x-\mu}{\sigma}\right]^2} \quad (2.24)$$

Los parámetros  $\mu$  y  $\sigma$  que son de ajuste de esta distribución se podrán obtener mediante los estimadores de parámetros por Momentos, Máxima Verosimilitud y Momentos L.

Donde:

$\mu$  = parámetro de ubicación.

$\sigma$  = parámetro de escala.

$x$  = variable independiente.

La variable normal estándar  $z$  está dada por:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (2.25)$$

Los eventos de diseño para esta distribución se obtienen con la siguiente expresión:

$$X_T = \mu + \sigma \cdot U_T \quad (2.26)$$

#### a. Estimadores por Momentos y Máxima Verosimilitud

$$\mu = \bar{x} \quad (2.27)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (2.28)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.29)$$

#### b. Estimadores por Momentos-L

“Los Momentos-L son análogos a los convencionales, sin embargo, tienen cierta ventaja sobre ellos, ya que son capaces de caracterizar a un mayor número de distribuciones, además de estar virtualmente libres de sesgo aún para muestra pequeñas” Hosking (citada por Escalante y Reyes, 2002, p. 35).

$$\mu = \lambda_1 \quad (2.30)$$

$$\sigma = 1.772\lambda_2 \quad (2.31)$$



“Los momentos-L pueden estimarse en función de los momentos de probabilidad pesada MPP” (Escalante y Reyes, 2002, p. 35). Por lo que los primeros cuatro momentos-L son:

$$\lambda_1 = M_{(0)} = \bar{x} \quad (2.32)$$

$$\lambda_2 = 2 \cdot M_{(1)} - M_{(0)} \quad (2.33)$$

$$\lambda_3 = 6 \cdot M_{(2)} - 6 \cdot M_{(1)} + M_{(0)} \quad (2.34)$$

$$\lambda_4 = 20 \cdot M_{(3)} - 30 \cdot M_{(2)} + 12 \cdot M_{(1)} - M_{(0)} \quad (2.35)$$

#### 2.2.4.2. Distribución Log Normal 2 Parámetros

La función de densidad de probabilidad de la distribución Log Normal 2 parámetros es:

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{\ln(x)-\mu_y}{\sigma_y}\right]^2}, \text{ para } 0 < x < \infty \quad (2.36)$$

Cuando  $x < 0$ ,  $f(x) = 0$

$$y = \ln x \quad (2.37)$$

Donde:

$x$  = variable hidrológica en estudio.

$\mu_y$  = parámetro de ubicación.

$\sigma_y$  = parámetro de escala.

La variable normal estándar  $z$  está dada por:

$$z = \frac{\ln(x) - \mu_y}{\sigma_y} \quad (2.38)$$

Para la estimación de la precipitación se tiene:

$$X_T = e^{(\mu_y + U_T \cdot \sigma_y)} \quad (2.39)$$

#### a. Estimadores por Momentos y Máxima Verosimilitud

$$\mu_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i \quad (2.40)$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\ln x_i - \mu_y)^2 \quad (2.41)$$

#### b. Estimadores por Momentos-L

Para estimar los parámetros  $\mu_y$  y  $\sigma_y$ , se aplica las ecuaciones (2.30) y (2.31).

#### 2.2.4.3. Distribución Log Normal 3 Parámetros

La distribución Log Normal 3 parámetros presenta la función densidad:

$$f(x) = \frac{1}{(x - x_0) \sigma_y \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left[ \frac{\ln(x-x_0) - \mu_y}{\sigma_y} \right]^2}, \text{ para } x_0 \leq x < \infty \quad (2.42)$$

Donde:

$x_0$  = parámetro de ubicación en el dominio  $x$ .

$\mu_y$  = parámetro de escala en el dominio  $x$ .

$\sigma_y$  = parámetro de forma en el dominio  $x$ .

La variable normal estándar  $z$  está dada por:

$$z = \frac{\ln(x - x_0) - \mu_y}{\sigma_y} \quad (2.43)$$

Para la estimación de la precipitación se tiene:

$$X_T = x_0 + e^{(\mu_y + U_T \cdot \sigma_y)} \quad (2.44)$$

#### a. Estimadores por Momentos

$$x_0 = \bar{x} \cdot \left(1 - \frac{n_x}{n_z}\right) \quad (2.45)$$

$$n_x = \frac{S}{x} \quad (2.46)$$

$$n_z = \frac{1 - w^{2/3}}{w^{1/3}} \quad (2.47)$$

$$w = \frac{(g^2 + 4)^{1/2} - g}{2} \quad (2.48)$$

$$\mu_y = \ln\left(\frac{S}{n_z}\right) - \frac{1}{2} \cdot \ln(n_z^2 + 1) \quad (2.49)$$

$$\sigma_y = [\ln(n_z^2 + 1)]^{1/2} \quad (2.50)$$

Varianza insesgada

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (2.51)$$

Desviación estándar insesgada

$$S = \sqrt{S^2} \quad (2.52)$$

Coefficiente de asimetría insesgada

$$g = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)(S)^3} \quad (2.53)$$

En el análisis hidrológico se recomienda el uso de los estadísticos insesgados, ya que generalmente se trabaja con muestras relativamente pequeñas.

#### b. Estimadores por Máxima Verosimilitud

$$\mu_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i - x_0) \quad (2.54)$$

$$\sigma_y = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\ln(x_i - x_0) - \mu_y]^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.55)$$

El estimador  $x_0$  se puede estimar realizando la iteración de la siguiente expresión:

$$F(x_0) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{(x_i - x_0)} (\mu_y - \sigma_y^2) - \sum_{i=1}^n \left\{ \left[ \frac{1}{(x_i - x_0)} \right] \ln(x_i - x_0) \right\} = 0 \quad (2.56)$$

Donde:

$\mu_y$  = parámetro de escala, igual al promedio de los  $\ln(x - x_0)$ .

$\sigma_y$  = parámetro de forma, igual a la desviación estándar de los  $\ln(x - x_0)$ .

#### 2.2.4.4. Distribución Gamma 2 Parámetros

La función de densidad es:

$$f(x) = \frac{x^{\beta-1} e^{-\frac{x}{\alpha}}}{\alpha^{\beta} \Gamma(\beta)} \quad (2.57)$$

Válido para:  $0 \leq x < \infty$ ,  $0 < \alpha < \infty$ ,  $0 < \beta < \infty$

Donde:

$\alpha$  = parámetro de escala.

$\beta$  = parámetro de forma.

$\Gamma(\beta)$  = función Gamma completa.

La variable normal estándar z está dada por la siguiente expresión:

$$z = \frac{\sqrt[3]{\frac{x_i}{\alpha \cdot \beta} - 1} - \frac{1}{9 \cdot \beta}}{\sqrt{\frac{1}{9 \cdot \beta}}} \quad (2.58)$$

Los eventos de diseño para esta distribución Gamma 2 parámetros se obtienen con la siguiente expresión:

$$X_T = \alpha \cdot \beta \cdot \left[ 1 - \frac{1}{9\beta} + U_T \sqrt{\frac{1}{9\beta}} \right]^3 \quad (2.59)$$

##### a. Estimadores por Momentos

$$\alpha = \frac{S^2}{\bar{x}} \quad (2.60)$$

$$\beta = \left( \frac{\bar{x}}{S} \right)^2 \quad (2.61)$$

## b. Estimadores por Máxima Verosimilitud

$$\alpha = \frac{\bar{x}}{\beta} \quad (2.62)$$

El estimador  $\beta$  se obtiene al resolver

$$F(\beta) = \mu_y - \ln(\mu_x) + \ln(\beta) - \psi(\beta) = 0 \quad (2.63)$$

Empleando como valor inicial del parámetro  $\beta$ .

$$\beta = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4}{3}C}}{4C} \quad (2.64)$$

$$C = \ln(\bar{x}) - \bar{y} \quad (2.65)$$

La aproximación de la función digamma de  $\beta$  es:

$$\psi(\beta) = \ln(\beta + 2) - \frac{1}{2(\beta + 2)} - \frac{1}{12(\beta + 2)^2} + \frac{1}{120(\beta + 2)^4} - \frac{1}{252(\beta + 2)^6} - \frac{1}{(\beta + 1)} - \frac{1}{\beta} \quad (2.66)$$

## c. Estimadores por Momentos-L

$$\tau_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad (2.67)$$

Para  $0 \leq \tau_2 < 0.5$

$$t = \pi \cdot (\tau_2)^2 \quad (2.68)$$

$$\beta = \frac{1 - 0.308 \cdot t}{t - 0.05812 \cdot t^2 + 0.01765 \cdot t^3} \quad (2.69)$$

Para  $0.5 \leq \tau_2 < 1$

$$t = 1 - \tau_2 \quad (2.70)$$

$$\beta = \frac{0.7213 \cdot t - 0.5947 \cdot t^2}{t - 2.1817 \cdot t + 1.2113 \cdot t^2} \quad (2.71)$$

El estimador  $\alpha$ , se calcula con la ecuación (2.62).

#### 2.2.4.5. Distribución Gamma 3 Parámetros

Denominada también distribución Pearson Tipo III, su función de densidad es:

$$f(x) = \frac{(x - x_0)^{\beta-1} e^{-\frac{(x-x_0)}{\alpha}}}{\alpha^\beta \Gamma(\beta)} \quad (2.72)$$

Válido para:  $x_0 \leq x < \infty$ ,  $-\infty < x_0 < \infty$ ,  $0 < \alpha < \infty$ ,  $0 < \beta < \infty$

Donde:

$x_0$  = origen de la variable  $x$ , parámetro de ubicación.

$\alpha$  = parámetro de escala.

$\beta$  = parámetro de forma.

$\Gamma(\beta)$  = función Gamma completa.

La variable normal estándar  $z$  está dada por la siguiente expresión:

$$z = \frac{\sqrt[3]{\frac{x_i - x_0}{\alpha \cdot \beta}} - 1 + \frac{1}{9 \cdot \beta}}{\sqrt{\frac{1}{9 \cdot \beta}}} \quad (2.73)$$

Los eventos de diseño para esta distribución Gamma 3 parámetros se obtienen con la siguiente expresión:

$$X_T = x_0 + \alpha \cdot \beta \cdot \left[ 1 - \frac{1}{9\beta} + U_T \sqrt{\frac{1}{9\beta}} \right]^3 \quad (2.74)$$

### a. Estimador por Momentos

$$\beta = \frac{4}{g^2} \quad (2.75)$$

$$\alpha = \frac{S}{\sqrt{\beta}} \quad (2.76)$$

$$x_0 = \bar{x} - S\sqrt{\beta} \quad (2.77)$$

### b. Estimadores por Máxima Verosimilitud

$$\alpha = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_0) - \frac{n}{\sum_{i=1}^n \left[ \frac{1}{(x_i - x_0)} \right]} \quad (2.78)$$

$$\beta = \frac{1}{n^2} \frac{1}{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_0) \sum_{i=1}^n \left[ \frac{1}{(x_i - x_0)} \right]}{n^2}} \quad (2.79)$$

El estimador  $x_0$  se obtiene al resolver

$$F(x_0) = \sum_{i=1}^n \ln(x_i - x_0) - n \ln(\alpha) - n\psi(\beta) = 0 \quad (2.80)$$



### c. Estimadores por Momentos de Probabilidad Pesada (MPP)

En esta investigación se usó los "estimadores por momentos de probabilidad pesada (Jing et al, 1989)" (citada por Escalante y Reyes, 2002, p. 57).

"Si  $M_{1,0,k} = M_k$  se puede obtener un estimador no sesgado para  $M_k$  y  $k =$  entero no negativo si  $x_i, i = 1, \dots, n$  son los valores ordenados de mayor a menor" Greenwood et al, (1979) (citada por Escalante y Reyes, 2002, p. 31) como:

$$M_{(0)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.81)$$

$$M_{(1)} = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} x_i (n-i) \quad (2.82)$$

$$M_{(2)} = \frac{1}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^{n-2} x_i (n-i)(n-i-1) \quad (2.83)$$

$$M_{(3)} = \frac{1}{n(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^{n-3} x_i (n-i)(n-i-1)(n-i-2) \quad (2.84)$$

$$R = \frac{M_{(2)} - (M_{(0)}/3)}{M_{(1)} - (M_{(0)}/2)} \quad (2.85)$$

$$CS = -20.15278973 + 20.04052245 \cdot R \quad (2.86)$$

Si  $R < 0$  entonces  $CS = -CS$

$$H = -6.528013777 + 9.695774 \cdot R \quad (2.87)$$

$$CV = H \left[ \left( \frac{M_{(1)}}{M_{(0)}} \right) - 0.5 \right] \quad (2.88)$$

$$SD = H \left[ M_{(1)} - \left( \frac{M_{(0)}}{2} \right) \right] \quad (2.89)$$

$$\alpha = \frac{[(|CS|/CS)SD]}{\sqrt{\beta}} \quad (2.90)$$

$$\beta = \frac{4}{(CS)^2} \quad (2.91)$$

$$x_0 = M_{(0)} - \alpha \cdot \beta \quad (2.92)$$

#### 2.2.4.6. Distribución Log Pearson Tipo III

Se dice que una variable aleatoria  $x$ , tiene una distribución log Pearson Tipo III, si su función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{(\ln x - y_0)^{\beta-1} e^{-\frac{\ln x - y_0}{\alpha}}}{x \alpha^\beta \Gamma(\beta)} \quad (2.93)$$

Para:  $y_0 \leq x < \infty$ ,  $-\infty < y_0 < \infty$ ,  $0 < \alpha < \infty$ ,  $0 < \beta < \infty$

Donde:

$y_0$  = parámetro de ubicación.

$\alpha$  = parámetro de escala.

$\beta$  = parámetro de forma.

$\Gamma(\beta)$  = función Gamma completa

La variable normal estándar  $z$  está dada por:

$$z = \frac{\sqrt[3]{\frac{\ln(x_i) - y_0}{\alpha \cdot \beta}} - 1 + \frac{1}{9 \cdot \beta}}{\sqrt{\frac{1}{9 \cdot \beta}}} \quad (2.94)$$

Para la estimación de la precipitación se tiene la siguiente expresión:

$$X_T = e^{\left( y_0 + \alpha \cdot \beta \cdot \left( 1 - \frac{1}{9\beta} + U_T \sqrt{\frac{1}{9\beta}} \right)^3 \right)} \quad (2.95)$$

**a. Estimadores por Momentos (método indirecto)**

$$\beta = \frac{4}{s_y^2} \quad (2.96)$$

$$\alpha = \frac{S_y}{\sqrt{\beta}} \quad (2.97)$$

$$y_0 = \bar{y} - S_y \sqrt{\beta} \quad (2.98)$$

**b. Estimadores por Máxima Verosimilitud**

$$\alpha = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\ln(x_i) - y_0] - \frac{n}{\sum_{i=1}^n \left[ \frac{1}{\ln(x_i) - y_0} \right]} \quad (2.99)$$

$$\beta = \frac{1}{n^2 \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [\ln(x_i) - y_0] \cdot \sum_{i=1}^n \left[ \frac{1}{\ln(x_i) - y_0} \right]}{n} \right)} \quad (2.100)$$

El estimador  $y_0$  se obtiene al resolver la siguiente ecuación:

$$F(y_0) = \sum_{i=1}^n \ln[\ln(x_i) - y_0] - n \cdot \ln(\alpha) - n \cdot \Psi(\beta) = 0 \quad (2.101)$$

### 2.2.4.7. Distribución Gumbel

La distribución Gumbel o también llamada distribución de Valor Extremo Tipo I, presenta la función de distribución de probabilidad:

$$F(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}} \quad (2.102)$$

La función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)} e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}, \text{ para } -\infty < x < \infty \quad (2.103)$$

Donde:

$0 < \alpha < \infty$ , es el parámetro de escala.

$-\infty < u < \infty$ , es el parámetro de ubicación, llamado también valor central o moda.

La variable reducida Gumbel, se define como:

$$y = \frac{x-u}{\alpha} \quad (2.104)$$

Para la estimación de la precipitación se tiene la siguiente expresión:

$$X_T = u - \alpha \cdot \ln[-\ln(1-1/T)] \quad (2.105)$$

La estimación de la precipitación de esta distribución, además de los parámetros de ubicación y de escala, está en función de la probabilidad de no excedencia y, ésta en función del periodo de retorno o probabilidad acumulada, como:

$$q = 1 - \frac{1}{T} = 1 - p \quad (2.106)$$

**a. Estimadores por Momentos**

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} S \quad (2.107)$$

$$u = \bar{x} - 0.577216 \cdot \alpha \quad (2.108)$$

**b. Estimadores por Máxima Verosimilitud**

Considerando la variable reducida Gumbel (2.104) se tiene el siguiente proceso iterativo:

$$P = n - \sum_{i=1}^n e^{-y_i} \quad (2.109)$$

$$R = n - \sum_{i=1}^n y_i + \sum_{i=1}^n y_i \cdot e^{-y_i} \quad (2.110)$$

Los criterios de convergencia de la iteración son dados por las siguientes ecuaciones:

$$\frac{P}{\alpha} \cong 0 \quad (2.111)$$

$$\frac{-R}{\alpha} \cong 0 \quad (2.112)$$

Los incrementos se determinan con las ecuaciones:

$$\delta_{u_j} = (1.11 \cdot P_j - 0.26 \cdot R_j) \frac{\alpha_i}{n} \quad (2.113)$$

$$\delta_{\alpha_j} = (0.26 \cdot P_j - 0.61 \cdot R_j) \frac{\alpha_i}{n} \quad (2.114)$$

A partir de los incrementos se calculan los nuevos valores con las ecuaciones:

$$u_{j+1} = u_j + \delta_{u_j} \quad (2.115)$$

$$\alpha_{j+1} = \alpha_j + \delta_{\alpha_j} \quad (2.116)$$

### c. Estimadores por Momentos-L

$$\alpha = \frac{\lambda_2}{\ln(2)} \quad (2.117)$$

$$u = \lambda_1 - 0.577216 \cdot \alpha \quad (2.118)$$

#### 2.2.4.8. Distribución Log Gumbel

La distribución Log Gumbel, presenta la función de distribución de probabilidad:

$$F(x) = e^{-e^{-\left(\frac{\ln(x)-u}{\alpha}\right)}} \quad (2.119)$$

La función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} e^{-\left(\frac{\ln(x)-u}{\alpha}\right)} e^{-e^{-\left(\frac{\ln(x)-u}{\alpha}\right)}}, \text{ para } -\infty < x < \infty \quad (2.120)$$

Donde:

$0 < \alpha < \infty$ , es el parámetro de escala.

$-\infty < u < \infty$ , es el parámetro de ubicación, llamado también valor central o moda.

La variable reducida Log Gumbel, se define como:

$$y = \frac{\text{Ln}(x) - u}{\alpha} \quad (2.121)$$

Para la estimación de la precipitación se tiene la siguiente expresión:

$$X_T = e^{u - \alpha \cdot \ln[-\ln(1-1/T)]} \quad (2.122)$$

#### d. Estimadores por Momentos

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \sigma_y \quad (2.123)$$

$$u = \mu_y - 0.577216 \cdot \alpha \quad (2.124)$$

Donde  $\mu_y$  es la media aritmética de los valores logarítmicos de  $x$ , y  $\sigma_y$  es la desviación estándar también de los valores logarítmicos de  $x$ .

#### e. Estimadores por Máxima Verosimilitud

Considerando la variable reducida Log Gumbel (2.121) se realiza lo mismo que en la distribución Gumbel.

#### f. Estimadores por Momentos-L

El parámetro  $\alpha$  se calcula con la ecuación (2.117), con la diferencia de  $\lambda_2$  es obtenida a partir de valores logarítmicos de  $x$ .

El parámetro de ubicación  $u$  se determina con la ecuación (2.124).

### 2.2.5. Selección de la función de distribución de probabilidad

La selección de la función de distribución de probabilidad acertada, se realiza mediante métodos y pruebas apropiadas para este fin, porque, "una selección apresurada de cualquiera de las funciones podría traducirse en una estructura sobre diseñada y costosa o sub diseñada y peligrosa. Por ello, se debe seleccionar la función con cuidado" (Aparicio, 1992, p. 270).

### 2.2.5.1. Ajuste gráfico

Aparicio (1992) refiere que, el ajuste gráfico para seleccionar la función de distribución de probabilidad, es el método a priori y que consiste sencillamente en inspeccionar la gráfica de los valores observados con los valores estimados mediante las diferentes funciones. La función de distribución de probabilidad a seleccionar será la que se aproxime visualmente mejor a los datos observados.

En algunas oportunidades este método se usa, incluso, para ajustar las funciones de distribución de probabilidad a los datos observados, graficando en un papel adecuado para cada función, escogiendo aquella función, que el conjunto de puntos graficados se asemeje a una línea recta y para hacer las extrapolaciones se proyecta esa línea recta. (Aparicio, 1992)

Este método presenta un alto grado de subjetividad y, usado separadamente, puede resultar un tanto peligroso. Empero, es muy ilustrativo visualmente y es aconsejable usar con otros métodos. Si un ingeniero con experiencia lo aplica, puede ser el mejor de otros métodos. (Aparicio, 1992)

### 2.2.5.2. Método del error estándar de ajuste

Este método fue propuesto por Kite (1988) como, "un estadístico que permite seleccionar la mejor opción, entre diferentes modelos en competencia, para el ajuste de una muestra de datos  $P_i^j$  para  $i = 1, 2, \dots, n_j$ , de un sitio  $j$ " (citada por Escalante y Reyes, 2002, p. 133).

Este estadístico es conocido como el error estándar de ajuste, y se calcula con

$$EE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^{n_j} (Xe_i - Xo_i)^2}{n_j - mp} \right]^{1/2} \quad (2.125)$$



Donde:

$X_{e_i}$  = evento estimado por cierta distribución de probabilidad para cada periodo de retorno T asignado a la muestra ordenada  $X_{o_i}$ .

$X_{o_i}$  = evento observado, ordenados de mayor a menor con un periodo de retorno asignado  $T = \frac{n_j + 1}{m}$  y una probabilidad de no excedencia  $q = 1 - \frac{1}{T}$ .

$n_i$  = longitud en años del registro analizado.

$m$  = número de orden del registro.

$m = 1$  para el evento más grande.

$m = n_j$  para el evento más chico.

$mp$  = número de parámetros de la distribución ajustada.

$mp = 1$  para la distribución exponencial-1.

$mp = 2$  para la Normal, Log Normal-2, exponencial-2, Gamma-2, Gumbel y Log Gumbel.

$mp = 3$  para la Log Normal-3, Gamma-3, Log Pearson III, GVE.

“La distribución de mejor ajuste será aquella que proporcione el mínimo valor del estadístico EE. Si una o más distribuciones tienen valores similares del EE, entonces, se deberá optar por aquella distribución que tenga el menor número de parámetros” (Kite, 1988) (citada por Escalante y Reyes, 2002, p. 113).

### 2.2.5.3. Prueba de ajuste Chi cuadrado

La prueba Chi-cuadrado se basa en el cálculo de frecuencias, tanto de valores observados, como valores esperados, para un número determinado de intervalos. Esta prueba es comúnmente usada, para verificar la bondad de ajuste de la distribución empírica a una distribución teórica conocida, fue propuesta por Karl Pearson en 1900. (Citada por Villón, 2002, p. 144).

La expresión general de la prueba de Chi-cuadrado está dada por:

$$\chi_c^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i} \quad (2.126)$$

Donde:

$$\sum_{i=1}^k o_i = \sum_{i=1}^k e_i = N$$

$o_i$  = número de valores observados en el intervalo de clase  $i$ .

$e_i$  = número de valores esperados en el intervalo de clase  $i$ .

$k$  = número de intervalos de clase.

$e_i$  se calcula como (Aparicio, 1997, p. 276):

$$e_i = n[F(S_i) - F(I_i)], \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (2.127)$$

Donde:

$F(S_i)$  es la función de distribución de probabilidad en el límite superior del intervalo  $i$ .

$F(I_i)$  es la misma función en el límite inferior.

$n$  es el número de eventos.

Una vez calculado el parámetro  $\chi^2_c$  para cada función de distribución considerada, se determina el valor de una variable aleatoria con distribución  $\chi^2$  para  $\nu = k - 1 - h$  grados de libertad y un nivel de significación  $\alpha$ , donde  $h$  es el número de parámetros estimados. (Aparicio, 1997, p. 276)

El criterio de decisión se fundamenta en comparar el valor calculado de Chi-cuadrado con el valor tabular, y debe cumplir:

- Si el Chi-cuadrado calculado es menor o igual que el valor tabular,  $\chi_c^2 \leq \chi_t^2$  entonces, se acepta la hipótesis que el ajuste es bueno al nivel de significación seleccionado.
- Si el Chi-cuadrado calculado es mayor que el valor tabular,  $\chi_c^2 > \chi_t^2$  entonces, el ajuste es malo y se rechaza la hipótesis, siendo necesario probar con otra distribución teórica.

#### 2.2.5.4. Prueba de Kolmogorov-Smirnov

Esta prueba consiste en comparar las diferencias que existen, entre la probabilidad empírica de los datos de la muestra y la probabilidad teórica, tomando el valor máximo del valor absoluto, de la diferencia entre el valor observado y el valor de la recta teórica de la ecuación. (Villón, 2002, pp. 151-152)

“Esta prueba consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia  $D$  entre la función de distribución de probabilidad observada  $F_o(x_m)$  y la estimada  $F(x_m)$ ” (Aparicio, 1992, p. 279).

$$D = \text{máx}|F_o(x_m) - F(x_m)| \quad (2.128)$$

La función de distribución de probabilidad observada se calcula con la ecuación siguiente:

$$F_o(x_m) = 1 - \frac{m}{n+1} \quad (2.129)$$

Donde:

$m$  = número de orden del dato  $x_m$  en la lista ordenada de mayor a menor.

$n$  = número total de datos de la muestra.

La probabilidad empírica se calcula mediante la ecuación de Weibull:

$$p = \frac{m}{n+1} \quad (2.130)$$

Los valores de la probabilidad acumulada de la distribución estándar están tabulados en la tabla 8.3 del anexo 8, también se puede aproximar mediante “una aproximación polinomial dado por Masting (1955), con un error menor que  $7.5 \times 10^{-8}$ ”: (citada por Villón, 2002, p. 173).

$$F(z) \approx 1 - f(z) \cdot (b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3 + b_4 t^4 + b_5 t^5) \quad (2.131)$$

$$t = \frac{1}{1 + 0.2316419|z|} \quad (2.132)$$

Donde:

$$b_1 = 0.319381530 \quad b_2 = -0.356563782 \quad b_3 = 1.781477937$$

$$b_4 = -1.821255978 \quad b_5 = 1.330274429$$

$|z|$ , es el valor absoluto de la variable estándar  $z$ .

$f(z)$ , es la función densidad de la variable estandarizada  $z$ .

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{z^2}{2}} \quad (2.133)$$

$$F(x_m) = F(z), \text{ para } z \geq 0$$

$$F(x_m) = 1 - F(z), \text{ para } z < 0 \quad (2.134)$$

El criterio de decisión para aceptar o rechazar la hipótesis, es mediante la comparación del máximo valor absoluto de la diferencia  $D_c$  con la diferencia tabular  $D_t$  obtenida de la Tabla 8.7 del anexo 8, de la prueba de Kolmogorov-Smirnov, y debe cumplir:

- Si el máximo valor absoluto de la diferencia  $D_c$  es menor o igual que el valor tabular  $D_t$  entonces, se acepta la hipótesis que el ajuste es bueno al nivel de significación seleccionado.
- Si el máximo valor absoluto de la diferencia  $D_c$  es mayor que el valor tabular  $D_t$  entonces, el ajuste es malo y se rechaza la hipótesis, siendo necesario probar con otra distribución teórica.

## **2.2.6. Estudio de una tormenta**

Una tormenta de diseño, es un patrón de precipitación definido para utilizarse en el diseño de un sistema hidrológico. Usualmente la tormenta de diseño conforma la entrada al sistema, y los caudales resultantes a través de éste se calculan utilizando procedimientos de lluvia-escorrentía y tránsito de caudales. Una tormenta de diseño puede definirse mediante un valor de profundidad de precipitación en un punto, mediante un hietograma de diseño que especifique la distribución temporal de la precipitación durante una tormenta. (Manual de Carreteras: Hidrología, Hidráulica y Drenaje, 2014, p. 33)

Tormenta o borrasca, se denomina al conjunto de lluvias que pertenecen a una misma alteración meteorológica con características bien definidas. Una tormenta puede durar desde unos minutos hasta varias horas e incluso días, abarcando superficies muy variables, desde pequeñas áreas, hasta grandes regiones. (Villón, 2002)

### **2.2.6.1. Importancia del análisis de una tormenta**

Cuando se cuenta con datos pluviográficos se puede realizar el análisis de tormentas. Villón (2002) refiere que, el análisis de tormentas, está directamente relacionado con los cálculos o estudios previos, al diseño de obras de ingeniería hidráulica, como son:

- Estudio de control.
- Determinación del caudal máximo, que deben pasar por el aliviadero de una represa, o que deben encausarse, para impedir las inundaciones.
- Determinación de la luz del puente.
- Conservación de suelos.
- Cálculo de los diámetros de alcantarillas.

### **2.2.6.2. Elementos fundamentales del análisis de tormentas**

Para el análisis de tormentas se debe considerar las siguientes variables:

### a. Intensidad

La intensidad de lluvia, es la altura de agua precipitada con respecto al tiempo. Villón (2002) refiere que, es la cantidad de agua caída por unidad de tiempo. Lo que importa de cada tormenta, es su intensidad máxima, que es la altura máxima de agua caída por unidad de tiempo. Entonces la intensidad matemáticamente es:

$$i_{m\acute{a}x.} = \frac{P}{t} \quad (2.135)$$

Donde:

$i_{m\acute{a}x.}$  = intensidad máxima (mm/h).

P = precipitación en altura de agua (mm).

t = tiempo (h).

### b. Duración

Es el tiempo que transcurre desde el comienzo hasta finalizar la tormenta. Entonces el **periodo de duración**, es un determinado intervalo de tiempo, que dura una tormenta y puede estar en minutos u horas. Tiene importancia preponderante en la determinación de las intensidades máximas. (Villón, 2002)

### c. Frecuencia

Es la cantidad de tormentas con características de intensidad y duración similares, que se repiten en algún periodo de tiempo expresado en años. (Villón, 2002).

### d. Periodo de retorno

Es la inversa de la frecuencia y Villón (2002) refiere que, "es el intervalo de tiempo promedio, dentro del cual un evento de magnitud x, puede ser igualado o excedido, por lo menos una vez en promedio" (p. 88).

$$T = \frac{1}{f} \quad (2.136)$$

Donde:

$T$  = periodo de tiempo (años).

$f$  = frecuencia.

También el periodo de retorno se puede estimar con la siguiente expresión:

$$T = \frac{n + 1}{m} \quad (2.137)$$

Donde:

$n$  = número total de datos.

$m$  = número de orden de los datos ordenados.

### 2.2.7. Curva de intensidad – duración – periodo de retorno

Según Chow et al., (1994) el primer paso que debe realizarse en proyectos de diseño hidrológico, es la identificación de los eventos de lluvia que se usarán. Es común usar una tormenta de diseño que tiene relacionado la intensidad de lluvia, la duración y el periodo de retorno apropiados para el sitio y la futura obra. En muchos casos existen curvas de intensidad-duración-frecuencia obtenidas para el sitio, en ese caso no es necesario llevar el análisis de tormenta.

Las curvas intensidad–duración–frecuencia son un elemento de diseño que relacionan la intensidad de la lluvia, la duración de la misma y la frecuencia con la que se puede presentar, es decir su probabilidad de ocurrencia o el periodo de retorno. (Manual de Carreteras: Hidrología, Hidráulica y Drenaje, 2014, p. 34)

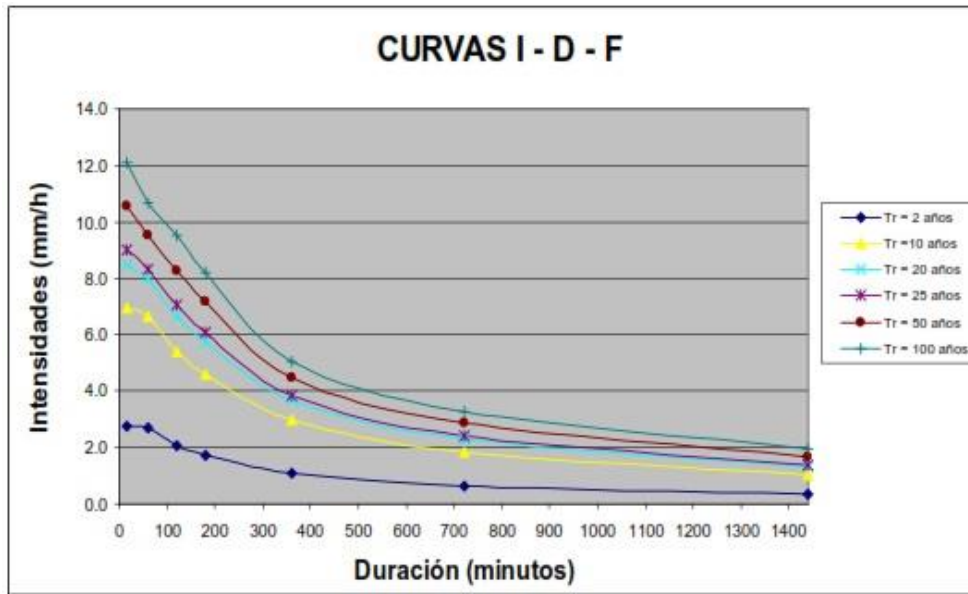


Figura 4. Curvas de intensidad-duración-frecuencia.

Fuente: Manual de Carreteras: Hidrología, Hidráulica y Drenaje (MTC-2014).

### 2.2.7.1. Modelo Dick Peschke

Para el caso de duraciones de tormenta menores a 1 hora, o no se cuenten con registros pluviográficos que permitan obtener las intensidades máximas, estas pueden ser calculadas mediante la metodología de Dick Peschke (Guevara, 1991) que relaciona la duración de la tormenta con la precipitación máxima en 24 horas. (Citada en Manual de Carreteras: Hidrología, Hidráulica y Drenaje, 2014, p. 37)

La expresión es la siguiente:

$$P_d = P_{24h} \left( \frac{d}{1440} \right)^{0.25} \tag{2.138}$$

Donde:

$P_d$  = precipitación total (mm).

$d$  = duración en minutos.

$P_{24h}$  = precipitación máxima en 24 horas (mm).



### 2.2.7.2. Modelo de Frederick Charles Bell

La ecuación de Frederick Charles Bell "permite calcular la lluvia máxima en función del periodo de retorno y una duración de la tormenta en minutos, usando como valor índice la precipitación máxima de una hora de duración y 10 años de periodo de retorno" (XVII Congreso Nacional de Ingeniería Civil, 2009, p. 21).

"Bell combinó las relaciones duración–lluvia y los cocientes frecuencia–lluvia, para obtener una relación general de precipitación–duración–periodo de retorno" (Campos, 1998, cap. 4, p. 55). Y que puede ser representada por la siguiente ecuación:

$$P_T^t = (0.21LnT + 0.52)(0.54t^{0.25} - 0.50)P_{10}^{60} \quad (2.139)$$

Si  $2 \leq T \leq 100$  años, y  $5 \leq t \leq 120$  minutos

Donde:

$P_T^t$  = precipitación de duración  $t$  minutos y periodo de retorno  $T$ , en milímetros.

$P_{10}^{60}$  = precipitación de duración 60 minutos (una hora) y periodo de retorno 10 años, en milímetros.

Con la ecuación anterior se pueden estimar la lluvia para cualquier duración entre 5 minutos y 2 horas, siempre y cuando no se pierda de vista que es una ecuación empírica y se respeten los rangos indicados; la única desventaja que se tiene en este caso es que se necesita el valor de la precipitación con duración de una hora y el periodo de 10 años, por lo cual se requiere de contar con datos pluviógrafos. (Baeza, 2007, p. 15)

"El valor de  $P_{10}^{60}$ , puede ser calculado a partir de la ecuación de Yance Tueros, que estima la intensidad máxima horaria a partir de la precipitación máxima en 24 horas" (XVII CONIC, 2009, p. 22).

$$I = aP_{24}^b \quad (2.140)$$

Donde:

$I$  = intensidad máxima (mm/h).

$a, b$  = parámetros de modelo 0.4602 y 0.876 respectivamente.

$P_{24}$  = precipitación máxima en 24 horas (mm).

Otra manera de obtener la precipitación  $P_{10}^{60}$ , es mediante la ecuación de Dick Peschke en la ecuación (2.138), donde  $d$  es igual a 60 minutos y  $P_{24h}$  es la precipitación máxima en 24 horas, para un tiempo de retorno de 10 años, de la distribución que mejor se ajuste. La ecuación sería:

$$P_{10}^{60} = P_{24h} \left( \frac{60}{1440} \right)^{0.25} \quad (2.141)$$

### 2.2.8. Ecuación que relaciona la intensidad – duración – periodo de retorno

Las primeras relaciones matemáticas para determinar la intensidad en función de duración y periodo de retorno fueron planteadas por Sherman, en 1931 ecuación (2.142) y Bernard, en 1932 ecuación (2.143) (citada por Pizarro, et al., 2007, pp. 15-16) que ha sido validada por Aparicio (1992).

La ecuación de intensidad-duración-periodo de retorno, "relaciona simultáneamente las tres variables en una familia de curvas" (Aparicio, 1992, pp. 168-169), cuya ecuación es:

$$I = \frac{K \cdot T^m}{(D + C)^n} \quad (2.142)$$

Donde:

$I$  = intensidad (mm/h).

$T$  = periodo de retorno (años).

$D$  = duración de la lluvia (min).

$K, m, n, C$  = son constantes que se calculan mediante un análisis de regresión múltiple.

“Si los datos se agrupan lo suficiente en torno a líneas rectas, el valor de  $C$  puede tomarse como cero” (Aparicio, 1992, p. 169); entonces la anterior ecuación, toma la forma siguiente:

$$I = \frac{K \cdot T^m}{D^n} \quad (2.143)$$

Si se incorporan logaritmos, se tiene:

$$\log I = \log K + m \log T - n \log D \quad (2.144)$$

Adecuando la ecuación se tiene:

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 \quad (2.145)$$

Donde:

$$Y = \log I, a_0 = \log K, a_1 = m, X_1 = \log T, a_2 = -n, X_2 = \log D$$

Como la ecuación (2.145) es una ecuación lineal de tres variables, se aplica la regresión lineal múltiple y para determinar los coeficientes de la regresión ( $a_0, a_1, a_2$ ), se aplica el método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO), obteniéndose un sistema de **ecuaciones normales** como el siguiente:

$$\sum Y = Na_0 + a_1 \sum X_1 + a_2 \sum X_2 \quad (2.146)$$

$$\sum(X_1 Y) = a_0 \sum X_1 + a_1 \sum(X_1^2) + a_2 \sum(X_1 X_2) \quad (2.147)$$

$$\sum(X_2 Y) = a_0 \sum X_2 + a_1 \sum(X_1 X_2) + a_2 \sum(X_2^2) \quad (2.148)$$

Donde:

$N$  = número de datos.

$a_0, a_1, a_2$  = Coeficientes de regresión para determinar los parámetros  $K$ ,  $m$  y  $n$  respectivamente.

$X_1, X_2$  = Variables explicativas (o independientes o regresoras)

$Y$  = Variable dependiente.

### 2.2.9. Bondad de ajuste de la ecuación de regresión lineal múltiple

“Básicamente existen dos métodos descriptivos para medir el nivel de ajuste de la ecuación a los datos de la muestra. El primero, es aplicar el **coeficiente de determinación** múltiple  $R^2$ . El segundo, es utilizar el **error estándar de estimación múltiple** denotado por  $s$  o  $\bar{\sigma}_y$ ” (Córdova, 2008, p. 472).

#### 2.2.9.1. Coeficiente de determinación múltiple $R^2$

“El coeficiente de determinación múltiple  $R^2$ , mide el porcentaje de la varianza de  $Y$  que queda explicada al conocer dos o más variables independientes. Cuanto mayor es el valor de  $R^2$ , menor es la dispersión y mayor el ajuste del plano de regresión a los datos” (Córdova, 2008, p. 472), y se puede calcular con la siguiente expresión:

$$R^2 = \frac{SCE}{SCT} = 1 - \frac{SCR}{SCT} \quad (2.149)$$

Donde:

$R^2$  = coeficiente de determinación.

$SCT$  = suma de cuadrados total de la regresión.

$SCE$  = suma de cuadrados explicada de la regresión.

$SCR$  = suma de cuadrados residuales de la regresión.

El coeficiente de determinación múltiple “representa la proporción de la variación total de  $y$  que es explicada por las variables involucradas en la ecuación de regresión múltiple” (Villón, 2002, p. 244).

La "raíz cuadrada positiva del coeficiente de determinación múltiple se denomina **coeficiente de correlación múltiple  $R$** . Mide la relación entre las variables independientes consideradas como grupo y la variable dependiente  $Y$ " (Córdova, 2008, p. 473).

### 2.2.9.2. Coeficiente de determinación múltiple ajustado

El coeficiente de determinación  $R^2$  tiene el defecto de crecer con el número de variables independientes de la ecuación de regresión. Para corregir este sesgo se aplica el *coeficiente o índice de determinación múltiple ajustado* (corregido) que se denota por  $\dot{R}$  o  $\bar{R}$  o  $R_A^2$ . (Córdova, 2008, p. 473) y se define por:

$$R_A^2 = 1 - \frac{MCR}{MCT} = 1 - \frac{SCR/n-p}{SCT/n-1} \quad (2.150)$$

Donde:

$R_A^2$  = coeficiente de determinación ajustado.

$MCT$  = media cuadrática total de la regresión.

$MCR$  = media cuadrática residuales de la regresión.

### 2.2.9.3. Error estándar de estimación múltiple

El error estándar de estimación múltiple "es la desviación estándar  $s$  o  $\bar{\sigma}_y$  de la regresión muestral que mide la variabilidad de los residuales" (Córdova, 2008, p. 441 y 473), otra definición que se refiere al error estándar "es la medida de dispersión que se calcula con la siguiente ecuación" (Villón, 2002, p. 243):

$$Se = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-p}} = \sqrt{\frac{\sum e^2}{n-p}} \quad (2.151)$$

Donde:

$Se$  = error estándar del estimado.

$y_i$  = valores muestrales (experimentales) de la variable dependiente.

$\hat{y}_i = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_kx_k$  = valores estimados de la variable dependiente con la ecuación de regresión.

$e = y_i - \hat{y}_i$  = error entre el valor observado y estimado de la variable dependiente.

$n$  = número de grupos de la muestra.

$p = k + 1$  = número de parámetros a estimar a partir de la muestra.

$k$  = número de variables independientes.

$n - p$  = grados de libertad de errores o residuales.

#### 2.2.9.4. Prueba *U* de Mann-Whitney

El objetivo de la prueba *U* de Mann-Whitney, es determinar si dos muestras independientes provienen o no de la misma población. Esta prueba forma parte del conjunto de pruebas no paramétricas, por lo que no requiere de los supuestos de normalidad e igualdad de varianzas (Mason y Lind, 1995). (Citada por Pizarro et al., 2007, p. 37)

La prueba *U* de Mann-Whitney es equivalente a la prueba paramétrica *t* de Student para dos muestras independientes, por lo que se plantea las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula  $H_0$ : La mediana de las intensidades máximas de precipitación pluvial de las dos distribuciones poblacionales es igual,  $Me_1 = Me_2$ ; esto supone que las dos distribuciones poblacionales son idénticas, aunque, haya cualquier posible diferencia entre las medianas.
- Hipótesis alterna  $H_1$ : La mediana de las intensidades máximas de precipitación pluvial de las dos distribuciones poblacionales son diferentes, es decir,  $Me_1 \neq Me_2$ .

“La prueba *U* de Mann-Whitney, presenta 2 situaciones: una para muestras pequeñas ( $n \leq 10$ ) y otra para muestra grandes ( $n > 10$ ) (Mendenhall et al., 1997)”, (citada por Pizarro et al., 2007, p. 37).

El procedimiento para realizar la prueba *U* de Mann-Whitney se indica:

**Paso 1:** Juntar todos los valores muestrales en orden ascendente y asignar rangos que van desde 1 al  $n_1+n_2$ . Si dos o más valores muestrales son idénticos (es decir, existen *mediciones de empate* o *mediciones repetidas* o simplemente *empates*) a cada uno de estos valores muestrales se les asigna un rango igual a la *media* de los rangos que les hubieran correspondido sin empate.

**Paso 2:** Calcular la suma de los rangos para cada una de las muestras. Por conveniencia, se elige  $n_1$  como la muestra más pequeña, en caso de que sean diferentes, de tal modo que  $n_1 \leq n_2$ . Una diferencia significativa entre las sumas de rangos  $R_1$  y  $R_2$  implica una diferencia significativa entre las muestras.

**Paso 3:** Para probar la diferencia entre la suma de rangos, se utiliza el estadístico

$$U_1 = n_1 \cdot n_2 + \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} - R_1 \quad (2.152)$$

O el siguiente estadístico

$$U_2 = n_1 \cdot n_2 + \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} - R_2 \quad (2.153)$$

**Paso 4:** Se selecciona el mayor valor entre  $U_1$  y  $U_2$  luego se realiza una aproximación a una distribución normal.

Si  $n_1$  y  $n_2$ , son ambos al menos iguales a 8, resulta que la distribución de  $U$  es aproximadamente normal, de manera que

$$z = \frac{U - \mu_U}{\sigma_U} \quad (2.154)$$

La distribución muestral  $U$  es simétrica y tiene una media y una varianza dadas, respectivamente, por las fórmulas

$$\mu_U = \frac{n_1 \cdot n_2}{2} \quad (2.155)$$

$$\sigma_U^2 = \frac{n_1 \cdot n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12} \quad (2.156)$$

**Paso 5:** Calcular el valor  $p$ , para  $z$  calculado.

**Paso 6:** Comparar el valor  $p$  con el nivel de significancia seleccionada, si  $valor\_p \leq \alpha$  se acepta la hipótesis nula  $H_0$ , de lo contrario se rechaza.

## 2.2.10. Prueba de hipótesis de la regresión y la investigación

### 2.2.10.1. Prueba de hipótesis de la regresión lineal múltiple

#### a. Prueba de hipótesis global de los coeficientes de regresión

Es la prueba de significancia de todos los coeficientes que intervienen en un modelo de regresión lineal múltiple, que según Córdova (2008) se realiza, para determinar si existe o no regresión lineal real de la variable dependiente  $Y$  con todas las variables independientes en conjunto se aplica el método de análisis de varianza; conocido como **análisis global** de significación de los coeficientes de la estimación de la ecuación de regresión lineal múltiple. (p. 475)

El método de análisis global prueba la hipótesis nula,

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0,$$

Contra,  $H_1$  : Al menos una de las  $\beta_i$  es distinto de cero.

El estadístico  $F$  de prueba se calcula con la siguiente expresión:

$$F = \frac{SCE/k}{SCR/(n-k-1)} = \frac{MCE}{MCR} \quad (2.157)$$

La prueba de hipótesis de análisis global se resume en la tabla 3 de análisis de varianza (ANOVA).



Tabla 3  
 Análisis de varianza – ANOVA

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Medias cuadráticas	Estadística F
Regresión	$SCE$	$k$	$MCE = \frac{SCE}{k}$	$F = \frac{MCE}{MCR}$
Error o residual	$SCR$	$n - k - 1$	$MCR = \frac{SCR}{n - k - 1}$	
Total	$SCT$	$n - 1$		

Fuente: Adaptada de Córdova, 2008, p. 476.

Las sumas de cuadrados  $SCT$ ,  $SCE$  y  $SCR$  se calculan utilizando las siguientes expresiones:

$$SCT = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n (y_i)^2 - n(\bar{y})^2 = (n-1)S_Y^2 \quad (2.158)$$

$$SCE = \sum_{i=1}^k b_i S_{X_i Y}, \text{ donde, } S_{X_i Y} = \sum_{i=1}^n X_i Y - n(x_i)(\bar{y}) \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (2.159)$$

$$SCR = SCT - SCE \quad (2.160)$$

#### b. Prueba de hipótesis individual de los coeficientes de regresión

Esta prueba se realiza solamente cuando se rechaza la hipótesis nula de la prueba global, así como manifiesta Córdova (2008), si se rechaza la hipótesis nula del contraste global de los coeficientes de regresión, es decir si se acepta la hipótesis alternativa que existe regresión de la variable  $Y$  globalmente con todas las variables independientes  $X$  en conjunto, es deseable determinar **qué variables contribuyen en forma significativa** al modelo de regresión múltiple. Si alguna variable independiente  $X_i$  no contribuye en forma significativa al modelo, se la debería descartar de la ecuación propuesta y buscar luego, la estimación de la ecuación con las variables que contribuyen significativamente al modelo de regresión lineal. (pp. 477-478)

La prueba de significación de los coeficientes en forma individual consiste en realizar el contraste de:

$$H_0 : \beta_i = 0, \text{ contra } H_1 : \beta_i \neq 0, \text{ para todo } i = 1, 2, \dots, k$$

La estadística de prueba para la ecuación de regresión lineal múltiple es:

$$t_i = \frac{b_i - \beta_i}{ES(b_i)} \quad (2.161)$$

Con grados de libertad igual a  $\nu = n - k - 1$

Donde:

$b_i$  = coeficientes de la ecuación de regresión muestral.

$\beta_i$  = coeficientes de la ecuación de regresión poblacional.

$ES(b_i)$  = error estándar de la estadística  $b_i$ .

La decisión de rechazar o aceptar  $H_0$  se puede realizar aplicando los siguientes métodos:

**Intervalos de estimación** para cada coeficiente de regresión  $\beta_i$  al nivel de confianza  $(1 - \alpha) \times 100\%$ . Los límites de confianza son:

$$b_i = \mp t_{\alpha/2, \nu} \times ES(b_i) \quad (2.162)$$

Donde,  $t_{\alpha/2, \nu} = t_{1-\frac{\alpha}{2}, \nu}$ . Si el intervalo de confianza respectivo, contiene el valor cero, se infiere con confianza  $(1 - \alpha) \times 100\%$  que  $\beta_i = 0$  y en consecuencia la variable  $X_i$ , no contribuye significativamente al modelo de regresión lineal múltiple, entonces se debería descartar.

### Prueba de hipótesis t-Student bilateral

Si se supone que  $H_0$  es verdadera, entonces, la estadística resultante es:

$$t_i = \frac{b_i}{ES(b_i)} \quad (2.163)$$

Dado que el nivel de significación  $\alpha$ , en la tabla t-Student con  $v = n - k - 1$  grados de libertad, se halla el valor crítico  $t_0 = t_{1-\frac{\alpha}{2}, v}$ . Se rechazará  $H_0$  si  $|t_i| > t_0$ .

Si la decisión es aceptar  $H_0 : \beta_i = 0$ , se puede afirmar con una probabilidad de error tipo I igual a  $\alpha$ , que la variable  $X_i$  no contribuye significativamente al modelo de regresión lineal múltiple y debería ser descartada.

El error estándar de la estadística  $b_i$ , se estima con la expresión:

$$ES(b_i) = \sqrt{s^2 \cdot c_{ii}} \quad (2.164)$$

$$\sigma^2 |X'X|^{-1} = \sigma^2 \begin{vmatrix} c_{00} & c_{01} & c_{02} \\ c_{10} & c_{11} & c_{12} \\ c_{20} & c_{21} & c_{22} \end{vmatrix} \quad (2.165)$$

Donde:

$\sigma^2 |X'X|^{-1}$  = matriz de varianzas-covarianzas.

$|X'X|^{-1}$  = matriz de covarianzas que corresponde a la matriz inversa de coeficientes.

La estimación insesgada de la varianza  $\sigma^2$  es la varianza muestral que se denota por  $s^2$  y que se define por:

$$\sigma^2 = s^2 = MCR = \frac{SCR}{n - k - 1} \quad (2.166)$$

### 2.2.10.2. Prueba de hipótesis de la investigación

Para la prueba de una de las hipótesis específicas, se puede aplicar la prueba  $t$  de Student o su equivalente la prueba  $U$  de Mann-Whitney, esto dependerá de la prueba de normalidad de los datos muestrales a comparar, es decir, si los datos de la intensidad se adecúan a la distribución normal se aplica la prueba paramétrica  $t$  de Student de lo contrario la prueba  $U$  de Mann-Whitney.

### **2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS**

**Curvas IDT.** Se refiere a una serie de curvas de intensidad-duración-periodo de retorno.

**Ecuación IDT.** Es la expresión matemática que relaciona la intensidad máxima de precipitación pluvial con la duración de la precipitación pluvial y el periodo de retorno.

**Evento.** Es la ocurrencia de un suceso natural, en esta tesis se entiende por evento a la precipitación pluvial con una magnitud por encima del promedio.

**F.C. Bell.** Es la abreviación de Frederick Charles Bell.

**Periodo de retorno.** Es el periodo de tiempo en el que un evento extremo puede igualar o superar al valor de diseño.

**Series.** Es el conjunto de datos de alguna variable hidrometeorológica registrados como una serie de tiempo.

### CAPÍTULO III:

## DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

### 3.1. UBICACIÓN DEL LUGAR DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1.1. Ubicación política

El lugar de estudio de esta investigación se encuentra ubicado en el distrito de Capachica, provincia y departamento de Puno.

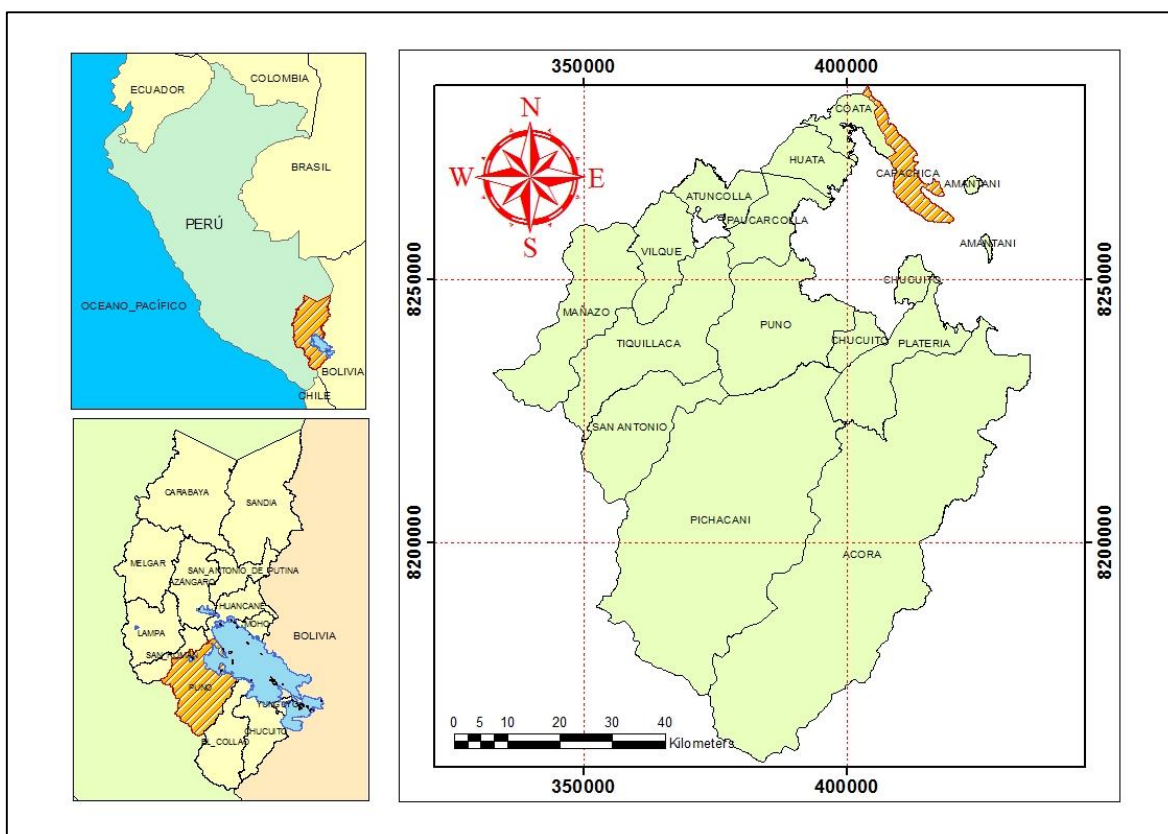


Figura 5. Ubicación política.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

#### 3.1.2. Ubicación geográfica

La única estación meteorológica existente en la jurisdicción territorial del distrito de Capachica, denominado CO 788-Capachica; está ubicado en 69° 49' 55.70" Longitud Oeste y 15° 36' 22.90" Latitud Sur, con una altitud de 3828 msnm; referidas al Datum WGS-84 y en coordenadas UTM del mismo Datum está en 410793.235 – E, 8274431.697 – N de la zona geodésica 19.

### 3.1.3. Ubicación hidrográfica

La ubicación hidrográfica se refiere a la ubicación en función de las cuencas hidrográficas, por tanto, la zona de estudio se encuentra en unidad hidrográfica denominada inter-cuenca Ramis con código 0179, de la vertiente del Titicaca.

## 3.2. DESARROLLO TÉCNICO DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo de investigación se ha realizado, describiendo cada uno de los pasos seguidos, desde el análisis de datos que implica someter a diferentes pruebas estadísticas, análisis de frecuencia que comprende las distribuciones de probabilidad, selección de la distribución de mejor ajuste, obtención de la fórmula de intensidad en función de la duración y tiempo de retorno, la construcción de las curvas IDT y al final la prueba de hipótesis de igualdad de la mediana de las intensidades máximas de precipitación pluvial de la estación en investigación con la estación de control pluviométricamente de la misma región.

### 3.2.1. Recopilación y selección de la precipitación máxima en 24 horas

Luego de recopilado los datos de precipitación, se extrae el valor máximo del registro de precipitación para cada año, formando una serie de base de datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica, como se muestra en la tabla 4.

### 3.2.2. Evaluación y análisis de datos pluviométricos

Una vez seleccionado los datos de precipitación máxima en 24 horas, se corrige por el factor de ajuste de la frecuencia de observación diaria y sometiendo a una serie de análisis y pruebas.

- **Prueba de normalidad:** Para saber si los datos de precipitación máxima en 24 horas siguen una distribución normal, se ha realizado la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, y se decide si se aplica las pruebas paramétricas o no paramétricas; como respuesta a esta prueba, los datos de precipitación máxima en 24 horas corregida no siguen una distribución normal.

- **Prueba de homogeneidad:** Por los resultados en la prueba de normalidad se ha realizado la prueba estadística de Helmer.
- **Prueba de independencia:** La prueba de Anderson y corrida de Wald-Wolfowitz. Por último, la prueba de estacionalidad de Mann-Kendall.

Tabla 4

Datos de precipitación máxima en 24 horas de estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

N°	Año	Mes	Día	Precipitación (mm)		N°	Año	Mes	Día	Precipitación (mm)	
				Original	Corregida					Original	Corregida
1	1957	Ene	30	28.50	29.640	28	1990	Ene	7	31.00	32.240
2	1958	Feb	28	35.20	36.608	29	1991	Nov	20	38.00	39.520
3	1959	Dic	25	29.90	31.096	30	1992	Ago	20	50.00	52.000
4	1960	Ene	5	28.20	29.328	31	1993	Mar	1 y 6	52.00	54.080
5	1961	Abr	16	35.00	36.400	32	1994	Feb	4	49.00	50.960
6	1962	Feb	4	58.20	60.528	33	1995	Dic	8	33.40	34.736
7	1963	Mar	22	24.70	25.688	34	1996	Ene	17	51.00	53.040
8	1964	Mar	25	63.20	65.728	35	1997	Nov	1	37.30	38.792
9	1965	Mar	19	52.80	54.912	36	1998	Mar	31	41.00	42.640
10	1966	Dic	15	23.20	24.128	37	1999	Feb	18	32.90	34.216
11	1967	Mar	6	33.00	34.320	38	2000	Mar	6	25.60	26.624
12	1968	Nov	24	25.00	26.000	39	2001	Mar	15	45.60	47.424
13	1969	Mar	4	20.80	21.632	40	2002	Feb	4	30.50	31.720
14	1970	Abr	11	22.30	23.192	41	2003	Feb	10	35.30	36.712
15	1971	Abr	14	29.90	31.096	42	2004	Ene	23	29.20	30.368
16	1972	Ene	7	35.40	36.816	43	2005	Mar	30	27.00	28.080
17	1973	Ene	26	28.90	30.056	44	2006	Ene	28	27.60	28.704
18	1974	Feb	10	30.90	32.136	45	2007	Mar	18	31.20	32.448
19	1975	Ene	25	40.60	42.224	46	2008	Oct	7	33.40	34.736
20	1976	Feb	8	26.50	27.560	47	2009	Feb	23	22.40	23.296
21	1977	Feb	6	40.00	41.600	48	2010	Ene	23	28.40	29.536
22	1978	Nov	1	29.50	30.680	49	2011	Dic	20	30.50	31.720
23	1985	Feb	1	21.80	22.672	50	2012	Feb	28	29.80	30.992
24	1986	Feb	10	28.40	29.536	51	2013	Mar	16	62.20	64.688
25	1987	Ene	1	32.40	33.696	52	2014	Ene	21	31.60	32.864
26	1988	Feb	9	27.00	28.080	53	2015	Feb	11	33.30	34.632
27	1989	Dic	31	45.00	46.800						

Fuente: Elaboración propia, en base al registro de SENAMHI.

### 3.2.2.1. Prueba de normalidad

Para realizar esta prueba se plantea las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula  $H_0$ : Los datos de la muestra se adecuan a la distribución normal.

Hipótesis alterna  $H_1$ : Los datos de la muestra no se adecuan a la distribución normal.

Realizando la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov con corrección de significación de Lilliefors, a los datos de la precipitación máxima en 24 horas corregida, se rechaza la hipótesis nula, aceptando la hipótesis alterna evaluación al 5% de nivel de significancia.

Mientras que los datos normalizados por Box-Cox de doble potencia, si se adecuan a la distribución normal, como se puede ver en la tabla 5.

Tabla 5  
 Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov de la precipitación máxima en 24 horas corregida y normalizada por Box-Cox de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Denominación	Símbolo	Precipitación máxima en 24 horas (mm)	
		Corregida	Box-Cox
Tamaño de la muestra:	n	53	53
Media de los datos:	$\bar{x}$	36.017	0.000
Desviación estándar de los datos:	s	10.726	0.005
Nivel de significancia:	$\alpha$	0.05	0.05
Estadístico calculado de K-S <sup>a</sup> :	D	0.1890	0.0880
Estadístico crítico tabular de K-S-L:	Dt	0.1203	0.1203
Valor - p:	p	0.0000	0.2000
Decisión estadística:		Se rechaza la $H_0$	Se acepta la $H_0$

a. Corrección de significación de Lilliefors.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

### 3.2.2.2. Detección de datos atípicos

Para detectar si algún dato de la muestra es un dato atípico. Primero se realiza la normalización de los datos de la precipitación máxima anual en 24 horas corregida, mediante el proceso de normalización de Box-Cox de doble potencia<sup>2</sup>, o también se puede aplicar las transformaciones matemáticas como los logaritmos ya sea naturales o de base 10, raíz cuadrada, o la inversa. Luego se realiza la prueba de normalidad a los datos normalizados, si los datos se adecuan a la

<sup>2</sup> Al respecto, véase (Escalante Sandoval, C.A. y Reyes Chávez, L., 2002, págs. 105-106)



distribución normal, entonces se aplica la prueba de Grubbs de detección de datos atípicos.

En esta investigación se ha normalizado por el procedimiento de normalización Box-Cox de doble potencia, con estos datos se ha realizado el gráfico de caja para visualizar si existe algún dato anómalo.

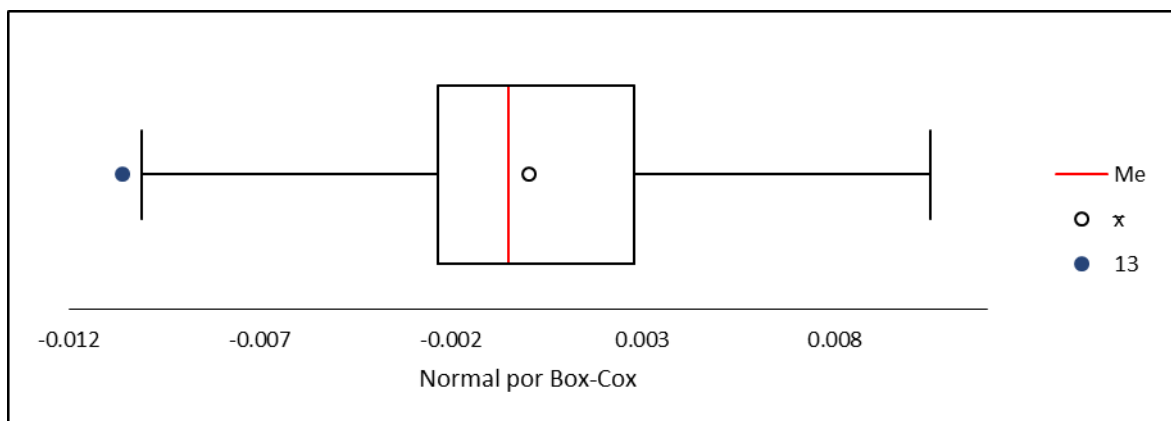


Gráfico 1. Gráfico de caja para detección de datos atípicos de la precipitación máxima en 24 horas corregida y normalizada por Box-Cox, estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Como se puede ver en el gráfico de caja, se aprecia que el dato 13 se presenta como un dato atípico, para saber si realmente es un atípico se realiza la prueba estadística de Grubbs cuyo procedimiento es:

- 1° Calcular la media y la desviación estándar de la muestra.
- 2° Calcular el estadístico de prueba con la ecuación (2.2).
- 3° Comparar el estadístico de prueba z con el z crítico.

Tabla 6  
Prueba de Grubbs de detección de datos atípicos de precipitación máxima en 24 horas corregida y normalizada por Box-Cox de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

	Denominación	Símbolo	Valor
Tamaño de la muestra:		n	53
Valor dudoso a probar:	Mín	13	-0.0106
Nivel de significancia:		$\alpha$	0.05
Valor de z crítico de Grubbs para $\alpha/2$ (prueba bilateral)		$Z_{\text{crítico}}$	3.151
Estadístico de prueba:		$Z_{\text{cal}}$	-2.250
Valor - p :		p	1.000
Verificación del dato dudoso:		Verif	Pasa
Conclusión: Se acepta la $H_0$ : No hay valores atípicos en los datos, por lo tanto el dato en análisis no es un dato atípico al 5 % de nivel de significancia.			

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Para las 53 observaciones y nivel de significación  $\alpha = 0.05$  prueba bilateral, se tiene un  $Z_{\text{crítico}}$  de 3.151 y un valor-p de 1.000; el valor absoluto del estadístico de prueba es menor que el valor crítico, esto hace que se acepte la hipótesis nula, que no hay valores atípicos en los datos. Por lo tanto se trabajó con la totalidad de los datos de la muestra.

### 3.2.2.3. Pruebas de homogeneidad

Viendo la tabla 5 de prueba de normalidad de la precipitación máxima en 24 horas corregida, que no se adecua a la distribución normal se deberá realizar la prueba de homogeneidad con la prueba estadística no paramétrica.

#### a. Prueba estadística de Helmert

Los valores para la prueba de Helmert se muestran en la tabla 2.2 del anexo 2. El procedimiento para desarrollar esta prueba es:

1° Determinar el promedio aritmético con todos los datos de precipitación máxima en 24 horas.

$$\bar{X} = \frac{(29.640 + 36.608 + \dots + 34.632)}{53} = 36.017$$

2° Realizar la diferencia de cada valor con respecto a la media aritmética.

$$X_1 - \bar{X} = 29.640 - 36.017 = -6.377, \quad X_2 - \bar{X} = 36.608 - 36.017 = 0.591$$

...

$$X_{52} - \bar{X} = 32.864 - 36.017 = -3.153, \quad X_{53} - \bar{X} = 34.632 - 36.017 = -1.385$$

3° Se comparan los signos de las diferencias, del dato 1 con el 2, de 2 con 3, de 3 con 4, así sucesivamente hasta el final que es 52 con 53.

Diferencia 1 = (-), por ser valor negativo (-6.377)

Diferencia 2 = (+), por ser valor positivo (0.591)

...

Diferencia 52 = (-), por ser valor negativo (-3.153)

Diferencia 53 = (-), por ser valor negativo (-1.385)

Como:

Diferencia 1 = (-) y diferencia 2 = (+) son de signos diferentes entonces se dice que hay un cambio, por tanto, se le asigna la letra C.

Este procedimiento se debe realizar hasta la última diferencia, como:

Diferencia 52 = (-) y diferencia 53 = (-) se dice que forma una secuencia, por tanto, se le asigna la letra S.

4° Sumar todas las letras S y las letras C, que para esta prueba es:

$$S = 28 \text{ y } C = 24$$

5° Se aplica la ecuación (2.3)

$$-\sqrt{n_j - 1} \leq (S - C) \leq \sqrt{n_j - 1}$$

$$-\sqrt{53 - 1} \leq (28 - 24) \leq \sqrt{53 - 1}$$

$$-\sqrt{52} \leq 4 \leq \sqrt{52}$$

$$-7.21 \leq 4 \leq 7.21$$

Tabla 7

Prueba estadística de Helmert de precipitación máxima en 24 horas corregida de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Descripción	Símbolo	Valor
Tamaño de la muestra:	n	53
Número de secuencias:	S	28
Número de cambios:	C	24
Diferencia entre secuencia y cambio:	S - C	4
Estadístico de prueba:		
Límite inferior:	$-(n-1)^{1/2}$	-7.21
Límite superior:	$(n-1)^{1/2}$	7.21
Conclusión: El estadístico S - C está comprendido entre el rango permisible. Por tanto la serie es Homogénea.		

Fuente: Elaboración propia, 2018.

### Decisión:

Como  $(S - C) = 4$ , se encuentra dentro de los límites de la ecuación (2.3), se dice que la serie de datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación meteorológica de Capachica es homogénea.

### 3.2.2.4. Pruebas de independencia

#### a. Prueba de independencia de Anderson

Los resultados de la prueba de independencia de Anderson se muestran en las tablas 8 y 9.

La diferencia de los datos con respecto a la media de la serie total, y los valores para cada tiempo de retraso correspondiente se muestran en la tabla 2.3 del anexo 2.

Desarrollo de la prueba de Anderson:

1° Calcular la media aritmética con la ecuación (2.13).

$$\bar{X} = \frac{(29.640 + 36.608 + \dots + 34.632)}{53} = 36.017$$

2° Calcular el tiempo de retraso  $k$ .

$$k = \frac{53}{3} = 17.67 \approx 18$$

El valor 18 nos indica el máximo valor de  $k$ , entonces  $k = 1, 2, \dots, 18$ .

3° Determinar el número de máximo de puntos tolerables fuera de la banda de aceptación; que es el 10% del tiempo de retraso, entonces:

$$N^\circ \text{ _máximo _ puntos} = 0.10 \times 18 = 1.8 \approx 2$$

4° Calcular la diferencia de cada valor con respecto a la media aritmética.

$$X_1 - \bar{X} = 29.640 - 36.017 = -6.377, \quad X_2 - \bar{X} = 36.608 - 36.017 = 0.591$$

...

$$X_{52} - \bar{X} = 32.864 - 36.017 = -3.153, \quad X_{53} - \bar{X} = 34.632 - 36.017 = -1.385$$

5° Calcular la suma del cuadrado de la diferencia de cada dato con la media aritmética.

$$(X_i - \bar{X})^2 = (29.640 - 36.017)^2 + (36.608 - 36.017)^2 + \dots + (34.632 - 36.017)^2 = 5982.519$$

6° Calcular el producto de la diferencia del 4° paso por diferencia del tiempo de retraso correspondiente.

Para tiempo de retraso  $k=1$ :

$$(X_1 - \bar{X})(X_2 - \bar{X}) = (-6.377)(0.591) = -3.767$$

$$(X_2 - \bar{X})(X_3 - \bar{X}) = (0.591)(-4.921) = -2.907$$

$$(X_3 - \bar{X})(X_4 - \bar{X}) = (-4.921)(-6.689) = 32.921$$

...

$$(X_{52} - \bar{X})(X_{53} - \bar{X}) = (-3.153)(-1.385) = 4.369$$

Para tiempo de retraso  $k=2$ :

$$(X_1 - \bar{X})(X_3 - \bar{X}) = (-6.377)(-4.921) = 31.385$$

$$(X_2 - \bar{X})(X_4 - \bar{X}) = (0.591)(-6.689) = -3.951$$

$$(X_3 - \bar{X})(X_5 - \bar{X}) = (-4.921)(0.383) = -1.883$$

...

$$(X_{51} - \bar{X})(X_{53} - \bar{X}) = (28.671)(-1.385) = -39.719$$

De esa manera se calculan todos los productos para los 18 tiempos de retraso.

Para tiempo de retraso  $k=18$ :

$$(X_1 - \bar{X})(X_{19} - \bar{X}) = (-6.377)(6.207) = -39.582$$

$$(X_2 - \bar{X})(X_{20} - \bar{X}) = (0.591)(-8.457) = -4.995$$

$$(X_3 - \bar{X})(X_{21} - \bar{X}) = (-4.921)(5.583) = -27.474$$

...

$$(X_{35} - \bar{X})(X_{53} - \bar{X}) = (2.775)(-1.385) = -3.844$$

7° Sumar los productos del paso 6° para cada tiempo de retraso.

Para tiempo de retraso  $k=1$ :

$$\sum_{i=1}^{n-k} (X_i - \bar{X})(X_{i+k} - \bar{X}) = (-3.767 - 2.907 + 32.921 + \dots + 4.369) = 683.914$$

Para tiempo de retraso  $k=2$ :

$$\sum_{i=1}^{n-k} (X_i - \bar{X})(X_{i+k} - \bar{X}) = (31.385 - 3.951 - 1.883 + \dots - 39.719) = 1159.323$$

...

Para tiempo de retraso  $k=18$ :

$$\sum_{i=1}^{n-k} (X_i - \bar{X})(X_{i+k} - \bar{X}) = (-39.582 - 4.995 - 27.474 + \dots - 3.844) = -973.464$$

8° Calcular el coeficiente de autocorrelación serial de retraso  $r_k^j$  con la ecuación (2.12).

Para tiempo de retraso  $k=1$ :

$$r_1 = \frac{683.914}{5982.519} = 0.1143$$

Para tiempo de retraso  $k=2$ :

$$r_2 = \frac{1159.323}{5982.519} = 0.1938$$

...

Para tiempo de retraso  $k=18$ :

$$r_{10} = \frac{-973.464}{5982.519} = -0.1627$$

9° Calcular los límites al 95% de confianza para cada coeficiente de autocorrelación con la ecuación (2.14).

Para tiempo de retraso  $k=1$ :

Límite superior:

$$r_1(95\%) = \frac{-1 + 1.96\sqrt{(53-1-1)}}{53-1} = 0.2499$$

Límite inferior:

$$r_1(95\%) = \frac{-1 - 1.96\sqrt{(53-1-1)}}{53-1} = -0.2884$$

Para tiempo de retraso  $k=2$ :

Límite superior:

$$r_2(95\%) = \frac{-1 + 1.96\sqrt{(53-2-1)}}{53-2} = 0.2521$$

Límite inferior:

$$r_2(95\%) = \frac{-1 - 1.96\sqrt{(53 - 2 - 1)}}{53 - 2} = -0.2914$$

...

Para tiempo de retraso  $k=18$ :

Límite superior:

$$r_{18}(95\%) = \frac{-1 + 1.96\sqrt{(53 - 18 - 1)}}{53 - 18} = 0.2980$$

Límite inferior:

$$r_{18}(95\%) = \frac{-1 - 1.96\sqrt{(53 - 18 - 1)}}{53 - 18} = -0.3551$$

10° Determinar cuántos valores del coeficiente de autocorrelación serial de retraso están fuera de los límites de confianza.

En la tabla 8, se puede ver que ningún coeficiente de autocorrelación está fuera de los límites, por lo tanto, el número máximo de puntos fuera de los límites es igual a cero.



Tabla 8  
Valores de la prueba de independencia de Anderson

Límites al 95% de confianza				
k	Límite inferior $r_k$	$r_k$	Límite superior $r_k$	Observación
1	-0.2884	0.1143	0.2499	Dentro del límite
2	-0.2914	0.1938	0.2521	Dentro del límite
3	-0.2944	0.2162	0.2544	Dentro del límite
4	-0.2975	-0.1265	0.2567	Dentro del límite
5	-0.3008	-0.0564	0.2591	Dentro del límite
6	-0.3041	-0.1238	0.2616	Dentro del límite
7	-0.3076	-0.1342	0.2641	Dentro del límite
8	-0.3111	-0.1811	0.2667	Dentro del límite
9	-0.3148	-0.0642	0.2694	Dentro del límite
10	-0.3187	0.0436	0.2721	Dentro del límite
11	-0.3226	-0.0860	0.2750	Dentro del límite
12	-0.3267	-0.0122	0.2780	Dentro del límite
13	-0.3310	-0.0755	0.2810	Dentro del límite
14	-0.3354	-0.1936	0.2842	Dentro del límite
15	-0.3401	-0.0969	0.2874	Dentro del límite
16	-0.3449	-0.1602	0.2908	Dentro del límite
17	-0.3499	-0.1938	0.2943	Dentro del límite
18	-0.3551	-0.1627	0.2980	Dentro del límite

Fuente: Elaboración propia, 2018.

11° Comparar el número máximo de puntos fuera de los límites, con el número máximo de puntos tolerables fuera de los límites.

Tabla 9  
Prueba de independencia de Anderson de precipitación máxima en 24 horas corregida de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Denominación	Símbolo	Valor
Tamaño de la muestra:	n	53
Media aritmética:	$\bar{X}$	36.017
Desviación estándar:	S	10.726
$k = n/3$	k	17.67
K adoptado:	k	18
N° máximo de puntos tolerables fuera de bandas de aceptación:		2
N° máximo de puntos fuera de bandas de aceptación:		0
Conclusión:	Se acepta la hipótesis de que las variables de la serie son independientes.	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Para esto el criterio de decisión es: Sí sólo el 10% de los valores del coeficiente de autocorrelación serial de retraso sobrepasan los límites de confianza se dice que la serie es independiente.

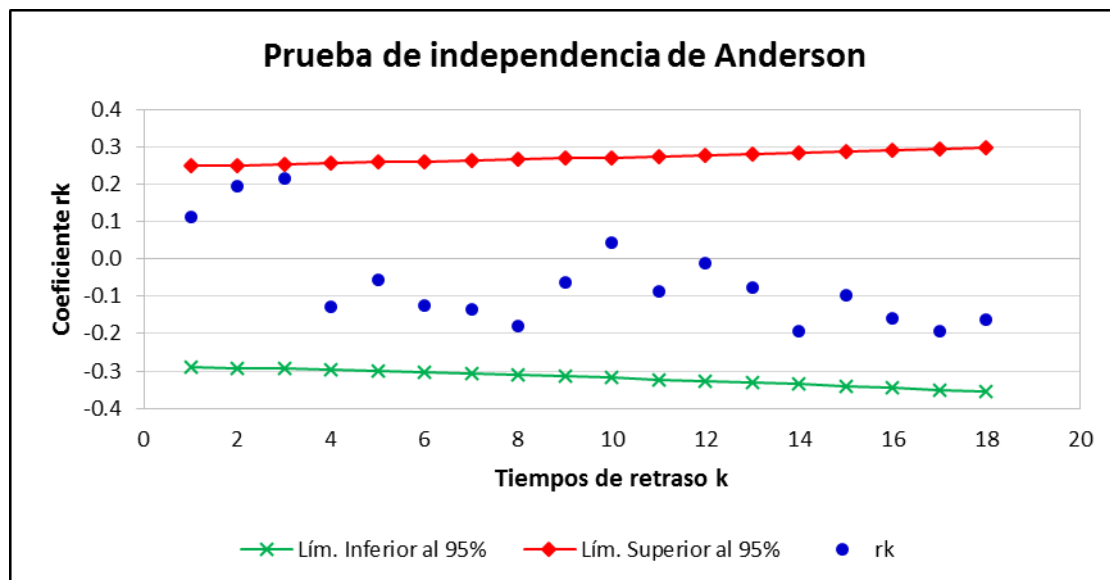


Gráfico 2. Correlograma de la serie de precipitación máxima en 24 horas corregida de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

**Decisión:**

Como, el número máximo de puntos fuera de los límites es cero (0) y el número máximo de puntos tolerables fuera de los límites es dos (2), entonces, la serie de la precipitación máxima en 24 horas de la estación meteorológica de Capachica del periodo 1957 a 2015 es independiente.

**b. Prueba de independencia corrida de Wald-Wolfowitz**

El resultado de esta prueba se puede ver en la tabla 10 de esta sección. Mientras que los cálculos previos se muestran en la tabla 2.4 del anexo 2.

El procedimiento para probar la hipótesis nula de aleatoriedad de esta prueba es:

1° Calcular el valor de referencia o punto de corte, que será la media aritmética.

$$\bar{X} = \frac{(29.640 + 36.608 + \dots + 34.632)}{53} = 36.017$$

2° Determinar el número de valores superiores e inferiores al valor de referencia.

Número de valores superiores a la media  $n_1 = 19$ .

Número de valores inferiores a la media  $n_2 = 34$ .

3° Determinar el número total de corridas.

$$R = 25$$

4° Calcular la media de R con la ecuación (2.16).

$$\mu_R = \frac{2 \times 19 \times 34}{53} + 1 = 25.3774$$

5° Calcular la desviación estándar con la ecuación (2.17).

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{(25.3774 - 1)(25.3774 - 2)}{53 - 1}} = 3.3105$$

6° Calcular el estadístico Z, con la ecuación (2.15).

$$Z = \frac{25 - 25.3774}{3.3105} = -0.1140$$

7° Determinar el valor de z tabular de la distribución normal estándar para  $\alpha = 0.05$ .

En la tabla 8.4 del anexo 8, de probabilidad de encontrar al azar un valor de  $z$ , de dos colas, se ubica la probabilidad  $\alpha/2 = 0.025$ , obteniendo el valor de  $z = 1.96$ , que por simetría para  $z$  negativo es  $z = -1.96$ .

8° Contrastar el  $Z$  calculado con  $z$  tabular.

Si el  $Z$  calculado se encuentra comprendido entre los límites de  $z$  tabular, se dice que los valores de la serie son aleatorias.

### Decisión:

Como  $-1.96 < Z = -0.1140 < 1.96$ , entonces se acepta la hipótesis nula de que el proceso que genera el conjunto de datos numéricos es aleatorio, con un nivel de significancia de 5%. En otras palabras la serie de la precipitación máxima en 24 horas de la estación meteorológica de Capachica del periodo 1957 a 2015 es aleatorio, con un nivel de significancia de 5%.

Tabla 10  
 Prueba de independencia de Wald-Wolfowitz de precipitación máxima en 24 horas corregida de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Denominación	Símbolo	Valor
Tamaño de la muestra:	$n$	53
Número total de corridas observadas:	$R$	25
Número de Éxitos:	$n_1$	19
Número de Fracasos:	$n_2$	34
Punto de corte:		Media
Media:	$\bar{x}$	36.02
Media de $R$ :	$\mu_R$	25.3774
Desv. estándar de $R$ :	$\sigma_R$	3.3105
Estadístico $Z$ :	$Z$	-0.1140
Nivel de significancia:	$\alpha$	0.05
Valor de $z$ para $\alpha/2$ , de la distribución normal estándar	$z$	1.9600
(prueba de dos colas)	$z$	-1.9600
Conclusión:	Se acepta que los valores son aleatorios, por lo tanto las variables de la serie son independientes al 5% de nivel de significancia.	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

### 3.2.2.5. Prueba de estacionalidad de Mann-Kendall

La prueba de Mann-Kendall permite verificar si existe una tendencia en la base de datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación Capachica.

El procedimiento de cálculo para la prueba de Mann-Kendall, se desarrolla de la siguiente manera:

1° Determinar el signo de la diferencia mediante la ecuación (2.18), el signo de la diferencia de cada par de valores al comparar sus magnitudes se muestra en la tabla 2.5 del anexo 2.

De la columna 1:

$(X_1 - X_1) = (29.640 - 29.640) = 0$ , como la diferencia es cero, entonces se asigna 0.

$(X_2 - X_1) = (36.608 - 29.640) = 6.968$ , como  $6.968 > 0$ , entonces se asigna 1.

$(X_3 - X_1) = (31.096 - 29.640) = 1.456$ , como  $1.456 > 0$ , entonces se asigna 1.

...

$(X_{53} - X_1) = (34.632 - 29.640) = 4.992$ , como  $4.992 > 0$ , entonces se asigna 1

De la columna 2:

$(X_2 - X_2) = (36.608 - 36.608) = 0$ , como la diferencia es cero, entonces se asigna 0.

$(X_3 - X_2) = (31.096 - 36.608) = -5.512$ , como  $-5.512 < 0$ , entonces se asigna -1.

$(X_4 - X_2) = (29.328 - 36.608) = -7.28$ , como  $-7.28 < 0$ , entonces se asigna -1.

...

$(X_{53} - X_2) = (34.632 - 36.608) = -1.976$ , como  $-1.976 < 0$ , entonces se asigna -1

Así sucesivamente hasta la última columna.

De la columna 53:

$(X_{53} - X_{53}) = (34.632 - 34.632) = 0$ , como la diferencia es cero, entonces se asigna 0.

2° Contar los valores positivos (1) y los valores negativos (-1).

La cantidad de los valores positivos y negativos se muestran en la tabla 2.5 y 2.6 del anexo 2.

Cantidad total de los signos positivos

$$P = 37 + 17 + 30 + \dots + 1 + 0 = 719$$

Cantidad total de los signos negativos

$$N = 15 + 34 + 19 + \dots + 0 + 0 = 654$$

3° Determinar el estadístico S de Mann-Kendall, mediante la ecuación (2.19).

$$S = P - N = 719 - 654 = 65$$

4° Determinar la varianza  $\text{Var}(S)$ , mediante la ecuación (2.20).

$$\text{Var}(S) = \frac{53(53-1)(2 \times 53 + 5)}{18} = 16995.33$$

5° Calcular el estadístico  $Z_{MK}$  de Mann-Kendall con la ecuación (2.21).

Como  $S = 65 > 0$ :

$$Z_{MK} = \frac{65 - 1}{(16995.33)^{1/2}} = 0.4909$$

6° Calcular el valor de probabilidad, con las ecuaciones (2.131) a (2.134).

$$P = \text{Pr}(Z < 0.4909), \text{ entonces la probabilidad es } P = 0.3117.$$

$$\text{valor} - p = 2(0.3117)$$

$$\text{valor} - p = 0.6235$$

7° Comparar el  $\text{valor} - p$  con el nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ .

El criterio de decisión es:

Sí y sólo si,  $valor - p > \alpha$  se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ) que no hay tendencia en las observaciones; de lo contrario se rechaza la  $H_0$  y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ ).

Tabla 11

Prueba de estacionalidad de Mann-Kendall de precipitación máxima en 24 horas corregida de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Denominación	Símbolo	Valor
Tamaño de la muestra:	n	53
Índice de desviación:	S	65
Varianza de S:	Var(S)	16995.33
Estadístico de prueba:	Z	0.4909
Valor de probabilidad:	valor - p	0.6235
Nivel de significancia:	$\alpha$	0.05
Conclusión:	Se acepta la hipótesis $H_0$ , por lo tanto NO HAY TENDENCIA en las observaciones, a un nivel de significancia de 5%.	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

### Decisión:

Como  $valor - p = 0.6235 > \alpha = 0.05$ , se acepta la hipótesis nula, que no existe ninguna tendencia en la serie de la precipitación máxima en 24 horas de la estación meteorológica de Capachica del periodo 1957 a 2015, con un nivel de significancia de 5%.

### 3.2.3. Análisis de frecuencia de las series hidrológicas

En esta etapa, se determina la magnitud del evento extremo para diferentes periodos de retorno.

#### 3.2.3.1. Distribución Normal

Para determinar los parámetros y estimar la precipitación para diferentes periodos de retorno se desarrolla los siguientes pasos:

1° Asignar el número de orden a todos los datos de la serie; desde  $m_1$  hasta  $m_n$  donde n es el número total de datos, en este caso  $m = 1,2,3,\dots,53$ .

2° Determinar la probabilidad acumulada empírica con la ecuación de Weibull (2.130).

Para  $m = 1$ :

$$p = \frac{1}{53+1} = 0.0185$$

Para  $m = 2$ :

$$p = \frac{2}{53+1} = 0.0370$$

...

Para  $m = 53$ :

$$p = \frac{53}{53+1} = 0.9815$$

3° Determinar el periodo de retorno con la ecuación (2.137).

Para  $m = 1$ :

$$T = \frac{53+1}{1} = 54.000$$

Para  $m = 2$ :

$$T = \frac{53+1}{2} = 27.000$$

...

Para  $m = 53$ :

$$T = \frac{53+1}{53} = 1.019$$

4° Ordenar los datos de la serie de mayor a menor, como se muestra en la tabla 3.1 del anexo 3.

5° Calcular el valor  $v$  con la ecuación (2.23).



Para  $m = 1$ :

$$v = \sqrt{\ln\left\{\frac{1}{[0.0185]^2}\right\}} = 2.8245$$

Para  $m = 2$ :

$$v = \sqrt{\ln\left\{\frac{1}{[0.0370]^2}\right\}} = 2.5674$$

...

Para  $m = 53$ :

$$v = \sqrt{\ln\left\{\frac{1}{[1 - 0.9815]^2}\right\}} = 2.8245$$

6° Calcular el factor de frecuencia con la ecuación (2.22).

Para  $m = 1$ :

$$U_T = 2.8245 - \frac{2.515517 + 0.802853 \times 2.8245 + 0.010328 \times 2.8245^2}{1 + 1.432788 \times 2.8245 + 0.189269 \times 2.8245^2 + 0.001308 \times 2.8245^3} = 2.0858$$

Para  $m = 2$ :

$$U_T = 2.5674 - \frac{2.515517 + 0.802853 \times 2.5674 + 0.010328 \times 2.5674^2}{1 + 1.432788 \times 2.5674 + 0.189269 \times 2.5674^2 + 0.001308 \times 2.5674^3} = 1.7866$$

...

Para  $m = 53$ : como la probabilidad acumulada empírica es:  $0.5 < P = 0.9815 \leq 1$

$$U_T = -\left[2.8245 - \frac{2.515517 + 0.802853 \times 2.8245 + 0.010328 \times 2.8245^2}{1 + 1.432788 \times 2.8245 + 0.189269 \times 2.8245^2 + 0.001308 \times 2.8245^3}\right] = -2.0858$$

7° Estimar los parámetros de ubicación  $\mu$  y escala  $\sigma$  por método de momentos, máxima verosimilitud y momentos-L con las ecuaciones (2.27) al (2.35).

En esta distribución el método de momentos es igual al de máxima verosimilitud, por tanto:

$$\mu = \frac{(65.728 + 64.688 + 60.528 + \dots + 21.632)}{53} = 36.0174$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(65.728 - 36.0174)^2 + (64.688 - 36.0174)^2 + \dots + (21.632 - 36.0174)^2}{53 - 1}} = 10.7261$$

Los parámetros por momentos-L, se determinan en base a las ecuaciones (2.30), (2.31), (2.32), (2.33), (2.81) y (2.82); y es:

$$\mu = \lambda_1 = 36.0174$$

$$\sigma = 1.772\lambda_2 = 1.772 \times 5.7292 = 10.1522$$

8° Estimar los eventos con la ecuación (2.26).

Por ejemplo, por momentos y máxima verosimilitud: Para  $m = 1$ :

$$X_T = 36.0174 + 10.7261 \times 2.0858 = 58.39$$

Para  $m = 1$ , por método de momentos-L

$$X_T = 36.0174 + 10.1522 \times 2.0858 = 57.19$$

Así de esa manera hasta  $m = 53$ .

### 3.2.3.2. Distribución Log Normal 2 Parámetros

Los resultados se muestran en la tabla 3.2 del anexo 3, y el procedimiento para esta distribución es:

Repetir los procedimientos de la distribución Normal desde el 1° al 6°

7° Calcular el logaritmo Neperiano de cada uno de los valores de la serie ordenada como lo indica la ecuación (2.37).

$$\ln(X_1) = \ln(65.728) = 4.1855$$

$$\ln(X_2) = \ln(64.688) = 4.1696$$

...

$$\ln(X_{53}) = \ln(21.632) = 3.0742$$

8° Estimar los parámetros de ubicación  $\mu_y$  y de escala  $\sigma_y$ .

Por momentos y máxima verosimilitud con las ecuaciones (2.40) y (2.41).

$$\mu_y = \frac{(4.1855 + 4.1696 + \dots + 3.0742)}{53} = 3.5456$$

$$\sigma_y^2 = \frac{[(4.1855 - 3.5456)^2 + (4.1696 - 3.5456)^2 + \dots + (3.0742 - 3.5456)^2]}{53 - 1} = 0.0742$$

$$\sigma_y = \sqrt{0.0742} = 0.2724$$

Por momentos-L con las ecuaciones (2.30) y (2.31).

$$\mu_y = \lambda_1 = 3.5456$$

$$\sigma_y = 1.772\lambda_2 = 1.772 \times 0.1524 = 0.2700$$

9° Estimar los eventos con la ecuación (2.39).

Por ejemplo, por momentos y máxima verosimilitud, para  $m = 1$ :

$$X_T = e^{(3.5456 + 2.0858 \ln 0.2724)} = 61.18$$

Por momentos-L

$$X_T = e^{(3.5456 + 2.0858 \ln 0.2700)} = 60.88$$

### 3.2.3.3. Distribución Log Norma 3 Parámetros

Para el desarrollo de esta distribución, se realiza el mismo procedimiento de la distribución Normal del 1° al 6° paso, y los resultados se muestran en la tabla 3.3 del anexo 3.

7° Estimar los parámetros de ubicación, escala y de forma:

Parámetros por momentos, con las ecuaciones (2.45) al (2.53).

El coeficiente de variación, con ecuación (2.46):

$$n_x = \frac{S}{\bar{x}} = \frac{10.7261}{36.0174} = 0.2978$$

Varianza insesgada, con la ecuación (2.51):

$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = (65.728 - 36.0174)^2 + (64.688 - 36.0174)^2 + \dots + (21.632 - 36.0174)^2 = 5982.5194$$

$$S^2 = \frac{5982.5194}{53 - 1} = 115.0484$$

Desviación estándar insesgada, con la ecuación (2.52):

$$S = \sqrt{115.0484} = 10.7261$$

Coeficiente de asimetría insesgada, con la ecuación (2.53):

$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 = (65.728 - 36.0174)^3 + (64.688 - 36.0174)^3 + \dots + (21.632 - 36.0174)^3 = 74490.3119$$

$$g = \frac{53 \times 74490.3119}{(53 - 1)(53 - 2)(10.7261)^3} = 1.2064$$

El valor w con ecuación (2.48):

$$w = \frac{(1.2064^2 + 4)^{1/2} - 1.2064}{2} = 0.5646$$

El valor  $n_z$  con la ecuación (2.47):

$$n_z = \frac{1 - 0.5646^{2/3}}{0.5646^{1/3}} = 0.3833$$

El parámetro de ubicación, con la ecuación (2.45):

$$x_0 = 36.0174 \cdot \left(1 - \frac{0.2978}{0.3833}\right) = 8.0372$$

El parámetro de escala, con la ecuación (2.49):

$$\mu_y = \ln\left(\frac{10.7261}{0.3833}\right) - \frac{1}{2} \cdot \ln(0.3833^2 + 1) = 3.2629$$

El parámetro de forma, con la ecuación (2.50):

$$\sigma_y = [\ln(0.3833^2 + 1)]^{1/2} = 0.3703$$

Parámetros por máxima verosimilitud, con las ecuaciones (2.54) al (2.56).

El parámetro de ubicación  $x_0$ , se estima con la ecuación (2.56) mediante iteración o con la función Solver del Excel, estableciendo como cero la celda de  $F(x_0)$  y cambiando la celda de  $x_0$ .

Por varias iteraciones el parámetro de ubicación es  $x_0 = 17.2049$

El parámetro de escala, con la ecuación (2.54):

$$\mu_y = \frac{[\ln(65.728 - 17.2049) + \ln(64.688 - 17.2049) + \dots + \ln(21.632 - 17.2049)]}{53} = 2.7863$$

El parámetro de forma, con la ecuación (2.55):

$$\sigma_y = \left[ \frac{[\ln(65.728 - 17.2049) - 2.7863]^2 + \dots + [\ln(21.632 - 17.2049) - 2.7863]^2}{53} \right]^{1/2}$$

$$\sigma_y = \left[ \frac{15.9265}{53} \right]^{1/2} = 0.5482$$

8° Estimar los eventos con la ecuación (2.44).

Por ejemplo, para  $m = 1$ :

Por momentos se tiene:

$$X_T = 8.0372 + e^{(3.2629 + 2.0858 \cdot 0.3703)} = 64.60$$

Por máxima verosimilitud, se tiene:

$$X_T = 17.2049 + e^{(2.7863+2.0858 \cdot 0.5482)} = 68.09$$

### 3.2.3.4. Distribución Gamma 2 Parámetros

Los resultados de esta distribución se muestran en la tabla 3.4 del anexo 3. El procedimiento de cálculo se repiten los pasos 1° al 6° de la distribución Normal y el paso 7° de la distribución Log Normal de 2 Parámetros:

8° Estimar los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ .

**Parámetros por momentos:**

Calcular la media de los datos ordenados.

$$\bar{x} = \frac{(65.728 + 64.688 + 60.528 + \dots + 21.632)}{53} = 36.0174$$

Calcular la media de los logaritmos.

$$\bar{y} = \frac{(4.1855 + 4.1696 + 4.1031 + \dots + 3.0742)}{53} = 3.5456$$

Calcular la desviación estándar de los datos ordenados.

$$s = \sqrt{\frac{(65.728 - 36.0174)^2 + (64.688 - 36.0174)^2 + \dots + (21.632 - 36.0174)^2}{53 - 1}} = 10.7261$$

Calcular el parámetro  $\alpha$  con la ecuación (2.60).

$$\alpha = \frac{10.7261^2}{36.0174} = 3.1943$$

Calcular el parámetro  $\beta$  con la ecuación (2.61)

$$\beta = \left(\frac{36.0174}{10.7261}\right)^2 = 11.2757$$

**Parámetros por máxima verosimilitud:**

Calcular el valor C con la ecuación (2.65)

$$C = \ln(36.0174) - 3.5456 = 0.0384$$

Estimar el parámetro  $\beta$  con la ecuación (2.64).

$$\beta = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4}{3}(0.0384)}}{4(0.0384)} = 13.1915$$

Calcular la aproximación digamma de  $\beta$  con la ecuación (2.66).

Reemplazando  $\beta$  en la ecuación anterior  $\psi(\beta) = 2.5412$

Reemplazar los valores en la ecuación (2.63)

$$F(\beta) = 3.5456 - \ln(36.0174) + \ln(13.1915) - 2.5412 = -0.0000002744$$

Como  $F(\beta) = 0$ , entonces el parámetro  $\beta$  inicial queda como valor definitivo.

Calcular el parámetro  $\alpha$  con la ecuación (2.62).

$$\alpha = \frac{36.0174}{13.1915} = 2.7303$$

**Parámetros por momentos-L:**

Calcular los parámetros previos con la ecuación (2.32), (2.33), (2.81), (2.82)

$$\lambda_1 = M_{(0)} = \frac{(65.728 + 64.688 + \dots + 21.632)}{53} = 36.0174$$

$$\sum_{i=1}^{n-1} x_i(n-i) = 65.728(53-1) + 66.688(53-2) + \dots + 22.672(53-52) = 57526.768$$

$$M_{(1)} = \frac{1}{53(53-1)}(57526.768) = 20.8733$$

$$\lambda_2 = 2(20.8733) - 36.0174 = 5.7292$$

$$\tau_2 = \frac{5.7292}{36.0174} = 0.1591$$

Como  $0 \leq \tau_2 = 0.1591 < 0.5$ , se aplica la ecuación (2.68).

$$t = \pi(\tau_2)^2 = \pi(0.1591^2) = 0.0795$$

El parámetro de forma con la ecuación (2.69):

$$\beta = \frac{1 - 0.308(0.0795)}{0.0795 - 0.05812(0.0795^2) + 0.01765(0.0795^3)} = 12.3277$$

El parámetro de escala se calcula con la ecuación (2.62):

$$\alpha = \frac{36.0174}{12.3277} = 2.9217$$

9° Estimar los eventos de diseño con la ecuación (2.59).

**Por momentos:**

Para  $m = 1$ :

$$X_T = 3.1943 \times 11.2757 \left[ 1 - \frac{1}{9 \times 11.2757} + 2.0858 \times \sqrt{\frac{1}{9 \times 11.2757}} \right]^3 = 61.80$$

**Por máxima verosimilitud:**

Para  $m = 1$ :

$$X_T = 2.7303 \times 13.1915 \left[ 1 - \frac{1}{9 \times 13.1915} + 2.0858 \times \sqrt{\frac{1}{9 \times 13.1915}} \right]^3 = 59.63$$

**Por momentos-L:**

Para  $m = 1$ :

$$X_T = 2.9217 \times 12.3277 \left[ 1 - \frac{1}{9 \times 12.3277} + 2.0858 \times \sqrt{\frac{1}{9 \times 12.3277}} \right]^3 = 60.54$$

### 3.2.3.5. Distribución Gamma 3 Parámetros

Los resultados de esta distribución se muestran en la tabla 3.5 del anexo 3. El procedimiento de cálculo es el siguiente:

Repetir los pasos 1° al 6° de la distribución Normal.



7° Determinar los parámetros  $x_0$ ,  $\alpha$  y  $\beta$ .

**Parámetros por momentos:**

Calcular el coeficiente de asimetría, para el ejemplo es  $g = 1.2064$ .

Calcular la desviación estándar de los datos ordenados  $S = 10.7261$ .

Determinar el parámetro  $\beta$  con la ecuación (2.75).

$$\beta = \frac{4}{1.2064^2} = 2.7485$$

El parámetro  $\alpha$  con la ecuación (2.76).

$$\alpha = \frac{10.7261}{\sqrt{2.7485}} = 6.4698$$

El parámetro  $x_0$  con la ecuación (2.77).

$$x_0 = 36.0174 - 10.7261\sqrt{2.7485} = 18.2350$$

**Parámetros por máxima verosimilitud:**

Para estimar los parámetros por este método, se debe realizar el proceso de iteración, dando valor inicial al parámetro de ubicación  $x_0$  determinar los otros parámetros y la función digamma del parámetro de forma  $\psi(\beta)$ ; luego se comprueba con la ecuación (2.80) que deberá ser igual a cero.

Este proceso de iteración se realiza hasta lograr que la ecuación en mención sea igual a cero, al menos hasta el número de decimales igual al número de decimales de los parámetros.

En esta investigación los valores definitivos son:

$$x_0 = 20.831855$$

$$\sum_{i=1}^n (x_i - x_0) = (65.728 - 20.8319) + (64.688 - 20.8319) + \dots + (21.632 - 20.8319) = 804.8317$$

$$\sum_{i=1}^n \left[ \frac{1}{(x_i - x_0)} \right] = \left[ \frac{1}{(65.728 - 20.8319)} \right] + \left[ \frac{1}{(64.688 - 20.8319)} \right] + \dots + \left[ \frac{1}{(21.632 - 20.8319)} \right] = 6.8960$$

$$\alpha = \frac{804.8317}{53} - \frac{53}{6.8960} = 7.4999$$

$$\beta = \frac{1}{\left( 1 - \frac{53^2}{804.8317 \times 6.8960} \right)} = 2.0248$$

La función digamma del parámetro de forma con la ecuación (2.66).

$$\psi(\beta) = 0.4386$$

Confirmando con la ecuación (2.80).

$$\sum_{i=1}^n \ln(x_i - x_0) = \ln(65.728 - 20.8319) + \ln(64.688 - 20.8319) + \dots + \ln(21.632 - 20.8319) = 130.0366$$

$$F(x_0) = 130.0366 - 53 \times \ln(7.4999) - 53 \times 0.4386 = 0.0000000787$$

Como  $F(x_0) = 0.0000000787$ , y si tomamos el error de aproximación a cuatro decimales como tomamos el número de decimales de los parámetros, entonces  $F(x_0) = 0.0000$ , con ello los parámetros quedan como definitivos.

### Parámetros por Momentos de Probabilidad Pesada (MPP):

Cuando  $k = 0$  estimar el momento  $M_{(0)}$  con la ecuación (2.81).

$$M_{(0)} = \frac{(65.728 + 64.688 + \dots + 21.632)}{53} = 36.0174$$

Cuando  $k = 1$  estimar el momento  $M_{(1)}$  con la ecuación (2.82).

Antes estimar la sumatoria  $\sum_{i=1}^{n-1} x_i (n-i)$ , si  $m = 1$  al  $m = 53$ :

$$\sum_{i=1}^{n-1} x_i(n-i) = 65.728(53-1) + 64.688(53-2) + \dots + 21.632(53-53) = 57526.7680$$

$$M_{(1)} = \frac{1}{53(53-1)} 57526.7680 = 20.8733$$

Quando k = 2 estimar el momento  $M_{(2)}$  con la ecuación (2.83).

$$\sum_{i=1}^{n-2} x_i(n-i)(n-i-1) = 65.728(53-1)(53-1-1) + \dots + 21.632(53-1)(53-53-1)$$

$$\sum_{i=1}^{n-2} x_i(n-i)(n-i-1) = 2127523.2160$$

$$M_{(2)} = \frac{1}{53(53-1)(53-2)} (2127523.2160) = 15.1365$$

Quando k = 3 estimar el momento  $M_{(3)}$  con la ecuación (2.84).

$$\sum_{i=1}^{n-3} x_i(n-i)(n-i-1)(n-i-2) = 84571320.9120$$

$$M_{(3)} = \frac{1}{53(53-1)(53-2)(53-3)} (84571320.9120) = 12.0338$$

Estimar el valor de R y CS con la ecuación (2.85) y (2.86).

$$R = \frac{15.1365 - (36.0174/3)}{20.8733 - (36.0174/2)} = 1.0929$$

$$CS = -20.15278973 + 20.04052245 \times 1.0929 = 1.7493$$

Estimar el valor de H, CV y SD con las ecuaciones (2.87), (2.88) y (2.89).

$$H = -6.528013777 + 9.695774 \times 1.0929 = 4.0684$$

$$CV = 4.0684 \left[ \left( \frac{20.8733}{36.0174} \right) - 0.5 \right] = 0.3236$$

$$SD = 4.0684 \left[ 20.8733 - \left( \frac{36.0174}{2} \right) \right] = 11.6543$$

El parámetro  $\alpha$  con la ecuación (2.90).

$$\alpha = \frac{[(1.7493/1.7493) \times 11.6543]}{\sqrt{1.3072}} = 10.1934$$

Determinar el parámetro  $\beta$  con la ecuación (2.91).

$$\beta = \frac{4}{(1.7493)^2} = 1.3072$$

El parámetro  $x_0$  con la ecuación (2.92).

$$x_0 = 36.0174 - 10.1934 \times 1.3072 = 22.6927$$

8° Estimar los eventos de diseño con la ecuación (2.74).

**Por momentos, para m = 1:**

$$X_T = 18.2350 + 6.4698 \times 2.7485 \times \left[ 1 - \frac{1}{9 \times 2.7485} + 2.0858 \times \sqrt{\frac{1}{9 \times 2.7485}} \right]^3 = 64.86$$

**Por máxima verosimilitud, para m = 1:**

$$X_T = 20.8319 + 7.4999 \times 2.0248 \times \left[ 1 - \frac{1}{9 \times 2.0248} + 2.0858 \times \sqrt{\frac{1}{9 \times 2.0248}} \right]^3 = 65.59$$

**Por momentos de probabilidad pesada, para m = 1:**

$$X_T = 22.6927 + 10.1934 \times 1.3072 \times \left[ 1 - \frac{1}{9 \times 1.3072} + 2.0858 \times \sqrt{\frac{1}{9 \times 1.3072}} \right]^3 = 69.77$$

### 3.2.3.6. Distribución Log Pearson Tipo III

Los resultados de esta distribución se muestran en la tabla 3.6 del anexo 3. El procedimiento de cálculo es el siguiente:

Repetir los pasos 1° al 6° de la distribución Normal.

7° Estimar los parámetros de la función de densidad.

#### Parámetros por momentos (método indirecto):

Calcular el logaritmo Neperiano de los valores de la serie ordenada como se hizo para la distribución Log Normal de 2 Parámetros, con la ecuación (2.37).

Determinar promedio aritmético, desviación estándar y coeficiente de asimetría de los valores logarítmicos:

$$\bar{y} = \frac{4.1855 + 4.1696 + 4.1031 + \dots + 3.0742}{53} = 3.5456$$

$$S_y = \sqrt{\frac{(4.1855 - 3.5456)^2 + (4.1696 - 3.5456)^2 + \dots + (3.0742 - 3.5456)^2}{53 - 1}}$$

$$S_y = \sqrt{\frac{3.8582}{52}} = 0.2724$$

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^3 = (4.1855 - 3.5456)^3 + (4.1696 - 3.5456)^3 + \dots + (3.0742 - 3.5456)^3 = 0.6564$$

$$g_y = \frac{53 \times 0.6564}{(53 - 1)(53 - 2)(0.2724)^3} = 0.6490$$

El parámetro  $\beta$  con la ecuación (2.96).

$$\beta = \frac{4}{0.6490^2} = 9.4959$$

El parámetro  $\alpha$  con la ecuación (2.97).

$$\alpha = \frac{0.2724}{\sqrt{9.4959}} = 0.0884$$

El parámetro  $y_0$  con la ecuación (2.98).

$$y_0 = 3.5456 - 0.2724 \sqrt{9.4959} = 2.7062$$

### Parámetros por máxima verosimilitud:

Para estimar los parámetros por este método se debe realizar el proceso de iteración, dando valor inicial al parámetro de ubicación  $y_0$  determinar los otros parámetros y la función digamma del parámetro de forma  $\psi(\beta)$ ; luego se comprueba con la ecuación (2.101) que deberá ser igual a cero.

Este proceso de iteración se realiza hasta lograr que la ecuación mencionada sea igual a cero, al menos hasta el número de decimales igual al número de decimales de los parámetros.

En esta investigación los valores definitivos son:

$$y_0 = 2.88937$$

$$\sum_{i=1}^n [\ln(x_i) - y_0] = (\ln(65.728) - 2.88937) + (\ln(64.688) - 2.88937) + \dots + (\ln(21.632) - 2.88937)$$

$$\sum_{i=1}^n [\ln(x_i) - y_0] = 34.7812$$

$$\sum_{i=1}^n \left[ \frac{1}{\ln(x_i) - y_0} \right] = \left[ \frac{1}{\ln(65.728) - 2.88937} \right] + \left[ \frac{1}{\ln(64.688) - 2.88937} \right] + \dots + \left[ \frac{1}{\ln(21.632) - 2.88937} \right]$$

$$\sum_{i=1}^n \left[ \frac{1}{\ln(x_i) - y_0} \right] = 97.6084$$

El parámetro  $\alpha$  con la ecuación (2.99).

$$\alpha = \frac{1}{53} \times 34.7812 - \frac{53}{97.6084} = 0.1133$$

Determinar el parámetro  $\beta$  con la ecuación (2.100).

$$\beta = \frac{1}{1 - \frac{53^2}{34.7812 \times 97.6084}} = 5.7940$$

La función digamma del parámetro de forma  $\psi(\beta)$  se calcula con la ecuación (2.66).

$$\psi(\beta) = 1.6681$$

Comprobar la función  $F(y_0)$  con la ecuación (2.101).

$$\sum_{i=1}^n \ln[\ln(x_i) - y_0] = \ln[\ln(65.728) - 2.88937] + \dots + n[\ln(21.632) - 2.88937]$$

$$\sum_{i=1}^n \ln[\ln(x_i) - y_0] = -27.0293$$

$$F(y_0) = -27.0293 - 53 \times \ln(0.1133) - 53 \times 1.6681 = -0.0000026484$$

La  $F(y_0) = 0.0000$ , entonces los valores de los parámetros estimados por este método son los definitivos.

8° estimar los eventos de diseño con la ecuación (2.95).

**Por momentos, para m = 1:**

$$X_T = e^{\left( 2.7062 + 0.0884 \times 9.4959 \left( 1 - \frac{1}{9 \times 9.4959} + 2.0858 \sqrt{\frac{1}{9 \times 9.4959}} \right)^3 \right)} = 67.21$$

**Por máxima verosimilitud, para m = 1:**

$$X_T = e^{\left( 2.8894 + 0.1133 \times 5.7940 \left( 1 - \frac{1}{9 \times 5.7940} + 2.0858 \sqrt{\frac{1}{9 \times 5.7940}} \right)^3 \right)} = 68.89$$

### 3.2.3.7. Distribución Gumbel

Los resultados se muestran en la tabla 3.7 del anexo 3.

Procedimiento de cálculo se repite lo mismo que para la distribución Normal del paso 1° al paso 4°.

5° Calcular la probabilidad de no excedencia de los datos ordenados, con la ecuación (2.106).

Para  $m = 1$ :

$$q = 1 - 0.0185 = 0.9815$$

Para  $m = 2$ :

$$q = 1 - 0.0370 = 0.9630$$

...

Para  $m = 53$ :

$$q = 1 - 0.9815 = 0.0185$$

6° Estimar los parámetros de ubicación y de escala.

#### Parámetros por momentos:

Determinar la media aritmética y la desviación estándar de los datos ordenados.

$$\bar{x} = \frac{(65.728 + 64.688 + 60.528 + \dots + 21.632)}{53} = 36.0174$$

$$S = \sqrt{\frac{(65.728 - 36.0174)^2 + (64.688 - 36.0174)^2 + \dots + (21.632 - 36.0174)^2}{53 - 1}} = 10.7261$$

El parámetro de escala  $\alpha$  con la ecuación (2.107).

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \times 10.7261 = 8.3631$$

El parámetro de ubicación  $\mu$  con la ecuación (2.108).

$$u = 36.0174 - 0.577216 \times 8.3631 = 31.1901$$



---

**Parámetros por máxima verosimilitud:**

Asignar valores iniciales para los parámetros de ubicación  $\mu$  y de escala  $\alpha$ .

Para la primera iteración se puede tomar como valores iniciales los parámetros determinados por momentos, entonces  $\mu_0 = 31.1901$  y  $\alpha_0 = 8.3631$ .

Calcular la variable reducida Gumbel de los datos ordenados de mayor a menor con la ecuación (2.104).

Para  $m = 1$ :

$$y_1 = \frac{65.728 - 31.1901}{8.3631} = 4.1298$$

Para  $m = 2$ :

$$y_2 = \frac{64.688 - 31.1901}{8.3631} = 4.0055$$

...

Para  $m = 53$ :

$$y_{53} = \frac{21.632 - 31.1901}{8.3631} = -1.1429$$

Realizar la suma de las variables reducidas.

$$\sum_{i=1}^n y_i = 4.1298 + 4.0055 + \dots - 1.1429 = 30.5924$$

Calcular  $e^{-y_i}$  de la variable reducida.

Para  $m = 1$ :

$$e^{-y_1} = e^{-4.1298} = 0.0161$$

Para  $m = 2$ :

$$e^{-y_2} = e^{-4.0055} = 0.0182$$

...

Para  $m = 53$ :

$$e^{-y_{53}} = e^{-(-1.1429)} = 3.1358$$

Sumar.

$$\sum_{i=1}^n e^{-y_i} = 0.0161 + 0.0182 + \dots + 3.1358 = 49.7926$$

Realizar el producto  $y_i \cdot e^{-y_i}$ .

Para  $m = 1$ :

$$y_1 \cdot e^{-y_1} = 4.1298 \times 0.0161 = 0.0664$$

Para  $m = 2$ :

$$y_2 \cdot e^{-y_2} = 4.0055 \times 0.0182 = 0.0730$$

...

Para  $m = 53$ :

$$y_{53} \cdot e^{-y_{53}} = -1.1429 \times 3.1358 = -3.5839$$

Sumar.

$$\sum_{i=1}^n y_i \cdot e^{-y_i} = 0.0664 + 0.0730 + \dots - 3.5839 = -13.0484$$

Determinar los valores de  $P$  y  $R$  con las ecuaciones (2.109) y (2.110):

$$P = 53 - 49.7926 = 3.2074$$

$$R = 53 - 30.5924 + (-13.0484) = 9.3592$$

Los criterios de convergencia se determinan con las ecuaciones (2.111) y (2.112).

$$\frac{P}{\alpha_0} = \frac{3.2074}{8.3631} = 0.3835$$

$$\frac{-R}{\alpha_0} = \frac{-9.3592}{8.3631} = -1.1191$$

Determinar los incrementos con las ecuaciones (2.113) y (2.114).

$$\delta_{u_0} = (1.11 \times 3.2074 - 0.26 \times 9.3592) \frac{8.3631}{53} = 0.1778$$

$$\delta_{\alpha_0} = (0.26 \times 3.2074 - 0.61 \times 9.3592) \frac{8.3631}{53} = -0.7693$$

Los nuevos valores de los parámetros con las ecuaciones (2.115) y (2.116).

$$u_{0+1} = u_0 + \delta_{u_0} = 31.1901 + 0.1778 = 31.3679$$

$$\alpha_{0+1} = \alpha_0 + \delta_{\alpha_0} = 8.3631 + (-0.7693) = 7.5938$$

De esa manera se realiza la cantidad de iteraciones necesarias hasta que los criterios de convergencia se aproximen a cero.

Los valores definitivos de los parámetros de esta distribución al cabo de doce iteraciones son:

$$u = 32.6915, \alpha = 6.8471$$

#### **Parámetros por momentos-L:**

El parámetro de escala  $\alpha$  con la ecuación (2.117).

Con  $\lambda_2 = 2(20.8733) - 36.0174 = 5.7292$  calculada en la distribución Normal y Gamma 2 parámetros se calcula alfa.

$$\alpha = \frac{5.7292}{\ln(2)} = 8.2655$$

El parámetro de ubicación  $u$  con la ecuación (2.118).

$$u = 36.0174 - 0.577216 \times 8.2655 = 31.2464$$

7° Estimar los eventos con la ecuación (2.105).

#### **Eventos por momentos, para m = 1:**

$$X_T = 31.1901 - 8.3631 \times \ln[-\ln(0.9815)] = 64.47$$

#### **Eventos por máxima verosimilitud, para m = 1:**

$$X_T = 32.6915 - 6.8471 \times \ln[-\ln(0.9815)] = 59.94$$

### Eventos por momentos-L, para $m = 1$ :

$$X_T = 31.2464 - 8.2655 \times \ln[-\ln(0.9815)] = 64.14$$

### 3.2.3.8. Distribución Log Gumbel

Los resultados se muestran en la tabla 3.8 del anexo 3.

El procedimiento de cálculo es similar a la distribución Log Gumbel, con la diferencia que se debe calcular logaritmo natural de los datos ordenados.

6° Estimar los parámetros de ubicación y de escala.

#### Parámetros por momentos:

Determinar la media aritmética y la desviación estándar de los datos logarítmicos.

$$\mu_y = \frac{(Ln(65.728) + Ln(64.688) + Ln(60.528) + \dots + Ln(21.632))}{53} = 3.5456$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{(Ln(65.728) - 3.5456)^2 + (Ln(64.688) - 3.5456)^2 + \dots + (Ln(21.632) - 3.5456)^2}{53 - 1}} = 0.2724$$

El parámetro de escala  $\alpha$  con la ecuación (2.123).

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \times 0.2724 = 0.2124$$

El parámetro de ubicación  $\mu$  con la ecuación (2.124).

$$u = 3.5456 - 0.577216 \times 0.2124 = 3.4230$$

#### Parámetros por máxima verosimilitud:

Asignar valores iniciales para los parámetros de ubicación  $\mu$  y de escala  $\alpha$ .

Para la primera iteración se puede tomar como valores iniciales los parámetros determinados por momentos, entonces  $u_0 = 3.4230$  y  $\alpha_0 = 0.2124$ .

Calcular la variable reducida de Log Gumbel de los datos ordenados de mayor a menor con la ecuación (2.121).

Para  $m = 1$ :

$$y_1 = \frac{\text{Ln}(65.728) - 3.4230}{0.2124} = 3.5902$$

Para  $m = 2$ :

$$y_2 = \frac{\text{Ln}(64.688) - 3.4230}{0.2124} = 3.5151$$

...

Para  $m = 53$ :

$$y_{53} = \frac{\text{Ln}(21.632) - 3.4230}{0.2124} = -1.6426$$

Realizar la suma de las variables reducidas.

$$\sum_{i=1}^n y_i = 3.5902 + 3.5151 + \dots - 1.6426 = 30.5924$$

Calcular  $e^{-y_i}$  de la variable reducida.

Para  $m = 1$ :

$$e^{-y_1} = e^{-3.5902} = 0.0276$$

Para  $m = 2$ :

$$e^{-y_2} = e^{-3.5151} = 0.0297$$

...

Para  $m = 53$ :

$$e^{-y_{53}} = e^{-(-1.6426)} = 5.1685$$

Sumar.

$$\sum_{i=1}^n e^{-y_i} = 0.0276 + 0.0297 + \dots + 5.1685 = 55.0582$$

Realizar el producto  $y_i \cdot e^{-y_i}$ .

Para  $m = 1$ :

$$y_1 \cdot e^{-y_1} = 3.5902 \times 0.0276 = 0.0991$$

Para  $m = 2$ :

$$y_2 \cdot e^{-y_2} = 3.5151 \times 0.0297 = 0.1046$$

...

Para  $m = 53$ :

$$y_{31} \cdot e^{-y_{31}} = -1.6426 \times 5.1685 = -8.4896$$

Sumar.

$$\sum_{i=1}^n y_i \cdot e^{-y_i} = 0.0991 + 0.1046 + \dots - 8.4896 = -27.7376$$

Determinar los valores con las ecuaciones (2.109) y (2.110):

$$P = 53 - 55.0582 = -2.0582$$

$$R = 53 - 30.5924 + (-27.7376) = -5.3301$$

Los criterios de convergencia se determinan con las ecuaciones (2.111) y (2.112).

$$\frac{P}{\alpha_0} = \frac{-2.0582}{0.2124} = -9.6910$$

$$\frac{-R}{\alpha_0} = \frac{-(-5.3301)}{0.2124} = 25.0965$$

Determinar los incrementos con las ecuaciones (2.113) y (2.114).

$$\delta_{u_0} = (1.11 \times (-2.0582) - 0.26 \times (-5.3301)) \frac{0.2124}{53} = -0.0036$$

$$\delta_{\alpha_0} = (0.26 \times (-2.0582) - 0.61 \times (-5.3301)) \frac{0.2124}{53} = 0.0109$$

Los nuevos valores de los parámetros con las ecuaciones (2.115) y (2.116).

$$u_{0+1} = u_0 + \delta_{u_0} = 3.4230 - 0.0036 = 3.4194$$

$$\alpha_{0+1} = \alpha_0 + \delta_{\alpha_0} = 0.2124 + 0.0109 = 0.2233$$

De esa manera se realiza la cantidad de iteraciones necesarias, hasta que los criterios de convergencia se aproximen a cero.

Los valores definitivos de los parámetros de esta distribución al cabo de doce iteraciones son:

$$u = 3.4645, \alpha = 0.1952$$

#### **Parámetros por momentos-L:**

El parámetro de escala  $\alpha$  con la ecuación (2.117).

Con  $\lambda_2 = 2(1.8490) - 3.5456 = 0.1524$  calculada en la distribución Log Normal 2

Parámetros se calcula alfa.

$$\alpha = \frac{0.1524}{\ln(2)} = 0.2199$$

El parámetro de ubicación  $u$  con la ecuación (2.124).

$$u = 3.5456 - 0.577216 \times 0.2199 = 3.4187$$

7° Estimar los eventos con la ecuación (2.122).

#### **Eventos por momentos, para m = 1:**

$$X_T = e^{3.4230 - 0.2124 \times \ln[-\ln(0.9815)]} = 71.40$$

#### **Eventos por máxima verosimilitud, para m = 1:**

$$X_T = e^{3.4645 - 0.1952 \times \ln[-\ln(0.9815)]} = 69.49$$

#### **Eventos por momentos-L, para m = 1:**

$$X_T = e^{3.4187 - 0.2199 \times \ln[-\ln(0.9815)]} = 73.24$$

### **3.2.4. Pruebas de bondad y ajuste de las distribuciones**

La selección de la distribución de probabilidad de mejor ajuste se realizó con cuatro pruebas, de las cuales una de ellas es la selección mediante el análisis visual

del ajuste gráfico de los datos observados con los estimados, y tres de ellas son pruebas estadísticas con hipótesis nula e hipótesis alternativa.

### 3.2.4.1. Ajuste gráfico

Para realizar el análisis del ajuste gráfico, se grafica en un solo gráfico todas las distribuciones por los métodos de estimación de parámetros, con los valores observados en graduación semi logarítmico; es decir, el eje de las abscisas en escala logarítmica donde va el periodo de retorno y el eje de las ordenadas en escala decimal donde va la precipitación. También se puede graficar tomando en cuenta la probabilidad de no excedencia en el eje de las abscisas, como se puede ver en el gráfico 3.

El análisis de ajuste gráfico consiste en observar, cuál de las distribuciones se aproxima a la gráfica de los valores observados; entonces se puede decir que la distribución que se acerca lo más próximo posible, es la distribución teórica que mejor representa a la realidad.

Tabla 12  
 Ajuste gráfico de bondad de ajuste de precipitación máxima en 24 horas corregida de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Jerarquía	Distribución	Var. error	Jerarquía	Distribución	Var. error
1	Gamma 3 parámetros: MPP	2.3843	11	Gumbel: ML	4.6516
2	Log normal 3 parámetros: MV	3.1739	12	Log Gumbel: MV	5.0139
3	Log Pearson tipo III: MV	3.2607	13	Log normal 2 parámetros: Mo y MV	6.8348
4	Gamma 3 parámetros: MV	3.3950	14	Log normal 2 parámetros: ML	7.0901
5	Log Pearson tipo III: Mo	3.4940	15	Gamma 2 parámetros: Mo	7.2272
6	Log Gumbel: ML	3.6414	16	Gamma 2 parámetros: ML	7.8995
7	Gamma 3 parámetros: Mo	3.7631	17	Gamma 2 parámetros: MV	8.6206
8	Log Gumbel: Mo	3.9242	18	Gumbel: MV	10.1542
9	Log normal 3 parámetros: Mo	4.2839	19	Normal: Mo y MV	13.5267
10	Gumbel: Mo	4.4778	20	Normal: ML	13.7583

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Como en esta investigación se tiene veinte curvas de distribuciones teóricas y una curva de los datos observados, la observación visual se vuelve dificultoso; por lo que se ha optado calcular las varianzas del error, puesto que la distribución que más se aproxime a los datos observados, es aquella que presenta menor varianza en sus errores entonces, la distribución que mejor representa a los datos



observados es la distribución Gamma de 3 parámetros, cuyos parámetros han sido determinados por el método de momentos de probabilidad pesada, como se muestra en la tabla 12.

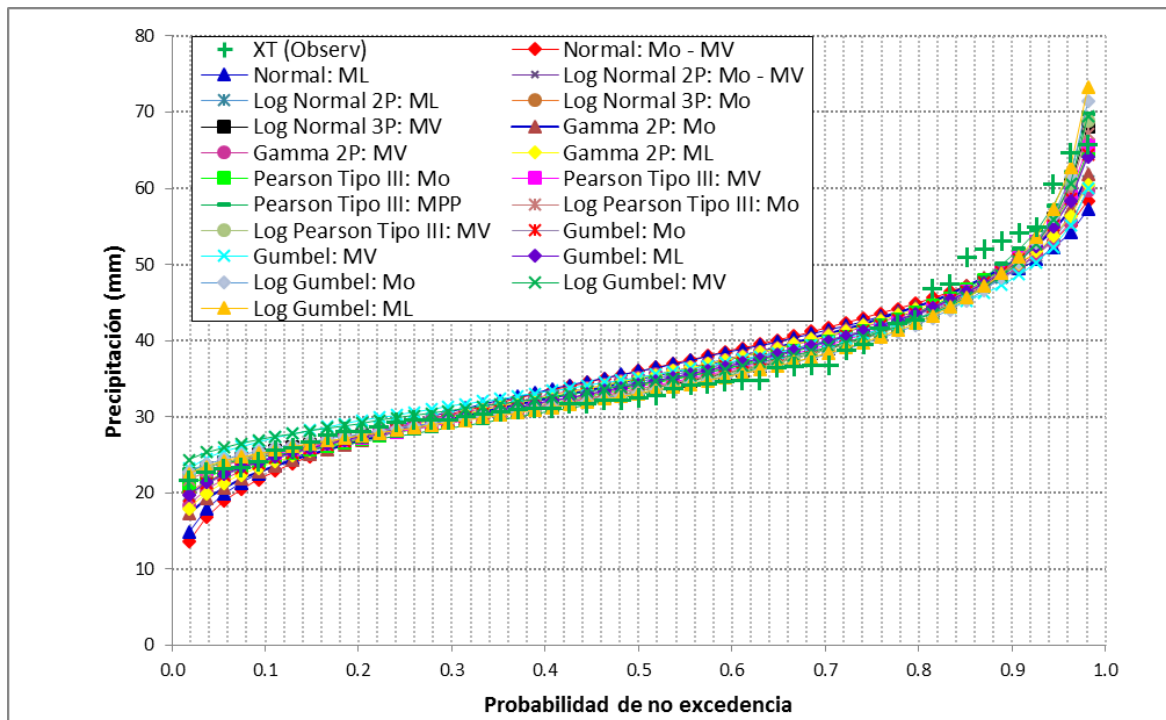


Gráfico 3. Ajuste gráfico de precipitación máxima en 24 horas observada corregida y estimadas por las distribuciones teóricas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

### 3.2.4.2. Método del error estándar de ajuste

Los resultados de cálculo por este método se muestran en las tablas 4.1 a 4.8 del anexo 4.

Para describir el procedimiento de cálculo de este método de selección de la distribución de mejor ajuste, se realiza para la distribución Gamma 3 parámetros, cuyo evento estimado es por el método de momentos de probabilidad pesada, porque el procedimiento para las demás distribuciones es lo mismo.

- 1° Asignar el número de orden a los datos de la serie.
- 2° Determinar el periodo de retorno.
- 3° Ordenar los datos de la observación de mayor a menor.
- 4° Extraer los datos estimados que corresponden a cada valor de la observación.

5° Calcular la diferencia al cuadrado del evento estimado menos el evento observado.

$$\sum_{i=1}^{n_j} (Xe_i - Xo_i)^2 = (69.77 - 65.728)^2 + (62.14 - 64.688)^2 + \dots + (23.08 - 21.632)^2 = 132.2347$$

6° Calcular el error estándar de ajuste con la ecuación (2.125).

$$EE = \left[ \frac{132.2347}{53 - 3} \right]^{1/2} = 1.6263$$

Seguir los mismos pasos del procedimiento descrito, para las demás distribuciones, y finalmente se realiza la comparación de todos los valores de error estándar de ajuste, la distribución que presente el menor valor de error estándar, será la distribución de probabilidad elegida que mejor se ajusta a los datos observados.

Tabla 13

Prueba de bondad de error estándar de ajuste de precipitación máxima en 24 horas corregida de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Jerarquía	Distribución	Error Estándar	Jerarquía	Distribución	Error Estándar
1	Gamma 3 parámetros: MPP	1.6263	11	Gumbel: ML	2.1901
2	Log normal 3 parámetros: MV	1.8496	12	Log Gumbel: MV	2.3292
3	Log Pearson tipo III: MV	1.8756	13	Log normal 2 parámetros: Mo y MV	2.6489
4	Gamma 3 parámetros: MV	1.9036	14	Log normal 2 parámetros: ML	2.6993
5	Log Pearson tipo III: Mo	1.9336	15	Gamma 2 parámetros: Mo	2.7179
6	Log Gumbel: ML	1.9575	16	Gamma 2 parámetros: ML	2.8407
7	Gamma 3 parámetros: Mo	1.9961	17	Gamma 2 parámetros: MV	2.9669
8	Log Gumbel: Mo	2.0450	18	Gumbel: MV	3.2485
9	Log normal 3 parámetros: Mo	2.1258	19	Normal: Mo y MV	3.7138
10	Gumbel: Mo	2.1495	20	Normal: ML	3.7454

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En conclusión, la distribución Gamma 3 parámetros estimados por momentos de probabilidad pesada es la de mejor ajuste, como se puede ver en la tabla 13 de resultados de esta prueba.

### 3.2.4.3. Prueba de ajuste Chi cuadrado

Aunque esta prueba es de aplicación estrictamente válida para ajustes a la distribución normal, por haberse desarrollado en base a datos normales e independientes, en la práctica se usa para cualquier modelo de ajuste.

Los resultados se muestran en la tabla 5.1 del anexo 5 de esta tesis.

El procedimiento se describe para la distribución normal cuyo evento ha sido estimado por momentos y máxima verosimilitud.

- 1° Determinar el tamaño de la muestra, que en este caso es 53.
- 2° Determinar el máximo valor de la muestra, que es 65.728.
- 3° Determinar el valor mínimo de la muestra, que es 21.632.
- 4° Calcular el número de intervalos de clase.

$$K = 1 + 3.332 \cdot \log(n) = 1 + 3.332 \cdot \log(53) = 6.745, \text{ se asume un } K = 7.$$

- 5° Determinar el rango del evento observado.

$$R = \text{máx} - \text{mín} = 65.728 - 21.632 = 44.096$$

- 6° Determinar amplitud de intervalo de clase.

$$\Delta x = \frac{R}{k-1} = \frac{44.096}{7-1} = 7.349$$

- 7° Determinar los límites inferior y superior.

Para intervalo 1:

$$Li = 21.632 - \frac{7.349}{2} = 17.957$$

$$Ls = 22.632 + \frac{7.349}{2} = 25.307$$

8° Calcular la marca de clase.

Para intervalo 1:

$$Marca = \frac{17.957 + 25.307}{2} = 21.632$$

....

Para intervalo 7:

$$Marca = \frac{62.053 + 69.403}{2} = 65.728$$

Tabla 14

Intervalos de clase de la prueba de ajuste Chi cuadrado de precipitación máxima en 24 horas corregida de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Intervalo - i	Límites		Marca de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absol. acum.	Frecuencia relat. acum.
	Inferior	Superior					
1	17.957	25.307	21.632	5	0.094	5	0.094
2	25.307	32.656	28.981	22	0.415	27	0.509
3	32.656	40.005	36.331	13	0.245	40	0.755
4	40.005	47.355	43.680	4	0.075	44	0.830
5	47.355	54.704	51.029	5	0.094	49	0.925
6	54.704	62.053	58.379	2	0.038	51	0.962
7	62.053	69.403	65.728	2	0.038	53	1.000

Fuente: Elaboración propia, 2018.

9° Determinar la frecuencia absoluta, que es la cantidad de valores observados que estén dentro de los límites por cada intervalo de clase, como se puede ver en la tabla 14.

10° Determinar la función de distribución de probabilidad en el límite inferior y superior de los intervalos.

Calcular la variable normal estándar z de la distribución normal con la ecuación (2.25).

Para intervalo 1:

El valor de z del límite inferior.

$$z_i = \frac{Li_i - \mu}{\sigma} = \frac{17.957 - 36.0174}{10.7261} = -1.6838$$

El valor de z del límite superior.

$$z_s = \frac{Ls_i - \mu}{\sigma} = \frac{25.307 - 36.0174}{10.7261} = -0.9986$$

Con el valor de z, ingresar a la Tabla 8.3 de probabilidad acumulada de la distribución normal estándar del anexo 8 y obtener el área  $P=1-\alpha$ , que será la función de distribución de probabilidad en el límite considerado. Si z es negativo entrar como z positivo y la función de distribución de probabilidad será  $1-P$ .

Otra opción, es usando la función estadística de Excel (para versiones 2010 y posteriores), cuya formulación es: =DISTR.NORM.ESTAND.N(z,1), que le dará directamente la función de distribución de probabilidad en el límite considerado.

$$F(I_1) = \text{DISTR.NORM.ESTAND.N}(-1.6838,1) = 0.0461$$

$$F(S_1) = \text{DISTR.NORM.ESTAND.N}(-0.9986,1) = 0.1590$$

11° Calcular el número de valores esperados en el intervalo de clase i, con la ecuación (2.127).

$$e_1 = 53[0.1590 - 0.0461] = 5.98$$

$$e_2 = 53[0.3770 - 0.1590] = 11.55$$

...

$$e_7 = 53[0.9991 - 0.9924] = 0.35$$

12° Calcular Chi-cuadrado  $\chi_c^2$  con la ecuación (2.126).

$$\frac{(o_1 - e_1)^2}{e_1} = \frac{(5 - 5.98)^2}{5.98} = 0.1615$$

$$\frac{(o_2 - e_2)^2}{e_2} = \frac{(22 - 11.55)^2}{11.55} = 9.4453$$

...

$$\frac{(o_7 - e_7)^2}{e_7} = \frac{(2 - 0.35)^2}{0.35} = 7.6567$$

$$\chi_c^2 = 0.1615 + 9.4453 + \dots + 7.6567 = 22.0084$$

13° Comparar Chi-cuadrado calculado  $\chi_c^2$  con Chi-cuadrado tabular.

Para esta distribución normal se tiene dos parámetros por tanto  $h = 2$ , entonces  $\nu = 7 - 1 - 2 = 4$  grados de libertad; el nivel de significancia  $\alpha = 5\%$ , es decir con una probabilidad del 95% ó 0.95 se ingresa a la tabla 8.5 distribución Chi-cuadrado del anexo 8, obteniendo un  $\chi_t^2 = 9.4877$ .

14° Realizar la decisión.

**Hipótesis:**

$H_0$ : La muestra proviene de una distribución normal.

$H_1$ : La muestra no proviene de una distribución normal.

**Decisión:**

Como  $\chi_c^2 = 22.0084 > \chi_t^2 = 9.4877$ , se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  al 5% de nivel de significancia, aceptando la hipótesis alternativa  $H_1$ .

De similar manera se realiza la prueba Chi cuadrado, para las demás distribuciones de probabilidad.

En conclusión, la distribución Gamma 3 parámetros estimados por momentos de probabilidad pesada es la de mejor ajuste, como se puede ver en la tabla 15 de resultados de la prueba de ajuste Chi cuadrado.

Tabla 15

Prueba de ajuste Chi cuadrado de precipitación máxima en 24 horas corregida de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Jerarquía	Distribución	$\chi^2$	H <sub>0</sub>	Jerarquía	Distribución	$\chi^2$	H <sub>0</sub>
1	Gamma 3 parámetros: MPP	3.6947	Se acepta	11	Gumbel: ML	7.5703	Se acepta
2	Log Gumbel: ML	4.3244	Se acepta	12	Log normal 2 parámetros: Mo y MV	10.1393	Se rechaza
3	Log normal 3 parámetros: MV	4.5281	Se acepta	13	Log normal 2 parámetros: ML	10.3753	Se rechaza
4	Log Pearson tipo III: MV	4.6471	Se acepta	14	Log Gumbel: MV	10.8599	Se rechaza
5	Log Gumbel: Mo	4.8545	Se acepta	15	Gumbel: MV	13.7937	Se rechaza
6	Gamma 3 parámetros: MV	5.0550	Se acepta	16	Gamma 2 parámetros: Mo	14.2368	Se rechaza
7	Log Pearson tipo III: Mo	5.3329	Se acepta	17	Gamma 2 parámetros: ML	14.4387	Se rechaza
8	Gamma 3 parámetros: Mo	6.4662	Se acepta	18	Gamma 2 parámetros: MV	14.8947	Se rechaza
9	Log normal 3 parámetros: Mo	7.2701	Se acepta	19	Normal: Mo y MV	22.0084	Se rechaza
10	Gumbel: Mo	7.5346	Se acepta	20	Normal: ML	26.3700	Se rechaza

Fuente: Elaboración propia, 2018.

### 3.2.4.4. Prueba de Kolmogorov-Smirnov

Los resultados de esta prueba se muestran en las tablas (6.1) al (6.8) del anexo 6.

Procedimiento de cálculo de esta prueba es:

1° Ordenar los datos de la muestra de mayor a menor.

2° Calcular la función de distribución de probabilidad observada de cada uno de los datos ordenados con la ecuación (2.129).

Si  $m = 1$ :

$$F_o(x_1) = 1 - \frac{1}{53+1} = 0.9815$$

Si  $m = 2$ :

$$F_o(x_2) = 1 - \frac{2}{53+1} = 0.9630$$

...

Si  $m = 53$ :

$$F_o(x_{53}) = 1 - \frac{53}{53+1} = 0.0185$$

3° Calcular el valor de la variable normal estándar  $z$  de la distribución considerada.

Por ejemplo, para la distribución normal, por momentos y máxima verosimilitud:

Para  $m = 1$ :

Determinar la variable normal estándar de la distribución con ecuación (2.25)

$$z_1 = \frac{x_1 - \mu}{\sigma} = \frac{65.728 - 36.0174}{10.7261} = 2.7699$$

Para  $m = 2$ :

$$z_2 = \frac{x_2 - \mu}{\sigma} = \frac{64.688 - 36.0174}{10.7261} = 2.6730$$

...

Para  $m = 53$ :

$$z_{53} = \frac{x_{53} - \mu}{\sigma} = \frac{21.632 - 36.0174}{10.7261} = -1.3412$$

4° Calcular la función de distribución de probabilidad.

Con valor de  $z$  y aproximación a 2 decimales ingresar a la tabla 8.3 de probabilidad acumulada de la distribución normal estándar del anexo 8.

Para  $z_1 = 2.77$  la función de distribución de probabilidad es  $F(x_1) = 0.9972$

Para  $z_2 = 2.67$  la función de distribución de probabilidad es  $F(x_2) = 0.9962$

...

Si  $z < 0$  usar  $F(x_m) = 1 - F(|z|)$

Para  $z_{53} = -1.34$  la función de distribución de probabilidad es  $F(x_{53}) = 1 - 0.9099 = 0.0901$

También se puede estimar la función de distribución de probabilidad con las ecuaciones (2.131), (2.132), (2.133) y (2.134).

Para  $m = 1$ :

$$t_1 = \frac{1}{1 + 0.2316419|2.7699|} = 0.6091$$



$$f(z_1) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{2.7699^2}{2}} = 0.0086$$

$$F(z_1) \approx 1 - 0.0086(b_1 \cdot 0.6091 + b_2 \cdot 0.6091^2 + b_3 \cdot 0.6091^3 + b_4 \cdot 0.6091^4 + b_5 \cdot 0.6091^5)$$

$$F(z_1) \approx 0.9972$$

Como  $z = 2.7699$  mayor que cero, entonces según la condición de la ecuación (2.134).

$$F(x_1) = F(z_1) \approx 0.9972$$

De esa manera se puede calcular la función de distribución de probabilidad o acumulada, para las demás distribuciones excepto para las distribuciones Gumbel y Log Gumbel es de otra manera.

Otra manera de calcular es usando la función estadística de Excel (versión 2010 en adelante) cuya fórmula es: =DISTR.NORM.ESTAND.N(z,1), donde 1 = VERDADERO indica la función de distribución acumulativa, que es igual al área  $1 - \alpha$  de la probabilidad acumulada de la distribución normal estándar.

Para  $m = 1$ :

$$=DISTR.NORM.ESTAND.N(2.7699,1) = 0.9972$$

Para  $m = 2$ :

$$=DISTR.NORM.ESTAND.N(2.6730,1) = 0.9962$$

...

Para  $m = 53$ :

$$=DISTR.NORM.ESTAND.N(-1.3412,1) = 0.0899$$

Los resultados se muestran en la tabla 6.1 del anexo 6.

5° Calcular el valor absoluto de la diferencia entre la función de distribución de probabilidad observada y la función de distribución de probabilidad estimada.

Para  $m = 1$ :

$$|F_o(x_1) - F(x_1)| = |0.9815 - 0.9972| = 0.0157$$

Para  $m = 2$ :

$$|F_o(x_2) - F(x_2)| = |0.9630 - 0.9962| = 0.0333$$

...

Para  $m = 53$ :

$$|F_o(x_{53}) - F(x_{53})| = |0.0185 - 0.0899| = 0.0714$$

6° Determinar el máximo valor absoluto de la diferencia calculada en el paso anterior.

$D_c = 0.1772$ , que corresponde a  $m = 20$ .

7° Comparar el máximo valor absoluto de la diferencia calculada  $D_c$  con el  $D_t$  de la tabla 8.7 Test de Kolmogorov-Smirnov sobre bondad de ajuste del anexo 8. Para un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$  para  $n = 53$ , el valor tabular es:  
 $D_t = 0.1868$

8° Realizar la decisión de la prueba de hipótesis.

**Hipótesis para el ejemplo desarrollado:**

$H_0$ : La muestra proviene de una distribución normal.

$H_1$ : La muestra no proviene de una distribución normal.

**Decisión:**

Como  $D_c = 0.1772 < D_t = 0.1868$ , se acepta la hipótesis  $H_0$ , que la muestra proviene de la distribución normal al 5% de nivel de significancia.

Para las demás distribuciones el procedimiento de cálculo es similar a lo descrito, excepto para las distribuciones Gumbel y Log Gumbel, la función de distribución de probabilidad se calcula con las ecuaciones (2.102) y (2.119) en función de la variable reducida de las ecuaciones (2.104) y (2.121) respectivamente.

**Por ejemplo, para la distribución Gumbel cuyos parámetros han sido determinados por momentos:**

Seguir los mismos pasos del 1° al 2° del procedimiento anterior.

Para  $m = 1$ , la variable reducida es:

$$y_1 = \frac{x_1 - \mu}{\alpha} = \frac{65.728 - 31.1901}{8.3631} = 4.1298$$

La función de distribución de probabilidad es:

$$F(x_1) = e^{-e^{-4.1298}} = 0.9840$$

El valor absoluto de la diferencia

$$|F_o(x_1) - F(x_1)| = |0.9815 - 0.9840| = 0.0026$$

Continuar con los pasos 6° al 8° del procedimiento anterior, para obtener el D crítico y tabular, luego comparar para dar con la decisión de la distribución de probabilidad.

En la tabla 16 se puede ver que la distribución de mejor ajuste es la distribución Log Gumbel por momentos L, por presentar un Dc menor que las demás.

Tabla 16

Prueba de ajuste de Kolmogorov-Smirnov de precipitación máxima en 24 horas corregida de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Jerarquía	Distribución	Dc	H <sub>0</sub>	Jerarquía	Distribución	Dc	H <sub>0</sub>
1	Log Gumbel: ML	0.0603	Se acepta	11	Gumbel: Mo	0.1099	Se acepta
2	Log Gumbel: Mo	0.0608	Se acepta	12	Gumbel: ML	0.1105	Se acepta
3	Log Pearson tipo III: MV	0.0714	Se acepta	13	Log normal 2 parámetros: ML	0.1264	Se acepta
4	Log normal 3 parámetros: MV	0.0733	Se acepta	14	Log normal 2 parámetros: Mo y MV	0.1265	Se acepta
5	Log Pearson tipo III: Mo	0.0834	Se acepta	15	Gumbel: MV	0.1534	Se acepta
6	Gamma 3 parámetros: MV	0.0856	Se acepta	16	Normal: Mo y MV	0.1772	Se acepta
7	Gamma 3 parámetros: MPP	0.0966	Se acepta	17	Normal: ML	0.1798	Se acepta
8	Gamma 3 parámetros: Mo	0.0983	Se acepta	18	Gamma 2 parámetros: Mo	0.2168	Se rechaza
9	Log normal 3 parámetros: Mo	0.1063	Se acepta	19	Gamma 2 parámetros: ML	0.2172	Se rechaza
10	Log Gumbel: MV	0.1089	Se acepta	20	Gamma 2 parámetros: MV	0.2177	Se rechaza

Fuente: Elaboración propia, 2018.

### 3.2.5. Estimación de precipitación máxima para periodos de retorno

Los resultados de estimación de la precipitación para diferentes periodos de retorno se muestran en las tablas 3.9 a 3.16 del anexo 3.

La precipitación máxima estimada con la distribución de mejor ajuste para los periodos de retornos de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años se puede ver en la tabla 17:

Tabla 17  
 Precipitación máxima estimada por distribución Gamma 3 parámetros-MPP de la estación CO 788-Capachica

T (años)	p = 1/T	q = 1-1/T	v	U <sub>T</sub>	Precipitación estimada (mm)
					MPP
100	0.0100	0.9900	3.0349	2.3268	76.59
50	0.0200	0.9800	2.7971	2.0542	68.92
25	0.0400	0.9600	2.5373	1.7511	61.29
10	0.1000	0.9000	2.1460	1.2817	51.21
5	0.2000	0.8000	1.7941	0.8415	43.51
2	0.5000	0.5000	1.1774	0.0000	32.90

Fuente: Elaboración propia, 2018.

### 3.2.6. Distribución de intensidad máxima de precipitación

Para la distribución de la precipitación pluvial, se ha aplicado los modelos de precipitación Dick Peschke, la combinación de modelo Frederick Charles Bell-Yance Tueros y modelo Frederick Charles Bell-Dick Peschke, los que se desarrollan en seguida.

#### 3.2.6.1. Modelo de Dick Peschke

La precipitación con duraciones entre 5 minutos y 120 minutos, en función de la precipitación máxima en 24 horas obtenidas mediante la distribución de probabilidad de mejor ajuste y periodos de retorno considerados, se calcula con la fórmula planteada por Dick Peschke.

El procedimiento de cálculo es la siguiente:

1° Calcular la precipitación máxima con la ecuación (2.138).

Como ejemplo se desarrolla para una duración de  $d = 5$  minutos:

$T = 2$  años y  $P_{24h} = 32.90$  mm

$$P_5 = 32.90 \times \left( \frac{5}{1440} \right)^{0.25} = 7.99 \text{ mm}$$

T = 5 años y P<sub>24h</sub> = 43.51 mm

$$P_5 = 43.51 \times \left( \frac{5}{1440} \right)^{0.25} = 10.56 \text{ mm}$$

...

T = 100 años y P<sub>24h</sub> = 76.59 mm

$$P_5 = 76.59 \times \left( \frac{5}{1440} \right)^{0.25} = 18.59 \text{ mm}$$

De esa manera se realiza el cálculo de la precipitación máxima para las demás duraciones, cuyos resultados se muestran en la tabla 18.

Tabla 18  
Precipitación pluvial máxima según modelo Dick Peschke de la estación CO 788-Capachica

T (años)	Pp Máx. 24 hrs.	Duración de precipitación en minutos											
		5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	90	120
2	32.90	7.99	9.50	10.51	11.29	11.94	12.50	12.99	13.43	14.20	14.86	16.45	17.68
5	43.51	10.56	12.56	13.90	14.94	15.79	16.53	17.18	17.76	18.78	19.66	21.76	23.38
10	51.21	12.43	14.78	16.36	17.58	18.59	19.46	20.22	20.91	22.11	23.14	25.61	27.51
25	61.29	14.88	17.69	19.58	21.04	22.25	23.29	24.20	25.02	26.46	27.69	30.65	32.93
50	68.92	16.73	19.90	22.02	23.66	25.02	26.18	27.21	28.14	29.75	31.14	34.46	37.03
100	76.59	18.59	22.11	24.47	26.29	27.80	29.10	30.24	31.27	33.06	34.60	38.30	41.15

Fuente: Elaboración propia, 2018.

2° Calcular la intensidad máxima de precipitación con la ecuación (2.135).

T = 2 años y d = 5 minutos:

$$i_{\text{máx.}} = \frac{7.99 \text{ mm}}{5 \text{ min}} \left( \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \right) = 95.84 \text{ mm/h}$$

T = 5 años y d = 5 minutos:

$$i_{máx.} = \frac{10.56mm}{5 \text{ min}} \left( \frac{60 \text{ min}}{1h} \right) = 126.74mm/h$$

...

T = 100 años y d = 5 minutos:

$$i_{máx.} = \frac{18.59mm}{5 \text{ min}} \left( \frac{60 \text{ min}}{1h} \right) = 223.10mm/h$$

Lo mismo se realiza para las demás duraciones y periodos de retorno. Los resultados se muestran en la tabla 19.

Tabla 19

Intensidad máxima de precipitación pluvial derivada del modelo de Dick Peschke de la estación CO 788-Capachica

T (años)	Duración de precipitación en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	90	120
	Intensidad máxima (mm/h)											
2	95.84	56.98	42.04	33.88	28.66	25.00	22.27	20.15	17.04	14.86	10.97	8.84
5	126.74	75.36	55.60	44.81	37.90	33.06	29.45	26.64	22.54	19.66	14.50	11.69
10	149.17	88.70	65.44	52.74	44.61	38.91	34.66	31.36	26.53	23.14	17.07	13.76
25	178.53	106.16	78.32	63.12	53.39	46.57	41.49	37.53	31.75	27.69	20.43	16.47
50	200.76	119.37	88.07	70.98	60.04	52.37	46.65	42.20	35.70	31.14	22.97	18.51
100	223.10	132.66	97.87	78.88	66.72	58.20	51.84	46.90	39.67	34.60	25.53	20.58

Fuente: Elaboración propia, 2018.

### 3.2.6.2. Modelo de Frederick Charles Bell

#### a. Modelo Frederick Charles Bell-Yance Tueros

La precipitación con duraciones entre 5 minutos y 120 minutos, en función de la precipitación de duración 60 minutos y periodo de retorno de 10 años.

El procedimiento de cálculo es:

1° Calcular  $P_{10}^{60}$  a partir de la ecuación (2.140) de intensidad máxima horaria en función de la precipitación máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 10 años, obtenidas mediante la distribución de probabilidad de mejor ajuste.

$$I_{máx.} = 0.4602 \times 51.21^{0.876} = 14.47mm/h$$

Despejando la precipitación de la ecuación (2.135) es:  $P = I_{máx.} \times t$

La precipitación para una duración de 60 minutos y 10 años de periodo de retorno será:

$$P_{10}^{60} = I_{máx.} \times t = P_{10}^{60} = \frac{14.47mm}{h} \times 1h = 14.47mm$$

2° Calcular la precipitación máxima con la ecuación (2.139).

Para T = 2 años y t = 5 minutos:

$$P_2^5 = (0.21 \times \ln(2) + 0.52) (0.54 \times 5^{0.25} - 0.50) \times 14.47 = 2.96mm$$

Para T = 5 años y t = 5 minutos:

$$P_5^5 = (0.21 \times \ln(5) + 0.52) (0.54 \times 5^{0.25} - 0.50) \times 14.47 = 3.82mm$$

...

Para T = 100 años y t = 5 minutos:

$$P_{100}^5 = (0.21 \times \ln(100) + 0.52) (0.54 \times 5^{0.25} - 0.50) \times 14.47 = 6.61mm$$

Los resultados de los cálculos se muestran en la tabla 20.

Tabla 20  
Precipitación pluvial máxima según modelo de Frederick Charles Bell-Yance  
Tueros de la estación CO 788-Capachica

T (años)	$P_{10}^{60}$ (mm)	Duración de precipitación en minutos											
		5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	90	120
2	14.47	2.96	4.43	5.42	6.18	6.81	7.35	7.83	8.26	9.01	9.66	11.20	12.39
5	14.47	3.82	5.71	6.98	7.97	8.78	9.48	10.10	10.65	11.62	12.45	14.44	15.98
10	14.47	4.46	6.68	8.17	9.32	10.27	11.09	11.81	12.46	13.59	14.56	16.89	18.69
25	14.47	5.32	7.96	9.74	11.11	12.24	13.21	14.07	14.84	16.19	17.35	20.12	22.27
50	14.47	5.97	8.93	10.92	12.46	13.73	14.82	15.79	16.65	18.16	19.46	22.57	24.98
100	14.47	6.61	9.90	12.11	13.81	15.22	16.43	17.50	18.46	20.13	21.57	25.02	27.69

Fuente: Elaboración propia, 2018.

3° Calcular la intensidad máxima de precipitación con la ecuación (2.135).

Para T = 2 años y t = 5 minutos:

$$i_{máx.} = \frac{2.96mm}{5 \text{ min}} \left( \frac{60 \text{ min}}{1h} \right) = 35.53mm/h$$

Para T = 5 años y t = 5 minutos:

$$i_{m\acute{a}x.} = \frac{3.82mm}{5 \text{ min}} \left( \frac{60 \text{ min}}{1h} \right) = 45.80mm/h$$

...

Para T = 100 años y t = 5 minutos:

$$i_{m\acute{a}x.} = \frac{6.61mm}{5 \text{ min}} \left( \frac{60 \text{ min}}{1h} \right) = 79.38mm/h$$

De similar manera se calcula para las demás duraciones por cada periodo de retorno considerado, teniendo como resultado la tabla 21 de intensidades máximas.

Tabla 21

Intensidad máxima de precipitación pluvial derivada del modelo de Frederick Charles Bell-Yance Tueros de la estación CO 788-Capachica

T (años)	Duración de precipitación en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	90	120
	Intensidad máxima (mm/h)											
2	35.53	26.59	21.67	18.54	16.35	14.71	13.43	12.39	10.81	9.66	7.47	6.20
5	45.80	34.28	27.94	23.90	21.07	18.96	17.31	15.97	13.94	12.45	9.62	7.99
10	53.57	40.09	32.68	27.96	24.65	22.18	20.24	18.68	16.30	14.56	11.26	9.34
25	63.84	47.78	38.94	33.32	29.38	26.43	24.13	22.27	19.43	17.35	13.42	11.14
50	71.61	53.59	43.68	37.37	32.95	29.64	27.06	24.98	21.80	19.46	15.05	12.49
100	79.38	59.41	48.42	41.43	36.53	32.86	30.00	27.69	24.16	21.57	16.68	13.85

Fuente: Elaboración propia, 2018.

## b. Modelo Frederick Charles Bell-Dick Peschke

1° Calcular  $P_{10}^{60}$  con la ecuación (2.138) en función de la precipitación máxima en 24 horas y un tiempo de retorno de 10 años obtenida mediante la distribución de probabilidad de mejor ajuste.

$$P_{10}^{60} = 51.21 \left( \frac{60}{1440} \right)^{0.25} = 23.14mm$$

2° Calcular la precipitación máxima con la ecuación (2.139).



Para T = 2 años y t = 5 minutos:

$$P_2^5 = (0.21 \times \ln(2) + 0.52) (0.54 \times 5^{0.25} - 0.50) \times 23.14 = 4.73 \text{ mm}$$

Para T = 5 años y t = 5 minutos:

$$P_5^5 = (0.21 \times \ln(5) + 0.52) (0.54 \times 5^{0.25} - 0.50) \times 23.14 = 6.10 \text{ mm}$$

...

Para T = 100 años y t = 5 minutos:

$$P_{100}^5 = (0.21 \times \ln(100) + 0.52) (0.54 \times 5^{0.25} - 0.50) \times 23.14 = 10.58 \text{ mm}$$

Los resultados de la precipitación máxima se muestran en la tabla 22.

Tabla 22

Precipitación pluvial máxima según modelo de Frederick Charles Bell-Dick Peschke de la estación CO 788-Capachica

T (años)	Duración de precipitación en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	90	120
	Precipitación máxima (mm)											
2	4.73	7.09	8.67	9.89	10.89	11.76	12.53	13.21	14.41	15.44	17.91	19.82
5	6.10	9.14	11.17	12.74	14.04	15.16	16.15	17.03	18.58	19.91	23.09	25.55
10	7.14	10.69	13.07	14.91	16.43	17.73	18.89	19.92	21.73	23.29	27.01	29.89
25	8.51	12.74	15.57	17.76	19.58	21.13	22.51	23.74	25.90	27.75	32.19	35.62
50	9.54	14.29	17.47	19.93	21.96	23.71	25.25	26.63	29.05	31.13	36.11	39.95
100	10.58	15.84	19.36	22.09	24.34	26.28	27.99	29.52	32.20	34.51	40.02	44.29

Fuente: Elaboración propia, 2018.

3° Calcular la intensidad máxima de precipitación con la ecuación (2.135).

Para T = 2 años y t = 5 minutos:

$$i_{\text{máx.}} = \frac{4.73 \text{ mm}}{5 \text{ min}} \left( \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \right) = 56.82 \text{ mm/h}$$

Para T = 5 años y t = 5 minutos:

$$i_{\text{máx.}} = \frac{6.10 \text{ mm}}{5 \text{ min}} \left( \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \right) = 73.25 \text{ mm/h}$$

...

Para T = 100 años y t = 5 minutos:

$$i_{m\acute{a}x.} = \frac{10.58mm}{5 \text{ min}} \left( \frac{60 \text{ min}}{1h} \right) = 126.95mm/h$$

De similar manera se calcula para las demás duraciones por cada periodo de retorno considerado, teniendo como resultado la tabla 23 de intensidades máximas de precipitación pluvial.

Tabla 23  
Intensidad máxima de precipitación pluvial derivada del modelo de Frederick Charles Bell-Dick Peschke de la estación CO 788-Capachica

T (años)	Duración de precipitación en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	90	120
	Intensidad máxima (mm/h)											
2	56.82	42.53	34.66	29.66	26.15	23.52	21.47	19.82	17.29	15.44	11.94	9.91
5	73.25	54.82	44.68	38.23	33.71	30.32	27.68	25.55	22.30	19.91	15.39	12.78
10	85.67	64.12	52.26	44.72	39.42	35.47	32.38	29.88	26.08	23.29	18.01	14.94
25	102.10	76.42	62.28	53.29	46.98	42.27	38.59	35.61	31.08	27.75	21.46	17.81
50	114.53	85.72	69.86	59.78	52.70	47.41	43.28	39.95	34.86	31.13	24.07	19.98
100	126.95	95.02	77.44	66.26	58.42	52.56	47.98	44.28	38.64	34.51	26.68	22.15

Fuente: Elaboración propia, 2018.

### 3.2.7. Análisis de regresión lineal múltiple

Para desarrollar el procedimiento en la obtención de la ecuación se toma, por ejemplo, los valores de intensidad máxima de Dick Peschke cuyos resultados se puede ver en la tabla 7.1 del anexo7.

El logaritmo utilizado en la obtención de las fórmulas de intensidad de precipitación es el logaritmo de base 10, este logaritmo se utilizó porque sus valores son menores que los que se puede obtener al aplicar el logaritmo Neperiano.

Para una duración d = 5 minutos, tiempo de retorno T = 2 años y una intensidad de I = 95.84 mm/h.

1° Calcular logaritmo de la intensidad máxima de precipitación.

$$Y = \log(95.84) = 1.9815$$

2° Calcular logaritmo del periodo de retorno.

$$X_1 = \log(2) = 0.3010$$

3° calcular logaritmo de duración.

$$X_2 = \log(5) = 0.6990$$

4° Calcular el producto  $X_1 * Y$ .

$$X_1 \times Y = 0.3010 \times 1.9815 = 0.5965$$

5° Calcular el producto  $X_2 * Y$ .

$$X_2 = 0.6990 \times 1.9815 = 1.3850$$

6° Calcular  $(X_1)^2$ .

$$(X_1)^2 = (0.3010)^2 = 0.0906$$

7° Calcular  $(X_2)^2$ .

$$(X_2)^2 = (0.6990)^2 = 0.4886$$

8° Calcular el producto  $X_1 * X_2$ .

$$X_1 \times X_2 = 0.3010 \times 0.6990 = 0.2104$$

De esa manera calcular para todas las duraciones, periodo de retorno e intensidades, para un total de  $N = D_i * T_i = 12 * 6 = 72$ .

9° Realizar la sumatoria.

$$\sum Y = 1.9815 + 2.1029 + \dots + 1.3134 = 115.9916$$

$$\sum X_1 = 0.3010 + 0.6990 + \dots + 2.0000 = 85.1629$$

$$\sum X_2 = 0.6990 + 0.6990 + \dots + 2.0792 = 106.2470$$

$$\sum (X_1 Y) = 0.5965 + 1.4699 + \dots + 2.6269 = 142.3558$$

$$\sum (X_2 Y) = 1.3850 + 1.4699 + \dots + 2.7309 = 163.4636$$

$$\sum (X_1^2) = 0.0906 + 0.4886 + \dots + 4.0000 = 125.0390$$

$$\Sigma(X_2^2) = 0.4886 + 0.4886 + \dots + 4.3230 = 167.0500$$

$$\Sigma(X_1 X_2) = 0.2104 + 0.4886 + \dots + 4.1584 = 125.6708$$

10° Desarrollar el sistema de ecuaciones normales (2.146), (2.147) y (2.148).

$$115.9916 = 72a_0 + 85.1629a_1 + 106.2470a_2$$

$$142.3558 = 85.1629a_0 + 125.0390a_1 + 125.6708a_2$$

$$163.4636 = 106.2470a_0 + 125.6708a_1 + 167.0500a_2$$

Después de resolver las ecuaciones los valores son:

$$a_0 = 2.4667$$

$$a_1 = 0.2122$$

$$a_2 = -0.7500$$

### 3.2.8. Ecuación de intensidad – duración – periodo de retorno

La fórmula de intensidad – duración – periodo de retorno se determina con los valores de intensidad máxima de precipitación pluvial derivadas de los modelos de precipitación de Dick Peschke, Frederick Charles Bell-Yance Tueros y Frederick Charles Bell-Dick Peschke.

Las constantes se calculan con las siguientes relaciones:

$$a_0 = \log K, K = 10^{2.4667} = 292.8614$$

$$a_1 = m, m = 0.2122$$

$$a_2 = -n, n = -(-0.75) = 0.75$$

La ecuación IDT (3.1), derivada de la ecuación de precipitación de Dick Peschke es:

$$I = \frac{292.8614 \times T^{0.2122}}{D^{0.75}} \quad \text{Ecuación IDT (3.1)}$$

Del mismo modo se desarrolla para la ecuación IDT (3.2), derivada de la ecuación de precipitación de Frederick Charles Bell-Yance Tueros, cuyos cálculos previos se muestran en la tabla 7.2 del anexo 7. La ecuación por este método es el siguiente:

$$I = \frac{86.9519 \times T^{0.2030}}{D^{0.5587}} \quad \text{Ecuación IDT (3.2)}$$

Otra ecuación determinada es la ecuación IDT (3.3), derivada de la ecuación de precipitación de Frederick Charles Bell-Dick Peschke, y los cálculos previos se pueden ver en la tabla 7.3 del anexo 7. La ecuación por este método es:

$$I = \frac{139.0617 \times T^{0.2030}}{D^{0.5587}} \quad \text{Ecuación IDT (3.3)}$$

Donde:

$I$  = es la intensidad de precipitación pluvial en mm/h.

$T$  = es el periodo de retorno en años.

$D$  = es la duración de la lluvia en minutos.

### 3.2.9. Supuestos de la regresión lineal múltiple por mínimos cuadrados ordinarios

En esta sección solamente se desarrollan los supuestos que necesitan desarrollarse mediante algunas pruebas o reglas prácticas, puesto que los demás supuestos se inspeccionan a simple observación y que cumplen en las regresiones de los modelos planteados en esta investigación.

El supuesto 1, es lineal en los parámetros porque los coeficientes no están elevados a ninguna potencia; el supuesto 2 se cumple porque para cierta duración se tiene distintas intensidades y periodos de retorno, para algún periodo de retorno también se tiene distintas intensidades y duraciones; el supuesto 3 también se cumple porque al obtener las medias de las perturbaciones es igual a cero; el supuesto 4 se cumple por ser homoscedástico las tres ecuaciones IDT como se

pueden ver en las tablas del 25 al 27; el supuesto 5 no se ha desarrollado por razones sustentadas en la sección 3.2.9.2; el supuesto 6 cumple porque el número de observaciones es igual a 72 que es mayor al número de parámetros que son 3 de los cuales dos son la pendiente o coeficiente de las regresoras y uno el intercepto o constante; el supuesto 7 se cumple porque los valores de las variables independiente son distintos y positivos, por ejemplo el periodo de retorno son 6 distintos valores y las duraciones 12 valores diferentes y no presentan valores muy grandes; el supuesto 8 de colinealidad se cumple según se presentan en las tablas 30 a 33; el supuesto 9 se cumple porque los modelos presentados están en función de las variables correctas, la magnitud de la intensidad máxima de precipitación depende de la duración y periodo de retorno.

La prueba de los supuestos se realiza para las siguientes ecuaciones obtenidas en esta investigación:

- Ecuación IDT (3.1), derivada de la ecuación de precipitación de Dick Peschke.
- Ecuación IDT (3.2), derivada de la ecuación de precipitación de Frederick Charles Bell-Yance Tueros.
- Ecuación IDT (3.3), derivada de la ecuación de precipitación de Frederick Charles Bell-Dick Peschke.

### **3.2.9.1. Homoscedasticidad o varianza constante de perturbaciones**

Para detectar si algún modelo de regresión planteado presenta heteroscedasticidad en sus perturbaciones, es decir, cuando la varianza en el error no es constante; existen métodos informales y formales, dentro de métodos formales también hay variadas pruebas planteadas por diferentes autores, de las que se pueden mencionar las más importantes y más usadas: prueba de Park, prueba de Goldfeld-Quandt, prueba Breusch-Pagan-Godfrey (BPG), prueba general de heteroscedasticidad de White y la prueba de Koenker-Basset (KB).

La prueba Breusch-Pagan-Godfrey, es sensible al supuesto de normalidad y se recomienda para muestras grandes.

La prueba de Koenker-Basset, tiene ventajas frente a otras pruebas, como, por ejemplo, es aplicable, aunque el término error en la ecuación original no tenga distribución normal.

Al ver la tabla 24, los residuos de las tres ecuaciones IDT no siguen la distribución normal, por lo tanto, se aplica solamente la prueba de Koenker-Basset y los resultados se pueden ver en las tablas 25 al 27.

Tabla 24  
Prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov de los residuos

Ecuación	Residuos	Estadístico	Significancia	Normalidad de los residuos
IDT (3.1)	Sin estandarizar	0.2657	0.0000	No se adecua a la distribución normal
	Estandarizado	0.2657	0.0000	No se adecua a la distribución normal
IDT (3.2)	Sin estandarizar	0.1160	0.0177	No se adecua a la distribución normal
	Estandarizado	0.1160	0.0177	No se adecua a la distribución normal
IDT (3.3)	Sin estandarizar	0.1176	0.0152	No se adecua a la distribución normal
	Estandarizado	0.1176	0.0152	No se adecua a la distribución normal

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 25  
Prueba de heteroscedasticidad de Koenker-Basset de la ecuación IDT (3.1)

Denominación	Símbolo	Valores
Hipótesis nula:	$H_0$	$\alpha_1 = 0$
Hipótesis alternativa:	$H_1$	$\alpha_1 \neq 0$
Coefficiente de prueba:	$\alpha_1$	-0.000038183
Decisión estadística:		Se rechaza la $H_0$
Conclusión:	No existe heteroscedasticidad, es decir, hay homoscedasticidad.	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la prueba de heteroscedasticidad de Koenker-Basset (KB), se realiza la regresión de los residuos a cuadrado sobre los valores estimados de la regresión al cuadrado; cuya ecuación es  $\hat{u}_i^2 = \alpha_0 + \alpha_1(\hat{Y}_i)^2 + v_i$ .

Tabla 26  
 Prueba de heteroscedasticidad de Koenker-Basset de la ecuación IDT (3.2)

Denominación	Símbolo	Valores
Hipótesis nula:	$H_0$	$\alpha_1 = 0$
Hipótesis alternativa:	$H_1$	$\alpha_1 \neq 0$
Coefficiente de prueba:	$\alpha_1$	0.000212362
Decisión estadística:		Se rechaza la $H_0$
Conclusión:	No existe heteroscedasticidad, es decir, hay homoscedasticidad.	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Como se pueden ver en las tablas de prueba de heteroscedasticidad, las tres ecuaciones IDT, no presentan heteroscedasticidad, en otras palabras, cumplen con el supuesto de homoscedasticidad que indican que las varianzas de las perturbaciones son constantes, por lo tanto, no es necesario realizar ninguna medida correctiva.

Tabla 27  
 Prueba de heteroscedasticidad de Koenker-Basset de la ecuación IDT (3.3)

Denominación	Símbolo	Valores
Hipótesis nula:	$H_0$	$\alpha_1 = 0$
Hipótesis alternativa:	$H_1$	$\alpha_1 \neq 0$
Coefficiente de prueba:	$\alpha_1$	0.000179831
Decisión estadística:		Se rechaza la $H_0$
Conclusión:	No existe heteroscedasticidad, es decir, hay homoscedasticidad.	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

### 3.2.9.2. No autocorrelación entre las perturbaciones

El término autocorrelación se define como la "correlación entre miembros de series de observaciones ordenadas en el tiempo [como en datos de series de tiempo] o en el espacio [como en datos de corte transversal] (Kendall y Buckland, 1971, p.8)" (Citada por Gujarati y Porter, 2010, p. 413).

Por razones indicadas en el párrafo anterior, para el análisis de regresión lineal múltiple de esta investigación se prescinde del supuesto de no autocorrelación entre las perturbaciones. Puesto que los datos de intensidad máxima de



precipitación pluvial para diferentes duraciones y periodo de retorno no son datos de series de tiempo, más bien han sido derivadas de los modelos de precipitación a partir de los datos de precipitación máxima en 24 horas estimadas con la distribución de mejor ajuste para los diferentes periodos de retorno.

### 3.2.9.3. No colinealidad exacta entre las variables explicativas

Para detectar la multicolinealidad entre las regresoras, existen numerosas reglas prácticas, en esta investigación se ha realizado las correlaciones de orden cero o entre regresoras y el factor de inflación de la varianza.

Tabla 28  
Correlaciones de orden cero o entre regresoras de las ecuaciones IDT

Variables	Ecuación IDT (3.1)			Ecuación IDT (3.2)			Ecuación IDT (3.3)		
	Log(I)	Log(T)	Log(D)	Log(I)	Log(T)	Log(D)	Log(I)	Log(T)	Log(D)
Log(I)	1.0000	0.3987	-0.9156	1.0000	0.4860	-0.8693	1.0000	0.4860	-0.8693
Log(T)	0.3987	1.0000	<b>0.0000</b>	0.4860	1.0000	<b>0.0000</b>	0.4860	1.0000	<b>0.0000</b>
Log(D)	-0.9156	<b>0.0000</b>	1.0000	-0.8693	<b>0.0000</b>	1.0000	-0.8693	<b>0.0000</b>	1.0000

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la tabla 28, los coeficientes de correlación entre los regresores Log(T) y Log(D) resaltada con negrita son todos ceros lo que indica que no hay colinealidad entre ellos.

Como regla práctica, si el VIF de una variable es superior a 10, se puede decir que esa variable es muy colineal. Mientras que la tolerancia es la inversa de VIF, entonces, si la tolerancia sea más próxima a cero mayor será el grado de colinealidad, y si está más cerca a uno (1), mayor será la evidencia de no colinealidad.

En las tablas 29 al 31 se presentan los resultados de la prueba de colinealidad por el método de inflación de la varianza y tolerancia de las tres ecuaciones IDT, resultando ser no colineal entre las variables independientes cumpliendo con el octavo supuesto de la regresión lineal múltiple.

Tabla 29  
Factor de inflación de la varianza y tolerancia de la ecuación IDT (3.1)

Denominación		Símbolo	Valor	1/FIV
FIV de la ecuación:		FIV	354.0447	0.0028
Coeficiente de determinación de $X_1$ con $X_2$ :		$R^2$	0.0000	
Coeficiente de determinación de $X_2$ con $X_1$ :		$R^2$	0.0000	
FIV de $X_1$ :	Log(T)	$FIV_1$	1.0000	1.0000
FIV de $X_2$ :	Log(D)	$FIV_2$	1.0000	1.0000
Conclusión:	Log(T)	No correlacionados	No hay multicolinealidad	
	Log(D)	No correlacionados	No hay multicolinealidad	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 30  
Factor de inflación de la varianza y tolerancia de la ecuación IDT (3.2)

Denominación		Símbolo	Valor	1/FIV
FIV de la ecuación:		FIV	124.2301	0.0080
Coeficiente de determinación de $X_1$ con $X_2$ :		$R^2$	0.0000	
Coeficiente de determinación de $X_2$ con $X_1$ :		$R^2$	0.0000	
FIV de $X_1$ :	Log(T)	$FIV_1$	1.0000	1.0000
FIV de $X_2$ :	Log(D)	$FIV_2$	1.0000	1.0000
Conclusión:	Log(T)	No correlacionados	No hay multicolinealidad	
	Log(D)	No correlacionados	No hay multicolinealidad	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 31  
Factor de inflación de la varianza y tolerancia de la ecuación IDT (3.3)

Denominación		Símbolo	Valor	1/FIV
FIV de la ecuación:		FIV	123.9862	0.0081
Coeficiente de determinación de $X_1$ con $X_2$ :		$R^2$	0.0000	
Coeficiente de determinación de $X_2$ con $X_1$ :		$R^2$	0.0000	
FIV de $X_1$ :	Log(T)	$FIV_1$	1.0000	1.0000
FIV de $X_2$ :	Log(D)	$FIV_2$	1.0000	1.0000
Conclusión:	Log(T)	No correlacionados	No hay multicolinealidad	
	Log(D)	No correlacionados	No hay multicolinealidad	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

### 3.2.10. Prueba de hipótesis de la regresión lineal múltiple

#### 3.2.10.1. Prueba de hipótesis global de los coeficientes de regresión

Para realizar la prueba de la hipótesis global de los coeficientes de la regresión las hipótesis son:

- Hipótesis nula: Los coeficientes de la regresión son iguales a cero, es decir, la ecuación no es significativo,  $a_0 = a_1 = a_2 = 0$
- Hipótesis alterna: Al menos uno de los coeficientes es distinto de cero, es decir, la ecuación es significativo,  $a_i \neq 0$

Tabla 32  
Análisis de varianza de la regresión lineal múltiple de la ecuación IDT (3.1)

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Medias cuadráticas	Estadística F	Valor - $p$
Ecuación	6.8695	2	3.4347	12180.04	0.0000
Error	0.0195	69	0.0003		
Total	6.8889	71			

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Al observar las tablas de análisis de varianzas el valor -  $p$  para las tres ecuaciones (3.1), (3.2) y (3.3) son menores que el nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ , indicando que existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula; por lo tanto, se afirma que los modelos son significativos, y se puede continuar con la prueba de hipótesis individual de los coeficientes.

Tabla 33  
Análisis de varianza de la regresión lineal múltiple de la ecuación IDT (3.2)

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Medias cuadráticas	Estadística F	Valor - $p$
Ecuación	4.2066	2	2.1033	4251.44	0.0000
Error	0.0341	69	0.0005		
Total	4.2407	71			

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 34  
Análisis de varianza de la regresión lineal múltiple de la ecuación IDT (3.3)

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Medias cuadráticas	Estadística F	Valor - $p$
Ecuación	4.2070	2	2.1035	4243.02	0.0000
Error	0.0342	69	0.0005		
Total	4.2412	71			

Fuente: Elaboración propia, 2018.

### 3.2.10.2. Prueba de hipótesis individual de los coeficientes de regresión

Para realizar el contraste de las hipótesis se plantean las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula: Cada coeficiente  $a_i = 0$ .
- Hipótesis alterna: cada coeficiente  $a_i \neq 0$ , para todo  $i = 1, 2$ .

Tabla 35  
Prueba  $t$  de la hipótesis individual de los coeficientes de la regresión de la ecuación IDT (3.1)

Ecuación Log I	Coeficientes	Error estándar	t calculado	Valor - $p$	Interv. de confianza al 95%		GL residual	Nivel de sig.
					Inferior	Superior		
$a_0$	2.4667	0.0089	275.8501	0.0000	2.4488	2.4845	69	0.05
$a_1$	0.2122	0.0034	62.3108	0.0000	0.2054	0.2190	69	0.05
$a_2$	-0.7500	0.0052	-143.0994	0.0000	-0.7604	-0.7395	69	0.05

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Al observar las tablas de la prueba  $t$  de Student para las tres ecuaciones IDT el valor -  $p$  o significación bilateral, todas son iguales a cero rechazándose la hipótesis nula; lo que implica aceptar la hipótesis alterna de que los coeficientes  $a_1$  y  $a_2$  de las variables independientes Log (T) y Log (D) respectivamente, son diferentes de cero y contribuyen significativamente a las ecuaciones IDT propuestos a un nivel de significancia del 5%.

Tabla 36

Prueba t de la hipótesis individual de los coeficientes de la regresión de la ecuación IDT (3.2)

Ecuación Log I	Coeficientes	Error estándar	t calculado	Valor - p	Interv. de confianza al 95%		GL residual	Nivel de sig.
					Inferior	Superior		
a <sub>0</sub>	1.9393	0.0118	163.7364	0.0000	1.9157	1.9629	69	0.05
a <sub>1</sub>	0.2030	0.0045	44.9970	0.0000	0.1940	0.2120	69	0.05
a <sub>2</sub>	-0.5587	0.0069	-80.4869	0.0000	-0.5726	-0.5449	69	0.05

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 37

Prueba t de la hipótesis individual de los coeficientes de la regresión de la ecuación IDT (3.3)

Ecuación Log I	Coeficientes	Error estándar	t calculado	Valor - p	Interv. de confianza al 95%		GL residual	Nivel de sig.
					Inferior	Superior		
a <sub>0</sub>	2.1432	0.0119	180.7662	0.0000	2.1196	2.1669	69	0.05
a <sub>1</sub>	0.2030	0.0045	44.9564	0.0000	0.1940	0.2120	69	0.05
a <sub>2</sub>	-0.5587	0.0069	-80.4051	0.0000	-0.5726	-0.5449	69	0.05

Fuente: Elaboración propia, 2018.

### 3.2.11. Bondad de ajuste de las ecuaciones IDT

Para la bondad de ajuste de la regresión lineal múltiple, se utiliza el coeficiente de determinación y la prueba  $U$  de Mann-Whitney que se realiza para determinar, si los valores generados por la ecuación, son similares a los valores primigenios que dieron origen a la ecuación IDT.

#### 3.2.11.1. Coeficiente de determinación $R^2$ y $R_A^2$

Para saber la bondad de ajuste de la regresión lineal simple bastaría el coeficiente de determinación  $R^2$ ; pero, cuando se trata de la regresión lineal múltiple es aconsejable el coeficiente de determinación múltiple ajustado  $R_A^2$ . Entonces viendo la tabla 38, hay un buen ajuste de los modelos y más del 99% de la varianza de la intensidad máxima de precipitación es explicada por las variables independientes duración y periodo de retorno.

Tabla 38  
Coeficiente de determinación  $R^2$ ,  $R_A^2$  y error estándar de estimación

Descripción	Símbolo	Ecuaciones matemáticas		
		IDT (3.1)	IDT (3.2)	IDT (3.3)
Coeficiente de determinación múltiple	$R^2$	0.9972	0.9920	0.9919
Coeficiente de determinación múltiple ajustado	$R_A^2$	0.9971	0.9917	0.9917
Error estándar de estimación de regresión múltiple	Se	0.0168	0.0222	0.0223

Fuente: Elaboración propia, 2018.

### 3.2.11.2. Prueba $U$ de Mann-Whitney

La prueba  $U$  de Mann-Whitney, se realiza para determinar si las intensidades máximas de precipitación de las ecuaciones IDT (3.1), (3.2) y (3.3) son similares o diferentes a las intensidades originadas mediante la distribución de la precipitación por modelos de precipitación. Se ha utilizado esta prueba no paramétrica porque las intensidades máximas de precipitación a probar no se distribuyen como una distribución normal y las hipótesis planteadas son:

- Hipótesis nula: La mediana de las intensidades máximas de precipitación pluvial de las dos distribuciones poblacionales son iguales.
- Hipótesis alterna: La mediana de las intensidades máximas de precipitación pluvial de las dos distribuciones poblacionales son diferentes.

Al observar la tabla 39, para la ecuación IDT (3.1) se puede ver que el valor -  $p$  igual a 0.9904 es mayor al valor del nivel de significación, por lo que se acepta la hipótesis nula de que las medianas son similares y se puede afirmar que las dos muestras provienen de la misma población; es decir, las intensidades obtenidas mediante la ecuación de precipitación de Dick Peschke son similares a los obtenidos por la ecuación IDT (3.1).

Tabla 39  
Prueba U de Mann-Whitney de la ecuación IDT (3.1)

Denominación	Símbolo	Contraste
Tipo de prueba:		Prueba bilateral
Hipótesis nula:	$H_0$	$Me_1 = Me_2$
Hipótesis alternativa:	$H_1$	$Me_1 \neq Me_2$
Media de U:	$\mu_U$	2592.0000
Varianza de U:	$\sigma^2_U$	62640.0000
Desviación estándar de U:	$\sigma_U$	250.2798
Numero total de datos:	n	144.0000
Estadístico de prueba menor:	U	2589.0000
Valor Z de distribución normal:	Z	-0.0120
Nivel de significancia:	$\alpha$	0.05
Valor crítico de +z (dos colas):	z	1.9600
Valor crítico de -z (dos colas):	-z	-1.9600
Región de rechazo o crítica:	RC	{Z < -1.96 y Z > 1.96}
Región de aceptación:	RA	{Z ≥ -1.96 y Z ≤ 1.96}
Valor - p :	p	0.9904
Decisión estadística:	Se Acepta $H_0$	
Conclusión:	Entonces se puede afirmar que las medianas estadísticamente son iguales al 5% de nivel de significancia.	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

De igual manera para la ecuación IDT (3.2) de la tabla 40, se acepta la hipótesis nula; entonces, las medianas son similares, por lo tanto las intensidades máximas de precipitación provienen de la misma población.

Tabla 40  
Prueba U de Mann-Whitney de la ecuación IDT (3.2)

Denominación	Símbolo	Contraste
Tipo de prueba:		Prueba bilateral
Hipótesis nula:	$H_0$	$Me_1 = Me_2$
Hipótesis alternativa:	$H_1$	$Me_1 \neq Me_2$
Media de U:	$\mu_U$	2592.0000
Varianza de U:	$\sigma^2_U$	62640.0000
Desviación estándar de U:	$\sigma_U$	250.2798
Numero total de datos:	n	144.0000
Estadístico de prueba menor:	U	2573.0000
Valor Z de distribución normal:	Z	-0.0759
Nivel de significancia:	$\alpha$	0.05
Valor crítico de +z (dos colas):	z	1.9600
Valor crítico de -z (dos colas):	-z	-1.9600
Región de rechazo o crítica:	RC	{Z < -1.96 y Z > 1.96}
Región de aceptación:	RA	{Z ≥ -1.96 y Z ≤ 1.96}
Valor - p :	p	0.9395
Decisión estadística:	Se Acepta $H_0$	
Conclusión:	Entonces se puede afirmar que las medianas estadísticamente son iguales al 5% de nivel de significancia.	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 41  
Prueba U de Mann-Whitney de la ecuación IDT (3.3)

Denominación	Símbolo	Contraste
Tipo de prueba:		Prueba bilateral
Hipótesis nula:	$H_0$	$Me_1 = Me_2$
Hipótesis alternativa:	$H_1$	$Me_1 \neq Me_2$
Media de U:	$\mu_U$	2592.0000
Varianza de U:	$\sigma^2_U$	62640.0000
Desviación estándar de U:	$\sigma_U$	250.2798
Numero total de datos:	n	144.0000
Estadístico de prueba menor:	U	2573.0000
Valor Z de distribución normal:	Z	-0.0759
Nivel de significancia:	$\alpha$	0.05
Valor crítico de +z (dos colas):	z	1.9600
Valor crítico de -z (dos colas):	-z	-1.9600
Región de rechazo o crítica:	RC	{Z < -1.96 y Z > 1.96}
Región de aceptación:	RA	{Z ≥ -1.96 y Z ≤ 1.96}
Valor - p :	p	0.9395
Decisión estadística:	Se Acepta $H_0$	
Conclusión:	Entonces se puede afirmar que las medianas estadísticamente son iguales al 5% de nivel de significancia.	

Fuente: Elaboración propia, 2018.



De la tabla 41 también se acepta la hipótesis nula de que las medianas son similares estadísticamente, por lo que las intensidades máximas de precipitación pertenecen a la misma población.

### 3.2.12. Construcción de las curvas IDT

Para construir las curvas IDT se ha calculado la intensidad máxima de precipitación pluvial con las fórmulas de las ecuaciones IDT (3.1), (3.2) y (3.3), para duraciones entre 5 y 120 minutos, periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Tabla 42  
 Intensidad máxima de precipitación pluvial de la ecuación IDT (3.1)

T (años)	Duración de precipitación en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	90	120
2	101.46	60.33	44.51	35.87	30.34	26.47	23.58	21.33	18.04	15.74	11.61	9.36
5	123.24	73.28	54.06	43.57	36.86	32.15	28.64	25.91	21.92	19.11	14.10	11.37
10	142.77	84.89	62.63	50.48	42.70	37.24	33.18	30.01	25.39	22.14	16.34	13.17
25	173.41	103.11	76.07	61.31	51.86	45.23	40.30	36.46	30.84	26.90	19.84	15.99
50	200.89	119.45	88.13	71.02	60.08	52.40	46.68	42.23	35.72	31.16	22.99	18.53
100	232.72	138.38	102.09	82.28	69.60	60.70	54.08	48.92	41.38	36.10	26.63	21.46

Fuente: Elaboración propia, 2018.

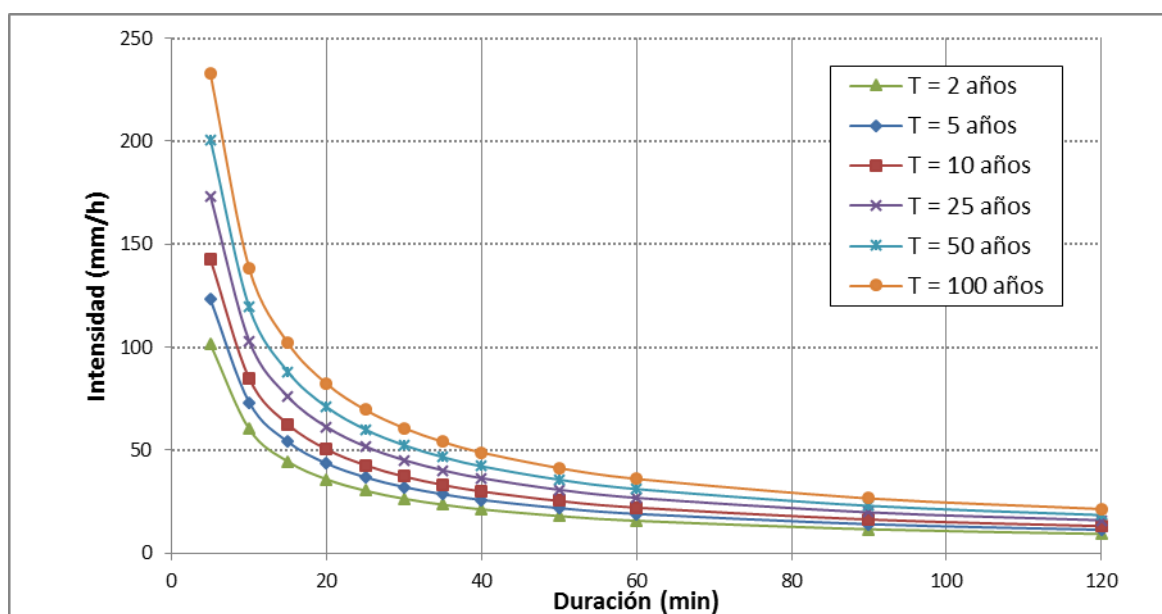


Gráfico 4. Curvas IDT con la ecuación IDT (3.1) de la estación CO 788-Capachica.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 43  
 Intensidad máxima de precipitación pluvial de la ecuación IDT (3.2)

T (años)	Duración de precipitación en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	90	120
2	40.73	27.65	22.04	18.77	16.57	14.97	13.73	12.74	11.25	10.16	8.10	6.90
5	49.05	33.30	26.55	22.61	19.96	18.03	16.54	15.35	13.55	12.24	9.76	8.31
10	56.46	38.33	30.56	26.03	22.97	20.75	19.04	17.67	15.60	14.09	11.23	9.56
25	68.01	46.17	36.81	31.35	27.67	24.99	22.93	21.28	18.79	16.97	13.53	11.52
50	78.28	53.15	42.37	36.08	31.85	28.77	26.39	24.50	21.62	19.53	15.57	13.26
100	90.11	61.18	48.77	41.53	36.66	33.11	30.38	28.20	24.89	22.48	17.92	15.26

Fuente: Elaboración propia, 2018.

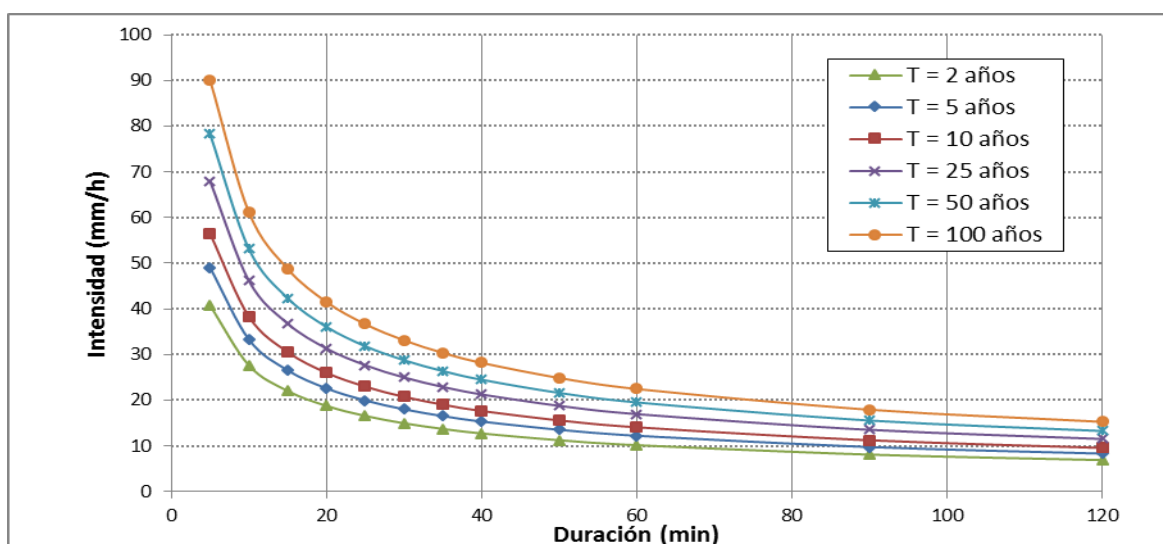


Gráfico 5. Curvas IDT con la ecuación IDT (3.2) de la estación CO 788-Capachica.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 44  
 Intensidad máxima de precipitación pluvial de la ecuación IDT (3.3)

T (años)	Duración de precipitación en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	90	120
2	65.13	44.22	35.26	30.02	26.50	23.94	21.96	20.38	17.99	16.25	12.96	11.03
5	78.45	53.26	42.46	36.16	31.92	28.83	26.45	24.55	21.67	19.57	15.60	13.29
10	90.30	61.31	48.88	41.62	36.74	33.18	30.45	28.26	24.95	22.53	17.96	15.30
25	108.76	73.84	58.87	50.13	44.25	39.97	36.67	34.03	30.05	27.14	21.63	18.42
50	125.19	85.00	67.77	57.70	50.94	46.01	42.21	39.18	34.58	31.24	24.90	21.21
100	144.11	97.84	78.01	66.42	58.64	52.96	48.59	45.10	39.81	35.95	28.67	24.41

Fuente: Elaboración propia, 2018.

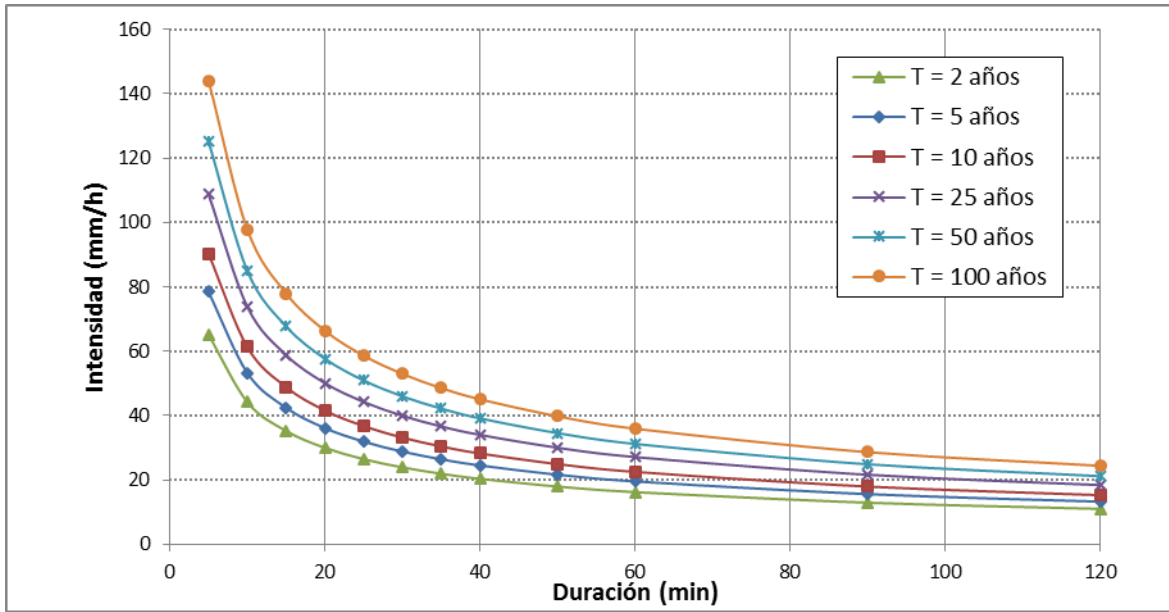


Gráfico 6. Curvas IDT con la ecuación IDT (3.3) de la estación CO 788-Capachica.  
 Fuente: Elaboración propia, 2018.

### 3.3. ESTACIÓN METEOROLÓGICA CONTROL

Por la carencia o escaso registro de los datos pluviográficos de la estación CO 788-Capachica materia de investigación, se recurre a otra estación patrón de comparación, que reúne las condiciones y características meteorológicas similares a la estación en investigación; con la finalidad de realizar la comparación y validar las tres ecuaciones obtenidos a partir de los datos de precipitación máxima en 24 horas.

#### 3.3.1. Estación climatológica principal 708-Puno

La estación CP 708-Puno, se ha seleccionado como una estación control por presentar las tormentas registradas en bandas pluviográficas -proporcionado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI Lima- y pertenecer a una misma región pluviométrica calificada por IILA-SENAMHI-UNI como región 123<sub>6</sub> de la región natural sierra. Además, ambas estaciones están próximos al majestuoso lago Titicaca.

Tabla 45

Orden cronológico de la intensidad máxima de precipitación pluvial para diferentes intervalos de duración de la estación CP 708-Puno (marzo 1967 – enero 1984)

N°	Fecha	Periodo de duración (minutos)						
		5	15	30	60	120	180	240
Intensidad máxima de precipitación pluvial (mm/h)								
1	15/03/1967	<b>24.43</b>	<b>24.28</b>	<b>22.14</b>	<b>15.30</b>	<b>8.31</b>	<b>5.57</b>	
2	02/03/1970	<b>17.24</b>	<b>12.94</b>	9.80	7.72	5.27	3.97	3.05
3	04 y 05/03/1970	12.50	11.60	<b>10.38</b>	<b>9.48</b>	<b>7.74</b>	<b>6.51</b>	<b>5.65</b>
4	04/02/1971	<b>20.28</b>	<b>18.83</b>	<b>16.56</b>	<b>14.69</b>	<b>10.83</b>		
5	07 y 08/01/1972	4.50	4.36	4.29	4.25	4.20	<b>3.87</b>	<b>3.51</b>
6	09 y 10/01/1972	<b>15.00</b>	<b>14.89</b>	<b>13.84</b>	<b>10.50</b>	<b>5.59</b>	3.73	
7	27 y 28/01/1973	<b>48.98</b>	<b>23.19</b>	<b>16.61</b>	<b>12.44</b>	<b>8.19</b>	<b>6.23</b>	4.96
8	29/01/1973	9.65	9.65	9.65	8.46	6.86	5.97	<b>5.26</b>
9	27 y 28/01/1974	19.67	19.67	17.24	<b>13.96</b>	<b>11.02</b>	<b>9.08</b>	<b>7.75</b>
10	10/02/1974	<b>23.14</b>	<b>22.51</b>	<b>17.55</b>	11.36	6.55		
11	12/12/1975	25.73	<b>25.73</b>	19.38	<b>14.51</b>	<b>10.04</b>	<b>8.13</b>	<b>7.14</b>
12	12/12/1975	<b>27.16</b>	23.16	<b>15.22</b>	10.33	6.12		
13	13/01/1976	<b>15.12</b>	<b>11.44</b>	9.20	<b>6.88</b>	5.07	4.15	3.56
14	18 y 19/01/1976	11.05	11.05	<b>9.73</b>	6.79	<b>5.19</b>	<b>4.48</b>	<b>4.05</b>
15	09/03/1977	<b>47.40</b>	<b>38.86</b>	<b>26.31</b>	<b>16.21</b>	<b>8.63</b>		
16	29/01/1978	<b>28.54</b>	20.23	14.43	10.01	5.74		
17	16/02/1978	26.25	<b>22.63</b>	<b>20.27</b>	<b>17.79</b>	<b>11.76</b>	<b>8.58</b>	
18	22/01/1982	<b>49.04</b>	<b>40.03</b>	<b>31.36</b>	<b>22.57</b>	<b>14.67</b>	<b>10.66</b>	<b>8.57</b>
19	28/01/1984	<b>21.66</b>	<b>15.42</b>	<b>13.86</b>	<b>11.53</b>	<b>9.14</b>	<b>7.29</b>	<b>5.76</b>

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Para obtener las intensidades máximas de precipitación pluvial, se ha realizado el análisis de un total de 37 tormentas de los cuales sólo 19 tormentas presentan valores máximos de intensidad de precipitación pluvial, como se puede ver en la tabla 45.

En la tabla 46, se muestra el resumen anual de intensidades máximas de precipitación pluvial para diferentes duraciones, que se utilizó para determinar la fórmula de la ecuación IDT control.

Tabla 46  
 Intensidad máxima de precipitación pluvial de la estación CP 708-Puno

N°	Año	Periodo de duración (minutos)				
		5	15	30	60	120
		Intensidad máxima de precipitación pluvial (mm/h)				
1	1967	24.43	24.28	22.14	15.30	8.31
2	1970	17.24	12.94	10.38	9.48	7.74
3	1971	20.28	18.83	16.56	14.69	10.83
4	1972	15.00	14.89	13.84	10.50	5.59
5	1973	48.98	23.19	16.61	12.44	8.19
6	1974	23.14	22.51	17.55	13.96	11.02
7	1975	27.16	25.73	15.22	14.51	10.04
8	1976	15.12	11.44	9.73	6.88	5.19
9	1977	47.40	38.86	26.31	16.21	8.63
10	1978	28.54	22.63	20.27	17.79	11.76
11	1982	<b>49.04</b>	<b>40.03</b>	<b>31.36</b>	<b>22.57</b>	<b>14.67</b>
12	1984	21.66	15.42	13.86	11.53	9.14

Fuente: Elaboración propia, 2018.

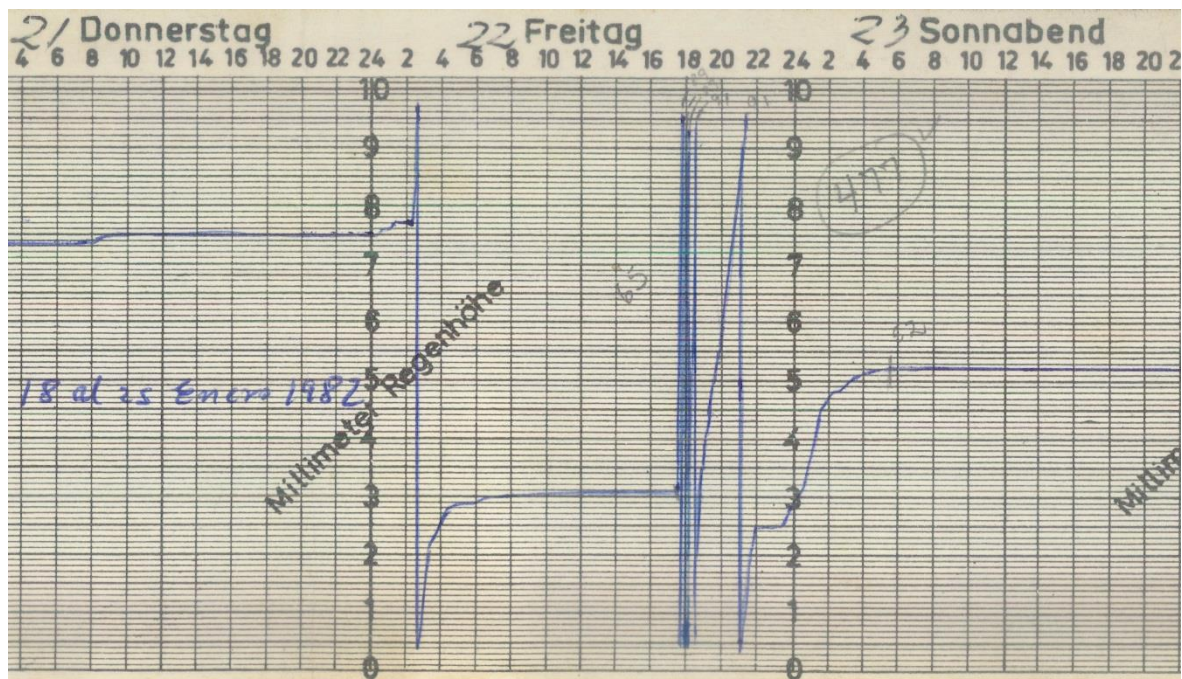


Figura 6. Pluviograma de tormenta estación CP 708-Puno.

Fuente: SENAMHI-Lima.

La tormenta de mayor intensidad ha ocurrido el 22 de enero de 1982 con una duración total de 291 minutos, desde las 17:31 hasta las 21:59 horas, como se

puede ver en la figura 6, imagen de pluviograma de tormenta de la estación CP 708-Puno.

### 3.3.2. Ajuste de los datos de intensidad máxima a una distribución de probabilidad

Los valores de intensidad de la tabla 47 se han sometido al análisis de frecuencia para cada duración, resultando por las pruebas de bondad de ajuste diversas funciones de distribución por cada duración, por lo que se ha optado seleccionar la función de distribución Gumbel que recomiendan algunos autores como Mintegui et al, (1993) afirma que "la distribución Gumbel ha sido empleada, con buenos resultados, en el estudio de eventos meteorológicos de valores máximos, obteniéndose ajustes muy precisos para valores máximos diarios y anuales" (citada por Pizarro et al, 2007, p. 29).

Tabla 47  
Intensidad máxima de precipitación pluvial con la distribución Gumbel de la estación CP 708-Puno

T (años)	Duración (minutos)				
	5	15	30	60	120
	Intensidad máxima de precipitación pluvial (mm/h)				
2	25.98	20.99	16.72	13.22	8.86
5	37.74	29.43	22.64	17.24	11.43
10	45.53	35.02	26.57	19.91	13.13
25	55.37	42.08	31.53	23.28	15.27
50	62.66	47.31	35.21	25.78	16.87
100	69.91	52.51	38.86	28.26	18.45

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Para las duraciones de 5 a 30 minutos se ajusta bien la distribución Gumbel por momentos lineales y para duraciones de 60 y 120 minutos la Gumbel por máxima verosimilitud.

Tabla 48  
Parámetros de la distribución Gumbel y pruebas de bondad de ajuste de la intensidad máxima de precipitación pluvial de la estación CP 708-Puno

Distribución	Duración (min)	Parámetros			Error estándar	Kolmogorov-Smirnov			R <sup>2</sup>
		u	α	σ = 1/α		Dc	Dt	Ajuste	
Gumbel: ML	5	22.1764	10.3764	0.0964	4.8850	0.1466	0.3754	Se acepta	0.9244
Gumbel: ML	15	18.2653	7.4446	0.1343	2.8225	0.1066	0.3754	Se acepta	0.9553
Gumbel: ML	30	14.8005	5.2297	0.1912	1.4218	0.0699	0.3754	Se acepta	0.9776
Gumbel: MV	60	11.9142	3.5535	0.2814	0.9212	0.1084	0.3754	Se acepta	0.9690
Gumbel: MV	120	8.0319	2.2640	0.4417	0.5974	0.1010	0.3754	Se acepta	0.9586

Fuente: Elaboración propia, 2018.

### 3.3.3. Ecuación de intensidad máxima de precipitación de la estación CP 708-Puno

Realizando el análisis de regresión lineal múltiple con los valores de intensidades máximas de la tabla 47, y cumpliendo con los supuestos de la regresión, se ha obtenido la ecuación de intensidad máxima de lluvia para la estación CP 708-Puno, al que se denominó como ecuación IDT control (3.4), que es la siguiente:

$$I = \frac{53.9127 \times T^{0.2110}}{D^{0.3866}} \quad \text{Ecuación IDT control (3.4)}$$

Donde:

$I$  = es la intensidad de precipitación pluvial en mm/h.

$T$  = es el periodo de retorno en años.

$D$  = es la duración de la lluvia en minutos.

La ecuación IDT control (3.4), tiene un coeficiente de determinación ajustado de 0.9625 que indica que el 96.25% de la variación de intensidad máxima, es explicada por el periodo de retorno y la duración, y un error estándar de estimación de 3.11 mm/h.

Al realizar la prueba de hipótesis global mediante la prueba F (ANOVA), la ecuación IDT control (3.4) resulta ser significativo al 5% de nivel de significación, lo que indica que existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ : los coeficientes son iguales a cero) y en la prueba de hipótesis individual de los coeficientes, se rechazan las hipótesis nulas de ambos coeficientes de la

regresión; en consecuencia, las variables independientes (periodo de retorno y duración) contribuyen significativamente al modelo de regresión con 5% de nivel de significación.

### 3.3.4. Intensidad máxima de precipitación pluvial y curvas IDT de la estación CP 708-Puno

Con la ecuación IDT control (3.4), se ha determinado las intensidades máximas para periodos de retorno de 2 a 100 años y duraciones de 5 a 120 minutos y construida las curvas intensidad-duración-periodo de retorno como se muestran en la tabla 49 y el gráfico 7.

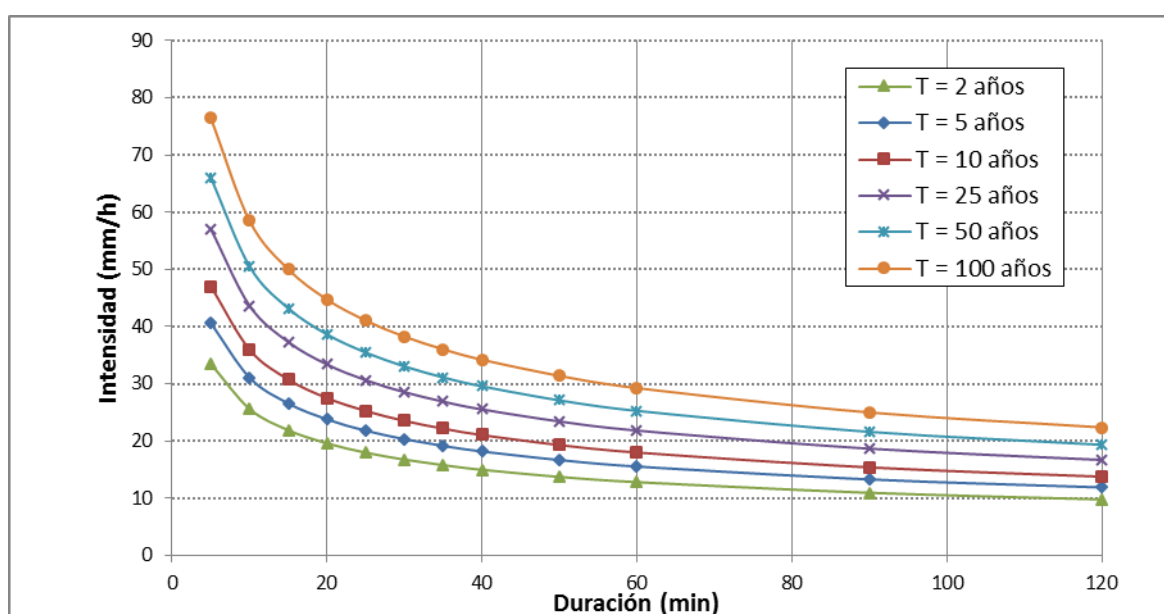


Gráfico 7. Curvas IDT con la ecuación IDT control (3.4) de la estación CP 708-Puno.

Fuente: Elaboración propia, 2018.



Tabla 49  
Intensidad máxima de precipitación pluvial con la ecuación IDT control (3.4) de la estación CP 708-Puno

T (años)	Duración de precipitación en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	90	120
	Intensidad máxima de precipitación pluvial (mm/h)											
2	33.50	25.62	21.90	19.60	17.98	16.76	15.79	14.99	13.75	12.82	10.96	9.80
5	40.64	31.09	26.58	23.78	21.81	20.33	19.15	18.19	16.69	15.55	13.29	11.89
10	47.04	35.98	30.76	27.52	25.25	23.53	22.17	21.05	19.31	18.00	15.39	13.77
25	57.07	43.66	37.32	33.39	30.63	28.55	26.90	25.54	23.43	21.84	18.67	16.70
50	66.06	50.53	43.20	38.65	35.46	33.05	31.13	29.57	27.12	25.28	21.61	19.34
100	76.47	58.49	50.01	44.74	41.04	38.25	36.04	34.22	31.40	29.26	25.01	22.38

Fuente: Elaboración propia, 2018.

### 3.4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

#### 3.4.1. Generación de intensidad máxima de precipitación pluvial

La generación de intensidad máxima de precipitación pluvial con fines de diseño de infraestructura hidráulica en la localidad de Capachica, se ha logrado con la aplicación de la ecuación IDT (3.2) que ha sido obtenido a partir del modelo de precipitación de F.C. Bell-Yance Tueros, cuyos resultados se muestran en la tabla 50 y las curvas de intensidad – duración – periodo de retorno en el gráfico 8.

Tabla 50  
 Intensidad máxima de precipitación pluvial de la ecuación IDT (3.2) para la estación CO 788-Capachica

T (años)	Duración de precipitación en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	90	120
2	40.73	27.65	22.04	18.77	16.57	14.97	13.73	12.74	11.25	10.16	8.10	6.90
5	49.05	33.30	26.55	22.61	19.96	18.03	16.54	15.35	13.55	12.24	9.76	8.31
10	56.46	38.33	30.56	26.03	22.97	20.75	19.04	17.67	15.60	14.09	11.23	9.56
25	68.01	46.17	36.81	31.35	27.67	24.99	22.93	21.28	18.79	16.97	13.53	11.52
50	78.28	53.15	42.37	36.08	31.85	28.77	26.39	24.50	21.62	19.53	15.57	13.26
100	90.11	61.18	48.77	41.53	36.66	33.11	30.38	28.20	24.89	22.48	17.92	15.26

Fuente: Elaboración propia, 2018.

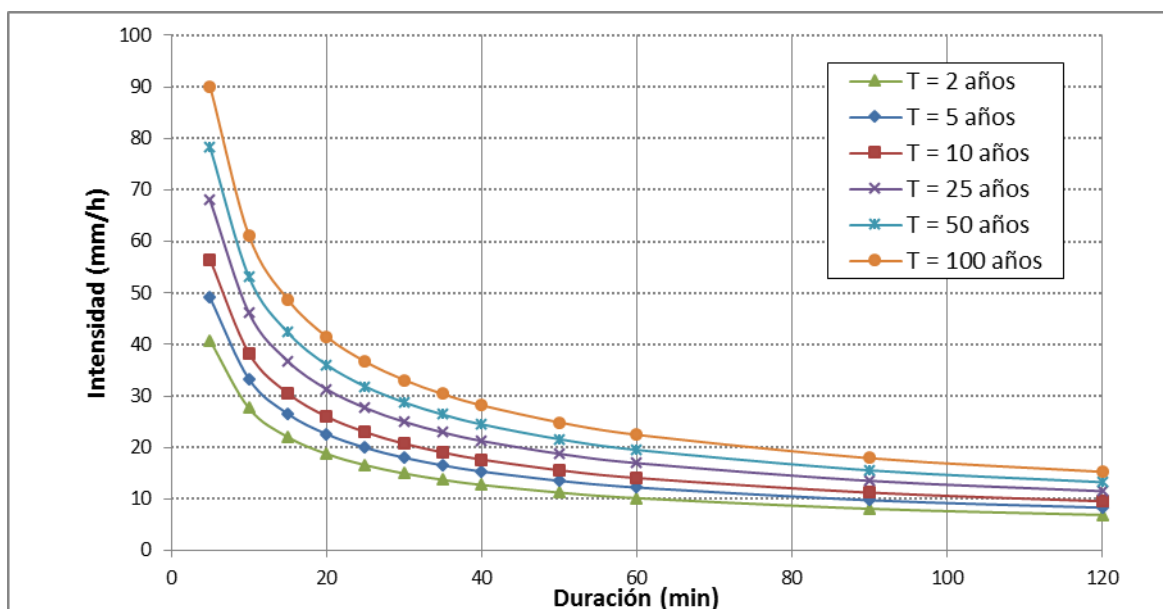


Gráfico 8. Curvas IDT con la ecuación IDT (3.2) de la estación CO 788-Capachica.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

### 3.4.2. Distribución de probabilidad de mejor ajuste

La distribución de probabilidad teórica de mejor ajuste a los datos de la variable independiente, mediante las pruebas estadísticas y de ajuste gráfico, ha sido la distribución Gamma 3 parámetros cuyos parámetros de ubicación, forma y de escala han sido estimados por el método de momentos de probabilidad pesada, lo que se puede visualizar en la tabla 51 siguiente.

Tabla 51

Jerarquía de las pruebas de bondad y ajuste de precipitación máxima en 24 horas corregida de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

N°	Distribución	Ajuste gráfico	Error estándar de ajuste	Chi Cuadrado intervalos iguales	Kolmogorov - Smirnov
1	Normal: Mo y MV	19	19	19	16
2	Normal: ML	20	20	20	17
3	Log normal 2 parámetros: Mo y MV	13	13	12	14
4	Log normal 2 parámetros: ML	14	14	13	13
5	Log normal 3 parámetros: Mo	9	9	9	9
6	Log normal 3 parámetros: MV	2	2	3	4
7	Gamma 2 parámetros: Mo	15	15	16	18
8	Gamma 2 parámetros: MV	17	17	18	20
9	Gamma 2 parámetros: ML	16	16	17	19
10	Gamma 3 parámetros: Mo	7	7	8	8
11	Gamma 3 parámetros: MV	4	4	6	6
12	Gamma 3 parámetros: MPP	1	1	1	7
13	Log Pearson tipo III: Mo	5	5	7	5
14	Log Pearson tipo III: MV	3	3	4	3
15	Gumbel: Mo	10	10	10	11
16	Gumbel: MV	18	18	15	15
17	Gumbel: ML	11	11	11	12
18	Log Gumbel: Mo	8	8	5	2
19	Log Gumbel: MV	12	12	14	10
20	Log Gumbel: ML	6	6	2	1

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Los parámetros obtenidos de la muestra, que representan a la población, han sido estimados por el método de momentos de probabilidad pesada como se puede ver en la tabla 52.

Tabla 52  
 Parámetros de la distribución Gamma 3 parámetros-MPP de precipitación máxima en 24 horas corregida de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Distribución	Parámetro			R <sup>2</sup>
	Ubicación	Forma	Escala	
Gamma 3 parámetros: MPP	$x_0$ 22.6927	$\beta$ 1.3072	$\alpha$ 10.1934	0.9770

Fuente: Elaboración propia, 2018.

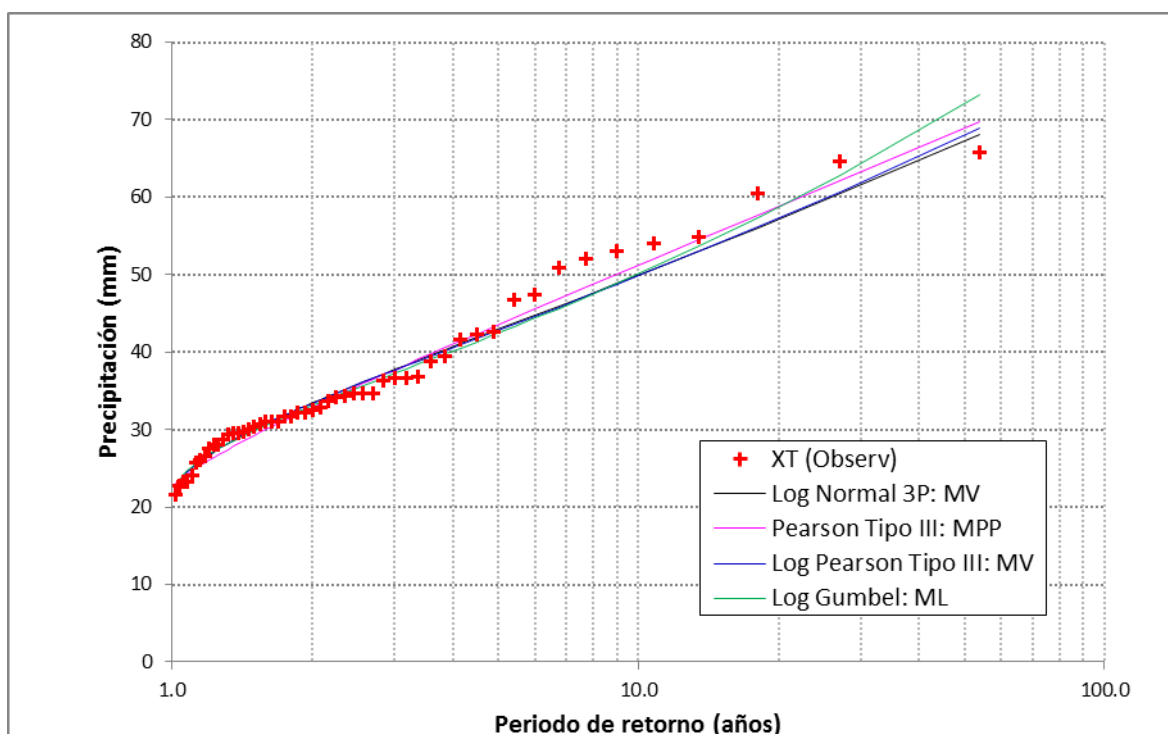


Gráfico 9. Ajuste gráfico de precipitación máxima en 24 horas corregida estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

### 3.4.3. Ecuaciones IDT para estación CO 788-Capachica

Las ecuaciones IDT obtenidos en esta investigación son tres como se presenta en la tabla 53, que son fórmulas matemáticas que relacionan la intensidad máxima de precipitación pluvial en milímetros por hora, con la duración en minutos y el periodo de retorno en años; para ser aplicados dentro del rango de duraciones entre 5 y 120 minutos y periodos de retorno de 2 a 100 años.

Tabla 53  
Ecuaciones IDT para la estación CO 788-Capachica

Ecuación	Ecuación matemática	$R_A^2$	EEE (mm/h)	Prueba U
IDT (3.1)	$I = \frac{292.8614 \times T^{0.2122}}{D^{0.75}}$	0.9971	2.43	Se acepta $H_0$
IDT (3.2)	$I = \frac{86.9519 \times T^{0.2030}}{D^{0.5587}}$	0.9917	2.04	Se acepta $H_0$
IDT (3.3)	$I = \frac{139.0617 \times T^{0.2030}}{D^{0.5587}}$	0.9917	3.27	Se acepta $H_0$

Fuente: Elaboración propia, 2018.

La prueba  $U$  de Mann-Whitney, se ha realizado para saber y validar si con la ecuación IDT se determinan intensidades máximas de precipitación pluvial generadas (IMPPG) similares o estadísticamente iguales a las intensidades máximas de precipitación pluvial primigenias (IMPPP) que dieron origen a las ecuaciones IDT; en el caso de las ecuaciones para la estación CO 788-Capachica las IMPPP han sido generados a través de la distribución de la precipitación por los modelos de Dick Peschke, F.C. Bell-Yance Tueros y F.C. Bell-Dick Peschke. Mientras que para la estación CP 708-Puno la IMPPP se ha obtenido por el análisis de tormentas registradas en bandas pluviográficas.

Las intensidades máximas de precipitación pluvial para la estación CO 788-Capachica se han generado a partir de las ecuaciones IDT (3.1), (3.2) y (3.3), que se puede ver en las tablas de 42 a 44, y las curvas IDT se presentan en los gráficos 4, 5 y 6.

Las tres ecuaciones IDT obtenidos han sido formulados a partir de la variable independiente de la investigación, que es la precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica, y se ha generado la variable dependiente que es la intensidad máxima de precipitación pluvial en función de la duración de la precipitación pluvial y el periodo de retorno para la estación en estudio.

Para la selección de la ecuación IDT adecuada se ha obtenido la ecuación patrón de comparación, que es la ecuación IDT control (3.4) de la estación CP 708-Puno, generado a partir de datos de precipitación con respecto al tiempo -registrados en bandas pluviográficas y proporcionadas por SENAMHI-Lima- obteniendo la ecuación mediante el análisis de regresión lineal múltiple, lo que se presenta en la tabla 54.

Tabla 54  
Ecuación IDT control de la estación CP 708-Puno

Ecuación	Ecuación matemática	$R_A^2$	EEE (mm/h)	Prueba U
IDT (3.4)	$I = \frac{53.9127 \times T^{0.2110}}{D^{0.3866}}$	0.9625	3.11	Se acepta $H_0$

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Donde:

$I$  = es la intensidad de precipitación pluvial en mm/h.

$T$  = es el periodo de retorno en años.

$D$  = es la duración de la lluvia en minutos.

$R_A^2$  = coeficiente de determinación ajustado.

EEE = error estándar de estimación de la regresión.

Prueba U = prueba estadística  $U$  de Mann-Whitney (nivel de confianza al 95%).

Tabla 55  
Selección de la ecuación IDT mediante la prueba  $U$  de Mann-Whitney para la estación CO 788-Capachica con respecto a la intensidad de la estación control

Ecuación	Ecuación matemática	$R_A^2$	EEE (mm/h)	Prueba U
IDT (3.1)	$I = \frac{292.8614 \times T^{0.2122}}{D^{0.75}}$	0.9971	2.43	Se rechaza la $H_0$
IDT (3.2)	$I = \frac{86.9519 \times T^{0.2030}}{D^{0.5587}}$	0.9917	2.04	Se acepta la $H_0$
IDT (3.3)	$I = \frac{139.0617 \times T^{0.2030}}{D^{0.5587}}$	0.9917	3.27	Se rechaza la $H_0$

Fuente: Elaboración propia, 2018.

La ecuación IDT adecuada para la generación de intensidad máxima de precipitación pluvial con fines de diseño de infraestructura hidráulica en la localidad de Capachica – Puno, es la ecuación IDT (3.2), seleccionado mediante la prueba *U* de Mann-Whitney, como se muestra en la tabla 55, comparado con los datos de intensidad de precipitación máxima de la estación de control CP 708-Puno.

### 3.5. PRUEBAS DE NORMALIDAD

Antes de realizar la prueba de hipótesis de la segunda hipótesis específica, se ha realizado la prueba de normalidad de los datos de intensidad máxima de precipitación pluvial de la ecuación IDT control (3.4) de la estación CP 708-Puno y las ecuaciones IDT (3.1), (3.2) y (3.4) para la estación CO 788-Capachica, con la prueba Kolmogorov-Smirnov corrección de Lilliefors, rechazándose la hipótesis nula de que los datos siguen una distribución normal a un nivel de significación del 5%, como se puede ver en la tabla 56:

De la tabla 56 la significancia o valor  $-p$  de las cuatro ecuaciones IDT no supera el nivel de significación  $\alpha = 0.05$  por lo que los datos de intensidad máxima de precipitación pluvial no se adecuan a la distribución normal, entonces se debe aplicar la prueba estadística no paramétrica en el contraste de la segunda hipótesis específica de la investigación.

Tabla 56  
Prueba de normalidad de las intensidades máximas de precipitación pluvial generados con las ecuaciones IDT

Ecuación	Variable	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>		
		Estadístico	Grados de libertad	Significancia
Ecuación IDT (3.1)	Intensidad máxima	0.1863	72	0.0000
Ecuación IDT (3.2)	Intensidad máxima	0.1419	72	0.0010
Ecuación IDT (3.3)	Intensidad máxima	0.1419	72	0.0010
Ecuación IDT (3.4)	Intensidad máxima	0.1105	72	0.0296

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia, 2018.

---

## **CAPÍTULO IV:**

### **PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS**

#### **4.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS GENERAL**

Para la hipótesis general de la investigación no se ha efectuado alguna prueba de contraste de hipótesis, porque basta aplicar la ecuación IDT (3.2) para generar la intensidad máxima de precipitación pluvial, ecuación que ha sido obtenido luego de muchos análisis, cumplimiento de los supuestos de regresión lineal múltiple y validada mediante la prueba  $U$  de Mann-Whitney.

#### **4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

##### **4.2.1. Prueba de primera hipótesis específica**

La primera hipótesis específica "La distribución Gumbel, es la distribución probabilística de mejor ajuste de la precipitación máxima en 24 horas, en la generación de intensidad máxima de precipitación pluvial con fines de diseño de infraestructura hidráulica en la localidad de Capachica – Puno", ha sido probado en el numeral 3.2.4 de pruebas de bondad y ajuste de las distribuciones que comprende las pruebas de error estándar de ajuste, prueba de Chi cuadrado y la prueba de Kolmogorov-Smirnov, confirmando con el ajuste gráfico; los resultados se pueden ver en la tabla 51 jerarquía de las pruebas de bondad y ajuste. Siendo la distribución de probabilidad Gamma 3 parámetros por momentos de probabilidad pesada, la distribución de mejor ajuste que se adecúa a los datos observados.

##### **4.2.2. Prueba de segunda hipótesis específica**

Los datos a someter a la prueba estadística, son las intensidades máximas de precipitación pluvial de las tres ecuaciones de estación CO 788-Capachica con la ecuación IDT control (3.4) de la estación CP 708-Puno. La primera prueba son las intensidades de la ecuación IDT (3.1) con las intensidades de la ecuación IDT control (3.4), en la tabla 57 se puede ver que la hipótesis de que ambas muestras presentan medianas iguales es rechazada, concluyendo que las medianas estadísticamente son diferentes a un nivel de significación del 5%.



Tabla 57  
Prueba  $U$  de Mann-Whitney de ecuación IDT (3.1) con ecuación IDT control (3.4)

Denominación	Símbolo	Contraste
Tipo de prueba:		Prueba bilateral
Hipótesis nula:	$H_0$	$Me_1 = Me_2$
Hipótesis alternativa:	$H_1$	$Me_1 \neq Me_2$
Media de $U$ :	$\mu_U$	2592.0000
Varianza de $U$ :	$\sigma^2_U$	62640.0000
Desviación estándar de $U$ :	$\sigma_U$	250.2798
Numero total de datos:	$n$	144.0000
Estadístico de prueba menor:	$U$	1561.5000
Valor $Z$ de distribución normal:	$Z$	-4.1174
Nivel de significancia:	$\alpha$	0.05
Valor crítico de $+z$ (dos colas):	$z$	1.9600
Valor crítico de $-z$ (dos colas):	$-z$	-1.9600
Región de rechazo o crítica:	RC	$\{Z < -1.96 \text{ y } Z > 1.96\}$
Región de aceptación:	RA	$\{Z \geq -1.96 \text{ y } Z \leq 1.96\}$
Valor $-p$ :	$p$	0.0000
Decisión estadística:	Se Rechaza $H_0$	
Conclusión:	Lo que indica que las medianas estadísticamente no son iguales al 5% de nivel de significancia.	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Como el valor  $-p$  de la prueba  $U$  para la ecuación IDT (3.2) de 0.1039 supera al nivel de significación 0.05, la ecuación IDT (3.2) se acepta; por lo tanto se concluye que las medianas son estadísticamente iguales a la ecuación IDT control (3.4), con un nivel de significación del 5%. Entonces se puede afirmar que, la distribución poblacional de las intensidades máximas de precipitación pluvial de la ecuación IDT (3.2) es similar o igual estadísticamente a la ecuación IDT control (3.4), tal como se aprecia en la tabla 58.

Tabla 58  
Prueba  $U$  de Mann-Whitney de ecuación IDT (3.2) con ecuación IDT control (3.4)

Denominación	Símbolo	Contraste
Tipo de prueba:		Prueba bilateral
Hipótesis nula:	$H_0$	$Me_1 = Me_2$
Hipótesis alternativa:	$H_1$	$Me_1 \neq Me_2$
Media de $U$ :	$\mu_U$	2592.0000
Varianza de $U$ :	$\sigma^2_U$	62640.0000
Desviación estándar de $U$ :	$\sigma_U$	250.2798
Numero total de datos:	$n$	144.0000
Estadístico de prueba menor:	$U$	2185.0000
Valor $Z$ de distribución normal:	$Z$	-1.6262
Nivel de significancia:	$\alpha$	0.05
Valor crítico de $+z$ (dos colas):	$z$	1.9600
Valor crítico de $-z$ (dos colas):	$-z$	-1.9600
Región de rechazo o crítica:	RC	$\{Z < -1.96 \text{ y } Z > 1.96\}$
Región de aceptación:	RA	$\{Z \geq -1.96 \text{ y } Z \leq 1.96\}$
Valor $-p$ :	$p$	0.1039
Decisión estadística:	Se Acepta $H_0$	
Conclusión:	Entonces se puede afirmar que las medianas estadísticamente son iguales al 5% de nivel de significancia.	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

La última prueba de hipótesis de que las medianas son iguales entre la ecuación IDT (3.3) y la ecuación IDT control (3.4) es rechazada, con un nivel de significancia de 5% como se presenta en la tabla 59, por lo que la ecuación IDT (3.3) de la estación CO 788-Capachica, no se tomará en cuenta para los cálculos de intensidad máxima de precipitación pluvial.

Tabla 59  
 Prueba  $U$  de Mann-Whitney de ecuación IDT (3.3) con ecuación IDT control (3.4)

Denominación	Símbolo	Contraste
Tipo de prueba:		Prueba bilateral
Hipótesis nula:	$H_0$	$Me_1 = Me_2$
Hipótesis alternativa:	$H_1$	$Me_1 \neq Me_2$
Media de $U$ :	$\mu_U$	2592.0000
Varianza de $U$ :	$\sigma^2_U$	62640.0000
Desviación estándar de $U$ :	$\sigma_U$	250.2798
Numero total de datos:	$n$	144.0000
Estadístico de prueba menor:	$U$	1675.5000
Valor $Z$ de distribución normal:	$Z$	-3.6619
Nivel de significancia:	$\alpha$	0.05
Valor crítico de $+z$ (dos colas):	$z$	1.9600
Valor crítico de $-z$ (dos colas):	$-z$	-1.9600
Región de rechazo o crítica:	RC	$\{Z < -1.96 \text{ y } Z > 1.96\}$
Región de aceptación:	RA	$\{Z \geq -1.96 \text{ y } Z \leq 1.96\}$
Valor $-p$ :	$p$	0.0003
Decisión estadística:	Se Rechaza $H_0$	
Conclusión:	Lo que indica que las medianas estadísticamente no son iguales al 5% de nivel de significancia.	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

La segunda hipótesis específica: "La ecuación IDT adecuada es la obtenida a partir de la ecuación de distribución de la precipitación pluvial de F. C. Bell – Yance Tueros, en la generación de intensidad máxima de precipitación pluvial con fines de diseño de infraestructura hidráulica en la localidad de Capachica – Puno", queda probada porque la ecuación IDT (3.2) se acepta mediante la prueba  $U$  de Mann-Whitney como la ecuación definitiva para la localidad de Capachica con un nivel de confianza del 95% o un nivel de significación del 5%.

## CAPÍTULO V:

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 5.1. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

##### 5.1.1. Generación de intensidad máxima de precipitación pluvial

Los valores de intensidad de lluvia calculados por Ledezma (2012) para la región de clima seco-semiseco que son trece estaciones climatológicas del altiplano central mexicano por el método de Cheng, son similares a los obtenidos para la estación CO 788-Capachica por método de F. C. Bell-Yance Tueros, excepto la estación 22011-Pedro Escobedo que su valor  $-p$  es inferior a 0.05 como se puede ver en la tabla 60; pero los valores de intensidades no son iguales numéricamente, pues la precipitación pluvial no siempre es igual en el tiempo y espacio.

Tabla 60

Resumen de prueba  $U$  de Mann-Whitney de intensidad máxima de precipitación pluvial de las estaciones climatológicas de región climática seco-semiseco mexicano con intensidad de ecuación IDT (3.2) de estación CO 788-Capachica

N°	Suma de rangos			H <sub>0</sub> : Imáx(Grupo México) = Imáx(Grupo 788)			
	Estación-México	788-Capachica	Combinado	$z$	Prob > $ z $	Verificación	
1	22005	934	896	1830	0.0281	0.7788	Se acepta la H <sub>0</sub>
2	22006	944	886	1830	0.0429	0.6681	Se acepta la H <sub>0</sub>
3	22009	827	1003	1830	-1.301	0.1932	Se acepta la H <sub>0</sub>
4	22011	1059	771	1830	2.129	0.0333	<b>Se rechaza la H<sub>0</sub></b>
5	22022	950	880	1830	0.517	0.6048	Se acepta la H <sub>0</sub>
6	22030	957	873	1830	0.621	0.5346	Se acepta la H <sub>0</sub>
7	22034	935	895	1830	0.296	0.7675	Se acepta la H <sub>0</sub>
8	22035	977	853	1830	0.917	0.3593	Se acepta la H <sub>0</sub>
9	22041	1017	813	1830	1.508	0.1316	Se acepta la H <sub>0</sub>
10	22042	879	951	1830	-0.532	0.5946	Se acepta la H <sub>0</sub>
11	22045	937	893	1830	0.325	0.745	Se acepta la H <sub>0</sub>
12	22056	912	918	1830	-0.044	0.9646	Se acepta la H <sub>0</sub>
13	22058	919	911	1830	0.059	0.9528	Se acepta la H <sub>0</sub>

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Se ha escogido las estaciones de la región de clima seco-semiseco del altiplano central mexicano porque la estación CO 788-Capachica también está ubicado en la región climática del altiplano peruano de clima seco.

Por otra parte Paredes (2015), no obtuvo las ecuaciones IDT ni la intensidad de lluvia derivada a partir de la ecuación de F. C. Bell-Yance Tueros, solamente obtuvo las ecuaciones IDT y las intensidades de lluvia a partir de la ecuación de F. C. Bell-Dick Peschke que genera valores de intensidades superiores a los obtenidos con la ecuación IDT (3.2) de F. C. Bell-Yance Tueros.

### **5.1.2. Sobre distribución probabilística de mejor ajuste**

La distribución de probabilidad Gamma 3 parámetros: MPP, seleccionada como la de mejor ajuste, es una distribución que ha dado menor variación con respecto a los datos observados de la precipitación máxima en 24 horas en comparación con las demás distribuciones aplicadas en esta investigación; mientras que algunos autores como Ledezma (2012), solamente ha utilizado la distribución Gumbel; por lo tanto no hizo las pruebas de selección de la distribución de mejor ajuste a pesar que en uno de sus objetivos particulares menciona encontrar la distribución que mejor se ajuste a los datos de lluvia máxima en 24 horas.

Por otra parte Paredes (2015), ha utilizado cuatro distribuciones como se hace notar en su metodología resultándole para las tres estaciones en estudio la distribución Log normal 2 parámetros mediante las pruebas de Kolmogorov-Smirnov, error cuadrático mínimo y el análisis gráfico. Entonces se puede afirmar que se debe utilizar todas las distribuciones posibles al margen de que algunos autores refieren que la distribución Gumbel da buenos resultados en el estudio de eventos meteorológicos de valores máximos diarios y anuales como (Mintegui et al, 1993), a la vez, Stol (1971), citado por Dickinson (1977) y citado también por Pizarro et al (2007), señala que la función Gumbel resulta ser la más adecuada para representar lluvias anuales extremas.

### **5.1.3. De la ecuación intensidad – duración – periodo de retorno**

La ecuación adecuada para determinar o generar intensidad máxima de precipitación pluvial, se ha determinado mediante el análisis de regresión lineal múltiple, obteniendo la ecuación IDT (3.2) como el adecuado para la estación CO 788-Capachica, contrastada mediante la prueba *U* de Mann-Whitney.

Los valores de intensidad calculadas con esta ecuación son las que más se aproximan a los valores calculados para la estación de control CP 708-Puno.

## **5.2. COMPARACIÓN DE LAS ECUACIONES IDT**

Al comparar las intensidades máximas de precipitación pluvial generadas con las ecuaciones IDT (3.1), (3.2) y (3.3) para los periodos de retorno de 2 a 100 años y duraciones desde 5 hasta 120 minutos con respecto a las intensidades máximas de precipitación pluvial generadas con la ecuación IDT control (3.4); la ecuación IDT (3.1) para duración de 5 minutos presenta una variación que supera el 300%, y para la duración de 120 minutos es alrededor del 95%. Mientras que la ecuación IDT (3.2) en la duración de 5 minutos es del orden de 119% y para la duración de 120 minutos un promedio de 69%. La tercera ecuación IDT (3.3) en la duración de 5 minutos presenta una variación del 191% y en la duración de 120 minutos un promedio de 110%, las comparaciones se pueden ver en las tablas 9.1 a 9.6 del anexo 9. Al observar los porcentajes de variación fácilmente no se puede afirmar si las variaciones son significativas o no significativas, por ello se recurre a la prueba estadísticas que nos indica si las diferencias con respecto a los datos de intensidad control son estadísticamente iguales o diferentes, como los que se desarrolló en la sección de prueba de hipótesis del capítulo anterior.

## CONCLUSIONES

**PRIMERA:** Se ha generado las intensidades máximas de precipitación pluvial y construida las curvas IDT con la ecuación IDT (3.2), para la estación CO 788-Capachica.

**SEGUNDA:** Para la selección de la distribución de probabilidad de mejor ajuste se aplicó el ajuste gráfico, el método del error estándar de ajuste, la prueba de ajuste Chi cuadrado y la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

La distribución de probabilidad seleccionada -mediante los métodos mencionados en el párrafo anterior- que mejor se ajusta a la serie observada de precipitación máxima en 24 horas, es la distribución gamma 3 parámetros cuyos parámetros han sido determinados por el método de momentos de probabilidad pesada.

**TERCERA:** Para efectuar la prueba de la segunda hipótesis específica, se ha obtenido la ecuación IDT control (3.4) a partir de las intensidades máximas de lluvia calculadas mediante el análisis de tormentas de las lluvias registradas en bandas pluviográficas de la estación CP 708-Puno del año de 1967 a 1984; elegida como estación patrón por ser la estación climatológica principal y estar ubicado en la misma región pluviométrica calificada por ILLA-SENAMHI-UNI. Seleccionándose la ecuación IDT (3.2) la que representa a la estación CO 788-Capachica contrastada con la prueba  $U$  de Mann-Whitney.

$$I = \frac{86.9519 \times T^{0.2030}}{D^{0.5587}}, \text{ ecuación IDT (3.2) de estación CO 788-Capachica.}$$

$$I = \frac{53.9127 \times T^{0.2110}}{D^{0.3866}}, \text{ ecuación IDT control (3.4) de estación CP 708-Puno.}$$

Donde,  $I$  es la intensidad máxima de precipitación pluvial en mm/h,  $D$  es la duración de la precipitación pluvial en minutos y  $T$  es el periodo de retorno en años.

## **RECOMENDACIONES**

**PRIMERA:** Generar las intensidades máximas de precipitación pluvial y construir las curvas IDT con la ecuación matemática de intensidad – duración – periodo de retorno denominado en esta tesis como ecuación IDT.

**SEGUNDA:** Para la selección de la distribución de probabilidad, se recomienda utilizar el método de error estándar de ajuste por su sencillez y versatilidad, que compara los datos observados con los estimados y no necesita de valores adicionales para calificar y jerarquizar las distribuciones de probabilidad.

**TERCERA:** Utilizar el modelo de Frederick Charles Bell-Yance Tueros en la distribución de la precipitación pluvial, para generar la intensidad máxima de precipitación pluvial primigenia y determinar la ecuación IDT mediante el análisis de regresión lineal múltiple, para duraciones de 5 a 120 minutos y periodos de retorno de 2 a 100 años.



---

## FUENTES DE INFORMACIÓN

- Aparicio Mijares, F. J. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. México: Editorial Limusa.
- Baeza Ramírez, C. (2007). *Estimación regional de factores de convectividad para el cálculo de las relaciones intensidad-duración-frecuencia* (Tesis de maestría). Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/2060/1/baezaramirez.pdf>
- Campos Aranda, D. (1998). *Procesos del Ciclo Hidrológico*. San Luís de Potosí, México: Universidad Autónoma de San Luís de Potosí.
- Chereque Morán, W. (s.f.). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Chow, V., Maidment, D. R. y Mays, L. W. (1994). *Hidrología aplicada*. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana.
- Córdova Zamora, M. (2008). *Estadística Aplicada*. Lima, Perú: Moshera S.R.L.
- Escalante Sandoval, C. A. y Reyes Chávez, L. (2002). *Técnicas Estadísticas en Hidrología*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.
- Fernández Palomino, C. A. (2015). *Frecuencia de precipitaciones máximas según los L-momentos en la cuenca hidrográfica del lago Titicaca* (tesis de postgrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2161/P10-F47-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ganancias Martínez, F. M. (2010). *Evaluación de Metodologías de Regionalización Hidrológica: Aplicación a los Caudales Máximos de Cuencas Representativas de la Región Sur-Oeste de la Provincia de Córdoba* (Tesis de maestría). Recuperado de <http://es.scribd.com/doc/258439550/Hidrologia-Calculo-de-Caudales-Maximos#scribd>
- Gujarati, D. N., Porter, D. C. (2010). *Econometría*. (5.ª ed.). México, D. F., México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C. V.
- Ledezma Velázquez, A. L. (2012). *Obtención de la Relación Intensidad, Duración, Frecuencia de la Precipitación en el Altiplano Central Mexicano* (Tesis de pregrado). Recuperado de <http://ri.uaq.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/1130/RI000540.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). Manual de Carreteras: Hidrología, Hidráulica y Control. Lima Perú.
- Muñoz Marín, C. (2008). *Análisis de la Variabilidad en Series Hidrometeorológicas en una Cuenca de Cabecera del Río Segura: Cuenca del Río Mundo*. (Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos, Universidad Politécnica de Cartagena). Recuperado de <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/738/pfc2752.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Organización Meteorológica Mundial. (2011). *Guía de prácticas hidrológicas Volumen II Gestión de recursos hídricos y aplicaciones de prácticas hidrológicas, OMM-N° 168*. (6.ª ed.). Ginebra, Suiza. Recuperado de [http://www.whycos.org/chy/guide/168\\_Vol\\_II\\_es.pdf](http://www.whycos.org/chy/guide/168_Vol_II_es.pdf)
- Pizarro Tapia, R., Aravena Garrido, D., Macaya Pérez, K., Abarza Martínez, A., Cornejo Espinoza, M., Labra Lorca, M., ... Román Arellano, L. (2007). *Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia para la zona centro sur de Chile*. Talca. Chile: Universidad de Talca. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N° 7. Recuperado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002281/228195S.pdf>
- Paredes, Pinto R. E. (2015). *Generación de intensidades de precipitación máxima en estaciones sin información pluviográfica (Cuenca del Río Illpa – Puno)* (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Villón Béjar, M. (2002). *Hidrología*. (2.ª ed.). Lima, Perú: Villón.
- Villón Béjar, M. (2002). *Hidrología Estadística*. (2.ª ed.). Lima, Perú: Villón.
- XVII Congreso Nacional de Ingeniería Civil. (2009). *Curvas intensidad-duración-frecuencia*. Chiclayo, Perú: Colegio de Ingenieros del Perú, C.D. Lambayeque. Recuperado de <http://es.slideshare.net/mgarcianaranjo/curvas-intensidad-duracin-frecuencia>

# ANEXOS

Anexo 1: Registro histórico y original de precipitación máxima en 24 horas

Anexo 2: Análisis de datos de precipitación máxima en 24 horas

Anexo 3: Análisis de frecuencia de la precipitación máxima en 24 horas

Anexo 4: Método de error estándar de ajuste

Anexo 5: Prueba de Chi cuadrado

Anexo 6: Prueba de Kolmogorov-Smirnov

Anexo 7: Parámetros de regresión lineal múltiple

Anexo 8: Tablas estadísticas

Anexo 9: Tablas comparativas de intensidad máxima de precipitación pluvial

Anexo 10: Panel fotográfico

Anexo 11: Matriz de consistencia

# Anexo 1

## Registro histórico y original de precipitación máxima en 24 horas

Tabla 1.1  
Registro de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica

PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS ORIGINAL (mm)															
ESTACIÓN: CAPACHICA															
Código:	000788		País:	Perú	Disrito:			Capachica			Altitud:	3828			
Inter-Cuenca:	Ramis	0179	Dpto.:	Puno	Latitud Sur:			15° 36' 22.90"			Estado:	Funcionando			
Tipo:	CO		Prov.:	Puno	Longitud Oeste:			69° 49' 55.70"			Encargado:	SENAMHI			
Código	Planilla	Variable	Año	01_ENE	02_FEB	03_MAR	04_ABR	05_MAY	06_JUN	07_JUL	08_AGO	09_SET	10_OCT	11_NOV	12_DIC
788	52	PT202	1956				3.4	6.5	0	2	2	0	0	0	
788	52	PT202	1957	28.5	23.8	16.8	15.2	3.6	11.2						18.7
788	52	PT202	1958	31.1	35.2	20	29.1	27.5	0	0	7.8	13.6	18.4	10.3	8.5
788	52	PT202	1959	14.2	23.7	21	24.9	12.1	3.5	0	0.2	9.2	9.5	5.2	29.9
788	52	PT202	1960	28.2	18.3	17				0		18.6	19.5	22.8	18.6
788	52	PT202	1961	29.1	17.1	12.3	35	11.4	0	0	3.9	11.9		18.5	22.2
788	52	PT202	1962	35.5	58.2	20	16	1.1	0	0	0	9.5		27.1	23.7
788	52	PT202	1963	24.4	24	24.7	13.5	4.5	0	0	4.1	13.8		12.2	17.8
788	52	PT202	1964	25.1	20.4	63.2	32.1	54.7	0	0	1.5	16.5		32.8	39.1
788	52	PT202	1965	25.6	38.5	52.8	29.8	8.6	0	4.4	0		15.5	8.6	42.7
788	52	PT202	1966	21.7	20.6	10.4	4.3	20.4	0	0.9	0	10.1	6		23.2
788	52	PT202	1967	10.5		33	27.9	3.6	1	3.7	6		6.4	11.1	26.5
788	52	PT202	1968	14.9	19.4	23.5	19.5	8.8	9	1.8	2.1	17.5		25	19.4
788	52	PT202	1969	15.2	20.3	20.8	15.8	0	0.4	17.8	0.7	4.7	11.3	8.9	12.4
788	52	PT202	1970	16.9	22.2	17	22.3	7.9	0.2	0	1.3	15.9	10.6	10.6	14.1
788	52	PT202	1971	17.5	25.7	23.8	29.9	0.5	0	0	3	0.2	9.5	19.8	9.2
788	52	PT202	1972	35.4	27.1	22.8	1.6	0.8	0	0.2	1	3.8	4.3	21.2	21.1
788	52	PT202	1973	28.9	26.6	27.8	10.7	7.2	5	14.4	7.3	14.9	14.5	15.9	14.3
788	52	PT202	1974	24.3	30.9	12.4	11	0	6	7.6	8.7	10.5	11.9	19.4	15
788	52	PT202	1975	40.6	32.2	16.4	9.1	21	5.5	0	0.7	11.5	16.9	7	20
788	52	PT202	1976	20	26.5	17.3	14.3	15	2.9	0.2	6.7	12	3.3	0	16.4
788	52	PT202	1977	20.3	40	17	4.2	4	0	0.8	0	14.7	18	14.1	17
788	52	PT202	1978	23.8	18.8	20	13	0	4.2	4.3				29.5	28.8
788	52	PT202	1979	20.8	18.9	29.5	13	4	0	0	4.2				
788	52	PT202	1980		8	14	2.2	0		0	5.6	9.7			
788	52	PT202	1984							0	0	0	11.7	15.8	17.5
788	52	PT202	1985	11.8	21.8	10.9	13	10.2	3.6	4.8	0	2.1	11.3	11.4	15.9
788	52	PT202	1986	18.1	28.4	25.3	14.2	0.4	0	0	8.5	9	7.1	19.4	13.2
788	52	PT202	1987	32.4	4.8	23.3	9.2	2.2	7.8	9.6	0	6.1	4.2	4.7	7.2
788	52	PT202	1988	17.3	27	17.9		18.9	0	2.5	0	9.3	15	11	14.7
788	52	PT202	1989	18.4	15.5	14.5	12	0					23.9	23.3	45
788	52	PT202	1990	31	16.4	22.9	19.5	4.9	21.8	0	17.5	5.5	19.1	12.7	26.8
788	52	PT202	1991	15.5	32.2	31.4	25.5		19	0.5	0	6	22	38	35
788	52	PT202	1992	28.5	32	9	27	0	12	4	50	0.5	9	28	12
788	52	PT202	1993	40	50	52	19	1	0.5	0	26.5	6	16	29.5	36
788	52	PT202	1994	46	49	28	29.5	3.5	0	2.7	4.5	2.7	7.8	11.4	31
788	52	PT202	1995	21	31.3	23.1	0.8	6.2	0	0.5	4.5	5.2	13	19.3	33.4
788	52	PT202	1996	51	11.5	14.8	14.1	10.4	0	4.4	8.5	2.2	13.8	14.6	16.4
788	52	PT202	1997	22.4	21	30.5	24.7	2.5	0	0	9.3	18.9	12.7	37.3	15.5
788	52	PT202	1998	16.1	26.3	41	8.6	0	5.9	0	0	1.2	3.8	16.3	6.7
788	52	PT202	1999	30.2	32.9	23.7	18.1	0.9	0	0	0	8.1	14.3	9.2	18
788	52	PT202	2000	20.6	23.4	25.6	4.4	8.4	0	1	21	7.1	14.8	0	16
788	52	PT202	2001	16.4	17.9	45.6	15.8	4.4	2.6	4.8	12.5	10.6	19.7	21.1	25.1
788	52	PT202	2002	20.5	30.5	21.2	11.3	6.6	1.5	8.6	6.4	15.1	21	21.2	16.7
788	52	PT202	2003	27.9	35.3	27.6	10	7.8	6.8	2.4	2.4	23.3	13.5	16.2	31
788	52	PT202	2004	29.2	25.7	22.2	16.5	6.2	0.4	3.8	12	13.4	10.2	15.7	16.8
788	52	PT202	2005	21.4	20.3	27	9.9	0	0	0	2.6	21.4	22.8	24.9	15.6

Tabla 1.1 (cont.)

Registro de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica

PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS ORIGINAL (mm)

ESTACIÓN: CAPACHICA

Código:	000788	País:	Perú	Disrito:	Capachica	Altitud:	3828								
Inter-Cuenca:	Ramis 0179	Dpto.:	Puno	Latitud Sur:	15° 36' 22.90"	Estado:	Funcionando								
Tipo:	CO	Prov.:	Puno	Longitud Oeste:	69° 49' 55.70"	Encargado:	SENAMHI								
Código	Planilla	Variable	Año	01_ENE	02_FEB	03_MAR	04_ABR	05_MAY	06_JUN	07_JUL	08_AGO	09_SET	10_OCT	11_NOV	12_DIC
788	52	PT202	2006	27.6	13.9	17.2	11.4	1.2	6.2	0	5.2	15.2	10.5	18	16.2
788	52	PT202	2007	18.2	10	31.2	14.9	4.2	0	3.2	3.8	11.6	3.8	18.4	21.8
788	52	PT202	2008	33.2	18.6	19.8	0	0	0	0	0	0	33.4	4.6	21
788	52	PT202	2009	14.1	22.4	20.8	18.2	0.8	0	2.4	0	2.2	10.4	14.8	15.5
788	52	PT202	2010	28.4	18.4	11.4	7.2	5	0	0	3.2	3.2	14.4		20.8
788	52	PT202	2011	17	20.3	20.1	8.5	2.3	0	3.4	0	5	2	19.4	30.5
788	52	PT202	2012	22.1	29.8	22.5	6.8	0	3.4	0	12.6	1.2	3.4	16.5	19.6
788	52	PT202	2013	22	29.6	62.2	5.1	3.1	3.1	3.9	4.5	9.2	15.3	11.4	34.1
788	52	PT202	2014	31.6	12.5	23.6	16.7	0	0	1.2	16.5	26.4	21.3	7.7	25.4
788	52	PT202	2015	20	33.3	29.1	15.7	1.2	0	3.2	1.8	26.1	16.9		13.3
788	52	PT202	2016	22.4											
		STD		8.4	10.12	11.78	8.75	9.07	4.71	3.59	8.49	6.91	6.71	8.85	8.8
		Media		24.45	25.16	24.53	14.91	6.21	2.71	2.27	5.67	9.65	12.79	16.31	21.15
		Mediana		22.4	23.75	22.5	14.15	3.8	0	0.5	3.2	9.3	12.85	15.9	18.65
		Suma		1344.8	1358.4	1348.9	805.4	335.5	143.5	125	300.6	492.4	613.7	831.8	1142.3
		Max		51	58.2	63.2	35	54.7	21.8	17.8	50	26.4	33.4	38	45
		Min		10.5	4.8	9	0	0	0	0	0	0	0	0	6.7

Fuente: SENAMHI-PUNO.

Tabla 1.2

Registro de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica

**PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS ORIGINAL (mm)**

**ESTACIÓN: CAPACHICA**

AÑO	MESES												MÁXIMA ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1956			0.0	3.4	6.5	0.0	2.0	2.0	0.0	0.0	0.0	19.0	19.0
1957	28.5	23.8	16.8	15.2	3.6	11.2	0.0				13.2	18.7	28.5
1958	31.1	35.2	20.0	29.1	27.5	0.0	0.0	7.8	13.6	18.4	10.3	8.5	35.2
1959	14.2	23.7	21.0	24.9	12.1	3.5	0.0	0.2	9.2	9.5	5.2	29.9	29.9
1960	28.2	18.3	17.0				0.0	8.2	18.6	19.5	22.8	18.6	28.2
1961	29.1	17.1	12.3	35.0	11.4	0.0	0.0	3.9	11.9		18.5	22.2	35.0
1962	35.5	58.2	20.0	16.0	1.1	0.0	0.0	0.0	9.5		27.1	23.7	58.2
1963	24.4	24.0	24.7	13.5	4.5	0.0	0.0	4.1	13.8		12.2	17.8	24.7
1964	25.1	20.4	63.2	32.1	54.7	0.0	0.0	1.5	16.5		32.8	39.1	63.2
1965	25.6	38.5	52.8	29.8	8.6	0.0	4.4	0.0		15.5	8.6	42.7	52.8
1966	21.7	20.6	10.4	4.3	20.4	0.0	0.9	0.0	10.1	6.0		23.2	23.2
1967	10.5	20.0	33.0	27.9	3.6	1.0	3.7	6.0		6.4	11.1	26.5	33.0
1968	14.9	19.4	23.5	19.5	8.8	9.0	1.8	2.1	17.5		25.0	19.4	25.0
1969	15.2	20.3	20.8	15.8	0.0	0.4	17.8	0.7	4.7	11.3	8.9	12.4	20.8
1970	16.9	22.2	17.0	22.3	7.9	0.2	0.0	1.3	15.9	10.6	10.6	14.1	22.3
1971	17.5	25.7	23.8	29.9	0.5	0.0	0.0	3.0	0.2	9.5	19.8	9.2	29.9
1972	35.4	27.1	22.8	1.6	0.8	0.0	0.2	1.0	3.8	4.3	21.2	21.1	35.4
1973	28.9	26.6	27.8	10.7	7.2	5.0	14.4	7.3	14.9	14.5	15.9	14.3	28.9
1974	24.3	30.9	12.4	11.0	0.0	6.0	7.6	8.7	10.5	11.9	19.4	15.0	30.9
1975	40.6	32.2	16.4	9.1	21.0	5.5	0.0	0.7	11.5	16.9	7.0	20.0	40.6
1976	20.0	26.5	17.3	14.3	15.0	2.9	0.2	6.7	12.0	3.3	0.0	16.4	26.5
1977	20.3	40.0	17.0	4.2	4.0	0.0	0.8	0.0	14.7	18.0	14.1	17.0	40.0
1978	23.8	18.8	20.0	13.0	0.0	4.2	4.3				29.5	28.8	29.5
1979	20.8	18.9	29.5	13.0	4.0	0.0	0.0	4.2					29.5
1980		8.0	14.0	2.2	0.0		0.0	5.6	9.7				14.0
1981													S/D
1982													S/D
1983													S/D
1984							0.0	0.0	0.0	11.7	15.8	17.5	17.5
1985	11.8	21.8	10.9	13.0	10.2	3.6	4.8	0.0	2.1	11.3	11.4	15.9	21.8
1986	18.1	28.4	25.3	14.2	0.4	0.0	0.0	8.5	9.0	7.1	19.4	13.2	28.4
1987	32.4	4.8	23.3	9.2	2.2	7.8	9.6	0.0	6.1	4.2	4.7	7.2	32.4
1988	17.3	27.0	17.9		18.9	0.0	2.5	0.0	9.3	15.0	11.0	14.7	27.0
1989	18.4	15.5	14.5	12.0	0.0				5.3	23.9	23.3	45.0	45.0
1990	31.0	16.4	22.9	19.5	4.9	21.8	0.0	17.5	5.5	19.1	12.7	26.8	31.0
1991	15.5	32.2	31.4	25.5		19.0	0.5	0.0	6.0	22.0	38.0	35.0	38.0
1992	28.5	32.0	9.0	27.0	0.0	12.0	4.0	50.0	0.5	9.0	28.0	12.0	50.0
1993	40.0	50.0	52.0	19.0	1.0	0.5	0.0	26.5	6.0	16.0	29.5	36.0	52.0
1994	46.0	49.0	28.0	29.5	3.5	0.0	2.7	4.5	2.7	7.8	11.4	31.0	49.0
1995	21.0	31.3	23.1	0.8	6.2	0.0	0.5	4.5	5.2	13.0	19.3	33.4	33.4
1996	51.0	11.5	14.8	14.1	10.4	0.0	4.4	8.5	2.2	13.8	14.6	16.4	51.0
1997	22.4	21.0	30.5	24.7	2.5	0.0	0.0	9.3	18.9	12.7	37.3	15.5	37.3
1998	16.1	26.3	41.0	8.6	0.0	5.9	0.0	0.0	1.2	3.8	16.3	6.7	41.0
1999	30.2	32.9	23.7	18.1	0.9	0.0	0.0	0.0	8.1	14.3	9.2	18.0	32.9
2000	20.6	23.4	25.6	4.4	8.4	0.0	1.0	21.0	7.1	14.8	0.0	16.0	25.6

Tabla 1.2 (cont.)

Registro de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica

**PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS ORIGINAL (mm)**

**ESTACIÓN: CAPACHICA**

Código:	000788	País:	Perú	Disrito:	Capachica	Altitud:	3828						
Inter-Cuenc:	Ramis 0179	Dpto.:	Puno	Latitud Sur:	15° 36' 22.90"	Estado:	Funcionando						
Tipo:	CO	Prov.:	Puno	Longitud Oeste:	69° 49' 55.70"	Encargado:	SENAMHI						
AÑO	MESES												MÁXIMA ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
2001	16.4	17.9	45.6	15.8	4.4	2.6	4.8	12.5	10.6	19.7	21.1	25.1	45.6
2002	20.5	30.5	21.2	11.3	6.6	1.5	8.6	6.4	15.1	21.0	21.2	16.7	30.5
2003	27.9	35.3	27.6	10.0	7.8	6.8	2.4	2.4	23.3	13.5	16.2	31.0	35.3
2004	29.2	25.7	22.2	16.5	6.2	0.4	3.8	12.0	13.4	10.2	15.7	16.8	29.2
2005	21.4	20.3	27.0	9.9	0.0	0.0	0.0	2.6	21.4	22.8	24.9	15.6	27.0
2006	27.6	13.9	17.2	11.4	1.2	6.2	0.0	5.2	15.2	10.5	18.0	16.2	27.6
2007	18.2	10.0	31.2	14.9	4.2	0.0	3.2	3.8	11.6	3.8	18.4	21.8	31.2
2008	33.2	18.6	19.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.4	4.6	21.0	33.4
2009	14.1	22.4	20.8	18.2	0.8	0.0	2.4	0.0	2.2	10.4	14.8	15.5	22.4
2010	28.4	18.4	11.4	7.2	5.0	0.0	0.0	3.2	3.2	14.4	0.0	20.8	28.4
2011	17.0	20.3	20.1	8.5	2.3	0.0	3.4	0.0	5.0	2.0	19.4	30.5	30.5
2012	22.1	29.8	22.5	6.8	0.0	3.4	0.0	12.6	1.2	3.4	16.5	19.6	29.8
2013	22.0	29.6	62.2	5.1	3.1	3.1	3.9	4.5	9.2	15.0	11.4	34.1	62.2
2014	31.6	12.5	23.6	16.7	0.0	0.0	1.2	16.5	26.4	21.3	7.7	25.4	31.6
2015	20.0	33.3	29.1	15.7	1.2	0.0	3.2	1.8	26.1	16.9		13.3	33.3
2016	22.4												22.4
N° DATOS	55	55	56	54	54	53	56	54	52	48	53	55	58
DESV. EST.	8.40	10.05	12.12	8.75	9.07	4.71	3.57	8.42	6.87	6.71	8.97	8.72	10.75
MÁXIMA	51.0	58.2	63.2	35.0	54.7	21.8	17.8	50.0	26.4	33.4	38.0	45.0	63.2

Fuente: Elaboración propia en base a la información vertida en sitio web del SENAMHI PERÚ, 2017.  
Extraída el día 20 de marzo de 2017.

Valores en color negro, desde:

<http://www.peruclima.pe/?p=data-historica>

Valores en color azul, desde:

<http://puno.senamhi.gob.pe/web/hb.php?p=2034>



# **Anexo 2**

## **Análisis de datos de precipitación máxima en 24 horas**

Tabla 2.1  
Prueba estadística de Grubbs de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

N°	Año	Dato real-x (mm)	Normal por Box- Cox	Estadístico Z	Verificación de datos
1	1957	29.64	-0.0023	-0.488	Pasa
2	1958	36.61	0.0015	0.323	Pasa
3	1959	31.10	-0.0013	-0.279	Pasa
4	1960	29.33	-0.0025	-0.536	Pasa
5	1961	36.40	0.0014	0.303	Pasa
6	1962	60.53	0.0083	1.763	Pasa
7	1963	25.69	-0.0057	-1.202	Pasa
8	1964	65.73	0.0092	1.939	Pasa
9	1965	54.91	0.0073	1.536	Pasa
10	1966	24.13	-0.0074	-1.559	Pasa
11	1967	34.32	0.0004	0.092	Pasa
12	1968	26.00	-0.0054	-1.137	Pasa
13	1969	21.63	-0.0106	<b>-2.250</b>	Pasa
14	1970	23.19	-0.0085	-1.799	Pasa
15	1971	31.10	-0.0013	-0.279	Pasa
16	1972	36.82	0.0016	0.343	Pasa
17	1973	30.06	-0.0020	-0.426	Pasa
18	1974	32.14	-0.0007	-0.146	Pasa
19	1975	42.22	0.0038	0.802	Pasa
20	1976	27.56	-0.0039	-0.834	Pasa
21	1977	41.60	0.0036	0.755	Pasa
22	1978	30.68	-0.0016	-0.337	Pasa
23	1985	22.67	-0.0092	-1.941	Pasa
24	1986	29.54	-0.0024	-0.504	Pasa
28	1990	32.24	-0.0006	-0.133	Pasa
29	1991	39.52	0.0028	0.587	Pasa
30	1992	52.00	0.0066	1.399	Pasa
31	1993	54.08	0.0071	1.498	Pasa
32	1994	50.96	0.0064	1.346	Pasa
33	1995	34.74	0.0006	0.135	Pasa
34	1996	53.04	0.0069	1.450	Pasa
35	1997	38.79	0.0025	0.524	Pasa
36	1998	42.64	0.0039	0.833	Pasa
37	1999	34.22	0.0004	0.081	Pasa
38	2000	26.62	-0.0048	-1.011	Pasa
39	2001	47.42	0.0054	1.150	Pasa
40	2002	31.72	-0.0009	-0.198	Pasa
41	2003	36.71	0.0016	0.333	Pasa
42	2004	30.37	-0.0018	-0.381	Pasa
43	2005	28.08	-0.0035	-0.742	Pasa
44	2006	28.70	-0.0030	-0.637	Pasa
45	2007	32.45	-0.0005	-0.108	Pasa
46	2008	34.74	0.0006	0.135	Pasa
47	2009	23.30	-0.0084	-1.771	Pasa
48	2010	29.54	-0.0024	-0.504	Pasa
49	2011	31.72	-0.0009	-0.198	Pasa
50	2012	30.99	-0.0014	-0.294	Pasa
51	2013	64.69	0.0090	1.906	Pasa
52	2014	32.86	-0.0003	-0.060	Pasa
53	2015	34.63	0.0006	0.124	Pasa

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 2.2

Prueba estadística de Helmert de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Orden m	Año	$X_i$ (mm)	$X_i - \bar{X}$	Secuencia o Cambio	Orden m	Año	$X_i$ (mm)	$X_i - \bar{X}$	Secuencia o Cambio
1	1957	29.640	-6.377		28	1990	32.240	-3.777	C
2	1958	36.608	0.591	C	29	1991	39.520	3.503	C
3	1959	31.096	-4.921	C	30	1992	52.000	15.983	S
4	1960	29.328	-6.689	S	31	1993	54.080	18.063	S
5	1961	36.400	0.383	C	32	1994	50.960	14.943	S
6	1962	60.528	24.511	S	33	1995	34.736	-1.281	C
7	1963	25.688	-10.329	C	34	1996	53.040	17.023	C
8	1964	65.728	29.711	C	35	1997	38.792	2.775	S
9	1965	54.912	18.895	S	36	1998	42.640	6.623	S
10	1966	24.128	-11.889	C	37	1999	34.216	-1.801	C
11	1967	34.320	-1.697	S	38	2000	26.624	-9.393	S
12	1968	26.000	-10.017	S	39	2001	47.424	11.407	C
13	1969	21.632	-14.385	S	40	2002	31.720	-4.297	C
14	1970	23.192	-12.825	S	41	2003	36.712	0.695	C
15	1971	31.096	-4.921	S	42	2004	30.368	-5.649	C
16	1972	36.816	0.799	C	43	2005	28.080	-7.937	S
17	1973	30.056	-5.961	C	44	2006	28.704	-7.313	S
18	1974	32.136	-3.881	S	45	2007	32.448	-3.569	S
19	1975	42.224	6.207	C	46	2008	34.736	-1.281	S
20	1976	27.560	-8.457	C	47	2009	23.296	-12.721	S
21	1977	41.600	5.583	C	48	2010	29.536	-6.481	S
22	1978	30.680	-5.337	C	49	2011	31.720	-4.297	S
23	1985	22.672	-13.345	S	50	2012	30.992	-5.025	S
24	1986	29.536	-6.481	S	51	2013	64.688	28.671	C
25	1987	33.696	-2.321	S	52	2014	32.864	-3.153	C
26	1988	28.080	-7.937	S	53	2015	34.632	-1.385	S
27	1989	46.800	10.783	C					

Fuente: Elaboración propia, 2018.

**Tabla 2.3**  
Prueba de independencia de Anderson de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Orden m	Año	Xi (mm)	Xi - $\bar{X}$	(Xi - $\bar{X}$ ) <sup>2</sup>	k = 1		k = 2		k = 3	
					Xi+k - $\bar{X}$	(Xi - $\bar{X}$ )(Xi+k - $\bar{X}$ )	Xi+k - $\bar{X}$	(Xi - $\bar{X}$ )(Xi+k - $\bar{X}$ )	Xi+k - $\bar{X}$	(Xi - $\bar{X}$ )(Xi+k - $\bar{X}$ )
1	1957	29.640	-6.377	40.671	0.591	-3.767	-4.921	31.385	-6.689	42.660
2	1958	36.608	0.591	0.349	-4.921	-2.907	-6.689	-3.951	0.383	0.226
3	1959	31.096	-4.921	24.220	-6.689	32.921	0.383	-1.883	24.511	-120.626
4	1960	29.328	-6.689	44.748	0.383	-2.560	24.511	-163.960	-10.329	69.097
5	1961	36.400	0.383	0.146	24.511	9.379	-10.329	-3.952	29.711	11.369
6	1962	60.528	24.511	600.772	-10.329	-253.179	29.711	728.227	18.895	463.120
7	1963	25.688	-10.329	106.696	29.711	-306.892	18.895	-195.170	-11.889	122.809
8	1964	65.728	29.711	882.722	18.895	561.372	-11.889	-353.240	-1.697	-50.430
9	1965	54.912	18.895	357.007	-11.889	-224.645	-1.697	-32.071	-10.017	-189.274
10	1966	24.128	-11.889	141.357	-1.697	20.181	-10.017	119.100	-14.385	171.033
11	1967	34.320	-1.697	2.881	-10.017	17.003	-14.385	24.417	-12.825	21.769
12	1968	26.000	-10.017	100.347	-14.385	144.103	-12.825	128.476	-4.921	49.299
13	1969	21.632	-14.385	206.939	-12.825	184.497	-4.921	70.796	0.799	-11.489
14	1970	23.192	-12.825	164.490	-4.921	63.118	0.799	-10.243	-5.961	76.457
15	1971	31.096	-4.921	24.220	0.799	-3.930	-5.961	29.338	-3.881	19.102
16	1972	36.816	0.799	0.638	-5.961	-4.761	-3.881	-3.100	6.207	4.957
17	1973	30.056	-5.961	35.538	-3.881	23.138	6.207	-37.000	-8.457	50.417
18	1974	32.136	-3.881	15.065	6.207	-24.090	-8.457	32.826	5.583	-21.668
19	1975	42.224	6.207	38.522	-8.457	-52.492	5.583	34.649	-5.337	-33.127
20	1976	27.560	-8.457	71.527	5.583	-47.214	-5.337	45.140	-13.345	112.866
21	1977	41.600	5.583	31.166	-5.337	-29.797	-13.345	-74.502	-6.481	-36.183
22	1978	30.680	-5.337	28.487	-13.345	71.229	-6.481	34.593	-2.321	12.390
23	1985	22.672	-13.345	178.099	-6.481	86.496	-2.321	30.979	-7.937	105.927
24	1986	29.536	-6.481	42.008	-2.321	15.046	-7.937	51.445	10.783	-69.886
25	1987	33.696	-2.321	5.389	-7.937	18.425	10.783	-25.030	-3.777	8.769
26	1988	28.080	-7.937	63.002	10.783	-85.586	-3.777	29.982	3.503	-27.802
27	1989	46.800	10.783	116.265	-3.777	-40.730	3.503	37.768	15.983	172.335
28	1990	32.240	-3.777	14.268	3.503	-13.231	15.983	-60.372	18.063	-68.229
29	1991	39.520	3.503	12.268	15.983	55.981	18.063	63.267	14.943	52.339
30	1992	52.000	15.983	255.445	18.063	288.689	14.943	238.823	-1.281	-20.479
31	1993	54.080	18.063	326.259	14.943	269.904	-1.281	-23.145	17.023	307.474
32	1994	50.960	14.943	223.283	-1.281	-19.147	17.023	254.363	2.775	41.460
33	1995	34.736	-1.281	1.642	17.023	-21.812	2.775	-3.555	6.623	-8.486
34	1996	53.040	17.023	289.770	2.775	47.232	6.623	112.735	-1.801	-30.664
35	1997	38.792	2.775	7.699	6.623	18.375	-1.801	-4.998	-9.393	-26.063
36	1998	42.640	6.623	43.859	-1.801	-11.930	-9.393	-62.209	11.407	75.542
37	1999	34.216	-1.801	3.245	-9.393	16.921	11.407	-20.547	-4.297	7.741
38	2000	26.624	-9.393	88.235	11.407	-107.147	-4.297	40.367	0.695	-6.525
39	2001	47.424	11.407	130.111	-4.297	-49.018	0.695	7.924	-5.649	-64.440
40	2002	31.720	-4.297	18.467	0.695	-2.985	-5.649	24.277	-7.937	34.110
41	2003	36.712	0.695	0.483	-5.649	-3.924	-7.937	-5.514	-7.313	-5.080
42	2004	30.368	-5.649	31.915	-7.937	44.841	-7.313	41.316	-3.569	20.165
43	2005	28.080	-7.937	63.002	-7.313	58.049	-3.569	28.331	-1.281	10.171
44	2006	28.704	-7.313	53.485	-3.569	26.104	-1.281	9.371	-12.721	93.036
45	2007	32.448	-3.569	12.740	-1.281	4.574	-12.721	45.407	-6.481	23.134
46	2008	34.736	-1.281	1.642	-12.721	16.301	-6.481	8.305	-4.297	5.506
47	2009	23.296	-12.721	161.833	-6.481	82.452	-4.297	54.668	-5.025	63.929
48	2010	29.536	-6.481	42.008	-4.297	27.853	-5.025	32.571	28.671	-185.825
49	2011	31.720	-4.297	18.467	-5.025	21.596	28.671	-123.208	-3.153	13.551
50	2012	30.992	-5.025	25.254	28.671	-144.080	-3.153	15.847	-1.385	6.962
51	2013	64.688	28.671	822.006	-3.153	-90.409	-1.385	-39.719		
52	2014	32.864	-3.153	9.944	-1.385	4.369				
53	2015	34.632	-1.385	1.919						

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 2.3 (cont.)

Prueba de independencia de Anderson de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Orden m	Año	Xi (mm)	Xi - $\bar{X}$	(Xi - $\bar{X}$ ) <sup>2</sup>	k = 4		k = 5		k = 6	
					Xi+k - $\bar{X}$	(Xi - $\bar{X}$ )(Xi+k - $\bar{X}$ )	Xi+k - $\bar{X}$	(Xi - $\bar{X}$ )(Xi+k - $\bar{X}$ )	Xi+k - $\bar{X}$	(Xi - $\bar{X}$ )(Xi+k - $\bar{X}$ )
1	1957	29.640	-6.377	40.671	0.383	-2.440	24.511	-156.313	-10.329	65.874
2	1958	36.608	0.591	0.349	24.511	14.477	-10.329	-6.101	29.711	17.548
3	1959	31.096	-4.921	24.220	-10.329	50.834	29.711	-146.217	18.895	-92.987
4	1960	29.328	-6.689	44.748	29.711	-198.745	18.895	-126.393	-11.889	79.532
5	1961	36.400	0.383	0.146	18.895	7.230	-11.889	-4.549	-1.697	-0.649
6	1962	60.528	24.511	600.772	-11.889	-291.416	-1.697	-41.603	-10.017	-245.532
7	1963	25.688	-10.329	106.696	-1.697	17.533	-10.017	103.473	-14.385	148.592
8	1964	65.728	29.711	882.722	-10.017	-297.622	-14.385	-427.398	-12.825	-381.050
9	1965	54.912	18.895	357.007	-14.385	-271.806	-12.825	-242.331	-4.921	-92.987
10	1966	24.128	-11.889	141.357	-12.825	152.485	-4.921	58.512	0.799	-9.495
11	1967	34.320	-1.697	2.881	-4.921	8.353	0.799	-1.356	-5.961	10.119
12	1968	26.000	-10.017	100.347	0.799	-8.000	-5.961	59.717	-3.881	38.881
13	1969	21.632	-14.385	206.939	-5.961	85.756	-3.881	55.835	6.207	-89.285
14	1970	23.192	-12.825	164.490	-3.881	49.780	6.207	-79.602	-8.457	108.469
15	1971	31.096	-4.921	24.220	6.207	-30.545	-8.457	41.622	5.583	-27.474
16	1972	36.816	0.799	0.638	-8.457	-6.754	5.583	4.459	-5.337	-4.263
17	1973	30.056	-5.961	35.538	5.583	-33.280	-5.337	31.818	-13.345	79.556
18	1974	32.136	-3.881	15.065	-5.337	20.716	-13.345	51.798	-6.481	25.156
19	1975	42.224	6.207	38.522	-13.345	-82.830	-6.481	-40.227	-2.321	-14.408
20	1976	27.560	-8.457	71.527	-6.481	54.815	-2.321	19.633	-7.937	67.129
21	1977	41.600	5.583	31.166	-2.321	-12.959	-7.937	-44.311	10.783	60.196
22	1978	30.680	-5.337	28.487	-7.937	42.365	10.783	-57.551	-3.777	20.161
23	1985	22.672	-13.345	178.099	10.783	-143.898	-3.777	50.410	3.503	-46.744
24	1986	29.536	-6.481	42.008	-3.777	24.482	3.503	-22.702	15.983	-103.589
25	1987	33.696	-2.321	5.389	3.503	-8.131	15.983	-37.101	18.063	-41.930
26	1988	28.080	-7.937	63.002	15.983	-126.860	18.063	-143.370	14.943	-118.605
27	1989	46.800	10.783	116.265	18.063	194.763	14.943	161.121	-1.281	-13.816
28	1990	32.240	-3.777	14.268	14.943	-56.444	-1.281	4.840	17.023	-64.301
29	1991	39.520	3.503	12.268	-1.281	-4.488	17.023	59.624	2.775	9.719
30	1992	52.000	15.983	255.445	17.023	272.067	2.775	44.346	6.623	105.847
31	1993	54.080	18.063	326.259	2.775	50.117	6.623	119.622	-1.801	-32.537
32	1994	50.960	14.943	223.283	6.623	98.960	-1.801	-26.917	-9.393	-140.362
33	1995	34.736	-1.281	1.642	-1.801	2.308	-9.393	12.036	11.407	-14.616
34	1996	53.040	17.023	289.770	-9.393	-159.900	11.407	194.171	-4.297	-73.152
35	1997	38.792	2.775	7.699	11.407	31.649	-4.297	-11.924	0.695	1.927
36	1998	42.640	6.623	43.859	-4.297	-28.460	0.695	4.600	-5.649	-37.414
37	1999	34.216	-1.801	3.245	0.695	-1.251	-5.649	10.177	-7.937	14.298
38	2000	26.624	-9.393	88.235	-5.649	53.066	-7.937	74.558	-7.313	68.697
39	2001	47.424	11.407	130.111	-7.937	-90.539	-7.313	-83.421	-3.569	-40.714
40	2002	31.720	-4.297	18.467	-7.313	31.428	-3.569	15.339	-1.281	5.506
41	2003	36.712	0.695	0.483	-3.569	-2.479	-1.281	-0.890	-12.721	-8.837
42	2004	30.368	-5.649	31.915	-1.281	7.239	-12.721	71.868	-6.481	36.616
43	2005	28.080	-7.937	63.002	-12.721	100.974	-6.481	51.445	-4.297	34.110
44	2006	28.704	-7.313	53.485	-6.481	47.400	-4.297	31.428	-5.025	36.752
45	2007	32.448	-3.569	12.740	-4.297	15.339	-5.025	17.937	28.671	-102.336
46	2008	34.736	-1.281	1.642	-5.025	6.439	28.671	-36.737	-3.153	4.041
47	2009	23.296	-12.721	161.833	28.671	-364.730	-3.153	40.115	-1.385	17.624
48	2010	29.536	-6.481	42.008	-3.153	20.438	-1.385	8.979		
49	2011	31.720	-4.297	18.467	-1.385	5.953				
50	2012	30.992	-5.025	25.254						
51	2013	64.688	28.671	822.006						
52	2014	32.864	-3.153	9.944						
53	2015	34.632	-1.385	1.919						

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 2.3 (cont.)

Prueba de independencia de Anderson de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Orden m	Año	Xi (mm)	Xi - $\bar{X}$	(Xi - $\bar{X}$ ) <sup>2</sup>	k = 7		k = 8		k = 9	
					$X_{i+k} - \bar{X}$	(Xi - $\bar{X}$ )( $X_{i+k} - \bar{X}$ )	$X_{i+k} - \bar{X}$	(Xi - $\bar{X}$ )( $X_{i+k} - \bar{X}$ )	$X_{i+k} - \bar{X}$	(Xi - $\bar{X}$ )( $X_{i+k} - \bar{X}$ )
1	1957	29.640	-6.377	40.671	29.711	-189.475	18.895	-120.498	-11.889	75.823
2	1958	36.608	0.591	0.349	18.895	11.160	-11.889	-7.022	-1.697	-1.003
3	1959	31.096	-4.921	24.220	-11.889	58.512	-1.697	8.353	-10.017	49.299
4	1960	29.328	-6.689	44.748	-1.697	11.354	-10.017	67.010	-14.385	96.229
5	1961	36.400	0.383	0.146	-10.017	-3.833	-14.385	-5.504	-12.825	-4.908
6	1962	60.528	24.511	600.772	-14.385	-352.594	-12.825	-314.358	-4.921	-120.626
7	1963	25.688	-10.329	106.696	-12.825	132.478	-4.921	50.834	0.799	-8.249
8	1964	65.728	29.711	882.722	-4.921	-146.217	0.799	23.728	-5.961	-177.116
9	1965	54.912	18.895	357.007	0.799	15.090	-5.961	-112.638	-3.881	-73.337
10	1966	24.128	-11.889	141.357	-5.961	70.877	-3.881	46.147	6.207	-73.793
11	1967	34.320	-1.697	2.881	-3.881	6.588	6.207	-10.535	-8.457	14.355
12	1968	26.000	-10.017	100.347	6.207	-62.174	-8.457	84.720	5.583	-55.923
13	1969	21.632	-14.385	206.939	-8.457	121.662	5.583	-80.308	-5.337	76.780
14	1970	23.192	-12.825	164.490	5.583	-71.599	-5.337	68.454	-13.345	171.159
15	1971	31.096	-4.921	24.220	-5.337	26.267	-13.345	65.677	-6.481	31.897
16	1972	36.816	0.799	0.638	-13.345	-10.658	-6.481	-5.176	-2.321	-1.854
17	1973	30.056	-5.961	35.538	-6.481	38.638	-2.321	13.838	-7.937	47.317
18	1974	32.136	-3.881	15.065	-2.321	9.010	-7.937	30.808	10.783	-41.851
19	1975	42.224	6.207	38.522	-7.937	-49.264	10.783	66.924	-3.777	-23.445
20	1976	27.560	-8.457	71.527	10.783	-91.193	-3.777	31.946	3.503	-29.623
21	1977	41.600	5.583	31.166	-3.777	-21.088	3.503	19.554	15.983	89.225
22	1978	30.680	-5.337	28.487	3.503	-18.695	15.983	-85.305	18.063	-96.407
23	1985	22.672	-13.345	178.099	15.983	-213.294	18.063	-241.052	14.943	-199.415
24	1986	29.536	-6.481	42.008	18.063	-117.070	14.943	-96.849	-1.281	8.305
25	1987	33.696	-2.321	5.389	14.943	-34.687	-1.281	2.974	17.023	-39.516
26	1988	28.080	-7.937	63.002	-1.281	10.171	17.023	-135.115	2.775	-22.023
27	1989	46.800	10.783	116.265	17.023	183.549	2.775	29.918	6.623	71.410
28	1990	32.240	-3.777	14.268	2.775	-10.481	6.623	-25.016	-1.801	6.804
29	1991	39.520	3.503	12.268	6.623	23.197	-1.801	-6.310	-9.393	-32.902
30	1992	52.000	15.983	255.445	-1.801	-28.790	-9.393	-150.131	11.407	182.308
31	1993	54.080	18.063	326.259	-9.393	-169.669	11.407	206.034	-4.297	-77.622
32	1994	50.960	14.943	223.283	11.407	170.445	-4.297	-64.214	0.695	10.380
33	1995	34.736	-1.281	1.642	-4.297	5.506	0.695	-0.890	-5.649	7.239
34	1996	53.040	17.023	289.770	0.695	11.825	-5.649	-96.167	-7.937	-135.115
35	1997	38.792	2.775	7.699	-5.649	-15.675	-7.937	-22.023	-7.313	-20.292
36	1998	42.640	6.623	43.859	-7.937	-52.566	-7.313	-48.434	-3.569	-23.639
37	1999	34.216	-1.801	3.245	-7.313	13.174	-3.569	6.430	-1.281	2.308
38	2000	26.624	-9.393	88.235	-3.569	33.528	-1.281	12.036	-12.721	119.496
39	2001	47.424	11.407	130.111	-1.281	-14.616	-12.721	-145.108	-6.481	-73.931
40	2002	31.720	-4.297	18.467	-12.721	54.668	-6.481	27.853	-4.297	18.467
41	2003	36.712	0.695	0.483	-6.481	-4.502	-4.297	-2.985	-5.025	-3.491
42	2004	30.368	-5.649	31.915	-4.297	24.277	-5.025	28.390	28.671	-161.971
43	2005	28.080	-7.937	63.002	-5.025	39.888	28.671	-227.569	-3.153	25.029
44	2006	28.704	-7.313	53.485	28.671	-209.679	-3.153	23.062	-1.385	10.132
45	2007	32.448	-3.569	12.740	-3.153	11.255	-1.385	4.945		
46	2008	34.736	-1.281	1.642	-1.385	1.775				
47	2009	23.296	-12.721	161.833						
48	2010	29.536	-6.481	42.008						
49	2011	31.720	-4.297	18.467						
50	2012	30.992	-5.025	25.254						
51	2013	64.688	28.671	822.006						
52	2014	32.864	-3.153	9.944						
53	2015	34.632	-1.385	1.919						

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 2.3 (cont.)

Prueba de independencia de Anderson de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Orden m	Año	Xi (mm)	Xi - $\bar{X}$	(Xi - $\bar{X}$ ) <sup>2</sup>	k = 10		k = 11		k = 12	
					$X_{i+k} - \bar{X}$	(Xi - $\bar{X}$ )( $X_{i+k} - \bar{X}$ )	$X_{i+k} - \bar{X}$	(Xi - $\bar{X}$ )( $X_{i+k} - \bar{X}$ )	$X_{i+k} - \bar{X}$	(Xi - $\bar{X}$ )( $X_{i+k} - \bar{X}$ )
1	1957	29.640	-6.377	40.671	-1.697	10.825	-10.017	63.884	-14.385	91.741
2	1958	36.608	0.591	0.349	-10.017	-5.917	-14.385	-8.497	-12.825	-7.575
3	1959	31.096	-4.921	24.220	-14.385	70.796	-12.825	63.118	-4.921	24.220
4	1960	29.328	-6.689	44.748	-12.825	85.793	-4.921	32.921	0.799	-5.342
5	1961	36.400	0.383	0.146	-4.921	-1.883	0.799	0.306	-5.961	-2.281
6	1962	60.528	24.511	600.772	0.799	19.575	-5.961	-146.117	-3.881	-95.135
7	1963	25.688	-10.329	106.696	-5.961	61.577	-3.881	40.092	6.207	-64.111
8	1964	65.728	29.711	882.722	-3.881	-115.318	6.207	184.403	-8.457	-251.274
9	1965	54.912	18.895	357.007	6.207	117.272	-8.457	-159.799	5.583	105.482
10	1966	24.128	-11.889	141.357	-8.457	100.553	5.583	-66.374	-5.337	63.458
11	1967	34.320	-1.697	2.881	5.583	-9.476	-5.337	9.059	-13.345	22.652
12	1968	26.000	-10.017	100.347	-5.337	53.466	-13.345	133.685	-6.481	64.926
13	1969	21.632	-14.385	206.939	-13.345	191.978	-6.481	93.237	-2.321	33.394
14	1970	23.192	-12.825	164.490	-6.481	83.126	-2.321	29.772	-7.937	101.799
15	1971	31.096	-4.921	24.220	-2.321	11.424	-7.937	39.063	10.783	-53.065
16	1972	36.816	0.799	0.638	-7.937	-6.339	10.783	8.611	-3.777	-3.017
17	1973	30.056	-5.961	35.538	10.783	-64.279	-3.777	22.518	3.503	-20.881
18	1974	32.136	-3.881	15.065	-3.777	14.661	3.503	-13.595	15.983	-62.034
19	1975	42.224	6.207	38.522	3.503	21.740	15.983	99.199	18.063	112.108
20	1976	27.560	-8.457	71.527	15.983	-135.171	18.063	-152.762	14.943	-126.375
21	1977	41.600	5.583	31.166	18.063	100.837	14.943	83.419	-1.281	-7.153
22	1978	30.680	-5.337	28.487	14.943	-79.754	-1.281	6.839	17.023	-90.856
23	1985	22.672	-13.345	178.099	-1.281	17.100	17.023	-227.173	2.775	-37.029
24	1986	29.536	-6.481	42.008	17.023	-110.330	2.775	-17.983	6.623	-42.924
25	1987	33.696	-2.321	5.389	2.775	-6.441	6.623	-15.374	-1.801	4.182
26	1988	28.080	-7.937	63.002	6.623	-52.566	-1.801	14.298	-9.393	74.558
27	1989	46.800	10.783	116.265	-1.801	-19.423	-9.393	-101.285	11.407	122.994
28	1990	32.240	-3.777	14.268	-9.393	35.482	11.407	-43.087	-4.297	16.233
29	1991	39.520	3.503	12.268	11.407	39.953	-4.297	-15.052	0.695	2.433
30	1992	52.000	15.983	255.445	-4.297	-68.683	0.695	11.102	-5.649	-90.292
31	1993	54.080	18.063	326.259	0.695	12.547	-5.649	-102.042	-7.937	-143.370
32	1994	50.960	14.943	223.283	-5.649	-84.416	-7.937	-118.605	-7.313	-109.281
33	1995	34.736	-1.281	1.642	-7.937	10.171	-7.313	9.371	-3.569	4.574
34	1996	53.040	17.023	289.770	-7.313	-124.493	-3.569	-60.760	-1.281	-21.812
35	1997	38.792	2.775	7.699	-3.569	-9.904	-1.281	-3.555	-12.721	-35.297
36	1998	42.640	6.623	43.859	-1.281	-8.486	-12.721	-84.249	-6.481	-42.924
37	1999	34.216	-1.801	3.245	-12.721	22.916	-6.481	11.675	-4.297	7.741
38	2000	26.624	-9.393	88.235	-6.481	60.882	-4.297	40.367	-5.025	47.205
39	2001	47.424	11.407	130.111	-4.297	-49.018	-5.025	-57.322	28.671	327.036
40	2002	31.720	-4.297	18.467	-5.025	21.596	28.671	-123.208	-3.153	13.551
41	2003	36.712	0.695	0.483	28.671	19.916	-3.153	-2.190	-1.385	-0.962
42	2004	30.368	-5.649	31.915	-3.153	17.814	-1.385	7.826		
43	2005	28.080	-7.937	63.002	-1.385	10.996				
44	2006	28.704	-7.313	53.485						
45	2007	32.448	-3.569	12.740						
46	2008	34.736	-1.281	1.642						
47	2009	23.296	-12.721	161.833						
48	2010	29.536	-6.481	42.008						
49	2011	31.720	-4.297	18.467						
50	2012	30.992	-5.025	25.254						
51	2013	64.688	28.671	822.006						
52	2014	32.864	-3.153	9.944						
53	2015	34.632	-1.385	1.919						

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 2.3 (cont.)

Prueba de independencia de Anderson de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Orden m	Año	Xi (mm)	Xi - $\bar{X}$	(Xi - $\bar{X}$ ) <sup>2</sup>	k = 13		k = 14		k = 15	
					Xi+k - $\bar{X}$	(Xi - $\bar{X}$ )(Xi+k - $\bar{X}$ )	Xi+k - $\bar{X}$	(Xi - $\bar{X}$ )(Xi+k - $\bar{X}$ )	Xi+k - $\bar{X}$	(Xi - $\bar{X}$ )(Xi+k - $\bar{X}$ )
1	1957	29.640	-6.377	40.671	-12.825	81.792	-4.921	31.385	0.799	-5.093
2	1958	36.608	0.591	0.349	-4.921	-2.907	0.799	0.472	-5.961	-3.521
3	1959	31.096	-4.921	24.220	0.799	-3.930	-5.961	29.338	-3.881	19.102
4	1960	29.328	-6.689	44.748	-5.961	39.878	-3.881	25.964	6.207	-41.518
5	1961	36.400	0.383	0.146	-3.881	-1.485	6.207	2.375	-8.457	-3.236
6	1962	60.528	24.511	600.772	6.207	152.129	-8.457	-207.295	5.583	136.834
7	1963	25.688	-10.329	106.696	-8.457	87.359	5.583	-57.665	-5.337	55.131
8	1964	65.728	29.711	882.722	5.583	165.864	-5.337	-158.576	-13.345	-396.499
9	1965	54.912	18.895	357.007	-5.337	-100.847	-13.345	-252.156	-6.481	-122.463
10	1966	24.128	-11.889	141.357	-13.345	158.668	-6.481	77.059	-2.321	27.599
11	1967	34.320	-1.697	2.881	-6.481	11.001	-2.321	3.940	-7.937	13.473
12	1968	26.000	-10.017	100.347	-2.321	23.254	-7.937	79.511	10.783	-108.014
13	1969	21.632	-14.385	206.939	-7.937	114.182	10.783	-155.112	-3.777	54.339
14	1970	23.192	-12.825	164.490	10.783	-138.291	-3.777	48.446	3.503	-44.923
15	1971	31.096	-4.921	24.220	-3.777	18.590	3.503	-17.238	15.983	-78.656
16	1972	36.816	0.799	0.638	3.503	2.797	15.983	12.764	18.063	14.426
17	1973	30.056	-5.961	35.538	15.983	-95.278	18.063	-107.678	14.943	-89.078
18	1974	32.136	-3.881	15.065	18.063	-70.108	14.943	-57.998	-1.281	4.973
19	1975	42.224	6.207	38.522	14.943	92.744	-1.281	-7.953	17.023	105.653
20	1976	27.560	-8.457	71.527	-1.281	10.837	17.023	-143.967	2.775	-23.466
21	1977	41.600	5.583	31.166	17.023	95.031	2.775	15.490	6.623	36.972
22	1978	30.680	-5.337	28.487	2.775	-14.809	6.623	-35.347	-1.801	9.614
23	1985	22.672	-13.345	178.099	6.623	-88.382	-1.801	24.040	-9.393	125.358
24	1986	29.536	-6.481	42.008	-1.801	11.675	-9.393	60.882	11.407	-73.931
25	1987	33.696	-2.321	5.389	-9.393	21.805	11.407	-26.479	-4.297	9.976
26	1988	28.080	-7.937	63.002	11.407	-90.539	-4.297	34.110	0.695	-5.514
27	1989	46.800	10.783	116.265	-4.297	-46.337	0.695	7.490	-5.649	-60.915
28	1990	32.240	-3.777	14.268	0.695	-2.624	-5.649	21.340	-7.937	29.982
29	1991	39.520	3.503	12.268	-5.649	-19.788	-7.937	-27.802	-7.313	-25.616
30	1992	52.000	15.983	255.445	-7.937	-126.860	-7.313	-116.887	-3.569	-57.048
31	1993	54.080	18.063	326.259	-7.313	-132.099	-3.569	-64.472	-1.281	-23.145
32	1994	50.960	14.943	223.283	-3.569	-53.336	-1.281	-19.147	-12.721	-190.091
33	1995	34.736	-1.281	1.642	-1.281	1.642	-12.721	16.301	-6.481	8.305
34	1996	53.040	17.023	289.770	-12.721	-216.551	-6.481	-110.330	-4.297	-73.152
35	1997	38.792	2.775	7.699	-6.481	-17.983	-4.297	-11.924	-5.025	-13.944
36	1998	42.640	6.623	43.859	-4.297	-28.460	-5.025	-33.281	28.671	189.875
37	1999	34.216	-1.801	3.245	-5.025	9.052	28.671	-51.646	-3.153	5.680
38	2000	26.624	-9.393	88.235	28.671	-269.314	-3.153	29.621	-1.385	13.013
39	2001	47.424	11.407	130.111	-3.153	-35.969	-1.385	-15.802		
40	2002	31.720	-4.297	18.467	-1.385	5.953				
41	2003	36.712	0.695	0.483						
42	2004	30.368	-5.649	31.915						
43	2005	28.080	-7.937	63.002						
44	2006	28.704	-7.313	53.485						
45	2007	32.448	-3.569	12.740						
46	2008	34.736	-1.281	1.642						
47	2009	23.296	-12.721	161.833						
48	2010	29.536	-6.481	42.008						
49	2011	31.720	-4.297	18.467						
50	2012	30.992	-5.025	25.254						
51	2013	64.688	28.671	822.006						
52	2014	32.864	-3.153	9.944						
53	2015	34.632	-1.385	1.919						

Fuente: Elaboración propia, 2018.



Tabla 2.3 (cont.)

Prueba de independencia de Anderson de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Orden m	Año	Xi (mm)	Xi - $\bar{X}$	(Xi - $\bar{X}$ ) <sup>2</sup>	k = 16		k = 17		k = 18	
					Xi+k - $\bar{X}$	(Xi - $\bar{X}$ )(Xi+k - $\bar{X}$ )	Xi+k - $\bar{X}$	(Xi - $\bar{X}$ )(Xi+k - $\bar{X}$ )	Xi+k - $\bar{X}$	(Xi - $\bar{X}$ )(Xi+k - $\bar{X}$ )
1	1957	29.640	-6.377	40.671	-5.961	38.018	-3.881	24.753	6.207	-39.582
2	1958	36.608	0.591	0.349	-3.881	-2.292	6.207	3.666	-8.457	-4.995
3	1959	31.096	-4.921	24.220	6.207	-30.545	-8.457	41.622	5.583	-27.474
4	1960	29.328	-6.689	44.748	-8.457	56.574	5.583	-37.344	-5.337	35.704
5	1961	36.400	0.383	0.146	5.583	2.136	-5.337	-2.042	-13.345	-5.106
6	1962	60.528	24.511	600.772	-5.337	-130.822	-13.345	-327.103	-6.481	-158.862
7	1963	25.688	-10.329	106.696	-13.345	137.849	-6.481	66.948	-2.321	23.978
8	1964	65.728	29.711	882.722	-6.481	-192.565	-2.321	-68.969	-7.937	-235.824
9	1965	54.912	18.895	357.007	-2.321	-43.861	-7.937	-149.974	10.783	203.734
10	1966	24.128	-11.889	141.357	-7.937	94.370	10.783	-128.199	-3.777	44.910
11	1967	34.320	-1.697	2.881	10.783	-18.302	-3.777	6.412	3.503	-5.945
12	1968	26.000	-10.017	100.347	-3.777	37.839	3.503	-35.087	15.983	-160.104
13	1969	21.632	-14.385	206.939	3.503	-50.387	15.983	-229.916	18.063	-259.838
14	1970	23.192	-12.825	164.490	15.983	-204.983	18.063	-231.660	14.943	-191.645
15	1971	31.096	-4.921	24.220	18.063	-88.893	14.943	-73.538	-1.281	6.306
16	1972	36.816	0.799	0.638	14.943	11.934	-1.281	-1.023	17.023	13.595
17	1973	30.056	-5.961	35.538	-1.281	7.639	17.023	-101.478	2.775	-16.541
18	1974	32.136	-3.881	15.065	17.023	-66.071	2.775	-10.769	6.623	-25.705
19	1975	42.224	6.207	38.522	2.775	17.221	6.623	41.104	-1.801	-11.180
20	1976	27.560	-8.457	71.527	6.623	-56.010	-1.801	15.235	-9.393	79.443
21	1977	41.600	5.583	31.166	-1.801	-10.056	-9.393	-52.440	11.407	63.679
22	1978	30.680	-5.337	28.487	-9.393	50.136	11.407	-60.881	-4.297	22.937
23	1985	22.672	-13.345	178.099	11.407	-152.226	-4.297	57.350	0.695	-9.270
24	1986	29.536	-6.481	42.008	-4.297	27.853	0.695	-4.502	-5.649	36.616
25	1987	33.696	-2.321	5.389	0.695	-1.613	-5.649	13.114	-7.937	18.425
26	1988	28.080	-7.937	63.002	-5.649	44.841	-7.937	63.002	-7.313	58.049
27	1989	46.800	10.783	116.265	-7.937	-85.586	-7.313	-78.857	-3.569	-38.487
28	1990	32.240	-3.777	14.268	-7.313	27.625	-3.569	13.483	-1.281	4.840
29	1991	39.520	3.503	12.268	-3.569	-12.502	-1.281	-4.488	-12.721	-44.558
30	1992	52.000	15.983	255.445	-1.281	-20.479	-12.721	-203.321	-6.481	-103.589
31	1993	54.080	18.063	326.259	-12.721	-229.781	-6.481	-117.070	-4.297	-77.622
32	1994	50.960	14.943	223.283	-6.481	-96.849	-4.297	-64.214	-5.025	-75.092
33	1995	34.736	-1.281	1.642	-4.297	5.506	-5.025	6.439	28.671	-36.737
34	1996	53.040	17.023	289.770	-5.025	-85.545	28.671	488.050	-3.153	-53.678
35	1997	38.792	2.775	7.699	28.671	79.551	-3.153	-8.749	-1.385	-3.844
36	1998	42.640	6.623	43.859	-3.153	-20.884	-1.385	-9.175		
37	1999	34.216	-1.801	3.245	-1.385	2.496				
38	2000	26.624	-9.393	88.235						
39	2001	47.424	11.407	130.111						
40	2002	31.720	-4.297	18.467						
41	2003	36.712	0.695	0.483						
42	2004	30.368	-5.649	31.915						
43	2005	28.080	-7.937	63.002						
44	2006	28.704	-7.313	53.485						
45	2007	32.448	-3.569	12.740						
46	2008	34.736	-1.281	1.642						
47	2009	23.296	-12.721	161.833						
48	2010	29.536	-6.481	42.008						
49	2011	31.720	-4.297	18.467						
50	2012	30.992	-5.025	25.254						
51	2013	64.688	28.671	822.006						
52	2014	32.864	-3.153	9.944						
53	2015	34.632	-1.385	1.919						

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 2.4

Prueba de independencia corrida de Wald-Wolfowitz de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Orden m	Año	$X_i$ (mm)	$X_i - \bar{X}$	N° de Corridas	R	Valores de éxito	Valores de fracaso	Éxitos o Fracasos
1	1957	29.640	-6.377	-	r		29.640	F
2	1958	36.608	0.591	+	r	36.608		E
3	1959	31.096	-4.921	-			31.096	F
4	1960	29.328	-6.689	-	r		29.328	F
5	1961	36.400	0.383	+		36.400		E
6	1962	60.528	24.511	+	r	60.528		E
7	1963	25.688	-10.329	-	r		25.688	F
8	1964	65.728	29.711	+		65.728		E
9	1965	54.912	18.895	+	r	54.912		E
10	1966	24.128	-11.889	-			24.128	F
11	1967	34.320	-1.697	-			34.320	F
12	1968	26.000	-10.017	-			26.000	F
13	1969	21.632	-14.385	-			21.632	F
14	1970	23.192	-12.825	-			23.192	F
15	1971	31.096	-4.921	-	r		31.096	F
16	1972	36.816	0.799	+	r	36.816		E
17	1973	30.056	-5.961	-			30.056	F
18	1974	32.136	-3.881	-	r		32.136	F
19	1975	42.224	6.207	+	r	42.224		E
20	1976	27.560	-8.457	-	r		27.560	F
21	1977	41.600	5.583	+	r	41.600		E
22	1978	30.680	-5.337	-			30.680	F
23	1985	22.672	-13.345	-			22.672	F
24	1986	29.536	-6.481	-			29.536	F
25	1987	33.696	-2.321	-			33.696	F
26	1988	28.080	-7.937	-	r		28.080	F
27	1989	46.800	10.783	+	r	46.800		E
28	1990	32.240	-3.777	-	r		32.240	F
29	1991	39.520	3.503	+		39.520		E
30	1992	52.000	15.983	+		52.000		E
31	1993	54.080	18.063	+		54.080		E
32	1994	50.960	14.943	+	r	50.960		E
33	1995	34.736	-1.281	-	r		34.736	F
34	1996	53.040	17.023	+		53.040		E
35	1997	38.792	2.775	+		38.792		E
36	1998	42.640	6.623	+	r	42.640		E
37	1999	34.216	-1.801	-			34.216	F
38	2000	26.624	-9.393	-	r		26.624	F
39	2001	47.424	11.407	+	r	47.424		E
40	2002	31.720	-4.297	-	r		31.720	F
41	2003	36.712	0.695	+	r	36.712		E
42	2004	30.368	-5.649	-			30.368	F
43	2005	28.080	-7.937	-			28.080	F
44	2006	28.704	-7.313	-			28.704	F
45	2007	32.448	-3.569	-			32.448	F
46	2008	34.736	-1.281	-			34.736	F
47	2009	23.296	-12.721	-			23.296	F
48	2010	29.536	-6.481	-			29.536	F
49	2011	31.720	-4.297	-			31.720	F
50	2012	30.992	-5.025	-	r		30.992	F
51	2013	64.688	28.671	+	r	64.688		E
52	2014	32.864	-3.153	-			32.864	F
53	2015	34.632	-1.385	-	r		34.632	F
	$\bar{X} =$	36.017		N° =	25	19	34	

Fuente: Elaboración propia, 2018.



Tabla 2.6

Datos para prueba de estacionalidad de Mann-Kendall de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Orden	Año	Xi (mm)	P (+)	N (-)
1	1957	29.640	37	15
2	1958	36.608	17	34
3	1959	31.096	30	19
4	1960	29.328	37	12
5	1961	36.400	17	31
6	1962	60.528	2	45
7	1963	25.688	41	5
8	1964	65.728	0	45
9	1965	54.912	1	43
10	1966	24.128	39	4
11	1967	34.320	17	25
12	1968	26.000	37	4
13	1969	21.632	40	0
14	1970	23.192	38	1
15	1971	31.096	25	13
16	1972	36.816	12	25
17	1973	30.056	27	9
18	1974	32.136	21	14
19	1975	42.224	8	26
20	1976	27.560	30	3
21	1977	41.600	8	24
22	1978	30.680	22	9
23	1985	22.672	30	0
24	1986	29.536	23	5
25	1987	33.696	15	13
26	1988	28.080	24	2
27	1989	46.800	6	20
28	1990	32.240	16	9
29	1991	39.520	7	17
30	1992	52.000	3	20
31	1993	54.080	1	21
32	1994	50.960	2	19
33	1995	34.736	6	13
34	1996	53.040	1	18
35	1997	38.792	3	15
36	1998	42.640	2	15
37	1999	34.216	5	11
38	2000	26.624	14	1
39	2001	47.424	1	13
40	2002	31.720	6	6
41	2003	36.712	1	11
42	2004	30.368	7	4
43	2005	28.080	9	1
44	2006	28.704	8	1
45	2007	32.448	4	4
46	2008	34.736	1	6
47	2009	23.296	6	0
48	2010	29.536	5	0
49	2011	31.720	3	1
50	2012	30.992	3	0
51	2013	64.688	0	2
52	2014	32.864	1	0
53	2015	34.632	0	0
$\Sigma =$		1908.920	719	654

Fuente: Elaboración propia, 2018.

# Anexo 3

## Análisis de frecuencia de la precipitación máxima en 24 horas

Tabla 3.1  
 Distribución Normal de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Orden m	Xi (mm)	Observado (mm)	Weibull $p=m/(n+1)$	$T=(n+1)/m$ (años)	$q = 1-1/T$	v	$U_T$	Estimado (mm)	
								Mo = MV	ML
1	29.640	65.728	0.0185	54.000	0.9815	2.8245	2.0858	58.39	57.19
2	36.608	64.688	0.0370	27.000	0.9630	2.5674	1.7866	55.18	54.15
3	31.096	60.528	0.0556	18.000	0.9444	2.4043	1.5936	53.11	52.20
4	29.328	54.912	0.0741	13.500	0.9259	2.2815	1.4464	51.53	50.70
5	36.400	54.080	0.0926	10.800	0.9074	2.1815	1.3252	50.23	49.47
6	60.528	53.040	0.1111	9.000	0.8889	2.0963	1.2208	49.11	48.41
7	25.688	52.000	0.1296	7.714	0.8704	2.0214	1.1282	48.12	47.47
8	65.728	50.960	0.1481	6.750	0.8519	1.9542	1.0444	47.22	46.62
9	54.912	47.424	0.1667	6.000	0.8333	1.8930	0.9674	46.39	45.84
10	24.128	46.800	0.1852	5.400	0.8148	1.8365	0.8957	45.62	45.11
11	34.320	42.640	0.2037	4.909	0.7963	1.7839	0.8283	44.90	44.43
12	26.000	42.224	0.2222	4.500	0.7778	1.7344	0.7645	44.22	43.78
13	21.632	41.600	0.2407	4.154	0.7593	1.6876	0.7036	43.56	43.16
14	23.192	39.520	0.2593	3.857	0.7407	1.6431	0.6453	42.94	42.57
40	31.720	29.536	0.7407	1.350	0.2593	1.6431	-0.6453	29.10	29.47
41	36.712	29.328	0.7593	1.317	0.2407	1.6876	-0.7036	28.47	28.87
42	30.368	28.704	0.7778	1.286	0.2222	1.7344	-0.7645	27.82	28.26
43	28.080	28.080	0.7963	1.256	0.2037	1.7839	-0.8283	27.13	27.61
44	28.704	28.080	0.8148	1.227	0.1852	1.8365	-0.8957	26.41	26.92
45	32.448	27.560	0.8333	1.200	0.1667	1.8930	-0.9674	25.64	26.20
46	34.736	26.624	0.8519	1.174	0.1481	1.9542	-1.0444	24.81	25.41
47	23.296	26.000	0.8704	1.149	0.1296	2.0214	-1.1282	23.92	24.56
48	29.536	25.688	0.8889	1.125	0.1111	2.0963	-1.2208	22.92	23.62
49	31.720	24.128	0.9074	1.102	0.0926	2.1815	-1.3252	21.80	22.56
50	30.992	23.296	0.9259	1.080	0.0741	2.2815	-1.4464	20.50	21.33
51	64.688	23.192	0.9444	1.059	0.0556	2.4043	-1.5936	18.92	19.84
52	32.864	22.672	0.9630	1.038	0.0370	2.5674	-1.7866	16.85	17.88
53	34.632	21.632	0.9815	1.019	0.0185	2.8245	-2.0858	13.64	14.84

Fuente: Elaboración propia, 2018.

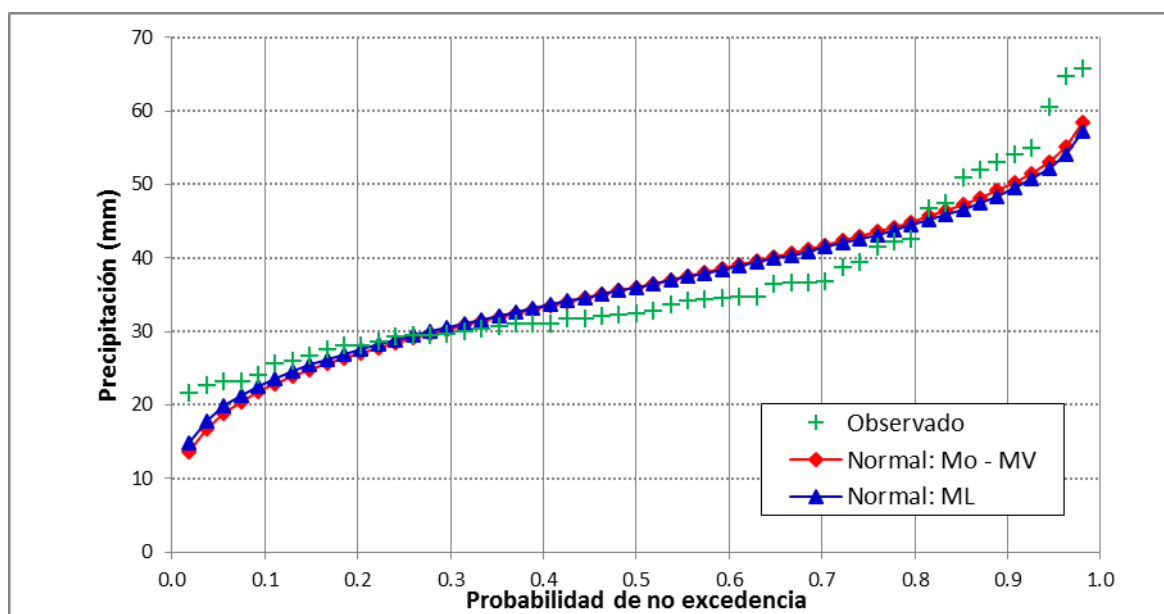


Gráfico 3.1. Distribución Normal – estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Tabla 3.2  
 Distribución Log Normal 2 Parámetros de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Orden m	Xi (mm)	Observado (mm)	LN(X <sub>r</sub> )	Weibull p=m/(n+1)	T=(n+1)/m (años)	q = 1-1/T	v	U <sub>r</sub>	Estimado (mm)	
									Mo = MV	ML
1	29.640	65.728	4.1855	0.0185	54.000	0.9815	2.8245	2.0858	61.18	60.88
2	36.608	64.688	4.1696	0.0370	27.000	0.9630	2.5674	1.7866	56.39	56.15
3	31.096	60.528	4.1031	0.0556	18.000	0.9444	2.4043	1.5936	53.50	53.30
4	29.328	54.912	4.0057	0.0741	13.500	0.9259	2.2815	1.4464	51.40	51.22
5	36.400	54.080	3.9905	0.0926	10.800	0.9074	2.1815	1.3252	49.73	49.57
6	60.528	53.040	3.9710	0.1111	9.000	0.8889	2.0963	1.2208	48.33	48.20
7	25.688	52.000	3.9512	0.1296	7.714	0.8704	2.0214	1.1282	47.13	47.01
8	65.728	50.960	3.9310	0.1481	6.750	0.8519	1.9542	1.0444	46.07	45.95
9	54.912	47.424	3.8591	0.1667	6.000	0.8333	1.8930	0.9674	45.11	45.01
10	24.128	46.800	3.8459	0.1852	5.400	0.8148	1.8365	0.8957	44.24	44.15
11	34.320	42.640	3.7528	0.2037	4.909	0.7963	1.7839	0.8283	43.43	43.35
12	26.000	42.224	3.7430	0.2222	4.500	0.7778	1.7344	0.7645	42.69	42.61
13	21.632	41.600	3.7281	0.2407	4.154	0.7593	1.6876	0.7036	41.98	41.91
14	23.192	39.520	3.6768	0.2593	3.857	0.7407	1.6431	0.6453	41.32	41.26
40	31.720	29.536	3.3856	0.7407	1.350	0.2593	1.6431	-0.6453	29.07	29.12
41	36.712	29.328	3.3785	0.7593	1.317	0.2407	1.6876	-0.7036	28.62	28.66
42	30.368	28.704	3.3570	0.7778	1.286	0.2222	1.7344	-0.7645	28.15	28.20
43	28.080	28.080	3.3351	0.7963	1.256	0.2037	1.7839	-0.8283	27.66	27.71
44	28.704	28.080	3.3351	0.8148	1.227	0.1852	1.8365	-0.8957	27.16	27.21
45	32.448	27.560	3.3164	0.8333	1.200	0.1667	1.8930	-0.9674	26.63	26.69
46	34.736	26.624	3.2818	0.8519	1.174	0.1481	1.9542	-1.0444	26.08	26.14
47	23.296	26.000	3.2581	0.8704	1.149	0.1296	2.0214	-1.1282	25.49	25.56
48	29.536	25.688	3.2460	0.8889	1.125	0.1111	2.0963	-1.2208	24.86	24.93
49	31.720	24.128	3.1834	0.9074	1.102	0.0926	2.1815	-1.3252	24.16	24.23
50	30.992	23.296	3.1483	0.9259	1.080	0.0741	2.2815	-1.4464	23.37	23.45
51	64.688	23.192	3.1438	0.9444	1.059	0.0556	2.4043	-1.5936	22.46	22.54
52	32.864	22.672	3.1211	0.9630	1.038	0.0370	2.5674	-1.7866	21.31	21.40
53	34.632	21.632	3.0742	0.9815	1.019	0.0185	2.8245	-2.0858	19.64	19.73

Fuente: Elaboración propia, 2018.

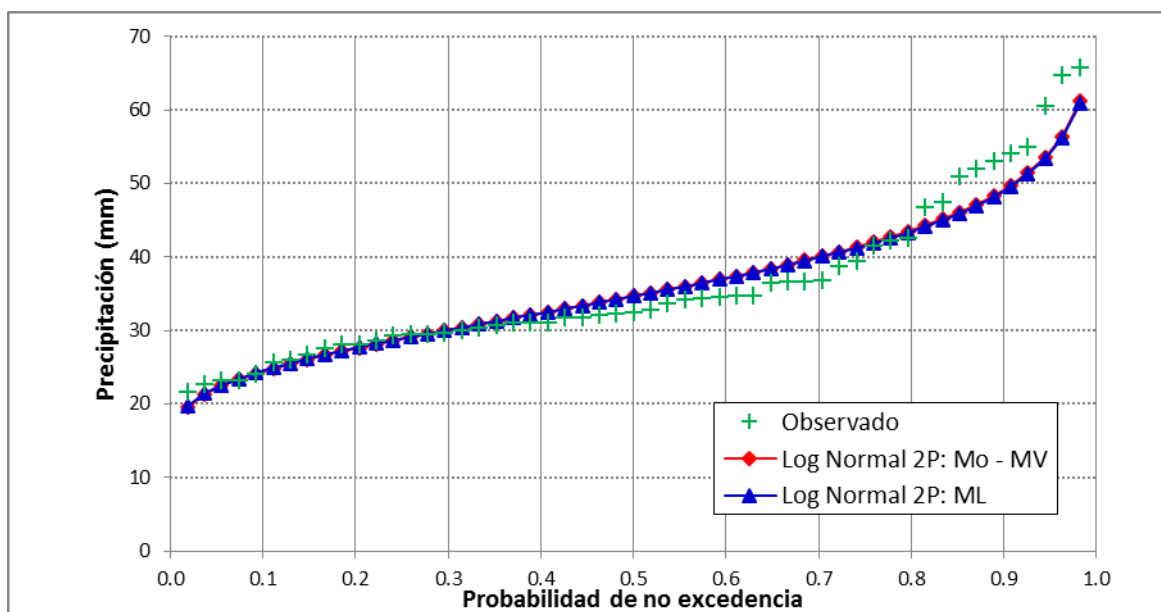


Gráfico 3.2. Distribución Log Normal 2 Parámetros – estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Tabla 3.3  
 Distribución Log Normal 3 Parámetros de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Orden m	Xi (mm)	Observado (mm)	Weibull p=m/(n+1)	T=(n+1)/m (años)	q = 1-1/T	v	Ur	Estimado (mm)	
								Mo	MV
1	29.640	65.728	0.0185	54.000	0.9815	2.8245	2.0858	64.60	68.09
2	36.608	64.688	0.0370	27.000	0.9630	2.5674	1.7866	58.66	60.40
3	31.096	60.528	0.0556	18.000	0.9444	2.4043	1.5936	55.17	56.06
4	29.328	54.912	0.0741	13.500	0.9259	2.2815	1.4464	52.67	53.05
5	36.400	54.080	0.0926	10.800	0.9074	2.1815	1.3252	50.71	50.74
6	60.528	53.040	0.1111	9.000	0.8889	2.0963	1.2208	49.09	48.88
7	25.688	52.000	0.1296	7.714	0.8704	2.0214	1.1282	47.71	47.31
8	65.728	50.960	0.1481	6.750	0.8519	1.9542	1.0444	46.50	45.96
9	54.912	47.424	0.1667	6.000	0.8333	1.8930	0.9674	45.42	44.77
10	24.128	46.800	0.1852	5.400	0.8148	1.8365	0.8957	44.44	43.71
11	34.320	42.640	0.2037	4.909	0.7963	1.7839	0.8283	43.54	42.75
12	26.000	42.224	0.2222	4.500	0.7778	1.7344	0.7645	42.71	41.87
13	21.632	41.600	0.2407	4.154	0.7593	1.6876	0.7036	41.94	41.06
14	23.192	39.520	0.2593	3.857	0.7407	1.6431	0.6453	41.22	40.31
40	31.720	29.536	0.7407	1.350	0.2593	1.6431	-0.6453	28.61	28.59
41	36.712	29.328	0.7593	1.317	0.2407	1.6876	-0.7036	28.17	28.23
42	30.368	28.704	0.7778	1.286	0.2222	1.7344	-0.7645	27.72	27.87
43	28.080	28.080	0.7963	1.256	0.2037	1.7839	-0.8283	27.26	27.51
44	28.704	28.080	0.8148	1.227	0.1852	1.8365	-0.8957	26.79	27.13
45	32.448	27.560	0.8333	1.200	0.1667	1.8930	-0.9674	26.30	26.75
46	34.736	26.624	0.8519	1.174	0.1481	1.9542	-1.0444	25.78	26.35
47	23.296	26.000	0.8704	1.149	0.1296	2.0214	-1.1282	25.24	25.94
48	29.536	25.688	0.8889	1.125	0.1111	2.0963	-1.2208	24.66	25.51
49	31.720	24.128	0.9074	1.102	0.0926	2.1815	-1.3252	24.03	25.05
50	30.992	23.296	0.9259	1.080	0.0741	2.2815	-1.4464	23.33	24.55
51	64.688	23.192	0.9444	1.059	0.0556	2.4043	-1.5936	22.52	23.98
52	32.864	22.672	0.9630	1.038	0.0370	2.5674	-1.7866	21.52	23.30
53	34.632	21.632	0.9815	1.019	0.0185	2.8245	-2.0858	20.11	22.37

Fuente: Elaboración propia, 2018.

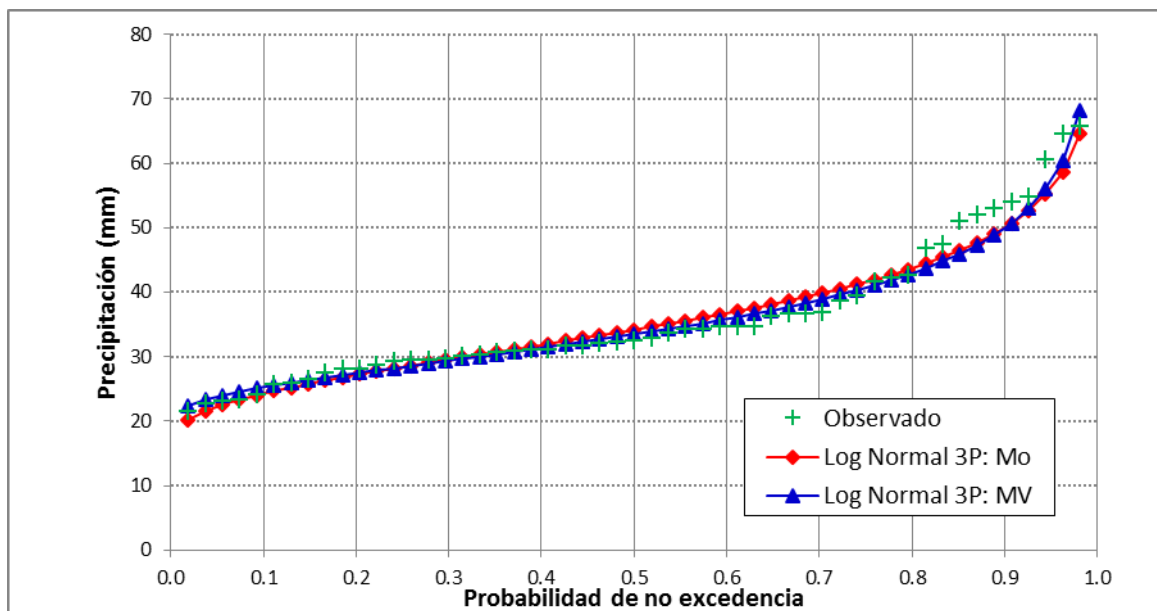


Gráfico 3.3. Distribución Log Normal 3 Parámetros – estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015



Tabla 3.4  
 Distribución Gamma 2 Parámetros de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Orden m	Xi (mm)	Observado (mm)	LN(X <sub>r</sub> )	Weibull p=m/(n+1)	T=(n+1)/m (años)	q = 1-1/T	v	U <sub>r</sub>	Estimado (mm)		
									Mo	MV	ML
1	29.640	65.728	4.1855	0.0185	54.000	0.9815	2.8245	2.0858	61.80	59.63	60.54
2	36.608	64.688	4.1696	0.0370	27.000	0.9630	2.5674	1.7866	57.32	55.57	56.31
3	31.096	60.528	4.1031	0.0556	18.000	0.9444	2.4043	1.5936	54.54	53.06	53.68
4	29.328	54.912	4.0057	0.0741	13.500	0.9259	2.2815	1.4464	52.48	51.19	51.74
5	36.400	54.080	3.9905	0.0926	10.800	0.9074	2.1815	1.3252	50.83	49.69	50.17
6	60.528	53.040	3.9710	0.1111	9.000	0.8889	2.0963	1.2208	49.44	48.41	48.84
7	25.688	52.000	3.9512	0.1296	7.714	0.8704	2.0214	1.1282	48.22	47.30	47.69
8	65.728	50.960	3.9310	0.1481	6.750	0.8519	1.9542	1.0444	47.14	46.31	46.66
9	54.912	47.424	3.8591	0.1667	6.000	0.8333	1.8930	0.9674	46.15	45.42	45.73
10	24.128	46.800	3.8459	0.1852	5.400	0.8148	1.8365	0.8957	45.25	44.59	44.87
11	34.320	42.640	3.7528	0.2037	4.909	0.7963	1.7839	0.8283	44.42	43.83	44.08
12	26.000	42.224	3.7430	0.2222	4.500	0.7778	1.7344	0.7645	43.63	43.11	43.33
13	21.632	41.600	3.7281	0.2407	4.154	0.7593	1.6876	0.7036	42.90	42.43	42.63
14	23.192	39.520	3.6768	0.2593	3.857	0.7407	1.6431	0.6453	42.20	41.79	41.96
15	31.096	38.792	3.6582	0.2778	3.600	0.7222	1.6006	0.5891	41.53	41.18	41.33
39	47.424	29.536	3.3856	0.7222	1.385	0.2778	1.6006	-0.5891	29.13	29.68	29.45
40	31.720	29.536	3.3856	0.7407	1.350	0.2593	1.6431	-0.6453	28.61	29.19	28.94
41	36.712	29.328	3.3785	0.7593	1.317	0.2407	1.6876	-0.7036	28.07	28.69	28.43
42	30.368	28.704	3.3570	0.7778	1.286	0.2222	1.7344	-0.7645	27.52	28.18	27.90
43	28.080	28.080	3.3351	0.7963	1.256	0.2037	1.7839	-0.8283	26.96	27.64	27.35
44	28.704	28.080	3.3351	0.8148	1.227	0.1852	1.8365	-0.8957	26.36	27.09	26.78
45	32.448	27.560	3.3164	0.8333	1.200	0.1667	1.8930	-0.9674	25.75	26.50	26.18
46	34.736	26.624	3.2818	0.8519	1.174	0.1481	1.9542	-1.0444	25.09	25.88	25.55
47	23.296	26.000	3.2581	0.8704	1.149	0.1296	2.0214	-1.1282	24.39	25.22	24.87
48	29.536	25.688	3.2460	0.8889	1.125	0.1111	2.0963	-1.2208	23.63	24.51	24.14
49	31.720	24.128	3.1834	0.9074	1.102	0.0926	2.1815	-1.3252	22.80	23.71	23.33
50	30.992	23.296	3.1483	0.9259	1.080	0.0741	2.2815	-1.4464	21.85	22.82	22.41
51	64.688	23.192	3.1438	0.9444	1.059	0.0556	2.4043	-1.5936	20.74	21.76	21.32
52	32.864	22.672	3.1211	0.9630	1.038	0.0370	2.5674	-1.7866	19.34	20.42	19.96
53	34.632	21.632	3.0742	0.9815	1.019	0.0185	2.8245	-2.0858	17.30	18.45	17.96

Fuente: Elaboración propia, 2018.

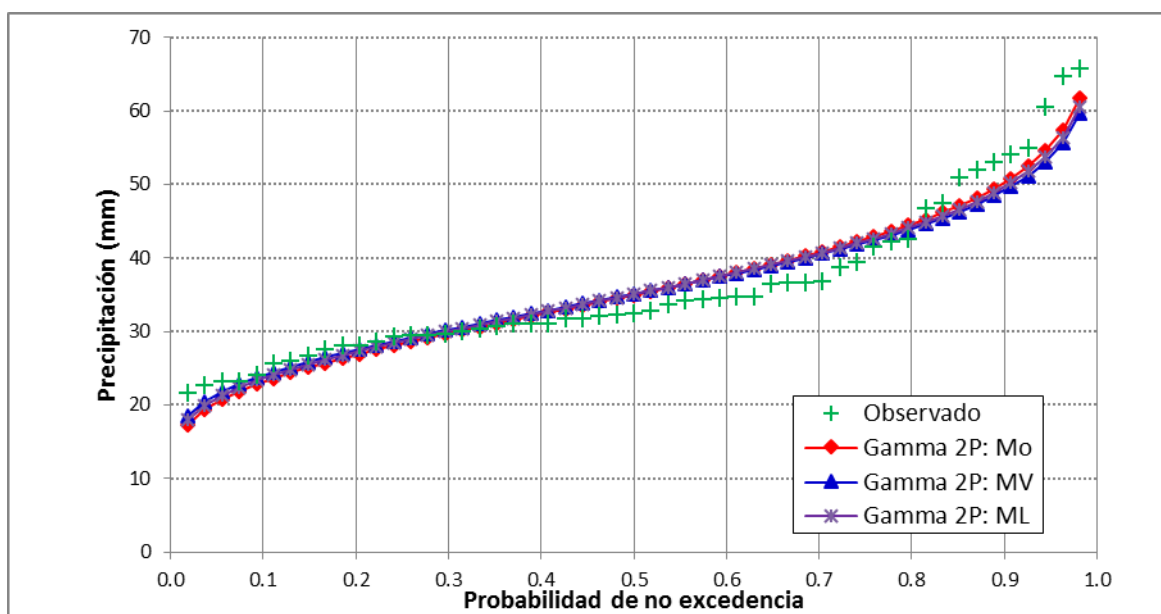


Gráfico 3.4. Distribución Gamma 2 Parámetros – estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Tabla 3.5  
 Distribución Gamma 3 Parámetros de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Orden m	Xi (mm)	Observado (mm)	Weibull $p=m/(n+1)$	T=(n+1)/m (años)	q = 1-1/T	v	U <sub>r</sub>	Estimado (mm)		
								Mo	MV	MPP
1	29.640	65.728	0.0185	54.000	0.9815	2.8245	2.0858	64.86	65.59	69.77
2	36.608	64.688	0.0370	27.000	0.9630	2.5674	1.7866	59.02	59.34	62.14
3	31.096	60.528	0.0556	18.000	0.9444	2.4043	1.5936	55.53	55.63	57.68
4	29.328	54.912	0.0741	13.500	0.9259	2.2815	1.4464	53.00	52.97	54.52
5	36.400	54.080	0.0926	10.800	0.9074	2.1815	1.3252	51.00	50.89	52.06
6	60.528	53.040	0.1111	9.000	0.8889	2.0963	1.2208	49.35	49.17	50.05
7	25.688	52.000	0.1296	7.714	0.8704	2.0214	1.1282	47.93	47.69	48.34
8	65.728	50.960	0.1481	6.750	0.8519	1.9542	1.0444	46.68	46.41	46.86
9	54.912	47.424	0.1667	6.000	0.8333	1.8930	0.9674	45.57	45.26	45.55
10	24.128	46.800	0.1852	5.400	0.8148	1.8365	0.8957	44.56	44.23	44.37
11	34.320	42.640	0.2037	4.909	0.7963	1.7839	0.8283	43.63	43.28	43.30
12	26.000	42.224	0.2222	4.500	0.7778	1.7344	0.7645	42.77	42.41	42.32
13	21.632	41.600	0.2407	4.154	0.7593	1.6876	0.7036	41.97	41.60	41.42
14	23.192	39.520	0.2593	3.857	0.7407	1.6431	0.6453	41.22	40.84	40.58
40	31.720	29.536	0.7407	1.350	0.2593	1.6431	-0.6453	28.40	28.43	27.81
41	36.712	29.328	0.7593	1.317	0.2407	1.6876	-0.7036	27.97	28.05	27.46
42	30.368	28.704	0.7778	1.286	0.2222	1.7344	-0.7645	27.54	27.66	27.11
43	28.080	28.080	0.7963	1.256	0.2037	1.7839	-0.8283	27.10	27.27	26.76
44	28.704	28.080	0.8148	1.227	0.1852	1.8365	-0.8957	26.66	26.87	26.42
45	32.448	27.560	0.8333	1.200	0.1667	1.8930	-0.9674	26.20	26.46	26.07
46	34.736	26.624	0.8519	1.174	0.1481	1.9542	-1.0444	25.72	26.05	25.72
47	23.296	26.000	0.8704	1.149	0.1296	2.0214	-1.1282	25.23	25.62	25.37
48	29.536	25.688	0.8889	1.125	0.1111	2.0963	-1.2208	24.71	25.18	25.02
49	31.720	24.128	0.9074	1.102	0.0926	2.1815	-1.3252	24.16	24.71	24.66
50	30.992	23.296	0.9259	1.080	0.0741	2.2815	-1.4464	23.55	24.22	24.29
51	64.688	23.192	0.9444	1.059	0.0556	2.4043	-1.5936	22.88	23.67	23.91
52	32.864	22.672	0.9630	1.038	0.0370	2.5674	-1.7866	22.08	23.05	23.51
53	34.632	21.632	0.9815	1.019	0.0185	2.8245	-2.0858	21.04	22.28	23.08

Fuente: Elaboración propia, 2018.

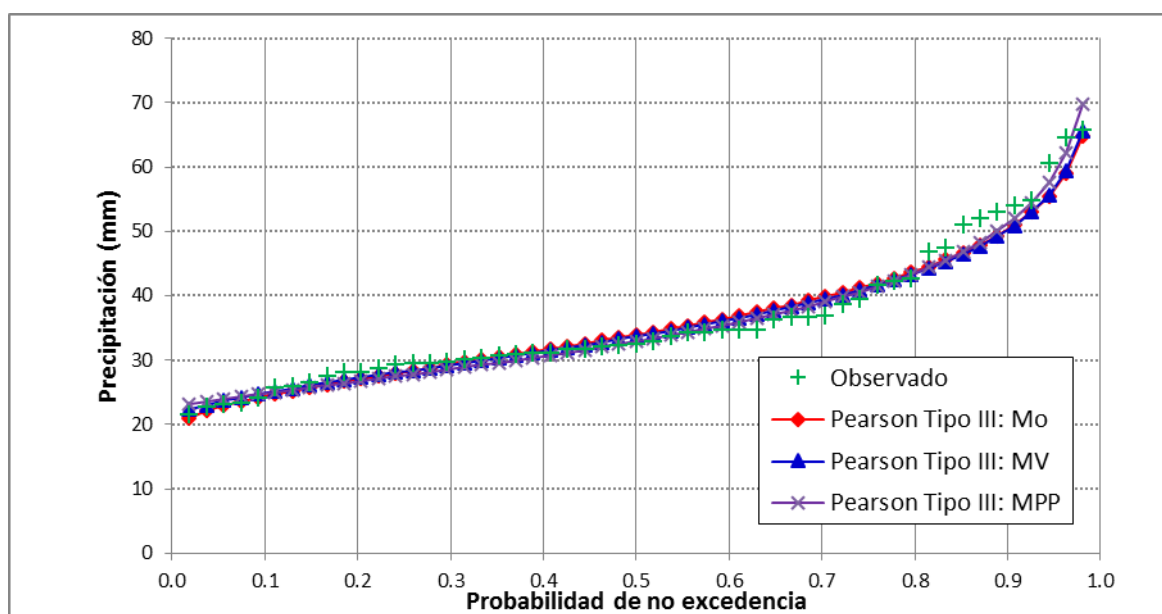


Gráfico 3.5. Distribución Gamma 3 Parámetros – estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Tabla 3.6  
 Distribución Log Pearson Tipo III de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Orden m	Xi (mm)	Observado (mm)	LN(X <sub>r</sub> )	Weibull p=m/(n+1)	T=(n+1)/m (años)	q = 1-1/T	v	U <sub>r</sub>	Estimado (mm)	
									Mo	MV
1	29.640	65.728	4.1855	0.0185	54.000	0.9815	2.8245	2.0858	67.21	68.89
2	36.608	64.688	4.1696	0.0370	27.000	0.9630	2.5674	1.7866	59.79	60.66
3	31.096	60.528	4.1031	0.0556	18.000	0.9444	2.4043	1.5936	55.63	56.13
4	29.328	54.912	4.0057	0.0741	13.500	0.9259	2.2815	1.4464	52.74	53.02
5	36.400	54.080	3.9905	0.0926	10.800	0.9074	2.1815	1.3252	50.54	50.66
6	60.528	53.040	3.9710	0.1111	9.000	0.8889	2.0963	1.2208	48.75	48.77
7	25.688	52.000	3.9512	0.1296	7.714	0.8704	2.0214	1.1282	47.24	47.19
8	65.728	50.960	3.9310	0.1481	6.750	0.8519	1.9542	1.0444	45.94	45.83
9	54.912	47.424	3.8591	0.1667	6.000	0.8333	1.8930	0.9674	44.79	44.64
10	24.128	46.800	3.8459	0.1852	5.400	0.8148	1.8365	0.8957	43.77	43.57
11	34.320	42.640	3.7528	0.2037	4.909	0.7963	1.7839	0.8283	42.84	42.62
12	26.000	42.224	3.7430	0.2222	4.500	0.7778	1.7344	0.7645	41.99	41.74
13	21.632	41.600	3.7281	0.2407	4.154	0.7593	1.6876	0.7036	41.20	40.94
14	23.192	39.520	3.6768	0.2593	3.857	0.7407	1.6431	0.6453	40.47	40.19
15	31.096	38.792	3.6582	0.2778	3.600	0.7222	1.6006	0.5891	39.79	39.50
39	47.424	29.536	3.3856	0.7222	1.385	0.2778	1.6006	-0.5891	29.07	28.98
40	31.720	29.536	3.3856	0.7407	1.350	0.2593	1.6431	-0.6453	28.69	28.63
41	36.712	29.328	3.3785	0.7593	1.317	0.2407	1.6876	-0.7036	28.31	28.27
42	30.368	28.704	3.3570	0.7778	1.286	0.2222	1.7344	-0.7645	27.93	27.91
43	28.080	28.080	3.3351	0.7963	1.256	0.2037	1.7839	-0.8283	27.54	27.54
44	28.704	28.080	3.3351	0.8148	1.227	0.1852	1.8365	-0.8957	27.13	27.17
45	32.448	27.560	3.3164	0.8333	1.200	0.1667	1.8930	-0.9674	26.72	26.79
46	34.736	26.624	3.2818	0.8519	1.174	0.1481	1.9542	-1.0444	26.29	26.39
47	23.296	26.000	3.2581	0.8704	1.149	0.1296	2.0214	-1.1282	25.84	25.98
48	29.536	25.688	3.2460	0.8889	1.125	0.1111	2.0963	-1.2208	25.36	25.54
49	31.720	24.128	3.1834	0.9074	1.102	0.0926	2.1815	-1.3252	24.84	25.08
50	30.992	23.296	3.1483	0.9259	1.080	0.0741	2.2815	-1.4464	24.27	24.57
51	64.688	23.192	3.1438	0.9444	1.059	0.0556	2.4043	-1.5936	23.62	23.99
52	32.864	22.672	3.1211	0.9630	1.038	0.0370	2.5674	-1.7866	22.83	23.30
53	34.632	21.632	3.0742	0.9815	1.019	0.0185	2.8245	-2.0858	21.73	22.35

Fuente: Elaboración propia, 2018.

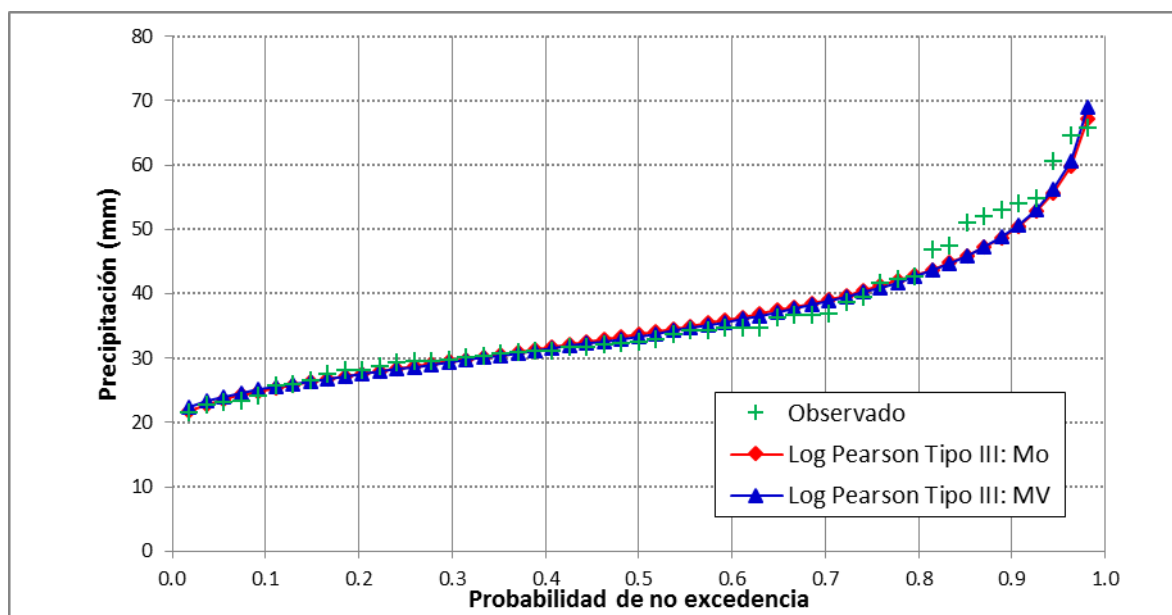


Gráfico 3.6. Distribución Log Pearson Tipo III – estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Tabla 3.7  
 Distribución Gumbel de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Orden m	Xi (mm)	Observado (mm)	Weibull $p=m/(n+1)$	T=(n+1)/m (años)	$q = 1-1/T$	Estimado (mm)		
						Mo	MV	ML
1	29.640	65.728	0.0185	54.000	0.9815	64.47	59.94	64.14
2	36.608	64.688	0.0370	27.000	0.9630	58.60	55.13	58.33
3	31.096	60.528	0.0556	18.000	0.9444	55.12	52.29	54.90
4	29.328	54.912	0.0741	13.500	0.9259	52.64	50.25	52.44
5	36.400	54.080	0.0926	10.800	0.9074	50.69	48.65	50.52
6	60.528	53.040	0.1111	9.000	0.8889	49.08	47.34	48.93
7	25.688	52.000	0.1296	7.714	0.8704	47.70	46.21	47.57
8	65.728	50.960	0.1481	6.750	0.8519	46.50	45.22	46.38
9	54.912	47.424	0.1667	6.000	0.8333	45.42	44.35	45.31
10	24.128	46.800	0.1852	5.400	0.8148	44.45	43.55	44.35
11	34.320	42.640	0.2037	4.909	0.7963	43.56	42.82	43.47
12	26.000	42.224	0.2222	4.500	0.7778	42.74	42.15	42.66
41	36.712	29.328	0.7593	1.317	0.2407	28.23	30.27	28.32
42	30.368	28.704	0.7778	1.286	0.2222	27.78	29.90	27.87
43	28.080	28.080	0.7963	1.256	0.2037	27.31	29.51	27.41
44	28.704	28.080	0.8148	1.227	0.1852	26.82	29.11	26.93
45	32.448	27.560	0.8333	1.200	0.1667	26.31	28.70	26.43
46	34.736	26.624	0.8519	1.174	0.1481	25.78	28.26	25.90
47	23.296	26.000	0.8704	1.149	0.1296	25.22	27.80	25.34
48	29.536	25.688	0.8889	1.125	0.1111	24.61	27.30	24.74
49	31.720	24.128	0.9074	1.102	0.0926	23.94	26.76	24.08
50	30.992	23.296	0.9259	1.080	0.0741	23.19	26.14	23.34
51	64.688	23.192	0.9444	1.059	0.0556	22.31	25.42	22.47
52	32.864	22.672	0.9630	1.038	0.0370	21.22	24.53	21.39
53	34.632	21.632	0.9815	1.019	0.0185	19.62	23.22	19.81

Fuente: Elaboración propia, 2018.

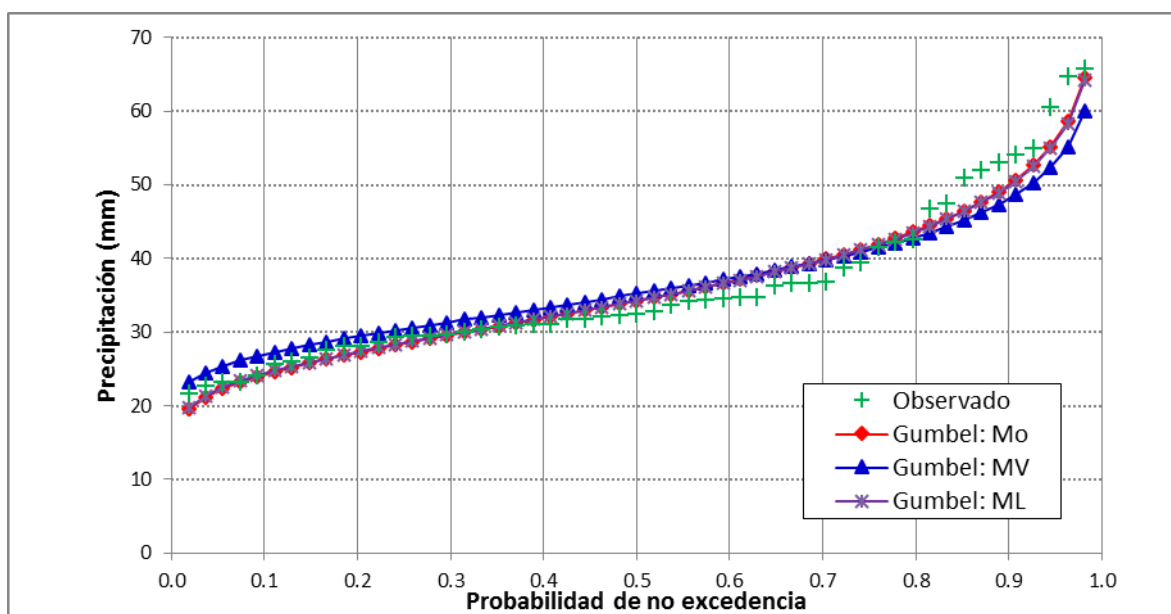


Gráfico 3.7. Distribución Gumbel – estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Tabla 3.8  
 Distribución Log Gumbel de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Orden m	Xi (mm)	Observado (mm)	LN(X <sub>T</sub> )	Weibull p=m/(n+1)	T=(n+1)/m (años)	q = 1-1/T	Estimado (mm)		
							Mo	MV	ML
1	29.640	65.728	4.1855	0.0185	54.000	0.9815	71.40	69.49	73.24
2	36.608	64.688	4.1696	0.0370	27.000	0.9630	61.50	60.58	62.75
3	31.096	60.528	4.1031	0.0556	18.000	0.9444	56.31	55.87	57.28
4	29.328	54.912	4.0057	0.0741	13.500	0.9259	52.86	52.72	53.65
5	36.400	54.080	3.9905	0.0926	10.800	0.9074	50.31	50.37	50.97
6	60.528	53.040	3.9710	0.1111	9.000	0.8889	48.29	48.52	48.86
7	25.688	52.000	3.9512	0.1296	7.714	0.8704	46.64	46.98	47.13
8	65.728	50.960	3.9310	0.1481	6.750	0.8519	45.23	45.68	45.66
9	54.912	47.424	3.8591	0.1667	6.000	0.8333	44.01	44.55	44.39
10	24.128	46.800	3.8459	0.1852	5.400	0.8148	42.94	43.55	43.27
11	34.320	42.640	3.7528	0.2037	4.909	0.7963	41.98	42.66	42.27
12	26.000	42.224	3.7430	0.2222	4.500	0.7778	41.11	41.85	41.36
13	21.632	41.600	3.7281	0.2407	4.154	0.7593	40.32	41.10	40.54
14	23.192	39.520	3.6768	0.2593	3.857	0.7407	39.59	40.42	39.78
40	31.720	29.536	3.3856	0.7407	1.350	0.2593	28.77	30.14	28.58
41	36.712	29.328	3.3785	0.7593	1.317	0.2407	28.44	29.83	28.25
42	30.368	28.704	3.3570	0.7778	1.286	0.2222	28.12	29.51	27.91
43	28.080	28.080	3.3351	0.7963	1.256	0.2037	27.78	29.19	27.57
44	28.704	28.080	3.3351	0.8148	1.227	0.1852	27.44	28.86	27.22
45	32.448	27.560	3.3164	0.8333	1.200	0.1667	27.09	28.52	26.86
46	34.736	26.624	3.2818	0.8519	1.174	0.1481	26.73	28.17	26.48
47	23.296	26.000	3.2581	0.8704	1.149	0.1296	26.35	27.80	26.09
48	29.536	25.688	3.2460	0.8889	1.125	0.1111	25.94	27.41	25.68
49	31.720	24.128	3.1834	0.9074	1.102	0.0926	25.51	26.98	25.23
50	30.992	23.296	3.1483	0.9259	1.080	0.0741	25.02	26.52	24.74
51	64.688	23.192	3.1438	0.9444	1.059	0.0556	24.47	25.98	24.18
52	32.864	22.672	3.1211	0.9630	1.038	0.0370	23.80	25.32	23.49
53	34.632	21.632	3.0742	0.9815	1.019	0.0185	22.86	24.40	22.52

Fuente: Elaboración propia, 2018.

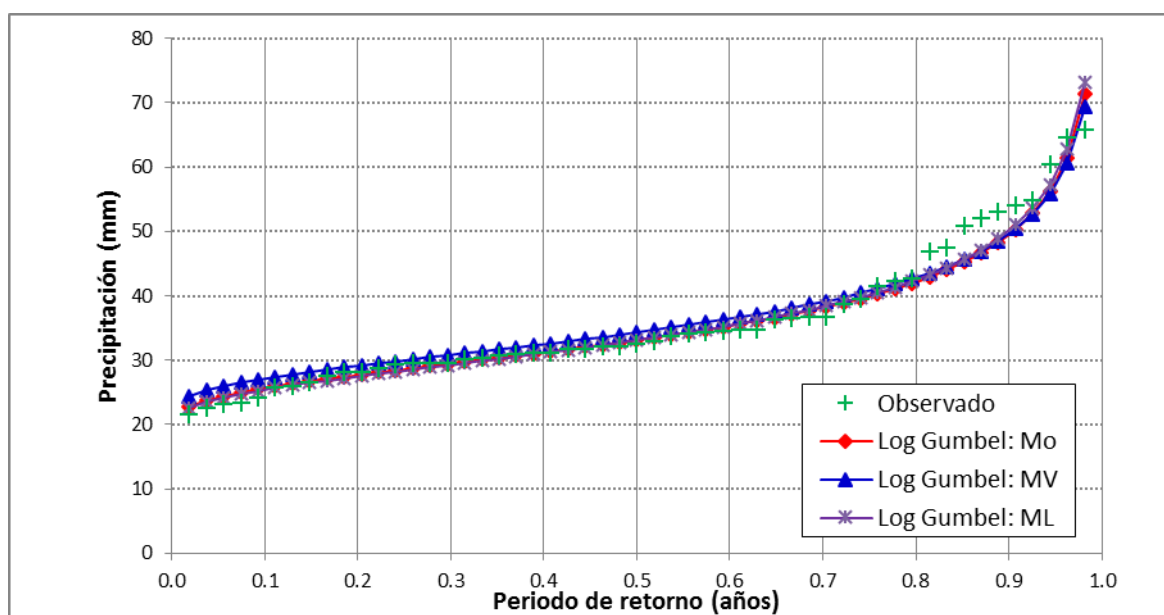


Gráfico 3.8. Distribución Log Gumbel – estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Tabla 3.9  
 Precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica estimada con la distribución Normal

T (años)	p = 1/T	q = 1-1/T	v	U <sub>T</sub>	Evento estimado $\hat{X}_T$	
					Mo = MV (mm)	ML (mm)
100	0.0100	0.9900	3.0349	2.3268	60.97	59.64
50	0.0200	0.9800	2.7971	2.0542	58.05	56.87
25	0.0400	0.9600	2.5373	1.7511	54.80	53.79
20	0.0500	0.9500	2.4477	1.6452	53.66	52.72
10	0.1000	0.9000	2.1460	1.2817	49.77	49.03
5	0.2000	0.8000	1.7941	0.8415	45.04	44.56
3	0.3333	0.6667	1.4823	0.4303	40.63	40.39
2	0.5000	0.5000	1.1774	0.0000	36.02	36.02
1.5	0.6667	0.3333	1.4823	-0.4303	31.40	31.65
1.2	0.8333	0.1667	1.8930	-0.9674	25.64	26.20
1.08	0.9259	0.0741	2.2815	-1.4464	20.50	21.33
1.02	0.9804	0.0196	2.8042	-2.0624	13.90	15.08

Fuente: Elaboración propia, 2018.

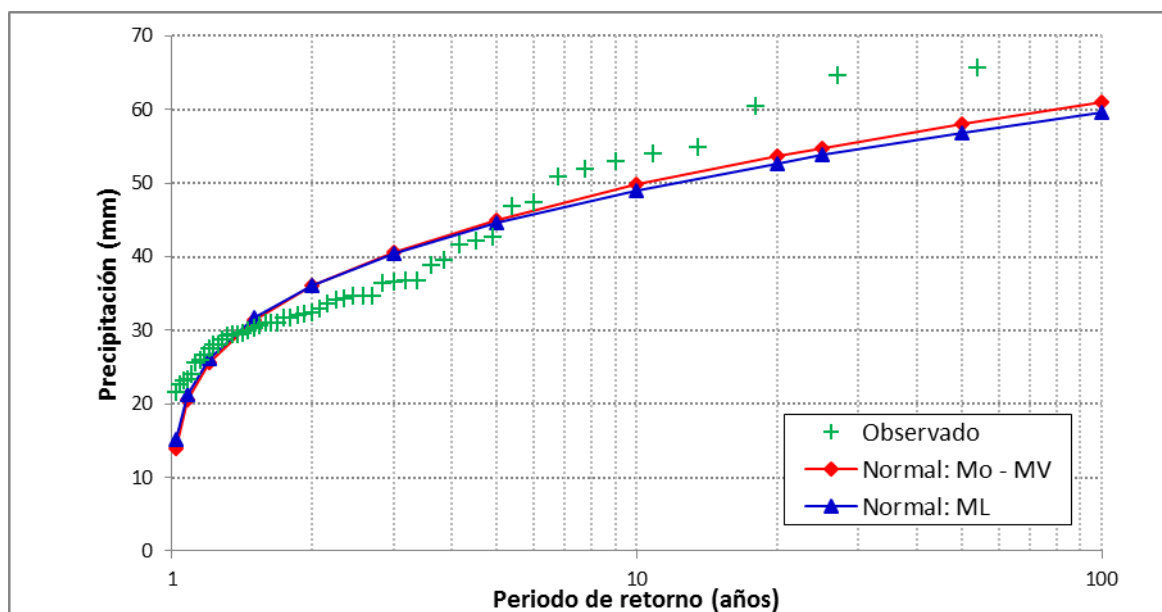


Gráfico 3.9. Precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica estimada con la distribución Normal  
 Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 3.10  
 Precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica estimada con la distribución Log Normal 2 Parámetros

T (años)	p = 1/T	q = 1-1/T	v	U <sub>T</sub>	Evento estimado $\hat{X}_T$	
					Mo = MV (mm)	ML (mm)
100	0.0100	0.9900	3.0349	2.3268	65.33	64.97
50	0.0200	0.9800	2.7971	2.0542	60.65	60.36
25	0.0400	0.9600	2.5373	1.7511	55.85	55.62
20	0.0500	0.9500	2.4477	1.6452	54.26	54.05
10	0.1000	0.9000	2.1460	1.2817	49.14	49.00
5	0.2000	0.8000	1.7941	0.8415	43.59	43.50
3	0.3333	0.6667	1.4823	0.4303	38.97	38.93
2	0.5000	0.5000	1.1774	0.0000	34.66	34.66
1.5	0.6667	0.3333	1.4823	-0.4303	30.83	30.86
1.2	0.8333	0.1667	1.8930	-0.9674	26.63	26.69
1.08	0.9259	0.0741	2.2815	-1.4464	23.37	23.45
1.02	0.9804	0.0196	2.8042	-2.0624	19.76	19.86

Fuente: Elaboración propia, 2018.

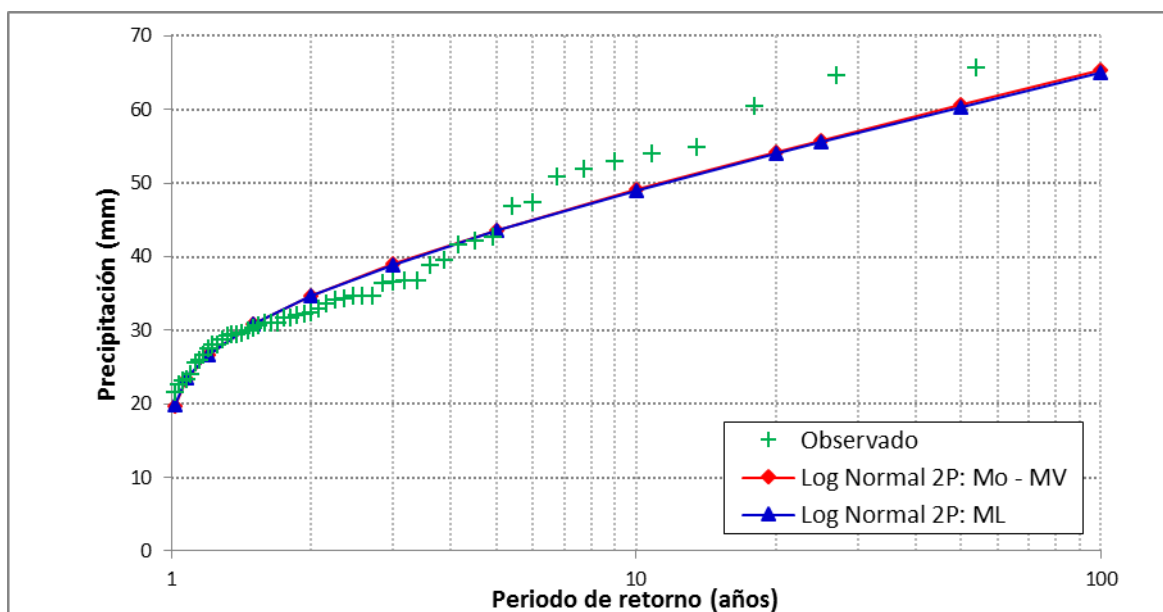


Gráfico 3.10. Precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica estimada con la distribución Log Normal 2 Parámetros

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 3.11  
 Precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica estimada con la distribución Log Normal 3 Parámetros

T (años)	p = 1/T	q = 1-1/T	v	U <sub>T</sub>	Evento estimado $\hat{X}_T$	
					Mo (mm)	MV (mm)
100	0.0100	0.9900	3.0349	2.3268	69.87	75.28
50	0.0200	0.9800	2.7971	2.0542	63.94	67.22
25	0.0400	0.9600	2.5373	1.7511	58.00	59.56
20	0.0500	0.9500	2.4477	1.6452	56.08	57.18
10	0.1000	0.9000	2.1460	1.2817	50.03	49.95
5	0.2000	0.8000	1.7941	0.8415	43.71	42.93
3	0.3333	0.6667	1.4823	0.4303	38.68	37.74
2	0.5000	0.5000	1.1774	0.0000	34.16	33.43
1.5	0.6667	0.3333	1.4823	-0.4303	30.32	30.02
1.2	0.8333	0.1667	1.8930	-0.9674	26.30	26.75
1.08	0.9259	0.0741	2.2815	-1.4464	23.33	24.55
1.02	0.9804	0.0196	2.8042	-2.0624	20.21	22.44

Fuente: Elaboración propia, 2018.

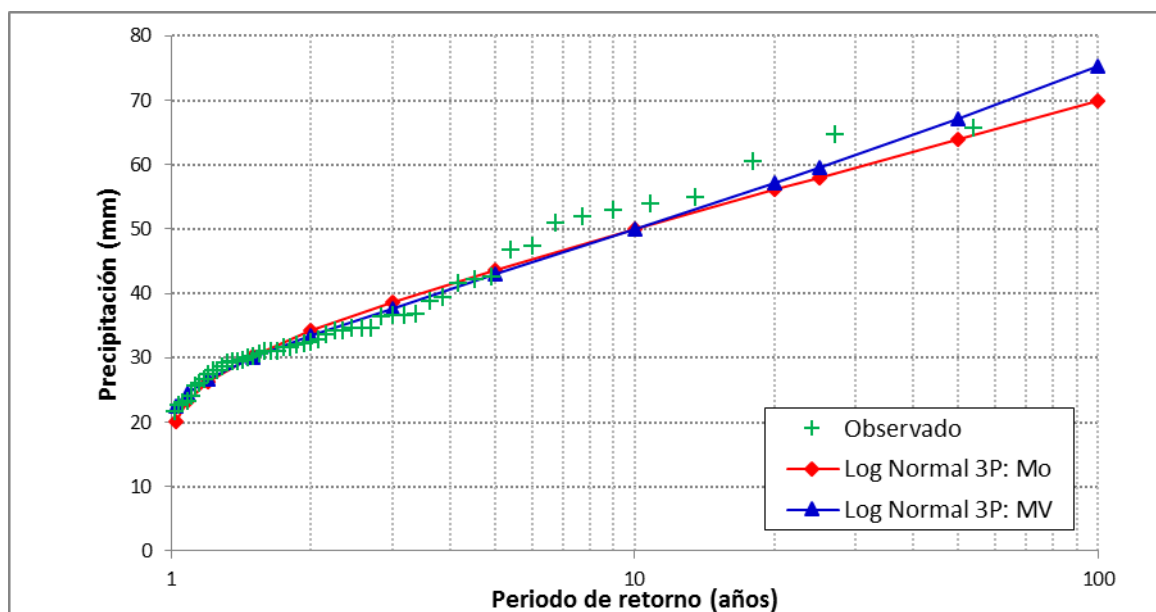


Gráfico 3.11. Precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica estimada con la distribución Log Normal 3 Parámetros

Fuente: Elaboración propia, 2018.



Tabla 3.12  
 Precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica estimada con la distribución Gamma 2 Parámetros

T (años)	p = 1/T	q = 1-1/T	v	U <sub>T</sub>	Evento estimado $\hat{X}_T$		
					Mo (mm)	MV (mm)	ML (mm)
100	0.0100	0.9900	3.0349	2.3268	65.58	63.04	64.11
50	0.0200	0.9800	2.7971	2.0542	61.32	59.19	60.09
25	0.0400	0.9600	2.5373	1.7511	56.80	55.11	55.82
20	0.0500	0.9500	2.4477	1.6452	55.27	53.72	54.38
10	0.1000	0.9000	2.1460	1.2817	50.25	49.15	49.61
5	0.2000	0.8000	1.7941	0.8415	44.58	43.97	44.23
3	0.3333	0.6667	1.4823	0.4303	39.69	39.48	39.57
2	0.5000	0.5000	1.1774	0.0000	34.96	35.11	35.05
1.5	0.6667	0.3333	1.4823	-0.4303	30.63	31.08	30.89
1.2	0.8333	0.1667	1.8930	-0.9674	25.75	26.50	26.18
1.08	0.9259	0.0741	2.2815	-1.4464	21.85	22.82	22.41
1.02	0.9804	0.0196	2.8042	-2.0624	17.45	18.60	18.11

Fuente: Elaboración propia, 2018.

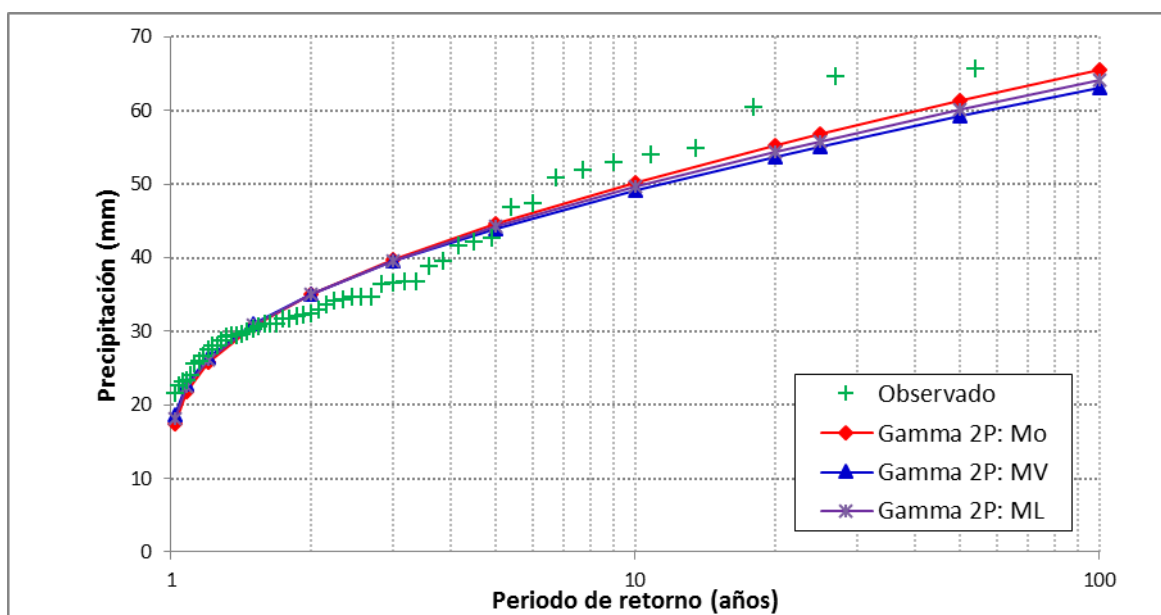


Gráfico 3.12. Precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica estimada con la distribución Gamma 2 Parámetros

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 3.13  
 Precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica estimada con la distribución Gamma 3 Parámetros

T (años)	p = 1/T	q = 1-1/T	v	U <sub>T</sub>	Evento estimado $\hat{X}_T$		
					Mo (mm)	MV (mm)	MPP (mm)
100	0.0100	0.9900	3.0349	2.3268	69.95	71.08	76.59
50	0.0200	0.9800	2.7971	2.0542	64.22	64.90	68.92
25	0.0400	0.9600	2.5373	1.7511	58.36	58.64	61.29
20	0.0500	0.9500	2.4477	1.6452	56.44	56.60	58.84
10	0.1000	0.9000	2.1460	1.2817	50.31	50.16	51.21
5	0.2000	0.8000	1.7941	0.8415	43.81	43.46	43.51
3	0.3333	0.6667	1.4823	0.4303	38.59	38.21	37.70
2	0.5000	0.5000	1.1774	0.0000	33.95	33.65	32.90
1.5	0.6667	0.3333	1.4823	-0.4303	30.07	29.97	29.25
1.2	0.8333	0.1667	1.8930	-0.9674	26.20	26.46	26.07
1.08	0.9259	0.0741	2.2815	-1.4464	23.55	24.22	24.29
1.02	0.9804	0.0196	2.8042	-2.0624	21.11	22.33	23.10

Fuente: Elaboración propia, 2018.

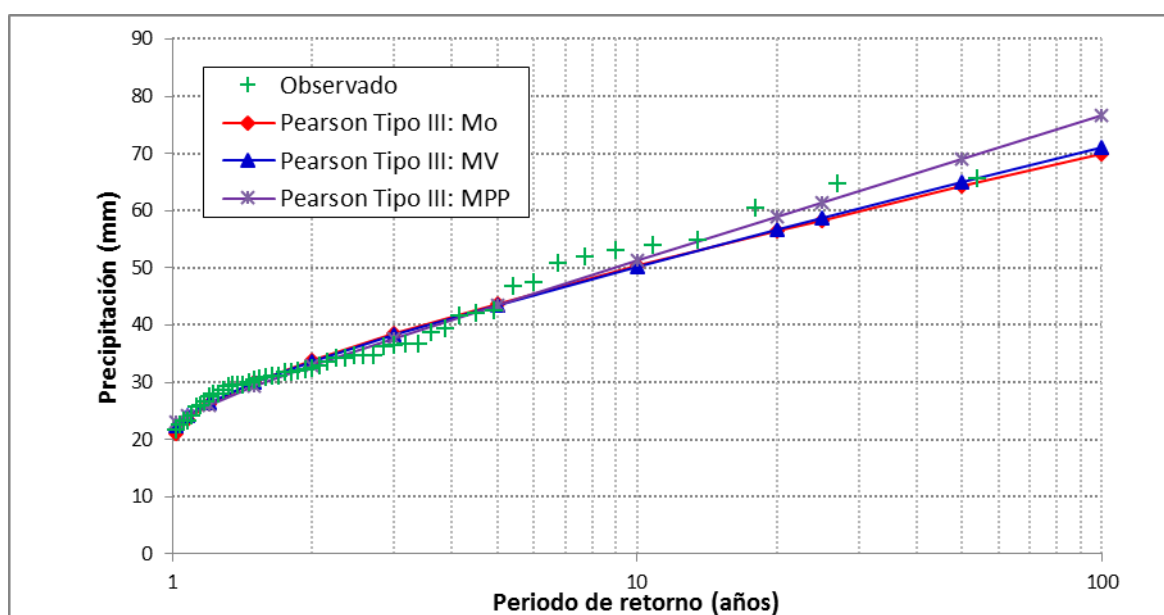


Gráfico 3.13. Precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica estimada con la distribución Gamma 3 Parámetros

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 3.14  
 Precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica estimada con la distribución Log Pearson Tipo III

T (años)	p = 1/T	q = 1-1/T	v	U <sub>T</sub>	Evento estimado $\hat{X}_T$	
					Mo (mm)	MV (mm)
100	0.0100	0.9900	3.0349	2.3268	74.19	76.81
50	0.0200	0.9800	2.7971	2.0542	66.36	67.95
25	0.0400	0.9600	2.5373	1.7511	58.99	59.78
20	0.0500	0.9500	2.4477	1.6452	56.70	57.29
10	0.1000	0.9000	2.1460	1.2817	49.78	49.86
5	0.2000	0.8000	1.7941	0.8415	43.02	42.80
3	0.3333	0.6667	1.4823	0.4303	37.96	37.65
2	0.5000	0.5000	1.1774	0.0000	33.67	33.40
1.5	0.6667	0.3333	1.4823	-0.4303	30.18	30.04
1.2	0.8333	0.1667	1.8930	-0.9674	26.72	26.79
1.08	0.9259	0.0741	2.2815	-1.4464	24.27	24.57
1.02	0.9804	0.0196	2.8042	-2.0624	21.81	22.42

Fuente: Elaboración propia, 2018.

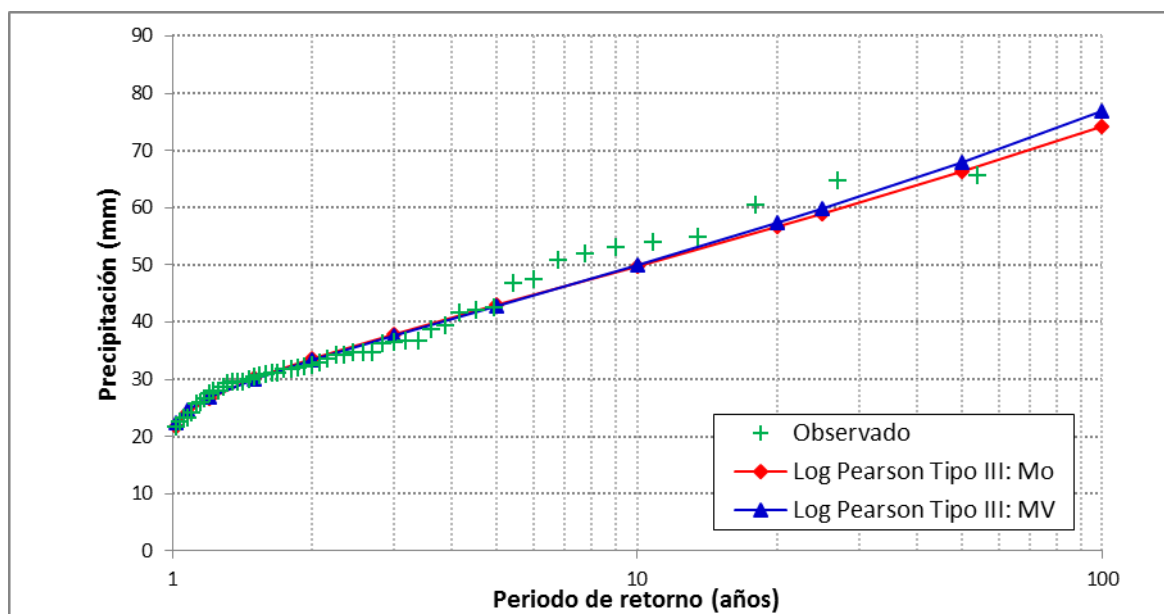


Gráfico 3.14. Precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica estimada con la distribución Log Pearson Tipo III

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 3.15  
 Precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica estimada con la distribución Gumbel

T (años)	q = 1-1/T	MOMENTOS				MÁXIMA VEROSIMILITUD				ML	
		$\hat{X}_T$ (mm)	S <sub>T</sub>	Intervalo de confianza (95%)		$\hat{X}_T$ (mm)	y <sub>T</sub>	S <sub>T</sub>	Intervalo de confianza (95%)		$\hat{X}_T$ (mm)
				Inferior	Superior				Inferior	Superior	
100	0.9900	69.66	6.294	57.322	82.001	64.19	4.600	3.802	56.737	71.642	69.27
50	0.9800	63.82	5.390	53.257	74.388	59.41	3.902	3.308	52.924	65.893	63.50
25	0.9600	57.94	4.487	49.144	66.735	54.59	3.199	2.817	49.070	60.115	57.68
20	0.9500	56.03	4.197	47.803	64.257	53.03	2.970	2.660	47.814	58.243	55.80
10	0.9000	50.01	3.296	43.548	56.472	48.10	2.250	2.174	43.838	52.362	49.85
5	0.8000	43.73	2.403	39.023	48.445	42.96	1.500	1.695	39.639	46.284	43.64
3	0.6667	38.74	1.772	35.266	42.213	38.87	0.903	1.353	36.221	41.524	38.71
2	0.5000	34.26	1.357	31.595	36.915	35.20	0.367	1.104	33.036	37.366	34.28
1.5	0.3333	30.40	1.238	27.976	32.831	32.05	-0.094	0.971	30.144	33.951	30.47
1.2	0.1667	26.31	1.422	23.525	29.101	28.70	-0.583	0.948	26.840	30.556	26.43
1.08	0.0741	23.19	1.721	19.816	26.565	26.14	-0.957	1.019	24.145	28.139	23.34
1.02	0.0196	19.74	2.138	15.549	23.932	23.32	-1.369	1.169	21.026	25.608	19.93

Fuente: Elaboración propia, 2018.

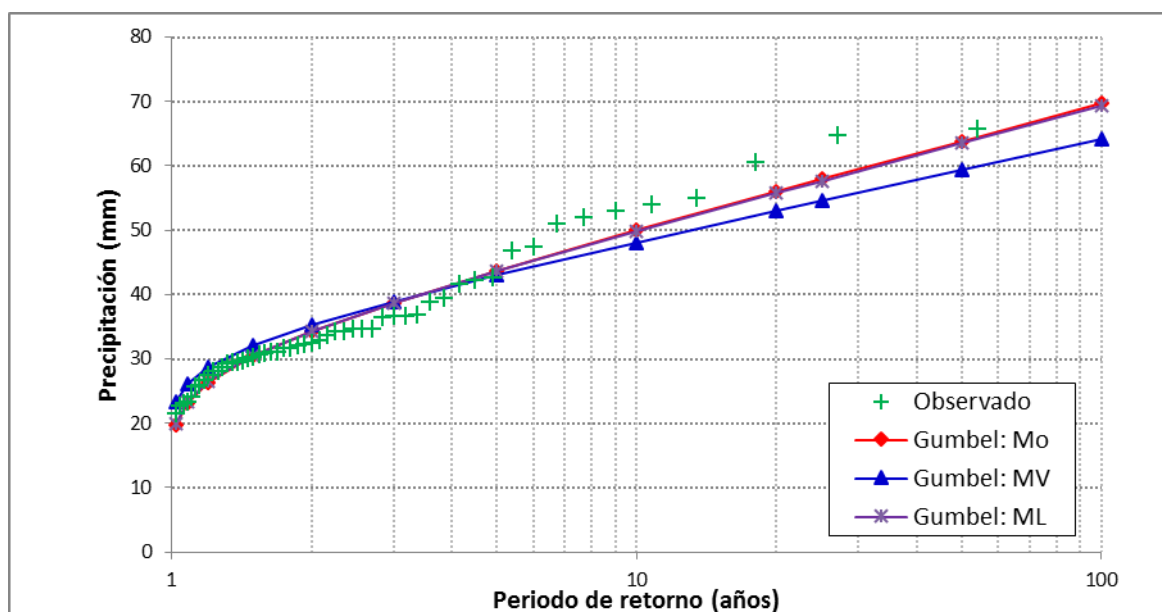


Gráfico 3.15. Precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica estimada con la distribución Gumbel

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 3.16  
 Precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica estimada con la distribución Log Gumbel

T (años)	q = 1-1/T	MOMENTOS				MÁXIMA VEROSIMILITUD				ML	
		$\hat{X}_T$ (mm)	S <sub>T</sub>	Intervalo de confianza (95%)		$\hat{X}_T$ (mm)	y <sub>T</sub>	S <sub>T</sub>	Intervalo de confianza (95%)		$\hat{X}_T$ (mm)
				Inferior	Superior				Inferior	Superior	
100	0.9900	81.45	0.160	81.139	81.766	78.44	4.600	0.108	78.223	78.648	83.94
50	0.9800	70.23	0.137	69.959	70.495	68.44	3.902	0.094	68.259	68.628	71.99
25	0.9600	60.48	0.114	60.258	60.705	59.66	3.199	0.080	59.506	59.821	61.68
20	0.9500	57.62	0.107	57.410	57.828	57.06	2.970	0.076	56.914	57.212	58.66
10	0.9000	49.45	0.084	49.286	49.614	49.58	2.250	0.062	49.462	49.705	50.07
5	0.8000	42.16	0.061	42.045	42.285	42.83	1.500	0.048	42.734	42.923	42.46
3	0.6667	37.14	0.045	37.054	37.230	38.12	0.903	0.039	38.041	38.192	37.23
2	0.5000	33.14	0.034	33.077	33.212	34.33	0.367	0.031	34.267	34.391	33.09
1.5	0.3333	30.06	0.031	29.994	30.117	31.38	-0.094	0.028	31.323	31.432	29.91
1.2	0.1667	27.09	0.036	27.019	27.161	28.52	-0.583	0.027	28.468	28.574	26.86
1.08	0.0741	25.02	0.044	24.939	25.111	26.52	-0.957	0.029	26.459	26.573	24.74
1.02	0.0196	22.93	0.054	22.819	23.032	24.46	-1.369	0.033	24.400	24.530	22.59

Fuente: Elaboración propia, 2018.

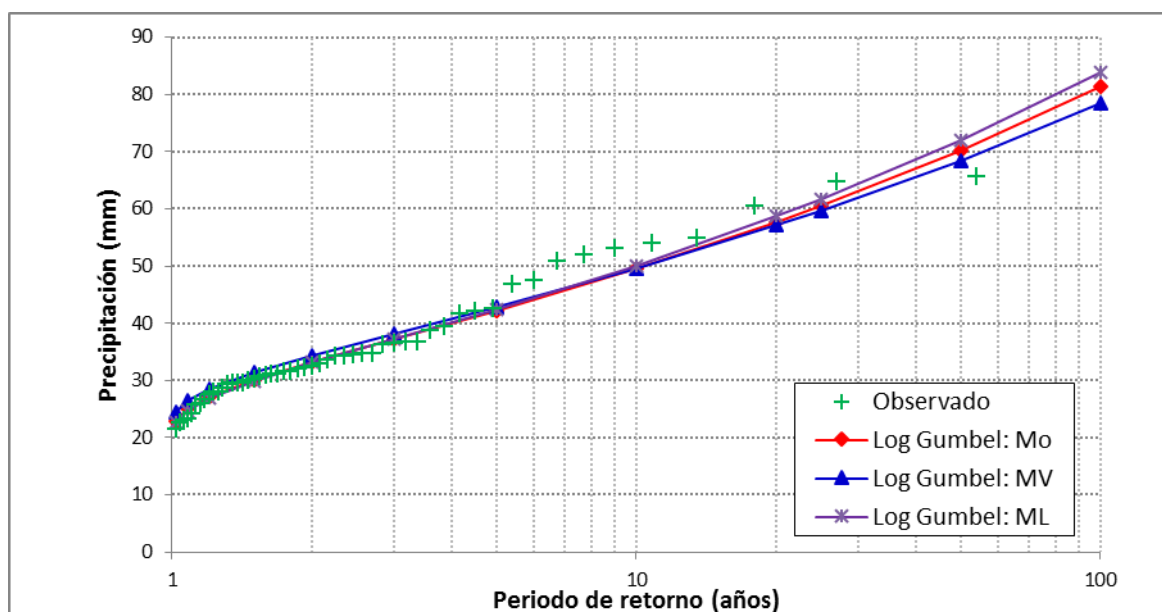


Gráfico 3.16. Precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica estimada con la distribución Log Gumbel

Fuente: Elaboración propia, 2018.

# Anexo 4

## Método de error estándar de ajuste

Tabla 4.1

Error estándar de ajuste de la distribución normal de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Orden m	TR (años)	X <sub>0</sub> (Observ.) (mm)	DISTRIBUCIÓN NORMAL			
			Momentos = MV		Momentos - L	
			Xe	(Xe-X <sub>0</sub> ) <sup>2</sup>	Xe	(Xe-X <sub>0</sub> ) <sup>2</sup>
1	54.000	65.728	58.39	53.8499	57.19	72.8514
2	27.000	64.688	55.18	90.4009	54.15	110.9495
3	18.000	60.528	53.11	55.0273	52.20	69.4322
4	13.500	54.912	51.53	11.4293	50.70	17.7309
5	10.800	54.080	50.23	14.8138	49.47	21.2465
6	9.000	53.040	49.11	15.4332	48.41	21.4288
7	7.714	52.000	48.12	15.0649	47.47	20.5104
8	6.750	50.960	47.22	13.9891	46.62	18.8321
9	6.000	47.424	46.39	1.0622	45.84	2.5148
10	5.400	46.800	45.62	1.3823	45.11	2.8553
11	4.909	42.640	44.90	5.1150	44.43	3.1908
12	4.500	42.224	44.22	3.9730	43.78	2.4164
13	4.154	41.600	43.56	3.8600	43.16	2.4363
14	3.857	39.520	42.94	11.6894	42.57	9.2942
15	3.600	38.792	42.34	12.5602	42.00	10.2781
16	3.375	36.816	41.75	24.3688	41.45	21.4333
17	3.176	36.712	41.19	20.0122	40.91	17.6146
18	3.000	36.608	40.63	16.1982	40.39	14.2714
19	2.842	36.400	40.09	13.6308	39.87	12.0685
20	2.700	34.736	39.56	23.2862	39.37	21.4920
34	1.588	30.992	32.47	2.1938	32.66	2.7915
35	1.543	30.680	31.94	1.5945	32.16	2.1926
36	1.500	30.368	31.40	1.0692	31.65	1.6409
37	1.459	30.056	30.85	0.6292	31.13	1.1444
38	1.421	29.640	30.28	0.4125	30.59	0.9008
39	1.385	29.536	29.70	0.0265	30.04	0.2508
40	1.350	29.536	29.10	0.1938	29.47	0.0049
41	1.317	29.328	28.47	0.7361	28.87	0.2062
42	1.286	28.704	27.82	0.7859	28.26	0.2005
43	1.256	28.080	27.13	0.8967	27.61	0.2224
44	1.227	28.080	26.41	2.7874	26.92	1.3353
45	1.200	27.560	25.64	3.6812	26.20	1.8590
46	1.174	26.624	24.81	3.2728	25.41	1.4633
47	1.149	26.000	23.92	4.3428	24.56	2.0634
48	1.125	25.688	22.92	7.6440	23.62	4.2608
49	1.102	24.128	21.80	5.4029	22.56	2.4458
50	1.080	23.296	20.50	7.7984	21.33	3.8513
51	1.059	23.192	18.92	18.2094	19.84	11.2405
52	1.038	22.672	16.85	33.8415	17.88	22.9635
53	1.019	21.632	13.64	63.7927	14.84	46.1038
		n = 53	Σ =	703.3898	Σ =	715.4333
			EE =	3.7138	EE =	3.7454

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 4.2

Error estándar de ajuste de la distribución log normal 2 parámetros de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Orden m	TR (años)	X <sub>0</sub> (Observ.) (mm)	LOG NORMAL 2 PARÁMETROS			
			Momentos = MV		Momentos - L	
			X <sub>e</sub>	(X <sub>e</sub> -X <sub>0</sub> ) <sup>2</sup>	X <sub>e</sub>	(X <sub>e</sub> -X <sub>0</sub> ) <sup>2</sup>
1	54.000	65.728	61.18	20.7115	60.88	23.5204
2	27.000	64.688	56.39	68.8860	56.15	72.8588
3	18.000	60.528	53.50	49.3866	53.30	52.2341
4	13.500	54.912	51.40	12.3483	51.22	13.6030
5	10.800	54.080	49.73	18.9342	49.57	20.3022
6	9.000	53.040	48.33	22.1408	48.20	23.4615
7	7.714	52.000	47.13	23.7057	47.01	24.9350
8	6.750	50.960	46.07	23.9365	45.95	25.0530
9	6.000	47.424	45.11	5.3512	45.01	5.8351
10	5.400	46.800	44.24	6.5627	44.15	7.0474
11	4.909	42.640	43.43	0.6301	43.35	0.5033
12	4.500	42.224	42.69	0.2129	42.61	0.1481
13	4.154	41.600	41.98	0.1473	41.91	0.0990
14	3.857	39.520	41.32	3.2472	41.26	3.0257
15	3.600	38.792	40.69	3.6180	40.64	3.4072
16	3.375	36.816	40.10	10.7550	40.05	10.4277
17	3.176	36.712	39.52	7.8978	39.48	7.6487
18	3.000	36.608	38.97	5.5854	38.93	5.4010
19	2.842	36.400	38.44	4.1611	38.41	4.0225
20	2.700	34.736	37.93	10.1733	37.90	9.9866
34	1.588	30.992	31.68	0.4702	31.70	0.5045
35	1.543	30.680	31.25	0.3293	31.28	0.3621
36	1.500	30.368	30.83	0.2113	30.86	0.2409
37	1.459	30.056	30.40	0.1169	30.43	0.1416
38	1.421	29.640	29.96	0.1045	30.00	0.1303
39	1.385	29.536	29.52	0.0002	29.56	0.0008
40	1.350	29.536	29.07	0.2135	29.12	0.1747
41	1.317	29.328	28.62	0.5075	28.66	0.4423
42	1.286	28.704	28.15	0.3121	28.20	0.2582
43	1.256	28.080	27.66	0.1761	27.71	0.1338
44	1.227	28.080	27.16	0.8512	27.21	0.7490
45	1.200	27.560	26.63	0.8610	26.69	0.7523
46	1.174	26.624	26.08	0.2970	26.14	0.2314
47	1.149	26.000	25.49	0.2596	25.56	0.1953
48	1.125	25.688	24.86	0.6926	24.93	0.5790
49	1.102	24.128	24.16	0.0010	24.23	0.0113
50	1.080	23.296	23.37	0.0061	23.45	0.0249
51	1.059	23.192	22.46	0.5420	22.54	0.4252
52	1.038	22.672	21.31	1.8666	21.40	1.6300
53	1.019	21.632	19.64	3.9760	19.73	3.6010
n = 53			Σ =	357.8545	Σ =	371.6005
			EE =	2.6489	EE =	2.6993

Fuente: Elaboración propia, 2018.



Tabla 4.3

Error estándar de ajuste de la distribución log normal 3 parámetros de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Orden m	TR (años)	X <sub>0</sub> (Observ.) (mm)	LOG NORMAL 3 PARÁMETROS			
			Momentos		Máxima Verosimilitud	
			X <sub>e</sub>	(X <sub>e</sub> -X <sub>0</sub> ) <sup>2</sup>	X <sub>e</sub>	(X <sub>e</sub> -X <sub>0</sub> ) <sup>2</sup>
1	54.000	65.728	64.60	1.2820	68.09	5.5987
2	27.000	64.688	58.66	36.2942	60.40	18.4289
3	18.000	60.528	55.17	28.6885	56.06	19.9709
4	13.500	54.912	52.67	5.0185	53.05	3.4767
5	10.800	54.080	50.71	11.3385	50.74	11.1343
6	9.000	53.040	49.09	15.5653	48.88	17.3226
7	7.714	52.000	47.71	18.3928	47.31	21.9876
8	6.750	50.960	46.50	19.8992	45.96	25.0080
9	6.000	47.424	45.42	4.0268	44.77	7.0438
10	5.400	46.800	44.44	5.5794	43.71	9.5632
11	4.909	42.640	43.54	0.8120	42.75	0.0114
12	4.500	42.224	42.71	0.2382	41.87	0.1263
13	4.154	41.600	41.94	0.1154	41.06	0.2919
14	3.857	39.520	41.22	2.8738	40.31	0.6224
15	3.600	38.792	40.53	3.0268	39.61	0.6656
16	3.375	36.816	39.88	9.4108	38.95	4.5521
17	3.176	36.712	39.27	6.5251	38.33	2.6131
18	3.000	36.608	38.68	4.2771	37.74	1.2816
19	2.842	36.400	38.11	2.9224	37.18	0.6090
20	2.700	34.736	37.56	7.9968	36.65	3.6487
34	1.588	30.992	31.15	0.0265	30.74	0.0646
35	1.543	30.680	30.74	0.0030	30.38	0.0925
36	1.500	30.368	30.32	0.0028	30.02	0.1232
37	1.459	30.056	29.89	0.0261	29.66	0.1568
38	1.421	29.640	29.47	0.0287	29.30	0.1127
39	1.385	29.536	29.04	0.2428	28.95	0.3448
40	1.350	29.536	28.61	0.8566	28.59	0.8903
41	1.317	29.328	28.17	1.3389	28.23	1.1968
42	1.286	28.704	27.72	0.9636	27.87	0.6918
43	1.256	28.080	27.26	0.6679	27.51	0.3299
44	1.227	28.080	26.79	1.6665	27.13	0.8985
45	1.200	27.560	26.30	1.5933	26.75	0.6569
46	1.174	26.624	25.78	0.7054	26.35	0.0725
47	1.149	26.000	25.24	0.5747	25.94	0.0031
48	1.125	25.688	24.66	1.0522	25.51	0.0311
49	1.102	24.128	24.03	0.0092	25.05	0.8493
50	1.080	23.296	23.33	0.0011	24.55	1.5607
51	1.059	23.192	22.52	0.4533	23.98	0.6151
52	1.038	22.672	21.52	1.3272	23.30	0.3900
53	1.019	21.632	20.11	2.3293	22.37	0.5519
n = 53			Σ =	225.9549	Σ =	171.0440
			EE =	2.1258	EE =	1.8496

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 4.4

Error estándar de ajuste de la distribución Gamma 2 parámetros de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Orden m	TR (años)	$X_0$ (Observ.) (mm)	GAMMA 2 PARÁMETROS					
			Momentos		Máx. Verosimilitud		Momentos - L	
			Xe	$(Xe-X_0)^2$	Xe	$(Xe-X_0)^2$	Xe	$(Xe-X_0)^2$
1	54.000	65.728	61.80	15.4055	59.63	37.1756	60.54	26.8822
2	27.000	64.688	57.32	54.3489	55.57	83.0740	56.31	70.2524
3	18.000	60.528	54.54	35.8532	53.06	55.8171	53.68	46.8754
4	13.500	54.912	52.48	5.8910	51.19	13.8559	51.74	10.0905
5	10.800	54.080	50.83	10.5533	49.69	19.3147	50.17	15.2994
6	9.000	53.040	49.44	12.9912	48.41	21.4055	48.84	17.5994
7	7.714	52.000	48.22	14.2917	47.30	22.0526	47.69	18.5702
8	6.750	50.960	47.14	14.6234	46.31	21.5822	46.66	18.4762
9	6.000	47.424	46.15	1.6128	45.42	4.0294	45.73	2.8744
10	5.400	46.800	45.25	2.3943	44.59	4.8761	44.87	3.7188
11	4.909	42.640	44.42	3.1557	43.83	1.4064	44.08	2.0625
12	4.500	42.224	43.63	1.9881	43.11	0.7826	43.33	1.2265
13	4.154	41.600	42.90	1.6813	42.43	0.6925	42.63	1.0596
14	3.857	39.520	42.20	7.1687	41.79	5.1534	41.96	5.9698
15	3.600	38.792	41.53	7.5015	41.18	5.6911	41.33	6.4316
16	3.375	36.816	40.89	16.6179	40.59	14.2471	40.72	15.2363
17	3.176	36.712	40.28	12.7203	40.03	10.9793	40.13	11.7083
18	3.000	36.608	39.69	9.4734	39.48	8.2465	39.57	8.7626
19	2.842	36.400	39.11	7.3542	38.95	6.5056	39.02	6.8652
20	2.700	34.736	38.55	14.5784	38.44	13.6917	38.49	14.0738
34	1.588	30.992	31.60	0.3723	31.99	0.9972	31.83	0.6984
35	1.543	30.680	31.12	0.1923	31.54	0.7390	31.36	0.4663
36	1.500	30.368	30.63	0.0690	31.08	0.5131	30.89	0.2763
37	1.459	30.056	30.14	0.0066	30.62	0.3218	30.42	0.1316
38	1.421	29.640	29.64	0.0000	30.16	0.2655	29.94	0.0882
39	1.385	29.536	29.13	0.1673	29.68	0.0203	29.45	0.0081
40	1.350	29.536	28.61	0.8635	29.19	0.1188	28.94	0.3494
41	1.317	29.328	28.07	1.5739	28.69	0.4054	28.43	0.8051
42	1.286	28.704	27.52	1.3914	28.18	0.2788	27.90	0.6448
43	1.256	28.080	26.96	1.2627	27.64	0.1917	27.35	0.5292
44	1.227	28.080	26.36	2.9413	27.09	0.9883	26.78	1.6866
45	1.200	27.560	25.75	3.2934	26.50	1.1191	26.18	1.8985
46	1.174	26.624	25.09	2.3527	25.88	0.5473	25.55	1.1571
47	1.149	26.000	24.39	2.5907	25.22	0.6034	24.87	1.2754
48	1.125	25.688	23.63	4.2239	24.51	1.3966	24.14	2.4080
49	1.102	24.128	22.80	1.7705	23.71	0.1713	23.33	0.6441
50	1.080	23.296	21.85	2.0843	22.82	0.2304	22.41	0.7903
51	1.059	23.192	20.74	6.0108	21.76	2.0613	21.32	3.4870
52	1.038	22.672	19.34	11.1008	20.42	5.0846	19.96	7.3607
53	1.019	21.632	17.30	18.7982	18.45	10.1172	17.96	13.4927
n = 53			$\Sigma = 376.7240$		$\Sigma = 448.9400$		$\Sigma = 411.5353$	
			EE = 2.7179		EE = 2.9669		EE = 2.8407	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 4.5

Error estándar de ajuste de la distribución Gamma 3 parámetros de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Orden m	TR (años)	$X_0$ (Observ.) (mm)	GAMMA 3 PARÁMETROS O PEARSON TIPO III					
			Momentos		Máx. Verosim.		Mom. Prob. Pesada	
			Xe	$(Xe-X_0)^2$	Xe	$(Xe-X_0)^2$	Xe	$(Xe-X_0)^2$
1	54.000	65.728	64.86	0.7507	65.59	0.0201	69.77	16.3711
2	27.000	64.688	59.02	32.1175	59.34	28.6279	62.14	6.5012
3	18.000	60.528	55.53	25.0263	55.63	23.9596	57.68	8.1094
4	13.500	54.912	53.00	3.6623	52.97	3.7572	54.52	0.1568
5	10.800	54.080	51.00	9.4561	50.89	10.1890	52.06	4.0879
6	9.000	53.040	49.35	13.6115	49.17	15.0091	50.05	8.9656
7	7.714	52.000	47.93	16.5562	47.69	18.5338	48.34	13.3954
8	6.750	50.960	46.68	18.2862	46.41	20.7213	46.86	16.8238
9	6.000	47.424	45.57	3.4440	45.26	4.6764	45.55	3.5219
10	5.400	46.800	44.56	5.0328	44.23	6.6259	44.37	5.9013
11	4.909	42.640	43.63	0.9784	43.28	0.4095	43.30	0.4391
12	4.500	42.224	42.77	0.2993	42.41	0.0338	42.32	0.0100
13	4.154	41.600	41.97	0.1378	41.60	0.0000	41.42	0.0323
14	3.857	39.520	41.22	2.8923	40.84	1.7425	40.58	1.1237
15	3.600	38.792	40.51	2.9604	40.13	1.7840	39.79	1.0052
16	3.375	36.816	39.84	9.1524	39.45	6.9617	39.06	5.0205
17	3.176	36.712	39.20	6.2006	38.82	4.4253	38.36	2.7168
18	3.000	36.608	38.59	3.9329	38.21	2.5567	37.70	1.1938
19	2.842	36.400	38.01	2.5766	37.63	1.5008	37.07	0.4537
20	2.700	34.736	37.44	7.3191	37.07	5.4337	36.48	3.0265
34	1.588	30.992	30.90	0.0077	30.75	0.0571	30.00	0.9769
35	1.543	30.680	30.49	0.0378	30.36	0.1017	29.62	1.1149
36	1.500	30.368	30.07	0.0896	29.97	0.1567	29.25	1.2476
37	1.459	30.056	29.65	0.1630	29.59	0.2213	28.88	1.3743
38	1.421	29.640	29.24	0.1636	29.20	0.1930	28.52	1.2512
39	1.385	29.536	28.82	0.5166	28.82	0.5178	28.16	1.8834
40	1.350	29.536	28.40	1.2988	28.43	1.2189	27.81	2.9803
41	1.317	29.328	27.97	1.8399	28.05	1.6429	27.46	3.4939
42	1.286	28.704	27.54	1.3518	27.66	1.0939	27.11	2.5396
43	1.256	28.080	27.10	0.9528	27.27	0.6622	26.76	1.7328
44	1.227	28.080	26.66	2.0245	26.87	1.4662	26.42	2.7631
45	1.200	27.560	26.20	1.8539	26.46	1.1995	26.07	2.2148
46	1.174	26.624	25.72	0.8093	26.05	0.3285	25.72	0.8089
47	1.149	26.000	25.23	0.5919	25.62	0.1412	25.37	0.3906
48	1.125	25.688	24.71	0.9545	25.18	0.2573	25.02	0.4446
49	1.102	24.128	24.16	0.0008	24.71	0.3440	24.66	0.2844
50	1.080	23.296	23.55	0.0664	24.22	0.8471	24.29	0.9926
51	1.059	23.192	22.88	0.0983	23.67	0.2296	23.91	0.5157
52	1.038	22.672	22.08	0.3469	23.05	0.1425	23.51	0.6997
53	1.019	21.632	21.04	0.3526	22.28	0.4155	23.08	2.0903
n = 53			$\Sigma =$	199.2204	$\Sigma =$	181.1881	$\Sigma =$	132.2347
			EE =	1.9961	EE =	1.9036	EE =	1.6263

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 4.6

Error estándar de ajuste de la distribución log Pearson tipo III de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Orden m	TR (años)	X <sub>0</sub> (Observ.) (mm)	LOG PEARSON TIPO III			
			Momentos		Máx. Verosim.	
			X <sub>e</sub>	(X <sub>e</sub> -X <sub>0</sub> ) <sup>2</sup>	X <sub>e</sub>	(X <sub>e</sub> -X <sub>0</sub> ) <sup>2</sup>
1	54.000	65.728	67.21	2.1847	68.97	10.5405
2	27.000	64.688	59.79	23.9993	60.71	15.8221
3	18.000	60.528	55.63	23.9933	56.16	19.0552
4	13.500	54.912	52.74	4.7013	53.05	3.4801
5	10.800	54.080	50.54	12.5653	50.68	11.5306
6	9.000	53.040	48.75	18.4396	48.79	18.1013
7	7.714	52.000	47.24	22.6514	47.20	23.0516
8	6.750	50.960	45.94	25.1976	45.84	26.2534
9	6.000	47.424	44.79	6.9155	44.64	7.7410
10	5.400	46.800	43.77	9.1897	43.58	10.3822
11	4.909	42.640	42.84	0.0396	42.62	0.0005
12	4.500	42.224	41.99	0.0557	41.74	0.2312
13	4.154	41.600	41.20	0.1582	40.94	0.4376
14	3.857	39.520	40.47	0.9052	40.19	0.4529
15	3.600	38.792	39.79	0.9909	39.50	0.4980
16	3.375	36.816	39.14	5.4185	38.85	4.1198
17	3.176	36.712	38.54	3.3237	38.23	2.3081
18	3.000	36.608	37.96	1.8199	37.65	1.0849
19	2.842	36.400	37.41	1.0117	37.10	0.4854
20	2.700	34.736	36.88	4.5901	36.57	3.3611
34	1.588	30.992	30.93	0.0038	30.74	0.0620
35	1.543	30.680	30.56	0.0153	30.39	0.0868
36	1.500	30.368	30.18	0.0337	30.03	0.1140
37	1.459	30.056	29.81	0.0590	29.68	0.1435
38	1.421	29.640	29.44	0.0394	29.32	0.0993
39	1.385	29.536	29.07	0.2186	28.97	0.3175
40	1.350	29.536	28.69	0.7107	28.62	0.8411
41	1.317	29.328	28.31	1.0293	28.26	1.1345
42	1.286	28.704	27.93	0.6014	27.90	0.6415
43	1.256	28.080	27.54	0.2957	27.54	0.2938
44	1.227	28.080	27.13	0.8943	27.17	0.8364
45	1.200	27.560	26.72	0.7055	26.78	0.6034
46	1.174	26.624	26.29	0.1117	26.39	0.0556
47	1.149	26.000	25.84	0.0260	25.98	0.0006
48	1.125	25.688	25.36	0.1076	25.54	0.0214
49	1.102	24.128	24.84	0.5120	25.08	0.8996
50	1.080	23.296	24.27	0.9556	24.57	1.6153
51	1.059	23.192	23.62	0.1848	23.99	0.6371
52	1.038	22.672	22.83	0.0249	23.30	0.3922
53	1.019	21.632	21.73	0.0093	22.36	0.5233
		n = 53	Σ =	186.9416	Σ =	174.9974
			EE =	1.9336	EE =	1.8708

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 4.7  
 Error estándar de ajuste de la distribución Gumbel de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Orden m	TR (años)	X <sub>0</sub> (Observ.) (mm)	VALORES EXTREMOS TIPO I O GUMBEL					
			Momentos		Máx. Verosimilitud		Momentos - L	
			X <sub>e</sub>	(X <sub>e</sub> -X <sub>0</sub> ) <sup>2</sup>	X <sub>e</sub>	(X <sub>e</sub> -X <sub>0</sub> ) <sup>2</sup>	X <sub>e</sub>	(X <sub>e</sub> -X <sub>0</sub> ) <sup>2</sup>
1	54.000	65.728	64.47	1.5770	59.94	33.4923	64.14	2.5211
2	27.000	64.688	58.60	37.1115	55.13	91.3599	58.33	40.3906
3	18.000	60.528	55.12	29.1969	52.29	67.9053	54.90	31.6558
4	13.500	54.912	52.64	5.1765	50.25	21.7278	52.44	6.0965
5	10.800	54.080	50.69	11.5099	48.65	29.4345	50.52	12.7006
6	9.000	53.040	49.08	15.6980	47.34	32.5250	48.93	16.9287
7	7.714	52.000	47.70	18.4676	46.21	33.5136	47.57	19.6580
8	6.750	50.960	46.50	19.9078	45.22	32.8925	46.38	21.0140
9	6.000	47.424	45.42	4.0005	44.35	9.4788	45.31	4.4516
10	5.400	46.800	44.45	5.5141	43.55	10.5667	44.35	5.9859
11	4.909	42.640	43.56	0.8502	42.82	0.0327	43.47	0.6956
12	4.500	42.224	42.74	0.2661	42.15	0.0058	42.66	0.1914
13	4.154	41.600	41.97	0.1400	41.52	0.0063	41.90	0.0928
14	3.857	39.520	41.26	3.0139	40.93	1.9963	41.19	2.8054
15	3.600	38.792	40.58	3.1923	40.38	2.5164	40.53	3.0050
16	3.375	36.816	39.94	9.7373	39.85	9.2203	39.89	9.4540
17	3.176	36.712	39.32	6.8262	39.35	6.9676	39.29	6.6261
18	3.000	36.608	38.74	4.5436	38.87	5.1282	38.71	4.4092
19	2.842	36.400	38.18	3.1607	38.41	4.0507	38.15	3.0717
20	2.700	34.736	37.64	8.4139	37.97	10.4560	37.62	8.3046
34	1.588	30.992	31.25	0.0649	32.74	3.0481	31.30	0.0963
35	1.543	30.680	30.83	0.0212	32.39	2.9347	30.89	0.0425
36	1.500	30.368	30.40	0.0013	32.05	2.8209	30.47	0.0102
37	1.459	30.056	29.98	0.0059	31.70	2.7036	30.05	0.0000
38	1.421	29.640	29.55	0.0078	31.35	2.9248	29.63	0.0002
39	1.385	29.536	29.12	0.1735	31.00	2.1323	29.20	0.1129
40	1.350	29.536	28.68	0.7315	30.64	1.2123	28.77	0.5924
41	1.317	29.328	28.23	1.1974	30.27	0.8894	28.32	1.0069
42	1.286	28.704	27.78	0.8604	29.90	1.4224	27.87	0.6913
43	1.256	28.080	27.31	0.5989	29.51	2.0494	27.41	0.4519
44	1.227	28.080	26.82	1.5887	29.11	1.0676	26.93	1.3297
45	1.200	27.560	26.31	1.5557	28.70	1.2957	26.43	1.2861
46	1.174	26.624	25.78	0.7119	28.26	2.6842	25.90	0.5246
47	1.149	26.000	25.22	0.6162	27.80	3.2383	25.34	0.4342
48	1.125	25.688	24.61	1.1692	27.30	2.6033	24.74	0.8990
49	1.102	24.128	23.94	0.0353	26.76	6.9046	24.08	0.0022
50	1.080	23.296	23.19	0.0112	26.14	8.0992	23.34	0.0019
51	1.059	23.192	22.31	0.7716	25.42	4.9821	22.47	0.5162
52	1.038	22.672	21.22	2.1207	24.53	3.4344	21.39	1.6475
53	1.019	21.632	19.62	4.0504	23.22	2.5162	19.81	3.3169
n = 53			Σ = 235.6462		Σ = 538.1941		Σ = 244.6203	
			EE = 2.1495		EE = 3.2485		EE = 2.1901	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 4.8

Error estándar de ajuste de la distribución Log Gumbel de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Orden m	TR (años)	$X_0$ (Observ.) (mm)	DISTRIBUCIÓN LOG GUMBEL					
			Momentos		Máx. Verosimilitud		Momentos - L	
			$X_e$	$(X_e - X_0)^2$	$X_e$	$(X_e - X_0)^2$	$X_e$	$(X_e - X_0)^2$
1	54.000	65.728	71.40	32.1222	69.49	14.1484	73.24	56.3584
2	27.000	64.688	61.50	10.1735	60.58	16.8379	62.75	3.7464
3	18.000	60.528	56.31	17.8011	55.87	21.6984	57.28	10.5559
4	13.500	54.912	52.86	4.2048	52.72	4.8115	53.65	1.5858
5	10.800	54.080	50.31	14.2265	50.37	13.7358	50.97	9.6575
6	9.000	53.040	48.29	22.5299	48.52	20.4589	48.86	17.4670
7	7.714	52.000	46.64	28.7745	46.98	25.1569	47.13	23.7600
8	6.750	50.960	45.23	32.8217	45.68	27.8564	45.66	28.1240
9	6.000	47.424	44.01	11.6305	44.55	8.2542	44.39	9.2334
10	5.400	46.800	42.94	14.8963	43.55	10.5515	43.27	12.4931
11	4.909	42.640	41.98	0.4342	42.66	0.0003	42.27	0.1405
12	4.500	42.224	41.11	1.2330	41.85	0.1429	41.36	0.7440
13	4.154	41.600	40.32	1.6337	41.10	0.2452	40.54	1.1297
14	3.857	39.520	39.59	0.0054	40.42	0.8131	39.78	0.0671
15	3.600	38.792	38.92	0.0159	39.79	0.9916	39.08	0.0812
16	3.375	36.816	38.29	2.1678	39.20	5.6639	38.42	2.5816
17	3.176	36.712	37.70	0.9724	38.64	3.7182	37.81	1.2050
18	3.000	36.608	37.14	0.2852	38.12	2.2747	37.23	0.3901
19	2.842	36.400	36.62	0.0466	37.62	1.4878	36.69	0.0822
20	2.700	34.736	36.12	1.9050	37.15	5.8160	36.17	2.0521
34	1.588	30.992	30.71	0.0816	32.00	1.0185	30.58	0.1734
35	1.543	30.680	30.38	0.0902	31.69	1.0166	30.24	0.1945
36	1.500	30.368	30.06	0.0975	31.38	1.0195	29.91	0.2141
37	1.459	30.056	29.73	0.1039	31.07	1.0254	29.57	0.2327
38	1.421	29.640	29.41	0.0517	30.76	1.2547	29.24	0.1575
39	1.385	29.536	29.09	0.1976	30.45	0.8378	28.91	0.3886
40	1.350	29.536	28.77	0.5881	30.14	0.3662	28.58	0.9119
41	1.317	29.328	28.44	0.7807	29.83	0.2504	28.25	1.1682
42	1.286	28.704	28.12	0.3458	29.51	0.6524	27.91	0.6311
43	1.256	28.080	27.78	0.0887	29.19	1.2311	27.57	0.2636
44	1.227	28.080	27.44	0.4083	28.86	0.6084	27.22	0.7460
45	1.200	27.560	27.09	0.2208	28.52	0.9228	26.86	0.4955
46	1.174	26.624	26.73	0.0105	28.17	2.3853	26.48	0.0200
47	1.149	26.000	26.35	0.1192	27.80	3.2374	26.09	0.0085
48	1.125	25.688	25.94	0.0642	27.41	2.9563	25.68	0.0001
49	1.102	24.128	25.51	1.8988	26.98	8.1584	25.23	1.2189
50	1.080	23.296	25.02	2.9894	26.52	10.3705	24.74	2.0841
51	1.059	23.192	24.47	1.6434	25.98	7.7688	24.18	0.9681
52	1.038	22.672	23.80	1.2747	25.32	7.0230	23.49	0.6661
53	1.019	21.632	22.86	1.4968	24.40	7.6402	22.52	0.7936
n = 53			$\Sigma = 213.2733$		$\Sigma = 276.6787$		$\Sigma = 195.4259$	
			EE = 2.0450		EE = 2.3292		EE = 1.9575	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

# Anexo 5

## Prueba Chi cuadrado

Tabla 5.1  
Prueba Chi cuadrado de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

DISTRIBUCIÓN NORMAL - MOMENTOS Y MAX. VEROSIMILITUD					
Intervalo i	F(I <sub>i</sub> )	F(S <sub>i</sub> )	e <sub>i</sub>	o <sub>i</sub>	(o <sub>i</sub> -e <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> /e <sub>i</sub>
1	0.0461	0.1590	5.98	5.00	0.1615
2	0.1590	0.3770	11.55	22.00	9.4453
3	0.3770	0.6450	14.20	13.00	0.1019
4	0.6450	0.8547	11.12	4.00	4.5565
5	0.8547	0.9593	5.54	5.00	0.0525
6	0.9593	0.9924	1.76	2.00	0.0339
7	0.9924	0.9991	0.35	2.00	7.6567
Σ =					22.0084
<u>Mo = MV</u>		p =	0.05	χ <sup>2</sup> =	22.0084
μ =	36.0174	GL =	4	χ <sup>2</sup> 0.95,4 =	9.4877
σ =	10.7261	Se rechaza			

DISTRIBUCIÓN NORMAL - MOMENTOS LINEALES					
Intervalo i	F(I <sub>i</sub> )	F(S <sub>i</sub> )	e <sub>i</sub>	o <sub>i</sub>	(o <sub>i</sub> -e <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> /e <sub>i</sub>
1	0.0376	0.1457	5.73	5.00	0.0926
2	0.1457	0.3703	11.90	22.00	8.5661
3	0.3703	0.6528	14.97	13.00	0.2597
4	0.6528	0.8679	11.40	4.00	4.8072
5	0.8679	0.9672	5.26	5.00	0.0127
6	0.9672	0.9948	1.47	2.00	0.1940
7	0.9948	0.9995	0.25	2.00	12.4376
Σ =					26.3700
<u>Momentos Lineales</u>		p =	0.05	χ <sup>2</sup> =	26.3700
μ =	36.0174	GL =	4	χ <sup>2</sup> 0.95,4 =	9.4877
σ =	10.1522	Se rechaza			

DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL 2 PARÁMETROS - Mo y MV					
Intervalo i	F(I <sub>i</sub> )	F(S <sub>i</sub> )	e <sub>i</sub>	o <sub>i</sub>	(o <sub>i</sub> -e <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> /e <sub>i</sub>
1	0.0079	0.1241	6.16	5.00	0.2181
2	0.1241	0.4134	15.33	22.00	2.8976
3	0.4134	0.7007	15.23	13.00	0.3255
4	0.7007	0.8740	9.19	4.00	2.9274
5	0.8740	0.9531	4.19	5.00	0.1570
6	0.9531	0.9837	1.63	2.00	0.0858
7	0.9837	0.9946	0.58	2.00	3.5279
Σ =					10.1393
<u>Mo = MV</u>		p =	0.05	χ <sup>2</sup> =	10.1393
μ <sub>y</sub> =	3.5456	GL =	4	χ <sup>2</sup> 0.95,4 =	9.4877
σ <sub>y</sub> =	0.2724	Se rechaza			

DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL 2 PARÁM. - MOMENTOS LINEALES					
Intervalo i	F(I <sub>i</sub> )	F(S <sub>i</sub> )	e <sub>i</sub>	o <sub>i</sub>	(o <sub>i</sub> -e <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> /e <sub>i</sub>
1	0.0074	0.1220	6.07	5.00	0.1899
2	0.1220	0.4127	15.40	22.00	2.8251
3	0.4127	0.7023	15.35	13.00	0.3597
4	0.7023	0.8761	9.21	4.00	2.9473
5	0.8761	0.9545	4.16	5.00	0.1717
6	0.9545	0.9845	1.59	2.00	0.1053
7	0.9845	0.9949	0.55	2.00	3.7763
Σ =					10.3753
<u>Momentos Lineales</u>		p =	0.05	χ <sup>2</sup> =	10.3753
μ <sub>y</sub> =	3.5456	GL =	4	χ <sup>2</sup> 0.95,4 =	9.4877
σ <sub>y</sub> =	0.2700	Se rechaza			

Fuente: Elaboración propia, 2018.



Tabla 5.1 (cont.)

Prueba Chi cuadrado de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL 3 PARÁMETROS - MOMENTOS					
Intervalo i	F(I <sub>i</sub> )	F(S <sub>i</sub> )	e <sub>i</sub>	o <sub>i</sub>	(o <sub>i</sub> -e <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> /e <sub>i</sub>
1	0.0045	0.1318	6.75	5.00	0.4526
2	0.1318	0.4362	16.14	22.00	2.1301
3	0.4362	0.7071	14.36	13.00	0.1281
4	0.7071	0.8652	8.38	4.00	2.2866
5	0.8652	0.9414	4.04	5.00	0.2280
6	0.9414	0.9751	1.79	2.00	0.0257
7	0.9751	0.9894	0.76	2.00	2.0191
$\Sigma =$					7.2701
Momentos					
$x_0 =$	8.0372	$p =$	0.05	$\chi^2 =$	7.2701
$\mu y =$	3.2629	$GL =$	3	$\chi^2 0.95,3 =$	7.8147
$\sigma y =$	0.3703	Se acepta			

DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL 3 PARÁM - MÁX. VEROSIMILITUD					
Intervalo i	F(I <sub>i</sub> )	F(S <sub>i</sub> )	e <sub>i</sub>	o <sub>i</sub>	(o <sub>i</sub> -e <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> /e <sub>i</sub>
1	0.0000	0.1027	5.44	5.00	0.0360
2	0.1027	0.4647	19.19	22.00	0.4128
3	0.4647	0.7328	14.21	13.00	0.1027
4	0.7328	0.8709	7.32	4.00	1.5084
5	0.8709	0.9368	3.49	5.00	0.6505
6	0.9368	0.9682	1.66	2.00	0.0682
7	0.9682	0.9835	0.81	2.00	1.7493
$\Sigma =$					4.5281
Máxima Verosimilitud					
$x_0 =$	17.2049	$p =$	0.05	$\chi^2 =$	4.5281
$\mu y =$	2.7863	$GL =$	3	$\chi^2 0.95,3 =$	7.8147
$\sigma y =$	0.5482	Se acepta			

DISTRIBUCIÓN GAMMA 2 PARÁMETROS - MOMENTOS					
Intervalo i	F(I <sub>i</sub> )	F(S <sub>i</sub> )	e <sub>i</sub>	o <sub>i</sub>	(o <sub>i</sub> -e <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> /e <sub>i</sub>
1	0.0144	0.1117	5.16	5.00	0.0048
2	0.1117	0.3362	11.89	22.00	8.5846
3	0.3362	0.6024	14.11	13.00	0.0875
4	0.6024	0.8059	10.78	4.00	4.2685
5	0.8059	0.9202	6.06	5.00	0.1851
6	0.9202	0.9715	2.72	2.00	0.1898
7	0.9715	0.9909	1.03	2.00	0.9166
$\Sigma =$					14.2368
Momentos					
$\alpha =$	3.1943	$p =$	0.05	$\chi^2 =$	14.2368
$\beta =$	11.2757	$GL =$	4	$\chi^2 0.95,4 =$	9.4877
Se rechaza					

DISTRIBUCIÓN GAMMA 2 PARÁMETROS - MÁX. VEROSIMILITUD					
Intervalo i	F(I <sub>i</sub> )	F(S <sub>i</sub> )	e <sub>i</sub>	o <sub>i</sub>	(o <sub>i</sub> -e <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> /e <sub>i</sub>
1	0.0094	0.0966	4.62	5.00	0.0313
2	0.0966	0.3293	12.33	22.00	7.5792
3	0.3293	0.6165	15.22	13.00	0.3248
4	0.6165	0.8287	11.24	4.00	4.6664
5	0.8287	0.9379	5.79	5.00	0.1069
6	0.9379	0.9810	2.29	2.00	0.0358
7	0.9810	0.9949	0.74	2.00	2.1503
$\Sigma =$					14.8947
Máxima Verosimilitud					
$\alpha =$	2.7303	$p =$	0.05	$\chi^2 =$	14.8947
$\beta =$	13.1915	$GL =$	4	$\chi^2 0.95,4 =$	9.4877
Se rechaza					

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 5.1 (cont.)

Prueba Chi cuadrado de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

DISTRIBUCIÓN GAMMA 2 PARÁMETROS - MOMENTOS LINEALES					
Intervalo i	F(I <sub>i</sub> )	F(S <sub>i</sub> )	e <sub>i</sub>	o <sub>i</sub>	(o <sub>i</sub> -e <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> /e <sub>i</sub>
1	0.0114	0.1031	4.86	5.00	0.0041
2	0.1031	0.3324	12.15	22.00	7.9839
3	0.3324	0.6104	14.73	13.00	0.2041
4	0.6104	0.8189	11.05	4.00	4.4987
5	0.8189	0.9305	5.92	5.00	0.1419
6	0.9305	0.9772	2.47	2.00	0.0911
7	0.9772	0.9934	0.86	2.00	1.5150
Σ =					14.4387
<u>Momentos Lineales</u>		p =	0.05	χ <sup>2</sup> =	14.4387
α =	2.9217	GL=	4	χ <sup>2</sup> 0.95,4 =	9.4877
β =	12.3277	Se rechaza			

DISTRIBUCIÓN GAMMA 3 PARÁMETROS - MOMENTOS					
Intervalo i	F(I <sub>i</sub> )	F(S <sub>i</sub> )	e <sub>i</sub>	o <sub>i</sub>	(o <sub>i</sub> -e <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> /e <sub>i</sub>
1	0.0000	0.1324	7.02	5.00	0.5802
2	0.1324	0.4465	16.65	22.00	1.7206
3	0.4465	0.7082	13.87	13.00	0.0543
4	0.7082	0.8621	8.16	4.00	2.1188
5	0.8621	0.9390	4.08	5.00	0.2094
6	0.9390	0.9741	1.86	2.00	0.0103
7	0.9741	0.9893	0.81	2.00	1.7727
Σ =					6.4662
<u>Momentos</u>					
x <sub>0</sub> =	18.2350	p =	0.05	χ <sup>2</sup> =	6.4662
α =	6.4698	GL=	3	χ <sup>2</sup> 0.95,3 =	7.8147
β =	2.7485	Se acepta			

DISTRIBUCIÓN GAMMA 3 PARÁMETROS - MÁX. VEROSIMILITUD					
Intervalo i	F(I <sub>i</sub> )	F(S <sub>i</sub> )	e <sub>i</sub>	o <sub>i</sub>	(o <sub>i</sub> -e <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> /e <sub>i</sub>
1	0.0000	0.1163	6.16	5.00	0.2191
2	0.1163	0.4573	18.07	22.00	0.8531
3	0.4573	0.7188	13.86	13.00	0.0536
4	0.7188	0.8657	7.79	4.00	1.8407
5	0.8657	0.9386	3.86	5.00	0.3349
6	0.9386	0.9726	1.80	2.00	0.0217
7	0.9726	0.9879	0.81	2.00	1.7319
Σ =					5.0550
<u>Máxima Verosimilitud</u>		p =	0.05	χ <sup>2</sup> =	5.0550
x <sub>0</sub> =	20.832	GL=	3	χ <sup>2</sup> 0.95,3 =	7.8147
α =	7.4999	Se acepta			
β =	2.0248				

DISTRIBUCIÓN GAMMA 3 PARÁMETROS - MPP					
Intervalo i	F(I <sub>i</sub> )	F(S <sub>i</sub> )	e <sub>i</sub>	o <sub>i</sub>	(o <sub>i</sub> -e <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> /e <sub>i</sub>
1	0.0000	0.1260	6.68	5.00	0.4220
2	0.1260	0.4899	19.29	22.00	0.3814
3	0.4899	0.7272	12.57	13.00	0.0144
4	0.7272	0.8583	6.95	4.00	1.2525
5	0.8583	0.9272	3.65	5.00	0.4985
6	0.9272	0.9627	1.88	2.00	0.0075
7	0.9627	0.9809	0.96	2.00	1.1184
Σ =					3.6947
<u>Moment. Prob. Pesada</u>					
x <sub>0</sub> =	22.6927	p =	0.05	χ <sup>2</sup> =	3.6947
α =	10.1934	GL=	3	χ <sup>2</sup> 0.95,3 =	7.8147
β =	1.3072	Se acepta			

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 5.1 (cont.)

Prueba Chi cuadrado de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

DISTRIBUCIÓN LOG PEARSON TIPO III - MOMENTOS					
Intervalo i	F(I <sub>i</sub> )	F(S <sub>i</sub> )	e <sub>i</sub>	o <sub>i</sub>	(o <sub>i</sub> -e <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> /e <sub>i</sub>
1	0.0002	0.1091	5.77	5.00	0.1036
2	0.1091	0.4538	18.27	22.00	0.7612
3	0.4538	0.7281	14.54	13.00	0.1627
4	0.7281	0.8719	7.62	4.00	1.7192
5	0.8719	0.9391	3.56	5.00	0.5783
6	0.9391	0.9702	1.64	2.00	0.0767
7	0.9702	0.9848	0.78	2.00	1.9311
Σ =					5.3329
Momentos					
y <sub>0</sub> =	2.7062	p =	0.05	χ <sup>2</sup> =	5.3329
α =	0.0884	GL =	3	χ <sup>2</sup> 0.95,3 =	7.8147
β =	9.4959	Se acepta			

DISTRIBUCIÓN LOG PEARSON TIPO III - MÁX. VEROSIMILITUD					
Intervalo i	F(I <sub>i</sub> )	F(S <sub>i</sub> )	e <sub>i</sub>	o <sub>i</sub>	(o <sub>i</sub> -e <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> /e <sub>i</sub>
1	0.0000	0.1015	5.38	5.00	0.0271
2	0.1015	0.4657	19.30	22.00	0.3783
3	0.4657	0.7358	14.32	13.00	0.1208
4	0.7358	0.8723	7.24	4.00	1.4493
5	0.8723	0.9365	3.40	5.00	0.7503
6	0.9365	0.9671	1.62	2.00	0.0902
7	0.9671	0.9821	0.80	2.00	1.8088
Σ =					4.6249
Máxima Verosimilitud					
y <sub>0</sub> =	2.8921	p =	0.05	χ <sup>2</sup> =	4.6249
α =	0.1139	GL =	3	χ <sup>2</sup> 0.95,3 =	7.8147
β =	5.7360	Se acepta			

DISTRIBUCIÓN GUMBEL - MOMENTOS					
Intervalo i	F(I <sub>i</sub> )	F(S <sub>i</sub> )	e <sub>i</sub>	o <sub>i</sub>	(o <sub>i</sub> -e <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> /e <sub>i</sub>
1	0.0077	0.1325	6.62	5.00	0.3951
2	0.1325	0.4320	15.87	22.00	2.3645
3	0.4320	0.7057	14.51	13.00	0.1562
4	0.7057	0.8653	8.45	4.00	2.3469
5	0.8653	0.9417	4.05	5.00	0.2229
6	0.9417	0.9753	1.79	2.00	0.0258
7	0.9753	0.9897	0.76	2.00	2.0231
Σ =					7.5346
Momentos					
u =	31.1901	p =	0.05	χ <sup>2</sup> =	7.5346
α =	8.3631	GL =	4	χ <sup>2</sup> 0.95,4 =	9.4877
Se acepta					

DISTRIBUCIÓN GUMBEL - MÁXIMA VEROSIMILITUD					
Intervalo i	F(I <sub>i</sub> )	F(S <sub>i</sub> )	e <sub>i</sub>	o <sub>i</sub>	(o <sub>i</sub> -e <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> /e <sub>i</sub>
1	0.0002	0.0528	2.79	5.00	1.7480
2	0.0528	0.3660	16.60	22.00	1.7600
3	0.3660	0.7092	18.19	13.00	1.4809
4	0.7092	0.8892	9.54	4.00	3.2161
5	0.8892	0.9606	3.79	5.00	0.3877
6	0.9606	0.9864	1.36	2.00	0.2969
7	0.9864	0.9953	0.47	2.00	4.9041
Σ =					13.7937
Máx. Verosimilitud					
u =	32.6915	p =	0.05	χ <sup>2</sup> =	13.7937
α =	6.8471	GL =	4	χ <sup>2</sup> 0.95,4 =	9.4877
Se rechaza					

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 5.1 (cont.)

Prueba Chi cuadrado de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

DISTRIBUCIÓN GUMBEL - MOMENTOS LINEALES					
Intervalo i	F(I <sub>i</sub> )	F(S <sub>i</sub> )	e <sub>i</sub>	o <sub>i</sub>	(o <sub>i</sub> -e <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> /e <sub>i</sub>
1	0.0068	0.1285	6.45	5.00	0.3268
2	0.1285	0.4303	16.00	22.00	2.2542
3	0.4303	0.7071	14.67	13.00	0.1901
4	0.7071	0.8672	8.49	4.00	2.3720
5	0.8672	0.9431	4.02	5.00	0.2375
6	0.9431	0.9762	1.75	2.00	0.0346
7	0.9762	0.9902	0.74	2.00	2.1551
$\Sigma =$					7.5703
<u>Momentos Lineales</u>		p =	0.05	$\chi^2 =$	7.5703
u =	31.2464	GL=	4	$\chi^2 0.95,4 =$	9.4877
$\alpha =$	8.2655	Se acepta			

DISTRIBUCIÓN LOG GUMBEL- MOMENTOS					
Intervalo i	F(I <sub>i</sub> )	F(S <sub>i</sub> )	e <sub>i</sub>	o <sub>i</sub>	(o <sub>i</sub> -e <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> /e <sub>i</sub>
1	0.0000	0.0847	4.49	5.00	0.0587
2	0.0847	0.4755	20.72	22.00	0.0796
3	0.4755	0.7514	14.62	13.00	0.1796
4	0.7514	0.8788	6.75	4.00	1.1222
5	0.8788	0.9366	3.06	5.00	1.2247
6	0.9366	0.9645	1.48	2.00	0.1853
7	0.9645	0.9789	0.76	2.00	2.0044
$\Sigma =$					4.8545
<u>Momentos</u>		p =	0.05	$\chi^2 =$	4.8545
u =	3.4230	GL=	4	$\chi^2 0.95,4 =$	9.4877
$\alpha =$	0.2124	Se acepta			

DISTRIBUCIÓN LOG GUMBEL - MÁXIMA VEROSIMILITUD					
Intervalo i	F(I <sub>i</sub> )	F(S <sub>i</sub> )	e <sub>i</sub>	o <sub>i</sub>	(o <sub>i</sub> -e <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> /e <sub>i</sub>
1	0.0000	0.0367	1.94	5.00	4.8106
2	0.0367	0.4085	19.71	22.00	0.2671
3	0.4085	0.7287	16.97	13.00	0.9303
4	0.7287	0.8751	7.76	4.00	1.8221
5	0.8751	0.9383	3.35	5.00	0.8160
6	0.9383	0.9672	1.53	2.00	0.1445
7	0.9672	0.9814	0.75	2.00	2.0694
$\Sigma =$					10.8599
<u>Máx. verosimilitud</u>		p =	0.05	$\chi^2 =$	10.8599
u =	3.4645	GL=	4	$\chi^2 0.95,4 =$	9.4877
$\alpha =$	0.1952	Se rechaza			

DISTRIBUCIÓN LOG GUMBEL - MOMENTOS LINEALES					
Intervalo i	F(I <sub>i</sub> )	F(S <sub>i</sub> )	e <sub>i</sub>	o <sub>i</sub>	(o <sub>i</sub> -e <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> /e <sub>i</sub>
1	0.0000	0.0956	5.06	5.00	0.0008
2	0.0956	0.4789	20.32	22.00	0.1396
3	0.4789	0.7464	14.18	13.00	0.0980
4	0.7464	0.8730	6.71	4.00	1.0939
5	0.8730	0.9320	3.12	5.00	1.1256
6	0.9320	0.9611	1.54	2.00	0.1358
7	0.9611	0.9764	0.81	2.00	1.7306
$\Sigma =$					4.3244
<u>Momentos Lineales</u>		p =	0.05	$\chi^2 =$	4.3244
u =	3.4187	GL=	4	$\chi^2 0.95,4 =$	9.4877
$\alpha =$	0.2199	Se acepta			

Fuente: Elaboración propia, 2018.

# Anexo 6

## Prueba de Kolmogorov-Smirnov

Tabla 6.1

Prueba de Kolmogorov-Smirnov de la distribución normal de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Orden m	$x_T$ (Observ) (mm)	Weibull P(x)	$F_o(x_m)$	DISTRIBUCIÓN NORMAL					
				MOMENTOS Y MÁX. VEROSIMIL.			MOMENTOS LINEALES		
				z	$F(x_m)$	$ F_o(x_m) - F(x_m) $	z	$F(x_m)$	$ F_o(x_m) - F(x_m) $
1	65.728	0.0185	0.9815	2.7699	0.9972	0.0157	2.9265	0.9983	0.0168
2	64.688	0.0370	0.9630	2.6730	0.9962	0.0333	2.8241	0.9976	0.0347
3	60.528	0.0556	0.9444	2.2851	0.9888	0.0444	2.4143	0.9921	0.0477
4	54.912	0.0741	0.9259	1.7616	0.9609	0.0350	1.8611	0.9686	0.0427
5	54.080	0.0926	0.9074	1.6840	0.9539	0.0465	1.7792	0.9624	0.0550
6	53.040	0.1111	0.8889	1.5870	0.9437	0.0549	1.6768	0.9532	0.0643
7	52.000	0.1296	0.8704	1.4901	0.9319	0.0615	1.5743	0.9423	0.0719
8	50.960	0.1481	0.8519	1.3931	0.9182	0.0664	1.4719	0.9295	0.0776
9	47.424	0.1667	0.8333	1.0635	0.8562	0.0229	1.1236	0.8694	0.0361
10	46.800	0.1852	0.8148	1.0053	0.8426	0.0278	1.0621	0.8559	0.0411
11	42.640	0.2037	0.7963	0.6174	0.7315	0.0648	0.6523	0.7429	0.0534
12	42.224	0.2222	0.7778	0.5787	0.7186	0.0592	0.6114	0.7295	0.0483
13	41.600	0.2407	0.7593	0.5205	0.6986	0.0606	0.5499	0.7088	0.0505
14	39.520	0.2593	0.7407	0.3266	0.6280	0.1127	0.3450	0.6350	0.1058
15	38.792	0.2778	0.7222	0.2587	0.6021	0.1202	0.2733	0.6077	0.1145
16	36.816	0.2963	0.7037	0.0745	0.5297	0.1740	0.0787	0.5314	0.1724
17	36.712	0.3148	0.6852	0.0648	0.5258	0.1594	0.0684	0.5273	0.1579
18	36.608	0.3333	0.6667	0.0551	0.5220	0.1447	0.0582	0.5232	0.1435
19	36.400	0.3519	0.6481	0.0357	0.5142	0.1339	0.0377	0.5150	0.1331
20	34.736	0.3704	0.6296	-0.1195	0.4525	0.1772	-0.1262	0.4498	0.1798
21	34.736	0.3889	0.6111	-0.1195	0.4525	0.1587	-0.1262	0.4498	0.1613
34	30.992	0.6296	0.3704	-0.4685	0.3197	0.0507	-0.4950	0.3103	0.0601
35	30.680	0.6481	0.3519	-0.4976	0.3094	0.0425	-0.5257	0.2995	0.0523
36	30.368	0.6667	0.3333	-0.5267	0.2992	0.0341	-0.5565	0.2889	0.0444
37	30.056	0.6852	0.3148	-0.5558	0.2892	0.0256	-0.5872	0.2785	0.0363
38	29.640	0.7037	0.2963	-0.5946	0.2761	0.0202	-0.6282	0.2649	0.0314
39	29.536	0.7222	0.2778	-0.6043	0.2728	0.0049	-0.6384	0.2616	0.0162
40	29.536	0.7407	0.2593	-0.6043	0.2728	0.0136	-0.6384	0.2616	0.0023
41	29.328	0.7593	0.2407	-0.6237	0.2664	0.0257	-0.6589	0.2550	0.0142
42	28.704	0.7778	0.2222	-0.6818	0.2477	0.0255	-0.7204	0.2356	0.0134
43	28.080	0.7963	0.2037	-0.7400	0.2296	0.0259	-0.7818	0.2172	0.0135
44	28.080	0.8148	0.1852	-0.7400	0.2296	0.0445	-0.7818	0.2172	0.0320
45	27.560	0.8333	0.1667	-0.7885	0.2152	0.0485	-0.8331	0.2024	0.0357
46	26.624	0.8519	0.1481	-0.8758	0.1906	0.0424	-0.9253	0.1774	0.0293
47	26.000	0.8704	0.1296	-0.9339	0.1752	0.0455	-0.9867	0.1619	0.0323
48	25.688	0.8889	0.1111	-0.9630	0.1678	0.0567	-1.0175	0.1545	0.0434
49	24.128	0.9074	0.0926	-1.1085	0.1338	0.0412	-1.1711	0.1208	0.0282
50	23.296	0.9259	0.0741	-1.1860	0.1178	0.0437	-1.2531	0.1051	0.0310
51	23.192	0.9444	0.0556	-1.1957	0.1159	0.0603	-1.2633	0.1032	0.0477
52	22.672	0.9630	0.0370	-1.2442	0.1067	0.0697	-1.3145	0.0943	0.0573
53	21.632	0.9815	0.0185	-1.3412	0.0899	0.0714	-1.4170	0.0782	0.0597
n =	53				Dc =	0.1772		Dc =	0.1798
$\bar{X}$ =	36.017	$\alpha =$	0.05		Dt =	0.1868		Dt =	0.1868
S =	10.726				Prueba =	Se acepta		Prueba =	Se acepta

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 6.2

Prueba de Kolmogorov-Smirnov de la distribución log normal 2 parámetros de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Orden m	$x_T$ (Observ) (mm)	Weibull P(x)	$F_o(x_m)$	DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL 2 PARÁMETROS					
				MOMENTOS Y MÁX. VEROSIMIL.			MOMENTOS LINEALES		
				z	$F(x_m)$	$ F_o(x_m) - F(x_m) $	z	$F(x_m)$	$ F_o(x_m) - F(x_m) $
1	65.728	0.0185	0.9815	2.3492	0.9906	0.0091	2.3696	0.9911	0.0096
2	64.688	0.0370	0.9630	2.2907	0.9890	0.0260	2.3106	0.9896	0.0266
3	60.528	0.0556	0.9444	2.0466	0.9797	0.0352	2.0644	0.9805	0.0361
4	54.912	0.0741	0.9259	1.6892	0.9544	0.0285	1.7038	0.9558	0.0299
5	54.080	0.0926	0.9074	1.6331	0.9488	0.0414	1.6473	0.9503	0.0428
6	53.040	0.1111	0.8889	1.5618	0.9408	0.0519	1.5754	0.9424	0.0535
7	52.000	0.1296	0.8704	1.4891	0.9318	0.0614	1.5021	0.9335	0.0631
8	50.960	0.1481	0.8519	1.4150	0.9215	0.0696	1.4273	0.9232	0.0714
9	47.424	0.1667	0.8333	1.1510	0.8751	0.0418	1.1610	0.8772	0.0438
10	46.800	0.1852	0.8148	1.1023	0.8648	0.0500	1.1119	0.8669	0.0521
11	42.640	0.2037	0.7963	0.7606	0.7765	0.0198	0.7672	0.7785	0.0178
12	42.224	0.2222	0.7778	0.7246	0.7656	0.0121	0.7309	0.7676	0.0102
13	41.600	0.2407	0.7593	0.6699	0.7485	0.0107	0.6757	0.7504	0.0089
14	39.520	0.2593	0.7407	0.4816	0.6850	0.0558	0.4858	0.6864	0.0543
15	38.792	0.2778	0.7222	0.4134	0.6603	0.0619	0.4170	0.6616	0.0606
16	36.816	0.2963	0.7037	0.2214	0.5876	0.1161	0.2233	0.5884	0.1153
17	36.712	0.3148	0.6852	0.2110	0.5836	0.1016	0.2129	0.5843	0.1009
18	36.608	0.3333	0.6667	0.2006	0.5795	0.0872	0.2024	0.5802	0.0865
19	36.400	0.3519	0.6481	0.1797	0.5713	0.0768	0.1813	0.5719	0.0762
20	34.736	0.3704	0.6296	0.0079	0.5032	0.1265	0.0080	0.5032	0.1264
21	34.736	0.3889	0.6111	0.0079	0.5032	0.1080	0.0080	0.5032	0.1079
34	30.992	0.6296	0.3704	-0.4108	0.3406	0.0297	-0.4143	0.3393	0.0311
35	30.680	0.6481	0.3519	-0.4479	0.3271	0.0247	-0.4518	0.3257	0.0261
36	30.368	0.6667	0.3333	-0.4854	0.3137	0.0197	-0.4897	0.3122	0.0211
37	30.056	0.6852	0.3148	-0.5234	0.3004	0.0145	-0.5279	0.2988	0.0160
38	29.640	0.7037	0.2963	-0.5745	0.2828	0.0135	-0.5795	0.2811	0.0152
39	29.536	0.7222	0.2778	-0.5874	0.2785	0.0007	-0.5925	0.2767	0.0010
40	29.536	0.7407	0.2593	-0.5874	0.2785	0.0192	-0.5925	0.2767	0.0175
41	29.328	0.7593	0.2407	-0.6134	0.2698	0.0291	-0.6187	0.2681	0.0273
42	28.704	0.7778	0.2222	-0.6923	0.2444	0.0221	-0.6983	0.2425	0.0203
43	28.080	0.7963	0.2037	-0.7730	0.2198	0.0161	-0.7797	0.2178	0.0141
44	28.080	0.8148	0.1852	-0.7730	0.2198	0.0346	-0.7797	0.2178	0.0326
45	27.560	0.8333	0.1667	-0.8416	0.2000	0.0333	-0.8489	0.1980	0.0313
46	26.624	0.8519	0.1481	-0.9685	0.1664	0.0183	-0.9769	0.1643	0.0162
47	26.000	0.8704	0.1296	-1.0555	0.1456	0.0160	-1.0647	0.1435	0.0139
48	25.688	0.8889	0.1111	-1.0999	0.1357	0.0246	-1.1094	0.1336	0.0225
49	24.128	0.9074	0.0926	-1.3299	0.0918	0.0008	-1.3414	0.0899	0.0027
50	23.296	0.9259	0.0741	-1.4587	0.0723	0.0018	-1.4714	0.0706	0.0035
51	23.192	0.9444	0.0556	-1.4751	0.0701	0.0145	-1.4879	0.0684	0.0128
52	22.672	0.9630	0.0370	-1.5584	0.0596	0.0225	-1.5719	0.0580	0.0209
53	21.632	0.9815	0.0185	-1.7308	0.0417	0.0232	-1.7458	0.0404	0.0219
n =	53				Dc =	0.1265		Dc =	0.1264
$\bar{X}$ =	36.017	$\alpha =$	0.05		Dt =	0.1868		Dt =	0.1868
S =	10.726				Prueba =	Se acepta		Prueba =	Se acepta

Fuente: Elaboración propia, 2018.

**Tabla 6.3**
**Prueba de Kolmogorov-Smirnov de la distribución log normal 3 parámetros de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015**

Orden m	$x_T$ (Observ) (mm)	Weibull P(x)	$F_o(x_m)$	DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL 3 PARÁMETROS					
				MOMENTOS			MÁXIMA VEROSIMILITUD		
				z	$F(x_m)$	$ F_o(x_m) - F(x_m) $	z	$F(x_m)$	$ F_o(x_m) - F(x_m) $
1	65.728	0.0185	0.9815	2.1393	0.9838	0.0023	1.9989	0.9772	0.0043
2	64.688	0.0370	0.9630	2.0902	0.9817	0.0187	1.9594	0.9750	0.0120
3	60.528	0.0556	0.9444	1.8842	0.9702	0.0258	1.7922	0.9634	0.0190
4	54.912	0.0741	0.9259	1.5786	0.9428	0.0169	1.5389	0.9381	0.0122
5	54.080	0.0926	0.9074	1.5303	0.9370	0.0296	1.4982	0.9330	0.0256
6	53.040	0.1111	0.8889	1.4686	0.9290	0.0401	1.4460	0.9259	0.0370
7	52.000	0.1296	0.8704	1.4054	0.9201	0.0497	1.3923	0.9181	0.0477
8	50.960	0.1481	0.8519	1.3408	0.9100	0.0581	1.3369	0.9094	0.0575
9	47.424	0.1667	0.8333	1.1086	0.8662	0.0329	1.1351	0.8718	0.0385
10	46.800	0.1852	0.8148	1.0655	0.8567	0.0419	1.0970	0.8637	0.0489
11	42.640	0.2037	0.7963	0.7589	0.7760	0.0203	0.8207	0.7941	0.0022
12	42.224	0.2222	0.7778	0.7262	0.7661	0.0116	0.7906	0.7854	0.0076
13	41.600	0.2407	0.7593	0.6764	0.7506	0.0086	0.7445	0.7717	0.0125
14	39.520	0.2593	0.7407	0.5037	0.6928	0.0480	0.5819	0.7197	0.0210
15	38.792	0.2778	0.7222	0.4405	0.6702	0.0520	0.5214	0.6990	0.0233
16	36.816	0.2963	0.7037	0.2611	0.6030	0.1007	0.3463	0.6354	0.0683
17	36.712	0.3148	0.6852	0.2514	0.5992	0.0859	0.3366	0.6318	0.0534
18	36.608	0.3333	0.6667	0.2416	0.5954	0.0712	0.3268	0.6281	0.0386
19	36.400	0.3519	0.6481	0.2218	0.5878	0.0604	0.3072	0.6206	0.0275
20	34.736	0.3704	0.6296	0.0585	0.5233	0.1063	0.1418	0.5564	0.0733
21	34.736	0.3889	0.6111	0.0585	0.5233	0.0878	0.1418	0.5564	0.0547
34	30.992	0.6296	0.3704	-0.3495	0.3634	0.0070	-0.2965	0.3834	0.0131
35	30.680	0.6481	0.3519	-0.3865	0.3496	0.0023	-0.3382	0.3676	0.0157
36	30.368	0.6667	0.3333	-0.4239	0.3358	0.0025	-0.3810	0.3516	0.0183
37	30.056	0.6852	0.3148	-0.4619	0.3221	0.0073	-0.4247	0.3355	0.0207
38	29.640	0.7037	0.2963	-0.5134	0.3038	0.0075	-0.4848	0.3139	0.0176
39	29.536	0.7222	0.2778	-0.5265	0.2993	0.0215	-0.5001	0.3085	0.0307
40	29.536	0.7407	0.2593	-0.5265	0.2993	0.0400	-0.5001	0.3085	0.0492
41	29.328	0.7593	0.2407	-0.5527	0.2902	0.0495	-0.5311	0.2977	0.0569
42	28.704	0.7778	0.2222	-0.6331	0.2633	0.0411	-0.6275	0.2652	0.0429
43	28.080	0.7963	0.2037	-0.7159	0.2370	0.0333	-0.7293	0.2329	0.0292
44	28.080	0.8148	0.1852	-0.7159	0.2370	0.0519	-0.7293	0.2329	0.0477
45	27.560	0.8333	0.1667	-0.7869	0.2157	0.0490	-0.8187	0.2065	0.0398
46	26.624	0.8519	0.1481	-0.9195	0.1789	0.0308	-0.9915	0.1607	0.0126
47	26.000	0.8704	0.1296	-1.0118	0.1558	0.0262	-1.1165	0.1321	0.0025
48	25.688	0.8889	0.1111	-1.0591	0.1448	0.0337	-1.1824	0.1185	0.0074
49	24.128	0.9074	0.0926	-1.3090	0.0953	0.0027	-1.5531	0.0602	0.0324
50	23.296	0.9259	0.0741	-1.4524	0.0732	0.0009	-1.7867	0.0370	0.0371
51	23.192	0.9444	0.0556	-1.4708	0.0707	0.0151	-1.8181	0.0345	0.0210
52	22.672	0.9630	0.0370	-1.5651	0.0588	0.0217	-1.9839	0.0236	0.0134
53	21.632	0.9815	0.0185	-1.7642	0.0388	0.0203	-2.3688	0.0089	0.0096
n =	53				Dc =	0.1063		Dc =	0.0733
$\bar{X}$ =	36.017	$\alpha =$	0.05		Dt =	0.1868		Dt =	0.1868
S =	10.726				Prueba =	Se acepta		Prueba =	Se acepta

Fuente: Elaboración propia, 2018.



Tabla 6.4

Prueba de Kolmogorov-Smirnov de la distribución Gamma 2 parámetros de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Orden m	$x_T$ (Observ) (mm)	Weibull P(x)	$F_o(x_m)$	DISTRIBUCIÓN GAMMA 2 PARÁMETROS								
				MOMENTOS			MÁXIMA VEROSIMILITUD			MOMENTOS LINEALES		
				z	$F(x_m)$	$ F_o(x_m) - F(x_m) $	z	$F(x_m)$	$ F_o(x_m) - F(x_m) $	z	$F(x_m)$	$ F_o(x_m) - F(x_m) $
1	65.728	0.0185	0.9815	2.1373	0.9837	0.0022	2.3274	0.9900	0.0085	2.2437	0.9876	0.0061
2	64.688	0.0370	0.9630	2.0721	0.9809	0.0179	2.2568	0.9880	0.0250	2.1754	0.9852	0.0222
3	60.528	0.0556	0.9444	1.8037	0.9644	0.0199	1.9666	0.9754	0.0309	1.8949	0.9709	0.0265
4	54.912	0.0741	0.9259	1.4212	0.9224	0.0035	1.5528	0.9398	0.0138	1.4949	0.9325	0.0066
5	54.080	0.0926	0.9074	1.3624	0.9135	0.0061	1.4892	0.9318	0.0244	1.4334	0.9241	0.0167
6	53.040	0.1111	0.8889	1.2880	0.9011	0.0122	1.4087	0.9205	0.0316	1.3556	0.9124	0.0235
7	52.000	0.1296	0.8704	1.2126	0.8874	0.0170	1.3271	0.9078	0.0374	1.2767	0.8992	0.0288
8	50.960	0.1481	0.8519	1.1361	0.8721	0.0202	1.2445	0.8933	0.0415	1.1968	0.8843	0.0325
9	47.424	0.1667	0.8333	0.8683	0.8074	0.0260	0.9547	0.8301	0.0032	0.9167	0.8204	0.0130
10	46.800	0.1852	0.8148	0.8196	0.7938	0.0210	0.9021	0.8165	0.0017	0.8659	0.8067	0.0081
11	42.640	0.2037	0.7963	0.4838	0.6857	0.1106	0.5389	0.7050	0.0913	0.5147	0.6966	0.0997
12	42.224	0.2222	0.7778	0.4490	0.6733	0.1045	0.5012	0.6919	0.0859	0.4783	0.6838	0.0940
13	41.600	0.2407	0.7593	0.3964	0.6541	0.1052	0.4444	0.6716	0.0876	0.4234	0.6640	0.0953
14	39.520	0.2593	0.7407	0.2172	0.5860	0.1548	0.2506	0.5989	0.1418	0.2360	0.5933	0.1475
15	38.792	0.2778	0.7222	0.1530	0.5608	0.1614	0.1811	0.5719	0.1504	0.1689	0.5671	0.1552
16	36.816	0.2963	0.7037	-0.0254	0.4899	0.2138	-0.0118	0.4953	0.2084	-0.0177	0.4930	0.2107
17	36.712	0.3148	0.6852	-0.0349	0.4861	0.1991	-0.0222	0.4912	0.1940	-0.0277	0.4890	0.1962
18	36.608	0.3333	0.6667	-0.0445	0.4823	0.1844	-0.0325	0.4870	0.1796	-0.0377	0.4850	0.1817
19	36.400	0.3519	0.6481	-0.0637	0.4746	0.1736	-0.0533	0.4787	0.1694	-0.0578	0.4770	0.1712
20	34.736	0.3704	0.6296	-0.2202	0.4129	0.2168	-0.2226	0.4119	0.2177	-0.2214	0.4124	0.2172
21	34.736	0.3889	0.6111	-0.2202	0.4129	0.1982	-0.2226	0.4119	0.1992	-0.2214	0.4124	0.1987
22	34.632	0.4074	0.5926	-0.2301	0.4090	0.1836	-0.2333	0.4078	0.1848	-0.2318	0.4084	0.1842
23	34.320	0.4259	0.5741	-0.2601	0.3974	0.1767	-0.2657	0.3952	0.1788	-0.2631	0.3962	0.1778
24	34.216	0.4444	0.5556	-0.2701	0.3935	0.1620	-0.2765	0.3911	0.1645	-0.2736	0.3922	0.1633
25	33.696	0.4630	0.5370	-0.3205	0.3743	0.1627	-0.3311	0.3703	0.1667	-0.3263	0.3721	0.1649
26	32.864	0.4815	0.5185	-0.4023	0.3437	0.1748	-0.4195	0.3374	0.1811	-0.4118	0.3403	0.1783
27	32.448	0.5000	0.5000	-0.4437	0.3286	0.1714	-0.4643	0.3212	0.1788	-0.4551	0.3245	0.1755
28	32.240	0.5185	0.4815	-0.4645	0.3211	0.1603	-0.4868	0.3132	0.1683	-0.4768	0.3167	0.1647
29	32.136	0.5370	0.4630	-0.4750	0.3174	0.1456	-0.4981	0.3092	0.1538	-0.4878	0.3129	0.1501
30	31.720	0.5556	0.4444	-0.5170	0.3026	0.1419	-0.5436	0.2934	0.1511	-0.5317	0.2975	0.1470
31	31.720	0.5741	0.4259	-0.5170	0.3026	0.1233	-0.5436	0.2934	0.1326	-0.5317	0.2975	0.1285
32	31.096	0.5926	0.4074	-0.5807	0.2807	0.1267	-0.6125	0.2701	0.1373	-0.5984	0.2748	0.1326
33	31.096	0.6111	0.3889	-0.5807	0.2807	0.1082	-0.6125	0.2701	0.1188	-0.5984	0.2748	0.1141
34	30.992	0.6296	0.3704	-0.5914	0.2771	0.0933	-0.6241	0.2663	0.1041	-0.6096	0.2711	0.0993
35	30.680	0.6481	0.3519	-0.6237	0.2664	0.0854	-0.6590	0.2549	0.0969	-0.6433	0.2600	0.0918
36	30.368	0.6667	0.3333	-0.6562	0.2559	0.0775	-0.6941	0.2438	0.0895	-0.6773	0.2491	0.0842
37	30.056	0.6852	0.3148	-0.6889	0.2454	0.0694	-0.7295	0.2328	0.0820	-0.7114	0.2384	0.0764
38	29.640	0.7037	0.2963	-0.7328	0.2318	0.0645	-0.7771	0.2186	0.0777	-0.7574	0.2244	0.0719
39	29.536	0.7222	0.2778	-0.7439	0.2285	0.0493	-0.7890	0.2150	0.0627	-0.7690	0.2210	0.0568
40	29.536	0.7407	0.2593	-0.7439	0.2285	0.0308	-0.7890	0.2150	0.0442	-0.7690	0.2210	0.0383
41	29.328	0.7593	0.2407	-0.7661	0.2218	0.0189	-0.8130	0.2081	0.0326	-0.7922	0.2141	0.0266
42	28.704	0.7778	0.2222	-0.8333	0.2023	0.0199	-0.8857	0.1879	0.0343	-0.8624	0.1942	0.0280
43	28.080	0.7963	0.2037	-0.9015	0.1837	0.0200	-0.9594	0.1687	0.0350	-0.9337	0.1752	0.0285
44	28.080	0.8148	0.1852	-0.9015	0.1837	0.0015	-0.9594	0.1687	0.0165	-0.9337	0.1752	0.0100
45	27.560	0.8333	0.1667	-0.9590	0.1688	0.0021	-1.0217	0.1535	0.0132	-0.9939	0.1601	0.0065
46	26.624	0.8519	0.1481	-1.0646	0.1435	0.0046	-1.1359	0.1280	0.0201	-1.1043	0.1347	0.0134
47	26.000	0.8704	0.1296	-1.1363	0.1279	0.0017	-1.2134	0.1125	0.0171	-1.1793	0.1191	0.0105
48	25.688	0.8889	0.1111	-1.1726	0.1205	0.0094	-1.2527	0.1052	0.0060	-1.2172	0.1118	0.0007
49	24.128	0.9074	0.0926	-1.3586	0.0871	0.0055	-1.4539	0.0730	0.0196	-1.4117	0.0790	0.0136
50	23.296	0.9259	0.0741	-1.4611	0.0720	0.0021	-1.5648	0.0588	0.0153	-1.5189	0.0644	0.0097
51	23.192	0.9444	0.0556	-1.4741	0.0702	0.0147	-1.5788	0.0572	0.0016	-1.5325	0.0627	0.0072
52	22.672	0.9630	0.0370	-1.5396	0.0618	0.0248	-1.6497	0.0495	0.0125	-1.6009	0.0547	0.0177
53	21.632	0.9815	0.0185	-1.6737	0.0471	0.0286	-1.7947	0.0364	0.0178	-1.7411	0.0408	0.0223
n =	53			Dc =	0.2168		Dc =	0.2177		Dc =	0.2172	
$\bar{X}$ =	36.017	$\alpha$ =	0.05	Dt =	0.1868		Dt =	0.1868		Dt =	0.1868	
S =	10.726			Prueba =	Se rechaza		Prueba =	Se rechaza		Prueba =	Se rechaza	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 6.5

Prueba de Kolmogorov-Smirnov de la distribución Gamma 3 parámetros de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Orden m	$x_T$ (Observ) (mm)	Weibull		DISTRIBUCIÓN GAMMA 3 PARÁMETROS O PEARSON TIPO III								
		P(x)	$Fo(x_m)$	MOMENTOS			MÁXIMA VEROSIMILITUD			MOMENTOS PROBABILIDAD PESAL		
				z	$F(x_m)$	$ Fo(x_m) - F(x_m) $	z	$F(x_m)$	$ Fo(x_m) - F(x_m) $	z	$F(x_m)$	$ Fo(x_m) - F(x_m) $
1	65.728	0.0185	0.9815	2.1280	0.9833	0.0019	2.0923	0.9818	0.0003	1.9316	0.9733	0.0082
2	64.688	0.0370	0.9630	2.0773	0.9811	0.0181	2.0446	0.9796	0.0166	1.8905	0.9707	0.0077
3	60.528	0.0556	0.9444	1.8664	0.9690	0.0246	1.8459	0.9675	0.0231	1.7186	0.9572	0.0127
4	54.912	0.0741	0.9259	1.5585	0.9404	0.0145	1.5544	0.9400	0.0140	1.4653	0.9286	0.0027
5	54.080	0.0926	0.9074	1.5102	0.9345	0.0271	1.5086	0.9343	0.0269	1.4253	0.9230	0.0156
6	53.040	0.1111	0.8889	1.4489	0.9263	0.0374	1.4501	0.9265	0.0376	1.3744	0.9153	0.0264
7	52.000	0.1296	0.8704	1.3863	0.9172	0.0468	1.3905	0.9178	0.0474	1.3222	0.9070	0.0366
8	50.960	0.1481	0.8519	1.3224	0.9070	0.0551	1.3294	0.9081	0.0563	1.2688	0.8977	0.0459
9	47.424	0.1667	0.8333	1.0944	0.8631	0.0298	1.1108	0.8667	0.0333	1.0768	0.8592	0.0259
10	46.800	0.1852	0.8148	1.0523	0.8537	0.0389	1.0702	0.8577	0.0429	1.0410	0.8511	0.0363
11	42.640	0.2037	0.7963	0.7546	0.7748	0.0215	0.7816	0.7828	0.0135	0.7853	0.7839	0.0124
12	42.224	0.2222	0.7778	0.7230	0.7652	0.0126	0.7508	0.7736	0.0042	0.7578	0.7757	0.0021
13	41.600	0.2407	0.7593	0.6749	0.7501	0.0091	0.7038	0.7592	0.0000	0.7159	0.7630	0.0037
14	39.520	0.2593	0.7407	0.5083	0.6944	0.0464	0.5400	0.7054	0.0353	0.5690	0.7153	0.0254
15	38.792	0.2778	0.7222	0.4473	0.6727	0.0495	0.4799	0.6843	0.0379	0.5148	0.6966	0.0256
16	36.816	0.2963	0.7037	0.2744	0.6081	0.0956	0.3078	0.6209	0.0828	0.3587	0.6401	0.0636
17	36.712	0.3148	0.6852	0.2650	0.6045	0.0807	0.2984	0.6173	0.0679	0.3501	0.6369	0.0483
18	36.608	0.3333	0.6667	0.2555	0.6008	0.0658	0.2889	0.6137	0.0530	0.3415	0.6336	0.0330
19	36.400	0.3519	0.6481	0.2365	0.5935	0.0547	0.2698	0.6063	0.0418	0.3241	0.6271	0.0211
20	34.736	0.3704	0.6296	0.0786	0.5313	0.0983	0.1106	0.5441	0.0856	0.1779	0.5706	0.0590
21	34.736	0.3889	0.6111	0.0786	0.5313	0.0798	0.1106	0.5441	0.0671	0.1779	0.5706	0.0405
22	34.632	0.4074	0.5926	0.0684	0.5273	0.0653	0.1003	0.5399	0.0527	0.1683	0.5668	0.0258
23	34.320	0.4259	0.5741	0.0375	0.5150	0.0591	0.0689	0.5275	0.0466	0.1392	0.5554	0.0187
24	34.216	0.4444	0.5556	0.0271	0.5108	0.0447	0.0583	0.5232	0.0323	0.1294	0.5515	0.0041
25	33.696	0.4630	0.5370	-0.0255	0.4898	0.0472	0.0046	0.5018	0.0352	0.0795	0.5317	0.0053
26	32.864	0.4815	0.5185	-0.1123	0.4553	0.0632	-0.0844	0.4664	0.0522	-0.0037	0.4985	0.0200
27	32.448	0.5000	0.5000	-0.1569	0.4377	0.0623	-0.1305	0.4481	0.0519	-0.0470	0.4812	0.0188
28	32.240	0.5185	0.4815	-0.1795	0.4288	0.0527	-0.1539	0.4388	0.0426	-0.0692	0.4724	0.0091
29	32.136	0.5370	0.4630	-0.1909	0.4243	0.0387	-0.1658	0.4342	0.0288	-0.0804	0.4680	0.0050
30	31.720	0.5556	0.4444	-0.2370	0.4063	0.0381	-0.2138	0.4153	0.0291	-0.1259	0.4499	0.0054
31	31.720	0.5741	0.4259	-0.2370	0.4063	0.0196	-0.2138	0.4153	0.0106	-0.1259	0.4499	0.0240
32	31.096	0.5926	0.4074	-0.3081	0.3790	0.0284	-0.2882	0.3866	0.0208	-0.1970	0.4219	0.0145
33	31.096	0.6111	0.3889	-0.3081	0.3790	0.0099	-0.2882	0.3866	0.0023	-0.1970	0.4219	0.0330
34	30.992	0.6296	0.3704	-0.3202	0.3744	0.0040	-0.3009	0.3817	0.0114	-0.2092	0.4171	0.0468
35	30.680	0.6481	0.3519	-0.3568	0.3606	0.0088	-0.3395	0.3671	0.0152	-0.2464	0.4027	0.0508
36	30.368	0.6667	0.3333	-0.3940	0.3468	0.0135	-0.3790	0.3523	0.0190	-0.2845	0.3880	0.0547
37	30.056	0.6852	0.3148	-0.4318	0.3329	0.0181	-0.4193	0.3375	0.0227	-0.3237	0.3731	0.0583
38	29.640	0.7037	0.2963	-0.4834	0.3144	0.0181	-0.4745	0.3176	0.0213	-0.3778	0.3528	0.0565
39	29.536	0.7222	0.2778	-0.4964	0.3098	0.0320	-0.4886	0.3126	0.0348	-0.3916	0.3477	0.0699
40	29.536	0.7407	0.2593	-0.4964	0.3098	0.0505	-0.4886	0.3126	0.0533	-0.3916	0.3477	0.0884
41	29.328	0.7593	0.2407	-0.5228	0.3005	0.0598	-0.5170	0.3026	0.0618	-0.4197	0.3373	0.0966
42	28.704	0.7778	0.2222	-0.6041	0.2729	0.0507	-0.6053	0.2725	0.0503	-0.5078	0.3058	0.0836
43	28.080	0.7963	0.2037	-0.6886	0.2455	0.0418	-0.6985	0.2424	0.0387	-0.6022	0.2735	0.0698
44	28.080	0.8148	0.1852	-0.6886	0.2455	0.0604	-0.6985	0.2424	0.0573	-0.6022	0.2735	0.0884
45	27.560	0.8333	0.1667	-0.7618	0.2231	0.0564	-0.7802	0.2176	0.0510	-0.6865	0.2462	0.0795
46	26.624	0.8519	0.1481	-0.9008	0.1839	0.0357	-0.9387	0.1739	0.0258	-0.8550	0.1963	0.0481
47	26.000	0.8704	0.1296	-0.9992	0.1588	0.0292	-1.0542	0.1459	0.0163	-0.9828	0.1628	0.0332
48	25.688	0.8889	0.1111	-1.0505	0.1468	0.0356	-1.1154	0.1323	0.0212	-1.0529	0.1462	0.0351
49	24.128	0.9074	0.0926	-1.3307	0.0916	0.0010	-1.4691	0.0709	0.0217	-1.5064	0.0660	0.0266
50	23.296	0.9259	0.0741	-1.5010	0.0667	0.0074	-1.7062	0.0440	0.0301	-1.9159	0.0277	0.0464
51	23.192	0.9444	0.0556	-1.5236	0.0638	0.0083	-1.7394	0.0410	0.0146	-1.9906	0.0233	0.0323
52	22.672	0.9630	0.0370	-1.6414	0.0504	0.0133	-1.9221	0.0273	0.0097	-3.5354	0.0002	0.0368
53	21.632	0.9815	0.0185	-1.9081	0.0282	0.0097	-2.4342	0.0075	0.0111	-4.6139	0.0000	0.0185
n =	53			Dc =	0.0983		Dc =	0.0856		Dc =	0.0966	
$\bar{X}$ =	36.017	$\alpha$ =	0.05	Dt =	0.1868		Dt =	0.1868		Dt =	0.1868	
S =	10.726			Prueba =	Se acepta		Prueba =	Se acepta		Prueba =	Se acepta	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 6.6

Prueba de Kolmogorov-Smirnov de la distribución log Pearson tipo III de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Orden m	$x_T$ (Observ) (mm)	Weibull P(x)	$F_o(x_m)$	DISTRIBUCIÓN LOG PEARSON TIPO III					
				MOMENTOS			MÁXIMA VEROSIMILITUD		
				z	$F(x_m)$	$ F_o(x_m) - F(x_m) $	z	$F(x_m)$	$ F_o(x_m) - F(x_m) $
1	65.728	0.0185	0.9815	2.0301	0.9788	0.0027	1.9751	0.9759	0.0056
2	64.688	0.0370	0.9630	1.9898	0.9767	0.0137	1.9378	0.9737	0.0107
3	60.528	0.0556	0.9444	1.8188	0.9655	0.0211	1.7793	0.9624	0.0180
4	54.912	0.0741	0.9259	1.5581	0.9404	0.0145	1.5361	0.9377	0.0118
5	54.080	0.0926	0.9074	1.5160	0.9352	0.0278	1.4967	0.9328	0.0254
6	53.040	0.1111	0.8889	1.4620	0.9281	0.0392	1.4461	0.9259	0.0370
7	52.000	0.1296	0.8704	1.4064	0.9202	0.0498	1.3938	0.9183	0.0479
8	50.960	0.1481	0.8519	1.3491	0.9113	0.0595	1.3398	0.9098	0.0580
9	47.424	0.1667	0.8333	1.1397	0.8728	0.0395	1.1417	0.8732	0.0399
10	46.800	0.1852	0.8148	1.1002	0.8644	0.0496	1.1041	0.8652	0.0504
11	42.640	0.2037	0.7963	0.8136	0.7920	0.0042	0.8299	0.7967	0.0004
12	42.224	0.2222	0.7778	0.7824	0.7830	0.0052	0.7998	0.7881	0.0103
13	41.600	0.2407	0.7593	0.7347	0.7687	0.0095	0.7538	0.7745	0.0153
14	39.520	0.2593	0.7407	0.5667	0.7145	0.0262	0.5909	0.7227	0.0180
15	38.792	0.2778	0.7222	0.5043	0.6930	0.0292	0.5301	0.7020	0.0202
16	36.816	0.2963	0.7037	0.3245	0.6272	0.0765	0.3537	0.6382	0.0655
17	36.712	0.3148	0.6852	0.3146	0.6235	0.0617	0.3439	0.6346	0.0506
18	36.608	0.3333	0.6667	0.3046	0.6197	0.0470	0.3341	0.6308	0.0358
19	36.400	0.3519	0.6481	0.2845	0.6120	0.0362	0.3143	0.6233	0.0248
20	34.736	0.3704	0.6296	0.1161	0.5462	0.0834	0.1471	0.5585	0.0712
21	34.736	0.3889	0.6111	0.1161	0.5462	0.0649	0.1471	0.5585	0.0526
34	30.992	0.6296	0.3704	-0.3223	0.3736	0.0032	-0.2968	0.3833	0.0130
35	30.680	0.6481	0.3519	-0.3634	0.3582	0.0063	-0.3390	0.3673	0.0154
36	30.368	0.6667	0.3333	-0.4053	0.3426	0.0093	-0.3823	0.3511	0.0178
37	30.056	0.6852	0.3148	-0.4480	0.3271	0.0123	-0.4266	0.3348	0.0200
38	29.640	0.7037	0.2963	-0.5063	0.3063	0.0100	-0.4873	0.3130	0.0167
39	29.536	0.7222	0.2778	-0.5211	0.3011	0.0234	-0.5028	0.3075	0.0298
40	29.536	0.7407	0.2593	-0.5211	0.3011	0.0419	-0.5028	0.3075	0.0483
41	29.328	0.7593	0.2407	-0.5511	0.2908	0.0500	-0.5342	0.2966	0.0559
42	28.704	0.7778	0.2222	-0.6436	0.2599	0.0377	-0.6316	0.2638	0.0416
43	28.080	0.7963	0.2037	-0.7403	0.2295	0.0258	-0.7343	0.2314	0.0277
44	28.080	0.8148	0.1852	-0.7403	0.2295	0.0444	-0.7343	0.2314	0.0462
45	27.560	0.8333	0.1667	-0.8244	0.2049	0.0382	-0.8244	0.2049	0.0382
46	26.624	0.8519	0.1481	-0.9843	0.1625	0.0143	-0.9981	0.1591	0.0110
47	26.000	0.8704	0.1296	-1.0979	0.1361	0.0065	-1.1233	0.1307	0.0010
48	25.688	0.8889	0.1111	-1.1569	0.1237	0.0125	-1.1891	0.1172	0.0061
49	24.128	0.9074	0.0926	-1.4784	0.0696	0.0229	-1.5573	0.0597	0.0329
50	23.296	0.9259	0.0741	-1.6710	0.0474	0.0267	-1.7872	0.0370	0.0371
51	23.192	0.9444	0.0556	-1.6962	0.0449	0.0106	-1.8180	0.0345	0.0210
52	22.672	0.9630	0.0370	-1.8270	0.0338	0.0032	-1.9799	0.0239	0.0132
53	21.632	0.9815	0.0185	-2.1139	0.0173	0.0013	-2.3529	0.0093	0.0092
n =	53				Dc =	0.0834		Dc =	0.0712
$\bar{X}$ =	36.017	$\alpha$ =	0.05		Dt =	0.1868		Dt =	0.1868
S =	10.726				Prueba =	Se acepta		Prueba =	Se acepta

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 6.7

Prueba de Kolmogorov-Smirnov de la distribución Gumbel de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Orden m	$x_T$ (Observ) (mm)	Weibull		DISTRIBUCIÓN GUMBEL									
		P(x)	$F_0(x_m)$	MOMENTOS			MÁX. VEROSIMILITUD			MOMENTOS LINEALES			
				y	F(y)	$ F_0(x_m) - F(y) $	y	F(y)	$ F_0(x_m) - F(y) $	y	F(y)	$ F_0(x_m) - F(y) $	
1	65.728	0.0185	0.9815	4.1298	0.9840	0.0026	4.8249	0.9920	0.0105	4.1718	0.9847	0.0032	
2	64.688	0.0370	0.9630	4.0055	0.9819	0.0190	4.6730	0.9907	0.0277	4.0459	0.9827	0.0197	
3	60.528	0.0556	0.9444	3.5080	0.9705	0.0260	4.0654	0.9830	0.0385	3.5426	0.9715	0.0270	
4	54.912	0.0741	0.9259	2.8365	0.9431	0.0171	3.2452	0.9618	0.0359	2.8632	0.9445	0.0186	
5	54.080	0.0926	0.9074	2.7370	0.9373	0.0299	3.1237	0.9570	0.0496	2.7625	0.9388	0.0314	
6	53.040	0.1111	0.8889	2.6127	0.9293	0.0404	2.9718	0.9501	0.0612	2.6367	0.9309	0.0420	
7	52.000	0.1296	0.8704	2.4883	0.9203	0.0499	2.8199	0.9421	0.0718	2.5109	0.9220	0.0516	
8	50.960	0.1481	0.8519	2.3640	0.9102	0.0584	2.6680	0.9330	0.0811	2.3850	0.9120	0.0602	
9	47.424	0.1667	0.8333	1.9411	0.8663	0.0330	2.1516	0.8902	0.0569	1.9572	0.8683	0.0349	
10	46.800	0.1852	0.8148	1.8665	0.8567	0.0419	2.0605	0.8804	0.0656	1.8818	0.8587	0.0439	
11	42.640	0.2037	0.7963	1.3691	0.7754	0.0209	1.4529	0.7915	0.0048	1.3785	0.7773	0.0190	
12	42.224	0.2222	0.7778	1.3194	0.7654	0.0123	1.3922	0.7799	0.0022	1.3281	0.7672	0.0106	
13	41.600	0.2407	0.7593	1.2448	0.7498	0.0095	1.3011	0.7617	0.0024	1.2526	0.7514	0.0078	
14	39.520	0.2593	0.7407	0.9960	0.6912	0.0496	0.9973	0.6915	0.0492	1.0010	0.6925	0.0483	
15	38.792	0.2778	0.7222	0.9090	0.6684	0.0539	0.8910	0.6635	0.0587	0.9129	0.6694	0.0528	
16	36.816	0.2963	0.7037	0.6727	0.6003	0.1034	0.6024	0.5784	0.1253	0.6738	0.6006	0.1031	
17	36.712	0.3148	0.6852	0.6603	0.5965	0.0887	0.5872	0.5736	0.1116	0.6613	0.5968	0.0884	
18	36.608	0.3333	0.6667	0.6478	0.5926	0.0740	0.5720	0.5687	0.0980	0.6487	0.5929	0.0738	
19	36.400	0.3519	0.6481	0.6230	0.5849	0.0633	0.5416	0.5589	0.0893	0.6235	0.5850	0.0631	
20	34.736	0.3704	0.6296	0.4240	0.5197	0.1099	0.2986	0.4762	0.1534	0.4222	0.5191	0.1105	
21	34.736	0.3889	0.6111	0.4240	0.5197	0.0914	0.2986	0.4762	0.1349	0.4222	0.5191	0.0920	
22	34.632	0.4074	0.5926	0.4116	0.5155	0.0771	0.2834	0.4708	0.1217	0.4096	0.5148	0.0778	
23	34.320	0.4259	0.5741	0.3743	0.5027	0.0714	0.2378	0.4546	0.1195	0.3719	0.5019	0.0722	
24	34.216	0.4444	0.5556	0.3618	0.4984	0.0572	0.2226	0.4492	0.1064	0.3593	0.4975	0.0581	
25	33.696	0.4630	0.5370	0.2996	0.4766	0.0604	0.1467	0.4217	0.1154	0.2964	0.4754	0.0616	
26	32.864	0.4815	0.5185	0.2002	0.4410	0.0775	0.0252	0.3771	0.1414	0.1957	0.4394	0.0791	
27	32.448	0.5000	0.5000	0.1504	0.4230	0.0770	-0.0356	0.3548	0.1452	0.1454	0.4212	0.0788	
28	32.240	0.5185	0.4815	0.1255	0.4139	0.0675	-0.0659	0.3436	0.1378	0.1202	0.4120	0.0695	
29	32.136	0.5370	0.4630	0.1131	0.4094	0.0536	-0.0811	0.3381	0.1249	0.1076	0.4074	0.0556	
30	31.720	0.5556	0.4444	0.0634	0.3912	0.0533	-0.1419	0.3159	0.1286	0.0573	0.3889	0.0555	
31	31.720	0.5741	0.4259	0.0634	0.3912	0.0348	-0.1419	0.3159	0.1101	0.0573	0.3889	0.0370	
32	31.096	0.5926	0.4074	-0.0112	0.3637	0.0437	-0.2330	0.2830	0.1244	-0.0182	0.3612	0.0462	
33	31.096	0.6111	0.3889	-0.0112	0.3637	0.0251	-0.2330	0.2830	0.1059	-0.0182	0.3612	0.0277	
34	30.992	0.6296	0.3704	-0.0237	0.3592	0.0112	-0.2482	0.2776	0.0928	-0.0308	0.3566	0.0138	
35	30.680	0.6481	0.3519	-0.0610	0.3455	0.0064	-0.2938	0.2615	0.0904	-0.0685	0.3427	0.0092	
36	30.368	0.6667	0.3333	-0.0983	0.3318	0.0016	-0.3393	0.2456	0.0877	-0.1063	0.3289	0.0045	
37	30.056	0.6852	0.3148	-0.1356	0.3182	0.0033	-0.3849	0.2300	0.0848	-0.1440	0.3151	0.0003	
38	29.640	0.7037	0.2963	-0.1853	0.3001	0.0038	-0.4457	0.2098	0.0865	-0.1943	0.2969	0.0006	
39	29.536	0.7222	0.2778	-0.1978	0.2956	0.0178	-0.4609	0.2049	0.0729	-0.2069	0.2923	0.0145	
40	29.536	0.7407	0.2593	-0.1978	0.2956	0.0364	-0.4609	0.2049	0.0544	-0.2069	0.2923	0.0331	
41	29.328	0.7593	0.2407	-0.2227	0.2867	0.0459	-0.4912	0.1951	0.0457	-0.2321	0.2833	0.0426	
42	28.704	0.7778	0.2222	-0.2973	0.2602	0.0380	-0.5824	0.1669	0.0553	-0.3076	0.2566	0.0344	
43	28.080	0.7963	0.2037	-0.3719	0.2345	0.0308	-0.6735	0.1407	0.0630	-0.3831	0.2307	0.0270	
44	28.080	0.8148	0.1852	-0.3719	0.2345	0.0493	-0.6735	0.1407	0.0445	-0.3831	0.2307	0.0455	
45	27.560	0.8333	0.1667	-0.4341	0.2136	0.0470	-0.7494	0.1205	0.0461	-0.4460	0.2097	0.0430	
46	26.624	0.8519	0.1481	-0.5460	0.1779	0.0298	-0.8861	0.0884	0.0597	-0.5592	0.1739	0.0257	
47	26.000	0.8704	0.1296	-0.6206	0.1557	0.0260	-0.9773	0.0701	0.0595	-0.6347	0.1516	0.0220	
48	25.688	0.8889	0.1111	-0.6579	0.1450	0.0339	-1.0228	0.0620	0.0491	-0.6725	0.1410	0.0299	
49	24.128	0.9074	0.0926	-0.8444	0.0976	0.0050	-1.2507	0.0304	0.0622	-0.8612	0.0939	0.0013	
50	23.296	0.9259	0.0741	-0.9439	0.0765	0.0025	-1.3722	0.0194	0.0547	-0.9619	0.0731	0.0010	
51	23.192	0.9444	0.0556	-0.9564	0.0741	0.0186	-1.3874	0.0182	0.0373	-0.9745	0.0707	0.0151	
52	22.672	0.9630	0.0370	-1.0185	0.0627	0.0257	-1.4633	0.0133	0.0237	-1.0374	0.0595	0.0225	
53	21.632	0.9815	0.0185	-1.1429	0.0435	0.0249	-1.6152	0.0065	0.0120	-1.1632	0.0408	0.0222	
n =	53					Dc =	0.1099		Dc =	0.1534		Dc =	0.1105
$\bar{X}$ =	36.017	$\alpha$ =	0.05			Dt =	0.1868		Dt =	0.1868		Dt =	0.1868
S =	10.726					Prueba =	Se acepta		Prueba =	Se acepta		Prueba =	Se acepta

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 6.8

Prueba de Kolmogorov-Smirnov de la distribución Log Gumbel de los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación CO 788-Capachica periodo 1957-2015

Orden m	$x_T$ (Observ) (mm)	Weibull		DISTRIBUCIÓN LOG GUMBEL								
		P(x)	$F_0(x_m)$	MOMENTOS			MÁX. VEROSIMILITUD			MOMENTOS LINEALES		
				y	F(y)	$ F_0(x_m) - F(y) $	y	F(y)	$ F_0(x_m) - F(y) $	y	F(y)	$ F_0(x_m) - F(y) $
1	65.728	0.0185	0.9815	3.5902	0.9728	0.0087	3.6945	0.9754	0.0060	3.4877	0.9699	0.0116
2	64.688	0.0370	0.9630	3.5151	0.9707	0.0077	3.6128	0.9734	0.0104	3.4152	0.9677	0.0047
3	60.528	0.0556	0.9444	3.2021	0.9601	0.0157	3.2722	0.9628	0.0183	3.1129	0.9565	0.0121
4	54.912	0.0741	0.9259	2.7437	0.9377	0.0118	2.7733	0.9395	0.0135	2.6700	0.9331	0.0072
5	54.080	0.0926	0.9074	2.6718	0.9332	0.0258	2.6951	0.9347	0.0273	2.6005	0.9285	0.0210
6	53.040	0.1111	0.8889	2.5803	0.9270	0.0382	2.5956	0.9281	0.0392	2.5122	0.9221	0.0332
7	52.000	0.1296	0.8704	2.4871	0.9202	0.0498	2.4941	0.9207	0.0504	2.4221	0.9151	0.0447
8	50.960	0.1481	0.8519	2.3920	0.9126	0.0608	2.3906	0.9125	0.0606	2.3303	0.9073	0.0555
9	47.424	0.1667	0.8333	2.0534	0.8796	0.0463	2.0222	0.8760	0.0427	2.0032	0.8738	0.0405
10	46.800	0.1852	0.8148	1.9910	0.8724	0.0575	1.9543	0.8679	0.0531	1.9429	0.8665	0.0517
11	42.640	0.2037	0.7963	1.5527	0.8092	0.0129	1.4774	0.7959	0.0004	1.5195	0.8035	0.0072
12	42.224	0.2222	0.7778	1.5065	0.8012	0.0234	1.4271	0.7866	0.0089	1.4749	0.7955	0.0177
13	41.600	0.2407	0.7593	1.4364	0.7884	0.0291	1.3508	0.7718	0.0125	1.4072	0.7828	0.0236
14	39.520	0.2593	0.7407	1.1949	0.7388	0.0019	1.0880	0.7140	0.0267	1.1739	0.7341	0.0067
15	38.792	0.2778	0.7222	1.1074	0.7186	0.0036	0.9928	0.6904	0.0319	1.0893	0.7143	0.0079
16	36.816	0.2963	0.7037	0.8612	0.6553	0.0484	0.7249	0.6161	0.0876	0.8515	0.6526	0.0511
17	36.712	0.3148	0.6852	0.8479	0.6516	0.0336	0.7104	0.6117	0.0734	0.8387	0.6490	0.0362
18	36.608	0.3333	0.6667	0.8345	0.6479	0.0188	0.6959	0.6074	0.0593	0.8258	0.6454	0.0213
19	36.400	0.3519	0.6481	0.8077	0.6403	0.0079	0.6667	0.5984	0.0497	0.7999	0.6380	0.0101
20	34.736	0.3704	0.6296	0.5874	0.5736	0.0560	0.4269	0.5207	0.1089	0.5870	0.5735	0.0561
21	34.736	0.3889	0.6111	0.5874	0.5736	0.0375	0.4269	0.5207	0.0904	0.5870	0.5735	0.0376
22	34.632	0.4074	0.5926	0.5733	0.5691	0.0235	0.4116	0.5155	0.0771	0.5734	0.5692	0.0234
23	34.320	0.4259	0.5741	0.5306	0.5553	0.0188	0.3652	0.4995	0.0745	0.5322	0.5558	0.0182
24	34.216	0.4444	0.5556	0.5164	0.5506	0.0049	0.3496	0.4941	0.0614	0.5184	0.5513	0.0042
25	33.696	0.4630	0.5370	0.4442	0.5266	0.0104	0.2712	0.4665	0.0705	0.4488	0.5281	0.0089
26	32.864	0.4815	0.5185	0.3265	0.4861	0.0325	0.1431	0.4203	0.0982	0.3351	0.4890	0.0295
27	32.448	0.5000	0.5000	0.2665	0.4649	0.0351	0.0778	0.3965	0.1035	0.2771	0.4686	0.0314
28	32.240	0.5185	0.4815	0.2363	0.4540	0.0274	0.0449	0.3844	0.0971	0.2479	0.4582	0.0233
29	32.136	0.5370	0.4630	0.2211	0.4486	0.0144	0.0283	0.3783	0.0847	0.2332	0.4529	0.0100
30	31.720	0.5556	0.4444	0.1597	0.4264	0.0181	-0.0385	0.3537	0.0907	0.1739	0.4315	0.0129
31	31.720	0.5741	0.4259	0.1597	0.4264	0.0005	-0.0385	0.3537	0.0722	0.1739	0.4315	0.0056
32	31.096	0.5926	0.4074	0.0662	0.3922	0.0152	-0.1403	0.3165	0.0909	0.0835	0.3986	0.0088
33	31.096	0.6111	0.3889	0.0662	0.3922	0.0033	-0.1403	0.3165	0.0724	0.0835	0.3986	0.0097
34	30.992	0.6296	0.3704	0.0504	0.3864	0.0160	-0.1574	0.3102	0.0602	0.0683	0.3930	0.0226
35	30.680	0.6481	0.3519	0.0027	0.3689	0.0170	-0.2093	0.2915	0.0604	0.0223	0.3761	0.0242
36	30.368	0.6667	0.3333	-0.0454	0.3512	0.0179	-0.2616	0.2728	0.0605	-0.0242	0.3590	0.0256
37	30.056	0.6852	0.3148	-0.0940	0.3333	0.0185	-0.3145	0.2542	0.0606	-0.0712	0.3417	0.0269
38	29.640	0.7037	0.2963	-0.1596	0.3094	0.0131	-0.3860	0.2297	0.0666	-0.1346	0.3185	0.0222
39	29.536	0.7222	0.2778	-0.1762	0.3034	0.0256	-0.4040	0.2236	0.0541	-0.1506	0.3127	0.0349
40	29.536	0.7407	0.2593	-0.1762	0.3034	0.0442	-0.4040	0.2236	0.0356	-0.1506	0.3127	0.0534
41	29.328	0.7593	0.2407	-0.2095	0.2914	0.0507	-0.4402	0.2116	0.0291	-0.1827	0.3011	0.0603
42	28.704	0.7778	0.2222	-0.3107	0.2555	0.0333	-0.5504	0.1766	0.0456	-0.2805	0.2661	0.0439
43	28.080	0.7963	0.2037	-0.4142	0.2202	0.0165	-0.6630	0.1436	0.0601	-0.3805	0.2315	0.0278
44	28.080	0.8148	0.1852	-0.4142	0.2202	0.0350	-0.6630	0.1436	0.0416	-0.3805	0.2315	0.0464
45	27.560	0.8333	0.1667	-0.5022	0.1916	0.0249	-0.7587	0.1182	0.0485	-0.4655	0.2033	0.0367
46	26.624	0.8519	0.1481	-0.6649	0.1431	0.0051	-0.9358	0.0781	0.0700	-0.6227	0.1551	0.0069
47	26.000	0.8704	0.1296	-0.7766	0.1137	0.0159	-1.0573	0.0562	0.0734	-0.7305	0.1254	0.0042
48	25.688	0.8889	0.1111	-0.8334	0.1001	0.0110	-1.1192	0.0468	0.0643	-0.7855	0.1115	0.0004
49	24.128	0.9074	0.0926	-1.1284	0.0455	0.0471	-1.4402	0.0147	0.0779	-1.0704	0.0541	0.0385
50	23.296	0.9259	0.0741	-1.2936	0.0261	0.0480	-1.6199	0.0064	0.0677	-1.2300	0.0327	0.0414
51	23.192	0.9444	0.0556	-1.3147	0.0241	0.0314	-1.6429	0.0057	0.0499	-1.2504	0.0305	0.0251
52	22.672	0.9630	0.0370	-1.4215	0.0159	0.0212	-1.7591	0.0030	0.0340	-1.3535	0.0208	0.0162
53	21.632	0.9815	0.0185	-1.6426	0.0057	0.0128	-1.9997	0.0006	0.0179	-1.5671	0.0083	0.0102
n =	53			Dc =	0.0608		Dc =	0.1089		Dc =	0.0603	
$\bar{X}$ =	36.017	$\alpha$ =	0.05	Dt =	0.1868		Dt =	0.1868		Dt =	0.1868	
S =	10.726			Prueba =	Se acepta		Prueba =	Se acepta		Prueba =	Se acepta	

Fuente: Elaboración propia, 2018.

# Anexo 7

## Parámetros de regresión lineal múltiple

**Tabla 7.1**  
**Parámetros de regresión de la ecuación IDT (3.1) de la estación CO 788-Capachica**

N°	I (mm/h)	T (años)	D (min)	Y=Log(I)	X <sub>1</sub> =Log(T)	X <sub>2</sub> =Log(D)	X <sub>1</sub> *Y	X <sub>2</sub> *Y	(X <sub>1</sub> ) <sup>2</sup>	(X <sub>2</sub> ) <sup>2</sup>	X <sub>1</sub> *X <sub>2</sub>
1	95.84	2	5	1.9815	0.3010	0.6990	0.5965	1.3850	0.0906	0.4886	0.2104
2	126.74	5	5	2.1029	0.6990	0.6990	1.4699	1.4699	0.4886	0.4886	0.4886
3	149.17	10	5	2.1737	1.0000	0.6990	2.1737	1.5193	1.0000	0.4886	0.6990
4	178.53	25	5	2.2517	1.3979	0.6990	3.1478	1.5739	1.9542	0.4886	0.9771
5	200.76	50	5	2.3027	1.6990	0.6990	3.9122	1.6095	2.8865	0.4886	1.1875
6	223.10	100	5	2.3485	2.0000	0.6990	4.6970	1.6415	4.0000	0.4886	1.3979
7	56.98	2	10	1.7557	0.3010	1.0000	0.5285	1.7557	0.0906	1.0000	0.3010
8	75.36	5	10	1.8771	0.6990	1.0000	1.3121	1.8771	0.4886	1.0000	0.6990
9	88.70	10	10	1.9479	1.0000	1.0000	1.9479	1.9479	1.0000	1.0000	1.0000
10	106.16	25	10	2.0260	1.3979	1.0000	2.8322	2.0260	1.9542	1.0000	1.3979
11	119.37	50	10	2.0769	1.6990	1.0000	3.5286	2.0769	2.8865	1.0000	1.6990
12	132.66	100	10	2.1227	2.0000	1.0000	4.2455	2.1227	4.0000	1.0000	2.0000
13	42.04	2	15	1.6237	0.3010	1.1761	0.4888	1.9096	0.0906	1.3832	0.3540
14	55.60	5	15	1.7451	0.6990	1.1761	1.2198	2.0524	0.4886	1.3832	0.8221
15	65.44	10	15	1.8158	1.0000	1.1761	1.8158	2.1356	1.0000	1.3832	1.1761
16	78.32	25	15	1.8939	1.3979	1.1761	2.6475	2.2274	1.9542	1.3832	1.6441
17	88.07	50	15	1.9448	1.6990	1.1761	3.3042	2.2873	2.8865	1.3832	1.9981
18	97.87	100	15	1.9906	2.0000	1.1761	3.9813	2.3412	4.0000	1.3832	2.3522
19	33.88	2	20	1.5299	0.3010	1.3010	0.4606	1.9905	0.0906	1.6927	0.3916
20	44.81	5	20	1.6514	0.6990	1.3010	1.1543	2.1485	0.4886	1.6927	0.9094
21	52.74	10	20	1.7221	1.0000	1.3010	1.7221	2.2406	1.0000	1.6927	1.3010
22	63.12	25	20	1.8002	1.3979	1.3010	2.5165	2.3421	1.9542	1.6927	1.8188
23	70.98	50	20	1.8511	1.6990	1.3010	3.1450	2.4084	2.8865	1.6927	2.2104
24	78.88	100	20	1.8970	2.0000	1.3010	3.7939	2.4680	4.0000	1.6927	2.6021
25	28.66	2	25	1.4573	0.3010	1.3979	0.4387	2.0372	0.0906	1.9542	0.4208
48	46.90	100	40	1.6712	2.0000	1.6021	3.3423	2.6773	4.0000	2.5666	3.2041
49	17.04	2	50	1.2315	0.3010	1.6990	0.3707	2.0922	0.0906	2.8865	0.5114
50	22.54	5	50	1.3530	0.6990	1.6990	0.9457	2.2986	0.4886	2.8865	1.1875
51	26.53	10	50	1.4237	1.0000	1.6990	1.4237	2.4189	1.0000	2.8865	1.6990
52	31.75	25	50	1.5017	1.3979	1.6990	2.0993	2.5514	1.9542	2.8865	2.3751
53	35.70	50	50	1.5527	1.6990	1.6990	2.6379	2.6379	2.8865	2.8865	2.8865
54	39.67	100	50	1.5985	2.0000	1.6990	3.1969	2.7157	4.0000	2.8865	3.3979
55	14.86	2	60	1.1720	0.3010	1.7782	0.3528	2.0840	0.0906	3.1618	0.5353
56	19.66	5	60	1.2936	0.6990	1.7782	0.9042	2.3002	0.4886	3.1618	1.2429
57	23.14	10	60	1.3644	1.0000	1.7782	1.3644	2.4260	1.0000	3.1618	1.7782
58	27.69	25	60	1.4423	1.3979	1.7782	2.0163	2.5647	1.9542	3.1618	2.4857
59	31.14	50	60	1.4933	1.6990	1.7782	2.5371	2.6553	2.8865	3.1618	3.0210
60	34.60	100	60	1.5391	2.0000	1.7782	3.0782	2.7367	4.0000	3.1618	3.5563
61	10.97	2	90	1.0402	0.3010	1.9542	0.3131	2.0328	0.0906	3.8191	0.5883
62	14.50	5	90	1.1614	0.6990	1.9542	0.8118	2.2696	0.4886	3.8191	1.3660
63	17.07	10	90	1.2322	1.0000	1.9542	1.2322	2.4081	1.0000	3.8191	1.9542
64	20.43	25	90	1.3103	1.3979	1.9542	1.8317	2.5606	1.9542	3.8191	2.7319
65	22.97	50	90	1.3612	1.6990	1.9542	2.3126	2.6600	2.8865	3.8191	3.3202
66	25.53	100	90	1.4071	2.0000	1.9542	2.8141	2.7497	4.0000	3.8191	3.9085
67	8.84	2	120	0.9465	0.3010	2.0792	0.2849	1.9678	0.0906	4.3230	0.6259
68	11.69	5	120	1.0678	0.6990	2.0792	0.7464	2.2202	0.4886	4.3230	1.4533
69	13.76	10	120	1.1386	1.0000	2.0792	1.1386	2.3674	1.0000	4.3230	2.0792
70	16.47	25	120	1.2167	1.3979	2.0792	1.7009	2.5297	1.9542	4.3230	2.9066
71	18.51	50	120	1.2674	1.6990	2.0792	2.1533	2.6352	2.8865	4.3230	3.5325
72	20.58	100	120	1.3134	2.0000	2.0792	2.6269	2.7309	4.0000	4.3230	4.1584
SUMATORIA				115.9916	85.1629	106.2470	142.3558	163.4636	125.0390	167.0500	125.6708

Fuente: Elaboración propia, 2018.

**Tabla 7.2**  
**Parámetros de regresión de la ecuación IDT (3.2) de la estación CO 788-Capachica**

N°	I (mm/h)	T (años)	D (min)	Y=Log(I)	X <sub>1</sub> =Log(T)	X <sub>2</sub> =Log(D)	X <sub>1</sub> *Y	X <sub>2</sub> *Y	(X <sub>1</sub> ) <sup>2</sup>	(X <sub>2</sub> ) <sup>2</sup>	X <sub>1</sub> *X <sub>2</sub>
1	35.53	2.00	5	1.5506	0.3010	0.6990	0.4668	1.0838	0.0906	0.4886	0.2104
2	45.80	5.00	5	1.6609	0.6990	0.6990	1.1609	1.1609	0.4886	0.4886	0.4886
3	53.57	10.00	5	1.7289	1.0000	0.6990	1.7289	1.2085	1.0000	0.4886	0.6990
4	63.84	25.00	5	1.8051	1.3979	0.6990	2.5234	1.2617	1.9542	0.4886	0.9771
5	71.61	50.00	5	1.8550	1.6990	0.6990	3.1515	1.2966	2.8865	0.4886	1.1875
6	79.38	100.00	5	1.8997	2.0000	0.6990	3.7994	1.3278	4.0000	0.4886	1.3979
7	26.59	2.00	10	1.4247	0.3010	1.0000	0.4289	1.4247	0.0906	1.0000	0.3010
8	34.28	5.00	10	1.5350	0.6990	1.0000	1.0729	1.5350	0.4886	1.0000	0.6990
9	40.09	10.00	10	1.6030	1.0000	1.0000	1.6030	1.6030	1.0000	1.0000	1.0000
10	47.78	25.00	10	1.6792	1.3979	1.0000	2.3475	1.6792	1.9542	1.0000	1.3979
11	53.59	50.00	10	1.7291	1.6990	1.0000	2.9377	1.7291	2.8865	1.0000	1.6990
12	59.41	100.00	10	1.7739	2.0000	1.0000	3.5477	1.7739	4.0000	1.0000	2.0000
13	21.67	2.00	15	1.3359	0.3010	1.1761	0.4021	1.5711	0.0906	1.3832	0.3540
14	27.94	5.00	15	1.4462	0.6990	1.1761	1.0109	1.7009	0.4886	1.3832	0.8221
15	32.68	10.00	15	1.5143	1.0000	1.1761	1.5143	1.7809	1.0000	1.3832	1.1761
16	38.94	25.00	15	1.5904	1.3979	1.1761	2.2233	1.8705	1.9542	1.3832	1.6441
17	43.68	50.00	15	1.6403	1.6990	1.1761	2.7868	1.9291	2.8865	1.3832	1.9981
18	48.42	100.00	15	1.6850	2.0000	1.1761	3.3700	1.9817	4.0000	1.3832	2.3522
19	18.54	2.00	20	1.2681	0.3010	1.3010	0.3817	1.6498	0.0906	1.6927	0.3916
20	23.90	5.00	20	1.3784	0.6990	1.3010	0.9635	1.7933	0.4886	1.6927	0.9094
21	27.96	10.00	20	1.4465	1.0000	1.3010	1.4465	1.8820	1.0000	1.6927	1.3010
22	33.32	25.00	20	1.5227	1.3979	1.3010	2.1287	1.9811	1.9542	1.6927	1.8188
23	37.37	50.00	20	1.5725	1.6990	1.3010	2.6717	2.0459	2.8865	1.6927	2.2104
24	41.43	100.00	20	1.6173	2.0000	1.3010	3.2346	2.1042	4.0000	1.6927	2.6021
25	16.35	2.00	25	1.2135	0.3010	1.3979	0.3653	1.6964	0.0906	1.9542	0.4208
48	27.69	100.00	40	1.4423	2.0000	1.6021	2.8846	2.3107	4.0000	2.5666	3.2041
49	10.81	2.00	50	1.0338	0.3010	1.6990	0.3112	1.7564	0.0906	2.8865	0.5114
50	13.94	5.00	50	1.1443	0.6990	1.6990	0.7998	1.9441	0.4886	2.8865	1.1875
51	16.30	10.00	50	1.2122	1.0000	1.6990	1.2122	2.0595	1.0000	2.8865	1.6990
52	19.43	25.00	50	1.2885	1.3979	1.6990	1.8012	2.1891	1.9542	2.8865	2.3751
53	21.80	50.00	50	1.3385	1.6990	1.6990	2.2740	2.2740	2.8865	2.8865	2.8865
54	24.16	100.00	50	1.3831	2.0000	1.6990	2.7662	2.3498	4.0000	2.8865	3.3979
55	9.66	2.00	60	0.9850	0.3010	1.7782	0.2965	1.7514	0.0906	3.1618	0.5353
56	12.45	5.00	60	1.0952	0.6990	1.7782	0.7655	1.9474	0.4886	3.1618	1.2429
57	14.56	10.00	60	1.1632	1.0000	1.7782	1.1632	2.0683	1.0000	3.1618	1.7782
58	17.35	25.00	60	1.2393	1.3979	1.7782	1.7325	2.2037	1.9542	3.1618	2.4857
59	19.46	50.00	60	1.2891	1.6990	1.7782	2.1902	2.2923	2.8865	3.1618	3.0210
60	21.57	100.00	60	1.3339	2.0000	1.7782	2.6677	2.3718	4.0000	3.1618	3.5563
61	7.47	2.00	90	0.8733	0.3010	1.9542	0.2629	1.7067	0.0906	3.8191	0.5883
62	9.62	5.00	90	0.9832	0.6990	1.9542	0.6872	1.9214	0.4886	3.8191	1.3660
63	11.26	10.00	90	1.0515	1.0000	1.9542	1.0515	2.0550	1.0000	3.8191	1.9542
64	13.42	25.00	90	1.1278	1.3979	1.9542	1.5765	2.2039	1.9542	3.8191	2.7319
65	15.05	50.00	90	1.1775	1.6990	1.9542	2.0006	2.3012	2.8865	3.8191	3.3202
66	16.68	100.00	90	1.2222	2.0000	1.9542	2.4444	2.3885	4.0000	3.8191	3.9085
67	6.20	2.00	120	0.7924	0.3010	2.0792	0.2385	1.6475	0.0906	4.3230	0.6259
68	7.99	5.00	120	0.9025	0.6990	2.0792	0.6309	1.8766	0.4886	4.3230	1.4533
69	9.34	10.00	120	0.9703	1.0000	2.0792	0.9703	2.0175	1.0000	4.3230	2.0792
70	11.14	25.00	120	1.0469	1.3979	2.0792	1.4635	2.1767	1.9542	4.3230	2.9066
71	12.49	50.00	120	1.0966	1.6990	2.0792	1.8630	2.2800	2.8865	4.3230	3.5325
72	13.85	100.00	120	1.1414	2.0000	2.0792	2.2829	2.3733	4.0000	4.3230	4.1584
SUMATORIA				97.5540	85.1629	106.2470	120.3230	138.2197	125.0390	167.0500	125.6708

Fuente: Elaboración propia, 2018.



Tabla 7.3

Parámetros de regresión de la ecuación IDT (3.3) de la estación CO 788-Capachica

N°	I (mm/h)	T (años)	D (min)	Y=Log(I)	X <sub>1</sub> =Log(T)	X <sub>2</sub> =Log(D)	X <sub>1</sub> *Y	X <sub>2</sub> *Y	(X <sub>1</sub> ) <sup>2</sup>	(X <sub>2</sub> ) <sup>2</sup>	X <sub>1</sub> *X <sub>2</sub>
1	56.82	2.00	5	1.7545	0.3010	0.6990	0.5282	1.2263	0.0906	0.4886	0.2104
2	73.25	5.00	5	1.8648	0.6990	0.6990	1.3034	1.3034	0.4886	0.4886	0.4886
3	85.67	10.00	5	1.9328	1.0000	0.6990	1.9328	1.3510	1.0000	0.4886	0.6990
4	102.10	25.00	5	2.0090	1.3979	0.6990	2.8085	1.4042	1.9542	0.4886	0.9771
5	114.53	50.00	5	2.0589	1.6990	0.6990	3.4980	1.4391	2.8865	0.4886	1.1875
6	126.95	100.00	5	2.1036	2.0000	0.6990	4.2073	1.4704	4.0000	0.4886	1.3979
7	42.53	2.00	10	1.6287	0.3010	1.0000	0.4903	1.6287	0.0906	1.0000	0.3010
8	54.82	5.00	10	1.7389	0.6990	1.0000	1.2155	1.7389	0.4886	1.0000	0.6990
9	64.12	10.00	10	1.8070	1.0000	1.0000	1.8070	1.8070	1.0000	1.0000	1.0000
10	76.42	25.00	10	1.8832	1.3979	1.0000	2.6326	1.8832	1.9542	1.0000	1.3979
11	85.72	50.00	10	1.9331	1.6990	1.0000	3.2842	1.9331	2.8865	1.0000	1.6990
12	95.02	100.00	10	1.9778	2.0000	1.0000	3.9556	1.9778	4.0000	1.0000	2.0000
13	34.66	2.00	15	1.5398	0.3010	1.1761	0.4635	1.8110	0.0906	1.3832	0.3540
14	44.68	5.00	15	1.6501	0.6990	1.1761	1.1534	1.9407	0.4886	1.3832	0.8221
15	52.26	10.00	15	1.7182	1.0000	1.1761	1.7182	2.0207	1.0000	1.3832	1.1761
16	62.28	25.00	15	1.7943	1.3979	1.1761	2.5084	2.1103	1.9542	1.3832	1.6441
17	69.86	50.00	15	1.8442	1.6990	1.1761	3.1333	2.1690	2.8865	1.3832	1.9981
18	77.44	100.00	15	1.8890	2.0000	1.1761	3.7779	2.2216	4.0000	1.3832	2.3522
19	29.66	2.00	20	1.4722	0.3010	1.3010	0.4432	1.9153	0.0906	1.6927	0.3916
20	38.23	5.00	20	1.5824	0.6990	1.3010	1.1061	2.0588	0.4886	1.6927	0.9094
21	44.72	10.00	20	1.6505	1.0000	1.3010	1.6505	2.1474	1.0000	1.6927	1.3010
22	53.29	25.00	20	1.7266	1.3979	1.3010	2.4137	2.2464	1.9542	1.6927	1.8188
23	59.78	50.00	20	1.7766	1.6990	1.3010	3.0183	2.3114	2.8865	1.6927	2.2104
24	66.26	100.00	20	1.8213	2.0000	1.3010	3.6425	2.3695	4.0000	1.6927	2.6021
25	26.15	2.00	25	1.4175	0.3010	1.3979	0.4267	1.9815	0.0906	1.9542	0.4208
48	44.28	100.00	40	1.6462	2.0000	1.6021	3.2924	2.6373	4.0000	2.5666	3.2041
49	17.29	2.00	50	1.2378	0.3010	1.6990	0.3726	2.1030	0.0906	2.8865	0.5114
50	22.30	5.00	50	1.3483	0.6990	1.6990	0.9424	2.2907	0.4886	2.8865	1.1875
51	26.08	10.00	50	1.4163	1.0000	1.6990	1.4163	2.4063	1.0000	2.8865	1.6990
52	31.08	25.00	50	1.4925	1.3979	1.6990	2.0864	2.5357	1.9542	2.8865	2.3751
53	34.86	50.00	50	1.5423	1.6990	1.6990	2.6204	2.6204	2.8865	2.8865	2.8865
54	38.64	100.00	50	1.5870	2.0000	1.6990	3.1741	2.6963	4.0000	2.8865	3.3979
55	15.44	2.00	60	1.1886	0.3010	1.7782	0.3578	2.1136	0.0906	3.1618	0.5353
56	19.91	5.00	60	1.2991	0.6990	1.7782	0.9080	2.3099	0.4886	3.1618	1.2429
57	23.29	10.00	60	1.3672	1.0000	1.7782	1.3672	2.4310	1.0000	3.1618	1.7782
58	27.75	25.00	60	1.4433	1.3979	1.7782	2.0176	2.5663	1.9542	3.1618	2.4857
59	31.13	50.00	60	1.4932	1.6990	1.7782	2.5369	2.6551	2.8865	3.1618	3.0210
60	34.51	100.00	60	1.5379	2.0000	1.7782	3.0759	2.7347	4.0000	3.1618	3.5563
61	11.94	2.00	90	1.0770	0.3010	1.9542	0.3242	2.1047	0.0906	3.8191	0.5883
62	15.39	5.00	90	1.1872	0.6990	1.9542	0.8298	2.3202	0.4886	3.8191	1.3660
63	18.01	10.00	90	1.2555	1.0000	1.9542	1.2555	2.4536	1.0000	3.8191	1.9542
64	21.46	25.00	90	1.3316	1.3979	1.9542	1.8615	2.6023	1.9542	3.8191	2.7319
65	24.07	50.00	90	1.3815	1.6990	1.9542	2.3471	2.6997	2.8865	3.8191	3.3202
66	26.68	100.00	90	1.4262	2.0000	1.9542	2.8524	2.7871	4.0000	3.8191	3.9085
67	9.91	2.00	120	0.9961	0.3010	2.0792	0.2998	2.0710	0.0906	4.3230	0.6259
68	12.78	5.00	120	1.1065	0.6990	2.0792	0.7734	2.3007	0.4886	4.3230	1.4533
69	14.94	10.00	120	1.1744	1.0000	2.0792	1.1744	2.4417	1.0000	4.3230	2.0792
70	17.81	25.00	120	1.2507	1.3979	2.0792	1.7484	2.6004	1.9542	4.3230	2.9066
71	19.98	50.00	120	1.3006	1.6990	2.0792	2.2097	2.7042	2.8865	4.3230	3.5325
72	22.15	100.00	120	1.3454	2.0000	2.0792	2.6907	2.7973	4.0000	4.3230	4.1584
SUMATORIA				112.2379	85.1629	106.2470	137.6920	159.8878	125.0390	167.0500	125.6708

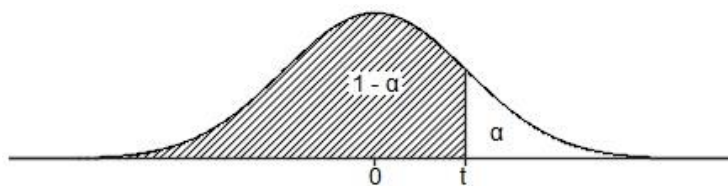
Fuente: Elaboración propia, 2018.

# Anexo 8

## Tablas estadísticas

**Tabla 8.1**  
**Distribución t de Student (unilateral cola derecha)**

La tabla de áreas  $1-\alpha$  y valores  $t_{1-\alpha, v}$ , donde  $P(T \leq t) = 1 - \alpha$ , y donde T tiene distribución t -Student con v grados de libertad.

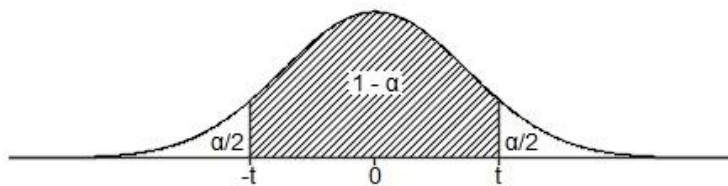


v	Probabilidad (P = 1 - α)										
	t <sub>0.995</sub>	t <sub>0.990</sub>	t <sub>0.975</sub>	t <sub>0.950</sub>	t <sub>0.900</sub>	t <sub>0.850</sub>	t <sub>0.800</sub>	t <sub>0.750</sub>	t <sub>0.700</sub>	t <sub>0.600</sub>	t <sub>0.550</sub>
1	63.6567	31.8205	12.7062	6.3138	3.0777	1.9626	1.3764	1.0000	0.7265	0.3249	0.1584
2	9.9248	6.9646	4.3027	2.9200	1.8856	1.3862	1.0607	0.8165	0.6172	0.2887	0.1421
3	5.8409	4.5407	3.1824	2.3534	1.6377	1.2498	0.9785	0.7649	0.5844	0.2767	0.1366
4	4.6041	3.7469	2.7764	2.1318	1.5332	1.1896	0.9410	0.7407	0.5686	0.2707	0.1338
5	4.0321	3.3649	2.5706	2.0150	1.4759	1.1558	0.9195	0.7267	0.5594	0.2672	0.1322
6	3.7074	3.1427	2.4469	1.9432	1.4398	1.1342	0.9057	0.7176	0.5534	0.2648	0.1311
7	3.4995	2.9980	2.3646	1.8946	1.4149	1.1192	0.8960	0.7111	0.5491	0.2632	0.1303
8	3.3554	2.8965	2.3060	1.8595	1.3968	1.1081	0.8889	0.7064	0.5459	0.2619	0.1297
9	3.2498	2.8214	2.2622	1.8331	1.3830	1.0997	0.8834	0.7027	0.5435	0.2610	0.1293
10	3.1693	2.7638	2.2281	1.8125	1.3722	1.0931	0.8791	0.6998	0.5415	0.2602	0.1289
11	3.1058	2.7181	2.2010	1.7959	1.3634	1.0877	0.8755	0.6974	0.5399	0.2596	0.1286
12	3.0545	2.6810	2.1788	1.7823	1.3562	1.0832	0.8726	0.6955	0.5386	0.2590	0.1283
13	3.0123	2.6503	2.1604	1.7709	1.3502	1.0795	0.8702	0.6938	0.5375	0.2586	0.1281
14	2.9768	2.6245	2.1448	1.7613	1.3450	1.0763	0.8681	0.6924	0.5366	0.2582	0.1280
15	2.9467	2.6025	2.1314	1.7531	1.3406	1.0735	0.8662	0.6912	0.5357	0.2579	0.1278
16	2.9208	2.5835	2.1199	1.7459	1.3368	1.0711	0.8647	0.6901	0.5350	0.2576	0.1277
17	2.8982	2.5669	2.1098	1.7396	1.3334	1.0690	0.8633	0.6892	0.5344	0.2573	0.1276
18	2.8784	2.5524	2.1009	1.7341	1.3304	1.0672	0.8620	0.6884	0.5338	0.2571	0.1274
19	2.8609	2.5395	2.0930	1.7291	1.3277	1.0655	0.8610	0.6876	0.5333	0.2569	0.1274
20	2.8453	2.5280	2.0860	1.7247	1.3253	1.0640	0.8600	0.6870	0.5329	0.2567	0.1273
21	2.8314	2.5176	2.0796	1.7207	1.3232	1.0627	0.8591	0.6864	0.5325	0.2566	0.1272
22	2.8188	2.5083	2.0739	1.7171	1.3212	1.0614	0.8583	0.6858	0.5321	0.2564	0.1271
23	2.8073	2.4999	2.0687	1.7139	1.3195	1.0603	0.8575	0.6853	0.5317	0.2563	0.1271
24	2.7969	2.4922	2.0639	1.7109	1.3178	1.0593	0.8569	0.6848	0.5314	0.2562	0.1270
25	2.7874	2.4851	2.0595	1.7081	1.3163	1.0584	0.8562	0.6844	0.5312	0.2561	0.1269
26	2.7787	2.4786	2.0555	1.7056	1.3150	1.0575	0.8557	0.6840	0.5309	0.2560	0.1269
27	2.7707	2.4727	2.0518	1.7033	1.3137	1.0567	0.8551	0.6837	0.5306	0.2559	0.1268
28	2.7633	2.4671	2.0484	1.7011	1.3125	1.0560	0.8546	0.6834	0.5304	0.2558	0.1268
29	2.7564	2.4620	2.0452	1.6991	1.3114	1.0553	0.8542	0.6830	0.5302	0.2557	0.1268
30	2.7500	2.4573	2.0423	1.6973	1.3104	1.0547	0.8538	0.6828	0.5300	0.2556	0.1267
40	2.7045	2.4233	2.0211	1.6839	1.3031	1.0500	0.8507	0.6807	0.5286	0.2550	0.1265
50	2.6778	2.4033	2.0086	1.6759	1.2987	1.0473	0.8489	0.6794	0.5278	0.2547	0.1263
60	2.6603	2.3901	2.0003	1.6706	1.2958	1.0455	0.8477	0.6786	0.5272	0.2545	0.1262
70	2.6479	2.3808	1.9944	1.6669	1.2938	1.0442	0.8468	0.6780	0.5268	0.2543	0.1261
80	2.6387	2.3739	1.9901	1.6641	1.2922	1.0432	0.8461	0.6776	0.5265	0.2542	0.1261
120	2.6174	2.3578	1.9799	1.6577	1.2886	1.0409	0.8446	0.6765	0.5258	0.2539	0.1259
∞	2.5808	2.3301	1.9623	1.6464	1.2824	1.0370	0.8420	0.6747	0.5246	0.2534	0.1257

Fuente: Elaboración propia, valores obtenidos con la función estadística de Excel.

Tabla 8.2  
 Distribución t de Student (bilateral)

La tabla de áreas  $1-\alpha$  y valores  $t_{1-\alpha, v}$ , donde  $P(-t \leq T \leq t) = 1 - \alpha$ , y donde T tiene distribución t-Student con v grados de libertad.

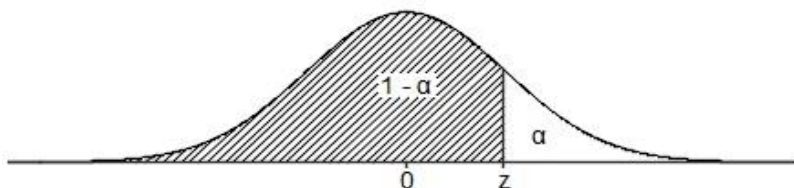


v	Probabilidad (P = 1 - α)										
	t <sub>0.995</sub>	t <sub>0.990</sub>	t <sub>0.975</sub>	t <sub>0.950</sub>	t <sub>0.900</sub>	t <sub>0.850</sub>	t <sub>0.800</sub>	t <sub>0.750</sub>	t <sub>0.700</sub>	t <sub>0.600</sub>	t <sub>0.550</sub>
1	127.3213	63.6567	25.4517	12.7062	6.3138	4.1653	3.0777	2.4142	1.9626	1.3764	1.1708
2	14.0890	9.9248	6.2053	4.3027	2.9200	2.2819	1.8856	1.6036	1.3862	1.0607	0.9313
3	7.4533	5.8409	4.1765	3.1824	2.3534	1.9243	1.6377	1.4226	1.2498	0.9785	0.8664
4	5.5976	4.6041	3.4954	2.7764	2.1318	1.7782	1.5332	1.3444	1.1896	0.9410	0.8364
5	4.7733	4.0321	3.1634	2.5706	2.0150	1.6994	1.4759	1.3009	1.1558	0.9195	0.8191
6	4.3168	3.7074	2.9687	2.4469	1.9432	1.6502	1.4398	1.2733	1.1342	0.9057	0.8079
7	4.0293	3.4995	2.8412	2.3646	1.8946	1.6166	1.4149	1.2543	1.1192	0.8960	0.8000
8	3.8325	3.3554	2.7515	2.3060	1.8595	1.5922	1.3968	1.2403	1.1081	0.8889	0.7942
9	3.6897	3.2498	2.6850	2.2622	1.8331	1.5737	1.3830	1.2297	1.0997	0.8834	0.7897
10	3.5814	3.1693	2.6338	2.2281	1.8125	1.5592	1.3722	1.2213	1.0931	0.8791	0.7862
11	3.4966	3.1058	2.5931	2.2010	1.7959	1.5476	1.3634	1.2145	1.0877	0.8755	0.7833
12	3.4284	3.0545	2.5600	2.1788	1.7823	1.5380	1.3562	1.2089	1.0832	0.8726	0.7809
13	3.3725	3.0123	2.5326	2.1604	1.7709	1.5299	1.3502	1.2041	1.0795	0.8702	0.7789
14	3.3257	2.9768	2.5096	2.1448	1.7613	1.5231	1.3450	1.2001	1.0763	0.8681	0.7772
15	3.2860	2.9467	2.4899	2.1314	1.7531	1.5172	1.3406	1.1967	1.0735	0.8662	0.7757
16	3.2520	2.9208	2.4729	2.1199	1.7459	1.5121	1.3368	1.1937	1.0711	0.8647	0.7744
17	3.2224	2.8982	2.4581	2.1098	1.7396	1.5077	1.3334	1.1910	1.0690	0.8633	0.7732
18	3.1966	2.8784	2.4450	2.1009	1.7341	1.5037	1.3304	1.1887	1.0672	0.8620	0.7722
19	3.1737	2.8609	2.4334	2.0930	1.7291	1.5002	1.3277	1.1866	1.0655	0.8610	0.7713
20	3.1534	2.8453	2.4231	2.0860	1.7247	1.4970	1.3253	1.1848	1.0640	0.8600	0.7705
21	3.1352	2.8314	2.4138	2.0796	1.7207	1.4942	1.3232	1.1831	1.0627	0.8591	0.7698
22	3.1188	2.8188	2.4055	2.0739	1.7171	1.4916	1.3212	1.1815	1.0614	0.8583	0.7691
23	3.1040	2.8073	2.3979	2.0687	1.7139	1.4893	1.3195	1.1802	1.0603	0.8575	0.7685
24	3.0905	2.7969	2.3909	2.0639	1.7109	1.4871	1.3178	1.1789	1.0593	0.8569	0.7680
25	3.0782	2.7874	2.3846	2.0595	1.7081	1.4852	1.3163	1.1777	1.0584	0.8562	0.7675
26	3.0669	2.7787	2.3788	2.0555	1.7056	1.4834	1.3150	1.1766	1.0575	0.8557	0.7670
27	3.0565	2.7707	2.3734	2.0518	1.7033	1.4817	1.3137	1.1756	1.0567	0.8551	0.7665
28	3.0469	2.7633	2.3685	2.0484	1.7011	1.4801	1.3125	1.1747	1.0560	0.8546	0.7661
29	3.0380	2.7564	2.3638	2.0452	1.6991	1.4787	1.3114	1.1739	1.0553	0.8542	0.7658
30	3.0298	2.7500	2.3596	2.0423	1.6973	1.4774	1.3104	1.1731	1.0547	0.8538	0.7654
40	2.9712	2.7045	2.3289	2.0211	1.6839	1.4677	1.3031	1.1673	1.0500	0.8507	0.7629
50	2.9370	2.6778	2.3109	2.0086	1.6759	1.4620	1.2987	1.1639	1.0473	0.8489	0.7614
60	2.9146	2.6603	2.2990	2.0003	1.6706	1.4582	1.2958	1.1616	1.0455	0.8477	0.7604
70	2.8987	2.6479	2.2906	1.9944	1.6669	1.4555	1.2938	1.1600	1.0442	0.8468	0.7597
80	2.8870	2.6387	2.2844	1.9901	1.6641	1.4535	1.2922	1.1588	1.0432	0.8461	0.7591
120	2.8599	2.6174	2.2699	1.9799	1.6577	1.4488	1.2886	1.1559	1.0409	0.8446	0.7579
∞	2.8133	2.5808	2.2448	1.9623	1.6464	1.4406	1.2824	1.1510	1.0370	0.8420	0.7557

Fuente: Elaboración propia, valores obtenidos con la función estadística de Excel.

Tabla 8.3  
 Probabilidad acumulada de la distribución normal estándar

La tabla de áreas  $1-\alpha$  y valores  $z_{1-\alpha}$ , donde,  $P(Z \leq z) = 1-\alpha$ , y donde  $Z$  tiene distribución normal.

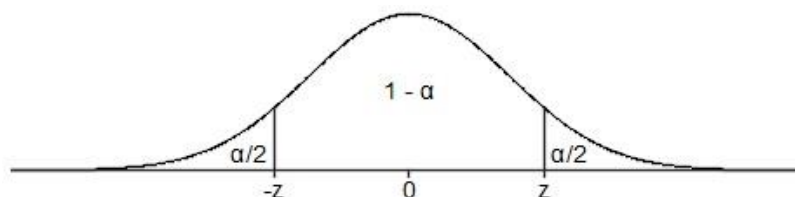


z	Segundo decimal de z									
	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998
3.5	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998
3.6	0.9998	0.9998	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.7	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.8	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.9	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Fuente: Elaboración propia, valores obtenidos con la función de Excel.

Tabla 8.4  
 Probabilidad de encontrar al azar un valor de z mayor que los valores tabulados en los márgenes

La tabla de áreas  $\alpha/2$ ,  
 donde,  $P(Z \geq z) = \alpha/2$ , y donde  
 Z tiene distribución normal.

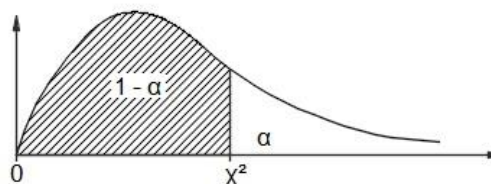


z	Segundo decimal de z									
	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641
0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2296	0.2266	0.2236	0.2206	0.2177	0.2148
0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
1.0	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0721	0.0708	0.0694	0.0681
1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
1.8	0.0359	0.0351	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
2.0	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
2.2	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
2.3	0.0107	0.0104	0.0102	0.0099	0.0096	0.0094	0.0091	0.0089	0.0087	0.0084
2.4	0.0082	0.0080	0.0078	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069	0.0068	0.0066	0.0064
2.5	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057	0.0055	0.0054	0.0052	0.0051	0.0049	0.0048
2.6	0.0047	0.0045	0.0044	0.0043	0.0041	0.0040	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036
2.7	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026
2.8	0.0026	0.0025	0.0024	0.0023	0.0023	0.0022	0.0021	0.0021	0.0020	0.0019
2.9	0.0019	0.0018	0.0018	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015	0.0014	0.0014
3.0	0.0013	0.0013	0.0013	0.0012	0.0012	0.0011	0.0011	0.0011	0.0010	0.0010
3.1	0.0010	0.0009	0.0009	0.0009	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0007	0.0007
3.2	0.0007	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005
3.3	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003
3.4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002
3.5	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
3.6	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
3.7	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
3.8	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
3.9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Fuente: Elaboración propia, valores obtenidos con la función estadística de Excel.

Tabla 8.5  
 Distribución Chi-cuadrado

La tabla de áreas  $1 - \alpha$  y valores  $\chi^2_{1-\alpha, v}$ , donde  $P(X \leq \chi) = 1 - \alpha$ , y donde X tiene distribución  $\chi^2$  con v grados de libertad.

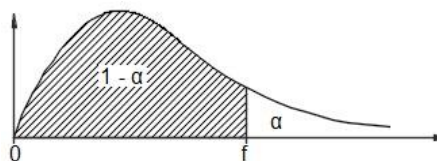


v	Probabilidad (P = 1 - α)												
	$\chi^2_{0.995}$	$\chi^2_{0.990}$	$\chi^2_{0.975}$	$\chi^2_{0.950}$	$\chi^2_{0.900}$	$\chi^2_{0.750}$	$\chi^2_{0.500}$	$\chi^2_{0.250}$	$\chi^2_{0.100}$	$\chi^2_{0.050}$	$\chi^2_{0.025}$	$\chi^2_{0.010}$	$\chi^2_{0.005}$
1	7.8794	6.6349	5.0239	3.8415	2.7055	1.3233	0.4549	0.1015	0.0158	0.0039	0.0010	0.0002	0.0000
2	10.5966	9.2103	7.3778	5.9915	4.6052	2.7726	1.3863	0.5754	0.2107	0.1026	0.0506	0.0201	0.0100
3	12.8382	11.3449	9.3484	7.8147	6.2514	4.1083	2.3660	1.2125	0.5844	0.3518	0.2158	0.1148	0.0717
4	14.8603	13.2767	11.1433	9.4877	7.7794	5.3853	3.3567	1.9226	1.0636	0.7107	0.4844	0.2971	0.2070
5	16.7496	15.0863	12.8325	11.0705	9.2364	6.6257	4.3515	2.6746	1.6103	1.1455	0.8312	0.5543	0.4117
6	18.5476	16.8119	14.4494	12.5916	10.6446	7.8408	5.3481	3.4546	2.2041	1.6354	1.2373	0.8721	0.6757
7	20.2777	18.4753	16.0128	14.0671	12.0170	9.0371	6.3458	4.2549	2.8331	2.1673	1.6899	1.2390	0.9893
8	21.9550	20.0902	17.5345	15.5073	13.3616	10.2189	7.3441	5.0706	3.4895	2.7326	2.1797	1.6465	1.3444
9	23.5894	21.6660	19.0228	16.9190	14.6837	11.3888	8.3428	5.8988	4.1682	3.3251	2.7004	2.0879	1.7349
10	25.1882	23.2093	20.4832	18.3070	15.9872	12.5489	9.3418	6.7372	4.8652	3.9403	3.2470	2.5582	2.1559
11	26.7568	24.7250	21.9200	19.6751	17.2750	13.7007	10.3410	7.5841	5.5778	4.5748	3.8157	3.0535	2.6032
12	28.2995	26.2170	23.3367	21.0261	18.5493	14.8454	11.3403	8.4384	6.3038	5.2260	4.4038	3.5706	3.0738
13	29.8195	27.6882	24.7356	22.3620	19.8119	15.9839	12.3398	9.2991	7.0415	5.8919	5.0088	4.1069	3.5650
14	31.3193	29.1412	26.1189	23.6848	21.0641	17.1169	13.3393	10.1653	7.7895	6.5706	5.6287	4.6604	4.0747
15	32.8013	30.5779	27.4884	24.9958	22.3071	18.2451	14.3389	11.0365	8.5468	7.2609	6.2621	5.2293	4.6009
16	34.2672	31.9999	28.8454	26.2962	23.5418	19.3689	15.3385	11.9122	9.3122	7.9616	6.9077	5.8122	5.1422
17	35.7185	33.4087	30.1910	27.5871	24.7690	20.4887	16.3382	12.7919	10.0852	8.6718	7.5642	6.4078	5.6972
18	37.1565	34.8053	31.5264	28.8693	25.9894	21.6049	17.3379	13.6753	10.8649	9.3905	8.2307	7.0149	6.2648
19	38.5823	36.1909	32.8523	30.1435	27.2036	22.7178	18.3377	14.5620	11.6509	10.1170	8.9065	7.6327	6.8440
20	39.9968	37.5662	34.1696	31.4104	28.4120	23.8277	19.3374	15.4518	12.4426	10.8508	9.5908	8.2604	7.4338
21	41.4011	38.9322	35.4789	32.6706	29.6151	24.9348	20.3372	16.3444	13.2396	11.5913	10.2829	8.8972	8.0337
22	42.7957	40.2894	36.7807	33.9244	30.8133	26.0393	21.3370	17.2396	14.0415	12.3380	10.9823	9.5425	8.6427
23	44.1813	41.6384	38.0756	35.1725	32.0069	27.1413	22.3369	18.1373	14.8480	13.0905	11.6886	10.1957	9.2604
24	45.5585	42.9798	39.3641	36.4150	33.1962	28.2412	23.3367	19.0373	15.6587	13.8484	12.4012	10.8564	9.8862
25	46.9279	44.3141	40.6465	37.6525	34.3816	29.3389	24.3366	19.9393	16.4734	14.6114	13.1197	11.5240	10.5197
26	48.2899	45.6417	41.9232	38.8851	35.5632	30.4346	25.3365	20.8434	17.2919	15.3792	13.8439	12.1981	11.1602
27	49.6449	46.9629	43.1945	40.1133	36.7412	31.5284	26.3363	21.7494	18.1139	16.1514	14.5734	12.8785	11.8076
28	50.9934	48.2782	44.4608	41.3371	37.9159	32.6205	27.3362	22.6572	18.9392	16.9279	15.3079	13.5647	12.4613
29	52.3356	49.5879	45.7223	42.5570	39.0875	33.7109	28.3361	23.5666	19.7677	17.7084	16.0471	14.2565	13.1211
30	53.6720	50.8922	46.9792	43.7730	40.2560	34.7997	29.3360	24.4776	20.5992	18.4927	16.7908	14.9535	13.7867
40	66.7660	63.6907	59.3417	55.7585	51.8051	45.6160	39.3353	33.6603	29.0505	26.5093	24.4330	22.1643	20.7065
50	79.4900	76.1539	71.4202	67.5048	63.1671	56.3336	49.3349	42.9421	37.6886	34.7643	32.3574	29.7067	27.9907
60	91.9517	88.3794	83.2977	79.0819	74.3970	66.9815	59.3347	52.2938	46.4589	43.1880	40.4817	37.4849	35.5345
70	104.2149	100.4252	95.0232	90.5312	85.5270	77.5767	69.3345	61.6983	55.3289	51.7393	48.7576	45.4417	43.2752
80	116.3211	112.3288	106.6286	101.8795	96.5782	88.1303	79.3343	71.1445	64.2778	60.3915	57.1532	53.5401	51.1719
90	128.2989	124.1163	118.1359	113.1453	107.5650	98.6499	89.3342	80.6247	73.2911	69.1260	65.6466	61.7541	59.1963
100	140.1695	135.8067	129.5612	124.3421	118.4980	109.1412	99.3341	90.1332	82.3581	77.9295	74.2219	70.0649	67.3276

Fuente: Elaboración propia, valores obtenidos con la función de Excel.

**Tabla 8.6**  
**Distribución de probabilidades F**

La tabla de áreas  $1-\alpha$  y valores  $F_{1-\alpha, v_1, v_2}$ , tales que  $P(F \leq f) = 1 - \alpha$ , donde  $v_1$  y  $v_2$  son los grados de libertad, y donde  $F_{\alpha, v_1, v_2} = 1/F_{1-\alpha, v_2, v_1}$ .



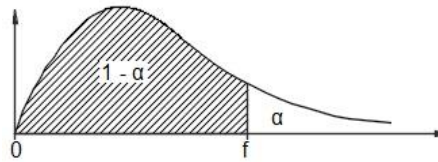
1 - $\alpha$	$v_2$	$v_1$ (grados de libertad para cuadrados medio mayor)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.95	1	161.4476	199.5000	215.7073	224.5832	230.1619	233.9860	236.7684	238.8827	240.5433	241.8817
0.975	1	647.7890	799.5000	864.1630	899.5833	921.8479	937.1111	948.2169	956.6562	963.2846	968.6274
0.99	1	4052.1807	4999.5000	5403.3520	5624.5833	5763.6496	5858.9861	5928.3557	5981.0703	6022.4732	6055.8467
0.995	1	16210.7227	19999.5000	21614.7414	22499.5833	23055.7982	23437.1111	23714.5658	23925.4062	24091.0041	24224.4868
0.95	2	18.5128	19.0000	19.1643	19.2468	19.2964	19.3295	19.3532	19.3710	19.3848	19.3959
0.975	2	38.5063	39.0000	39.1655	39.2484	39.2982	39.3315	39.3552	39.3730	39.3869	39.3980
0.99	2	98.5025	99.0000	99.1662	99.2494	99.2993	99.3326	99.3564	99.3742	99.3881	99.3992
0.995	2	198.5013	199.0000	199.1664	199.2497	199.2996	199.3330	199.3568	199.3746	199.3885	199.3996
0.95	3	10.1280	9.5521	9.2766	9.1172	9.0135	8.9406	8.8867	8.8452	8.8123	8.7855
0.975	3	17.4434	16.0441	15.4392	15.1010	14.8848	14.7347	14.6244	14.5399	14.4731	14.4189
0.99	3	34.1162	30.8165	29.4567	28.7099	28.2371	27.9107	27.6717	27.4892	27.3452	27.2287
0.995	3	55.5520	49.7993	47.4672	46.1946	45.3916	44.8385	44.4341	44.1256	43.8824	43.6858
0.95	4	7.7086	6.9443	6.5914	6.3882	6.2561	6.1631	6.0942	6.0410	5.9988	5.9644
0.975	4	12.2179	10.6491	9.9792	9.6045	9.3645	9.1973	9.0741	8.9796	8.9047	8.8439
0.99	4	21.1977	18.0000	16.6944	15.9770	15.5219	15.2069	14.9758	14.7989	14.6591	14.5459
0.995	4	31.3328	26.2843	24.2591	23.1545	22.4564	21.9746	21.6217	21.3520	21.1391	20.9667
0.95	5	6.6079	5.7861	5.4095	5.1922	5.0503	4.9503	4.8759	4.8183	4.7725	4.7351
0.975	5	10.0070	8.4336	7.7636	7.3879	7.1464	6.9777	6.8531	6.7572	6.6811	6.6192
0.99	5	16.2582	13.2739	12.0600	11.3919	10.9670	10.6723	10.4555	10.2893	10.1578	10.0510
0.995	5	22.7848	18.3138	16.5298	15.5561	14.9396	14.5133	14.2004	13.9610	13.7716	13.6182
0.95	6	5.9874	5.1433	4.7571	4.5337	4.3874	4.2839	4.2067	4.1468	4.0990	4.0600
0.975	6	8.8131	7.2599	6.5988	6.2272	5.9876	5.8198	5.6955	5.5996	5.5234	5.4613
0.99	6	13.7450	10.9248	9.7795	9.1483	8.7459	8.4661	8.2600	8.1017	7.9761	7.8741
0.995	6	18.6350	14.5441	12.9166	12.0275	11.4637	11.0730	10.7859	10.5658	10.3915	10.2500
0.95	7	5.5914	4.7374	4.3468	4.1203	3.9715	3.8660	3.7870	3.7257	3.6767	3.6365
0.975	7	8.0727	6.5415	5.8898	5.5226	5.2852	5.1186	4.9949	4.8993	4.8232	4.7611
0.99	7	12.2464	9.5466	8.4513	7.8466	7.4604	7.1914	6.9928	6.8400	6.7188	6.6201
0.995	7	16.2356	12.4040	10.8824	10.0505	9.5221	9.1553	8.8854	8.6781	8.5138	8.3803
0.95	8	5.3177	4.4590	4.0662	3.8379	3.6875	3.5806	3.5005	3.4381	3.3881	3.3472
0.975	8	7.5709	6.0595	5.4160	5.0526	4.8173	4.6517	4.5286	4.4333	4.3572	4.2951
0.99	8	11.2586	8.6491	7.5910	7.0061	6.6318	6.3707	6.1776	6.0289	5.9106	5.8143
0.995	8	14.6882	11.0424	9.5965	8.8051	8.3018	7.9520	7.6941	7.4959	7.3386	7.2106
0.95	9	5.1174	4.2565	3.8625	3.6331	3.4817	3.3738	3.2927	3.2296	3.1789	3.1373
0.975	9	7.2093	5.7147	5.0781	4.7181	4.4844	4.3197	4.1970	4.1020	4.0260	3.9639
0.99	9	10.5614	8.0215	6.9919	6.4221	6.0569	5.8018	5.6129	5.4671	5.3511	5.2565
0.995	9	13.6136	10.1067	8.7171	7.9559	7.4712	7.1339	6.8849	6.6933	6.5411	6.4172
0.95	10	4.9646	4.1028	3.7083	3.4780	3.3258	3.2172	3.1355	3.0717	3.0204	2.9782
0.975	10	6.9367	5.4564	4.8256	4.4683	4.2361	4.0721	3.9498	3.8549	3.7790	3.7168
0.99	10	10.0443	7.5594	6.5523	5.9943	5.6363	5.3858	5.2001	5.0567	4.9424	4.8491
0.995	10	12.8265	9.4270	8.0807	7.3428	6.8724	6.5446	6.3025	6.1159	5.9676	5.8467
0.95	11	4.8443	3.9823	3.5874	3.3567	3.2039	3.0946	3.0123	2.9480	2.8962	2.8536
0.975	11	6.7241	5.2559	4.6300	4.2751	4.0440	3.8807	3.7586	3.6638	3.5879	3.5257
0.99	11	9.6460	7.2057	6.2167	5.6683	5.3160	5.0692	4.8861	4.7445	4.6315	4.5393
0.995	11	12.2263	8.9122	7.6004	6.8809	6.4217	6.1016	5.8648	5.6821	5.5368	5.4183
0.95	12	4.7472	3.8853	3.4903	3.2592	3.1059	2.9961	2.9134	2.8486	2.7964	2.7534
0.975	12	6.5538	5.0959	4.4742	4.1212	3.8911	3.7283	3.6065	3.5118	3.4358	3.3736
0.99	12	9.3302	6.9266	5.9525	5.4120	5.0643	4.8206	4.6395	4.4994	4.3875	4.2961
0.995	12	11.7542	8.5096	7.2258	6.5211	6.0711	5.7570	5.5245	5.3451	5.2021	5.0855

Fuente: Elaboración propia, valores obtenidos con la función estadística de Excel.



Tabla 8.6 (Cont.)  
 Distribución de probabilidades F

La tabla de áreas  $1-\alpha$  y valores  $F_{1-\alpha, v_1, v_2}$ , tales que  $P(F \leq f) = 1 - \alpha$ , donde  $v_1$  y  $v_2$  son los grados de libertad, y donde  $F_{\alpha, v_1, v_2} = 1/F_{1-\alpha, v_2, v_1}$ .

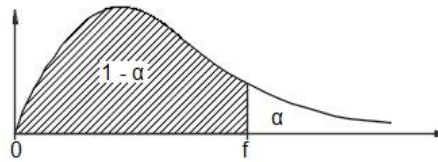


1 - $\alpha$	$v_2$	$v_1$ (grados de libertad para cuadrados medio mayor)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.95	14	4.6001	3.7389	3.3439	3.1122	2.9582	2.8477	2.7642	2.6987	2.6458	2.6022
0.975	14	6.2979	4.8567	4.2417	3.8919	3.6634	3.5014	3.3799	3.2853	3.2093	3.1469
0.99	14	8.8616	6.5149	5.5639	5.0354	4.6950	4.4558	4.2779	4.1399	4.0297	3.9394
0.995	14	11.0603	7.9216	6.6804	5.9984	5.5623	5.2574	5.0313	4.8566	4.7173	4.6034
0.95	16	4.4940	3.6337	3.2389	3.0069	2.8524	2.7413	2.6572	2.5911	2.5377	2.4935
0.975	16	6.1151	4.6867	4.0768	3.7294	3.5021	3.3406	3.2194	3.1248	3.0488	2.9862
0.99	16	8.5310	6.2262	5.2922	4.7726	4.4374	4.2016	4.0259	3.8896	3.7804	3.6909
0.995	16	10.5755	7.5138	6.3034	5.6378	5.2117	4.9134	4.6920	4.5207	4.3838	4.2719
0.95	18	4.4139	3.5546	3.1599	2.9277	2.7729	2.6613	2.5767	2.5102	2.4563	2.4117
0.975	18	5.9781	4.5597	3.9539	3.6083	3.3820	3.2209	3.0999	3.0053	2.9291	2.8664
0.99	18	8.2854	6.0129	5.0919	4.5790	4.2479	4.0146	3.8406	3.7054	3.5971	3.5082
0.995	18	10.2181	7.2148	6.0278	5.3746	4.9560	4.6627	4.4448	4.2759	4.1410	4.0305
0.95	20	4.3512	3.4928	3.0984	2.8661	2.7109	2.5990	2.5140	2.4471	2.3928	2.3479
0.975	20	5.8715	4.4613	3.8587	3.5147	3.2891	3.1283	3.0074	2.9128	2.8365	2.7737
0.99	20	8.0960	5.8489	4.9382	4.4307	4.1027	3.8714	3.6987	3.5644	3.4567	3.3682
0.995	20	9.9439	6.9865	5.8177	5.1743	4.7616	4.4721	4.2569	4.0900	3.9564	3.8470
0.95	25	4.2417	3.3852	2.9912	2.7587	2.6030	2.4904	2.4047	2.3371	2.2821	2.2365
0.975	25	5.6864	4.2909	3.6943	3.3530	3.1287	2.9685	2.8478	2.7531	2.6766	2.6135
0.99	25	7.7698	5.5680	4.6755	4.1774	3.8550	3.6272	3.4568	3.3239	3.2172	3.1294
0.995	25	9.4753	6.5982	5.4615	4.8351	4.4327	4.1500	3.9394	3.7758	3.6447	3.5370
0.95	30	4.1709	3.3158	2.9223	2.6896	2.5336	2.4205	2.3343	2.2662	2.2107	2.1646
0.975	30	5.5675	4.1821	3.5894	3.2499	3.0265	2.8667	2.7460	2.6513	2.5746	2.5112
0.99	30	7.5625	5.3903	4.5097	4.0179	3.6990	3.4735	3.3045	3.1726	3.0665	2.9791
0.995	30	9.1797	6.3547	5.2388	4.6234	4.2276	3.9492	3.7416	3.5801	3.4505	3.3440
0.95	50	4.0343	3.1826	2.7900	2.5572	2.4004	2.2864	2.1992	2.1299	2.0734	2.0261
0.975	50	5.3403	3.9749	3.3902	3.0544	2.8327	2.6736	2.5530	2.4579	2.3808	2.3168
0.99	50	7.1706	5.0566	4.1993	3.7195	3.4077	3.1864	3.0202	2.8900	2.7850	2.6981
0.995	50	8.6258	5.9016	4.8259	4.2316	3.8486	3.5785	3.3765	3.2189	3.0920	2.9875
0.95	60	4.0012	3.1504	2.7581	2.5252	2.3683	2.2541	2.1665	2.0970	2.0401	1.9926
0.975	60	5.2856	3.9253	3.3425	3.0077	2.7863	2.6274	2.5068	2.4117	2.3344	2.2702
0.99	60	7.0771	4.9774	4.1259	3.6490	3.3389	3.1187	2.9530	2.8233	2.7185	2.6318
0.995	60	8.4946	5.7950	4.7290	4.1399	3.7599	3.4918	3.2911	3.1344	3.0083	2.9042
0.95	80	3.9604	3.1108	2.7188	2.4859	2.3287	2.2142	2.1263	2.0564	1.9991	1.9512
0.975	80	5.2184	3.8643	3.2841	2.9504	2.7295	2.5708	2.4502	2.3549	2.2775	2.2130
0.99	80	6.9627	4.8807	4.0363	3.5631	3.2550	3.0361	2.8713	2.7420	2.6374	2.5508
0.995	80	8.3346	5.6652	4.6113	4.0285	3.6524	3.3867	3.1876	3.0320	2.9066	2.8031
0.95	100	3.9361	3.0873	2.6955	2.4626	2.3053	2.1906	2.1025	2.0323	1.9748	1.9267
0.975	100	5.1786	3.8284	3.2496	2.9166	2.6961	2.5374	2.4168	2.3215	2.2439	2.1793
0.99	100	6.8953	4.8239	3.9837	3.5127	3.2059	2.9877	2.8233	2.6943	2.5898	2.5033
0.995	100	8.2406	5.5892	4.5424	3.9634	3.5895	3.3252	3.1271	2.9722	2.8472	2.7440
0.95	120	3.9201	3.0718	2.6802	2.4472	2.2899	2.1750	2.0868	2.0164	1.9588	1.9105
0.975	120	5.1523	3.8046	3.2269	2.8943	2.6740	2.5154	2.3948	2.2994	2.2217	2.1570
0.99	120	6.8509	4.7865	3.9491	3.4795	3.1735	2.9559	2.7918	2.6629	2.5586	2.4721
0.995	120	8.1788	5.5393	4.4972	3.9207	3.5482	3.2849	3.0874	2.9330	2.8083	2.7052
0.95	$\infty$	3.8424	2.9966	2.6058	2.3728	2.2150	2.0995	2.0105	1.9393	1.8808	1.8316
0.975	$\infty$	5.0254	3.6902	3.1174	2.7871	2.5678	2.4095	2.2888	2.1931	2.1149	2.0496
0.99	$\infty$	6.6374	4.6073	3.7836	3.3210	3.0191	2.8038	2.6411	2.5130	2.4091	2.3227
0.995	$\infty$	7.8829	5.3011	4.2819	3.7175	3.3522	3.0935	2.8990	2.7466	2.6232	2.5210

Fuente: Elaboración propia, valores obtenidos con la función estadística de Excel.

Tabla 8.6 (Cont.)  
 Distribución de probabilidades F

La tabla de áreas  $1-\alpha$  y valores  $F_{1-\alpha, v_1, v_2}$ , tales que  $P(F \leq f) = 1 - \alpha$ , donde  $v_1$  y  $v_2$  son los grados de libertad, y donde  $F_{\alpha, v_1, v_2} = 1/F_{1-\alpha, v_2, v_1}$ .

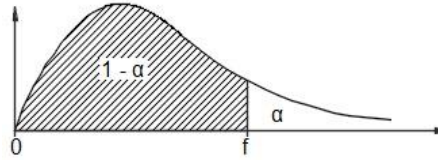


1 - $\alpha$	$v_2$	$v_1$ (grados de libertad para cuadrados medio mayor)									
		11	12	13	14	15	16	17	18	20	120
0.95	1	242.9835	243.9060	244.6898	245.3640	245.9499	246.4639	246.9184	247.3232	248.0131	253.2529
0.975	1	973.0252	976.7079	979.8368	982.5278	984.8668	986.9187	988.7331	990.3490	993.1028	1014.0202
0.99	1	6083.3168	6106.3207	6125.8647	6142.6740	6157.2846	6170.1012	6181.4348	6191.5287	6208.7302	6339.3913
0.995	1	24334.3581	24426.3662	24504.5356	24571.7673	24630.2051	24681.4673	24726.7982	24767.1704	24835.9709	25358.5735
0.95	2	19.4050	19.4125	19.4189	19.4244	19.4291	19.4333	19.4370	19.4402	19.4458	19.4874
0.975	2	39.4071	39.4146	39.4210	39.4265	39.4313	39.4354	39.4391	39.4424	39.4479	39.4896
0.99	2	99.4083	99.4159	99.4223	99.4278	99.4325	99.4367	99.4404	99.4436	99.4492	99.4908
0.995	2	199.4087	199.4163	199.4227	199.4282	199.4329	199.4371	199.4408	199.4440	199.4496	199.4912
0.95	3	8.7633	8.7446	8.7287	8.7149	8.7029	8.6923	8.6829	8.6745	8.6602	8.5494
0.975	3	14.3742	14.3366	14.3045	14.2768	14.2527	14.2315	14.2127	14.1960	14.1674	13.9473
0.99	3	27.1326	27.0518	26.9831	26.9238	26.8722	26.8269	26.7867	26.7509	26.6898	26.2211
0.995	3	43.5236	43.3874	43.2715	43.1716	43.0847	43.0083	42.9407	42.8804	42.7775	41.9895
0.95	4	5.9358	5.9117	5.8911	5.8733	5.8578	5.8441	5.8320	5.8211	5.8025	5.6581
0.975	4	8.7935	8.7512	8.7150	8.6838	8.6565	8.6326	8.6113	8.5924	8.5599	8.3092
0.99	4	14.4523	14.3736	14.3065	14.2486	14.1982	14.1539	14.1146	14.0795	14.0196	13.5581
0.995	4	20.8243	20.7047	20.6027	20.5148	20.4383	20.3710	20.3113	20.2581	20.1673	19.4684
0.95	5	4.7040	4.6777	4.6552	4.6358	4.6188	4.6038	4.5904	4.5785	4.5581	4.3985
0.975	5	6.5678	6.5245	6.4876	6.4556	6.4277	6.4032	6.3814	6.3619	6.3286	6.0693
0.99	5	9.9626	9.8883	9.8248	9.7700	9.7222	9.6802	9.6429	9.6096	9.5526	9.1118
0.995	5	13.4912	13.3845	13.2934	13.2148	13.1463	13.0861	13.0327	12.9850	12.9035	12.2737
0.95	6	4.0274	3.9999	3.9764	3.9559	3.9381	3.9223	3.9083	3.8957	3.8742	3.7047
0.975	6	5.4098	5.3662	5.3290	5.2968	5.2687	5.2439	5.2218	5.2021	5.1684	4.9044
0.99	6	7.7896	7.7183	7.6575	7.6049	7.5590	7.5186	7.4827	7.4507	7.3958	6.9690
0.995	6	10.1329	10.0343	9.9501	9.8774	9.8140	9.7582	9.7086	9.6644	9.5888	9.0015
0.95	7	3.6030	3.5747	3.5503	3.5292	3.5107	3.4944	3.4799	3.4669	3.4445	3.2674
0.975	7	4.7095	4.6658	4.6285	4.5961	4.5678	4.5428	4.5206	4.5008	4.4667	4.1989
0.99	7	6.5382	6.4691	6.4100	6.3590	6.3143	6.2750	6.2401	6.2089	6.1554	5.7373
0.995	7	8.2697	8.1764	8.0967	8.0279	7.9678	7.9148	7.8678	7.8258	7.7540	7.1933
0.95	8	3.3130	3.2839	3.2590	3.2374	3.2184	3.2016	3.1867	3.1733	3.1503	2.9669
0.975	8	4.2434	4.1997	4.1622	4.1297	4.1012	4.0761	4.0538	4.0338	3.9995	3.7279
0.99	8	5.7343	5.6667	5.6089	5.5589	5.5151	5.4766	5.4423	5.4116	5.3591	4.9461
0.995	8	7.1045	7.0149	6.9384	6.8721	6.8143	6.7633	6.7180	6.6775	6.6082	6.0649
0.95	9	3.1025	3.0729	3.0475	3.0255	3.0061	2.9890	2.9737	2.9600	2.9365	2.7475
0.975	9	3.9121	3.8682	3.8306	3.7980	3.7694	3.7441	3.7216	3.7015	3.6669	3.3918
0.99	9	5.1779	5.1114	5.0545	5.0052	4.9621	4.9240	4.8902	4.8599	4.8080	4.3978
0.995	9	6.3142	6.2274	6.1530	6.0887	6.0325	5.9829	5.9388	5.8994	5.8318	5.3001
0.95	10	2.9430	2.9130	2.8872	2.8647	2.8450	2.8276	2.8120	2.7980	2.7740	2.5801
0.975	10	3.6649	3.6209	3.5832	3.5504	3.5217	3.4963	3.4737	3.4534	3.4185	3.1399
0.99	10	4.7715	4.7059	4.6496	4.6008	4.5581	4.5204	4.4869	4.4569	4.4054	3.9965
0.995	10	5.7462	5.6613	5.5887	5.5257	5.4707	5.4221	5.3789	5.3403	5.2740	4.7501
0.95	11	2.8179	2.7876	2.7614	2.7386	2.7186	2.7009	2.6851	2.6709	2.6464	2.4480
0.975	11	3.4737	3.4296	3.3917	3.3588	3.3299	3.3044	3.2816	3.2612	3.2261	2.9441
0.99	11	4.4624	4.3974	4.3416	4.2932	4.2509	4.2134	4.1801	4.1503	4.0990	3.6904
0.995	11	5.3197	5.2363	5.1649	5.1031	5.0489	5.0011	4.9586	4.9205	4.8552	4.3367
0.95	12	2.7173	2.6866	2.6602	2.6371	2.6169	2.5989	2.5828	2.5684	2.5436	2.3410
0.975	12	3.3215	3.2773	3.2393	3.2062	3.1772	3.1515	3.1286	3.1081	3.0728	2.7874
0.99	12	4.2198	4.1553	4.0999	4.0518	4.0096	3.9724	3.9392	3.9095	3.8584	3.4494
0.995	12	4.9884	4.9062	4.8358	4.7748	4.7213	4.6741	4.6321	4.5945	4.5299	4.0149

Fuente: Elaboración propia, valores obtenidos con la función estadística de Excel.

Tabla 8.6 (Cont.)  
 Distribución de probabilidades F

La tabla de áreas  $1-\alpha$  y valores  $F_{1-\alpha, v_1, v_2}$ , tales que  $P(F \leq f) = 1 - \alpha$ , donde  $v_1$  y  $v_2$  son los grados de libertad, y donde  $F_{\alpha, v_1, v_2} = 1/F_{1-\alpha, v_2, v_1}$ .



$1 - \alpha$	$v_2$	$v_1$ (grados de libertad para cuadrados medio mayor)									
		11	12	13	14	15	16	17	18	20	120
0.95	14	2.5655	2.5342	2.5073	2.4837	2.4630	2.4446	2.4282	2.4134	2.3879	2.1778
0.975	14	3.0946	3.0502	3.0119	2.9786	2.9493	2.9234	2.9003	2.8795	2.8437	2.5519
0.99	14	3.8640	3.8001	3.7452	3.6975	3.6557	3.6187	3.5857	3.5561	3.5052	3.0942
0.995	14	4.5085	4.4281	4.3591	4.2993	4.2468	4.2005	4.1592	4.1221	4.0585	3.5473
0.95	16	2.4564	2.4247	2.3973	2.3733	2.3522	2.3335	2.3167	2.3016	2.2756	2.0589
0.975	16	2.9337	2.8890	2.8506	2.8170	2.7875	2.7614	2.7380	2.7170	2.6808	2.3831
0.99	16	3.6162	3.5527	3.4981	3.4506	3.4089	3.3720	3.3391	3.3096	3.2587	2.8447
0.995	16	4.1785	4.0994	4.0314	3.9723	3.9205	3.8747	3.8338	3.7972	3.7342	3.2240
0.95	18	2.3742	2.3421	2.3143	2.2900	2.2686	2.2496	2.2325	2.2172	2.1906	1.9681
0.975	18	2.8137	2.7689	2.7302	2.6964	2.6667	2.6404	2.6168	2.5956	2.5590	2.2558
0.99	18	3.4338	3.3706	3.3162	3.2689	3.2273	3.1904	3.1575	3.1280	3.0771	2.6597
0.995	18	3.9382	3.8599	3.7926	3.7341	3.6827	3.6373	3.5967	3.5603	3.4977	2.9871
0.95	20	2.3100	2.2776	2.2495	2.2250	2.2033	2.1840	2.1667	2.1511	2.1242	1.8963
0.975	20	2.7209	2.6758	2.6369	2.6030	2.5731	2.5465	2.5228	2.5014	2.4645	2.1562
0.99	20	3.2941	3.2311	3.1769	3.1296	3.0880	3.0512	3.0183	2.9887	2.9377	2.5168
0.995	20	3.7555	3.6779	3.6111	3.5530	3.5020	3.4568	3.4164	3.3802	3.3178	2.8058
0.95	25	2.1979	2.1649	2.1362	2.1111	2.0889	2.0691	2.0513	2.0353	2.0075	1.7684
0.975	25	2.5603	2.5149	2.4756	2.4413	2.4110	2.3840	2.3599	2.3381	2.3005	1.9811
0.99	25	3.0558	2.9931	2.9389	2.8917	2.8502	2.8133	2.7803	2.7506	2.6993	2.2696
0.995	25	3.4470	3.3704	3.3044	3.2469	3.1963	3.1515	3.1114	3.0754	3.0133	2.4961
0.95	30	2.1256	2.0921	2.0630	2.0374	2.0148	1.9946	1.9765	1.9601	1.9317	1.6835
0.975	30	2.4577	2.4120	2.3724	2.3378	2.3072	2.2799	2.2554	2.2334	2.1952	1.8664
0.99	30	2.9057	2.8431	2.7890	2.7418	2.7002	2.6632	2.6301	2.6003	2.5487	2.1108
0.995	30	3.2547	3.1787	3.1132	3.0560	3.0057	2.9611	2.9211	2.8852	2.8230	2.2998
0.95	50	1.9861	1.9515	1.9214	1.8949	1.8714	1.8503	1.8313	1.8141	1.7841	1.5115
0.975	50	2.2627	2.2162	2.1758	2.1404	2.1090	2.0810	2.0558	2.0330	1.9933	1.6386
0.99	50	2.6250	2.5625	2.5083	2.4609	2.4190	2.3816	2.3481	2.3178	2.2652	1.8026
0.995	50	2.8997	2.8247	2.7599	2.7032	2.6531	2.6086	2.5686	2.5326	2.4702	1.9254
0.95	60	1.9522	1.9174	1.8870	1.8602	1.8364	1.8151	1.7959	1.7784	1.7480	1.4673
0.975	60	2.2159	2.1692	2.1286	2.0929	2.0613	2.0330	2.0076	1.9846	1.9445	1.5810
0.99	60	2.5587	2.4961	2.4419	2.3943	2.3523	2.3148	2.2811	2.2507	2.1978	1.7263
0.995	60	2.8166	2.7419	2.6771	2.6205	2.5705	2.5259	2.4859	2.4498	2.3872	1.8341
0.95	80	1.9105	1.8753	1.8445	1.8174	1.7932	1.7716	1.7520	1.7342	1.7032	1.4107
0.975	80	2.1584	2.1115	2.0706	2.0346	2.0026	1.9741	1.9483	1.9250	1.8843	1.5079
0.99	80	2.4777	2.4151	2.3608	2.3131	2.2709	2.2332	2.1993	2.1686	2.1153	1.6305
0.995	80	2.7159	2.6413	2.5767	2.5201	2.4700	2.4254	2.3854	2.3492	2.2862	1.7203
0.95	100	1.8857	1.8503	1.8193	1.7919	1.7675	1.7456	1.7259	1.7079	1.6764	1.3757
0.975	100	2.1245	2.0773	2.0363	2.0001	1.9679	1.9391	1.9132	1.8897	1.8486	1.4631
0.99	100	2.4302	2.3676	2.3132	2.2654	2.2230	2.1852	2.1511	2.1203	2.0666	1.5723
0.995	100	2.6570	2.5825	2.5180	2.4614	2.4113	2.3666	2.3265	2.2902	2.2270	1.6516
0.95	120	1.8693	1.8337	1.8026	1.7750	1.7505	1.7285	1.7085	1.6904	1.6587	1.3519
0.975	120	2.1021	2.0548	2.0136	1.9773	1.9450	1.9161	1.8900	1.8663	1.8249	1.4327
0.99	120	2.3990	2.3363	2.2818	2.2339	2.1915	2.1536	2.1194	2.0885	2.0346	1.5330
0.995	120	2.6183	2.5439	2.4794	2.4228	2.3727	2.3280	2.2878	2.2514	2.1881	1.6055
0.95	$\infty$	1.7896	1.7531	1.7211	1.6928	1.6674	1.6445	1.6238	1.6049	1.5716	1.2231
0.975	$\infty$	1.9940	1.9460	1.9040	1.8670	1.8339	1.8042	1.7773	1.7528	1.7099	1.2706
0.99	$\infty$	2.2495	2.1865	2.1316	2.0833	2.0403	2.0018	1.9670	1.9354	1.8801	1.3273
0.995	$\infty$	2.4346	2.3605	2.2960	2.2393	2.1889	2.1439	2.1033	2.0664	2.0020	1.3668

Fuente: Elaboración propia, valores obtenidos con la función estadística de Excel.

Tabla 8.7  
Test de Kolmogorov-Smirnov sobre bondad de ajuste

n	Nivel de significancia $\alpha$							
	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.005	0.002	0.001
1	0.90000	0.95000	0.97500	0.99000	0.99500	0.99750	0.99900	0.99950
2	0.68337	0.77639	0.84189	0.90000	0.92929	0.95000	0.96838	0.97764
3	0.56481	0.63604	0.70760	0.78456	0.82900	0.86428	0.90000	0.92065
4	0.49265	0.56522	0.62394	0.68887	0.73424	0.77639	0.82217	0.85047
5	0.44698	0.50945	0.56328	0.62718	0.66853	0.70543	0.75000	0.78137
6	0.41037	0.46799	0.51926	0.57741	0.61661	0.65287	0.69571	0.72479
7	0.38148	0.43607	0.48342	0.53844	0.57581	0.60975	0.65071	0.67930
8	0.35831	0.40962	0.45427	0.50654	0.54179	0.57429	0.61368	0.64098
9	0.33910	0.38746	0.43001	0.47960	0.51332	0.54443	0.58210	0.60846
10	0.32260	0.36866	0.40925	0.45562	0.48893	0.51872	0.55500	0.58042
11	0.30829	0.35242	0.39122	0.43670	0.46770	0.49539	0.53135	0.55588
12	0.29577	0.33815	0.37543	0.41918	0.44905	0.47672	0.51047	0.53422
13	0.28470	0.32549	0.36143	0.40362	0.43247	0.45921	0.49189	0.51490
14	0.27481	0.31417	0.34890	0.38970	0.41762	0.44352	0.47520	0.49753
15	0.26589	0.30397	0.33750	0.37713	0.40420	0.42934	0.45611	0.48182
16	0.25778	0.29472	0.32733	0.36571	0.39201	0.41644	0.44637	0.46750
17	0.25039	0.28627	0.31796	0.35528	0.38086	0.40464	0.43380	0.45540
18	0.24360	0.27851	0.30936	0.34569	0.37062	0.39380	0.42224	0.44234
19	0.23735	0.27136	0.30143	0.33685	0.36117	0.38379	0.41156	0.43119
20	0.23156	0.26473	0.29408	0.32866	0.35241	0.37451	0.40165	0.42085
21	0.22517	0.25858	0.28724	0.32104	0.34426	0.36588	0.39243	0.41122
22	0.22115	0.25283	0.28087	0.31394	0.33666	0.35782	0.38382	0.40223
23	0.21646	0.24746	0.27491	0.30728	0.32954	0.35027	0.37575	0.39380
24	0.21205	0.24242	0.26931	0.30104	0.32286	0.34318	0.36787	0.38588
25	0.20790	0.23768	0.26404	0.29518	0.31657	0.33651	0.36104	0.37743
26	0.20399	0.23320	0.25908	0.28962	0.30963	0.33022	0.35431	0.37139
27	0.20030	0.22898	0.25438	0.28438	0.30502	0.32425	0.34794	0.36473
28	0.19680	0.22497	0.24993	0.27942	0.29971	0.31862	0.34190	0.35842
29	0.19348	0.22117	0.24571	0.27471	0.29466	0.31327	0.33617	0.35242
30	0.19032	0.21756	0.24170	0.27023	0.28986	0.30818	0.33072	0.34672
31	0.18732	0.21412	0.23788	0.26596	0.28529	0.30333	0.32553	0.34129
32	0.18445	0.21085	0.23424	0.26189	0.28094	0.29870	0.32058	0.33611
33	0.18171	0.20771	0.23076	0.25801	0.27577	0.29428	0.31584	0.33115
34	0.17909	0.21472	0.22743	0.25429	0.27271	0.29005	0.31131	0.32641
35	0.17659	0.20185	0.22425	0.25073	0.26897	0.28600	0.30597	0.32187
36	0.17418	0.19910	0.22119	0.24732	0.26532	0.28211	0.30281	0.31751
37	0.17188	0.19646	0.21826	0.24404	0.26180	0.27838	0.29882	0.31333
38	0.16966	0.19392	0.21544	0.24089	0.25843	0.27483	0.29498	0.30931
39	0.16753	0.19148	0.21273	0.23785	0.25518	0.27135	0.29125	0.30544
40	0.16547	0.18913	0.21012	0.23494	0.25205	0.26803	0.28772	0.30171
41	0.16349	0.18687	0.20760	0.23213	0.24904	0.26482	0.28429	0.29811
42	0.16158	0.18468	0.20517	0.22941	0.24613	0.26173	0.28097	0.29465
43	0.15974	0.18257	0.20283	0.22679	0.24332	0.25875	0.27778	0.29130
44	0.15795	0.18051	0.20056	0.22426	0.24060	0.25587	0.27468	0.28806
45	0.15623	0.17856	0.19837	0.22181	0.23798	0.25308	0.27169	0.28493
46	0.15457	0.17665	0.19625	0.21944	0.23544	0.25038	0.26880	0.28190
47	0.15295	0.17481	0.19420	0.21715	0.23298	0.24776	0.26600	0.27896
48	0.15139	0.17301	0.19221	0.21493	0.23059	0.24523	0.26328	0.27611
49	0.14987	0.17128	0.19028	0.21281	0.22832	0.24281	0.26069	0.27339
50	0.14840	0.16959	0.18841	0.21068	0.22604	0.24039	0.25809	0.27067
n > 50	$\frac{1.07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.52}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.73}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.85}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.95}{\sqrt{n}}$

Fuente: Recuperado el día miércoles 15 de noviembre de 2017, desde:

<http://www4.ujaen.es/~mpfrias/TablasInferencia.pdf>

# Anexo 9

## Tablas comparativas de intensidad máxima de precipitación pluvial

Tabla 9.1  
 Comparativo de intensidad máxima de precipitación pluvial, periodo de retorno 2 años

Duración (minutos)	Periodo de retorno de 2 años						
	Intensidad máxima de precipitación pluvial (mm/h)						IDT control (3.4)
	Ecuación IDT (3.1)		Ecuación IDT (3.2)		Ecuación IDT (3.3)		
5	101.46	302.87%	40.73	121.58%	65.13	194.42%	33.50
10	60.33	235.48%	27.65	107.92%	44.22	172.60%	25.62
15	44.51	203.24%	22.04	100.64%	35.26	161.00%	21.90
20	35.87	183.01%	18.77	95.77%	30.02	153.16%	19.60
25	30.34	168.74%	16.57	92.16%	26.50	147.39%	17.98
30	26.47	157.94%	14.97	89.32%	23.94	142.84%	16.76
35	23.58	149.34%	13.73	86.95%	21.96	139.08%	15.79
40	21.33	142.29%	12.74	84.99%	20.38	135.96%	14.99
50	18.04	131.20%	11.25	81.82%	17.99	130.84%	13.75
60	15.74	122.78%	10.16	79.25%	16.25	126.76%	12.82
90	11.61	105.93%	8.10	73.91%	12.96	118.25%	10.96
120	9.36	95.51%	6.90	70.41%	11.03	112.55%	9.80

Fuente: Elaboración propia, 2018.

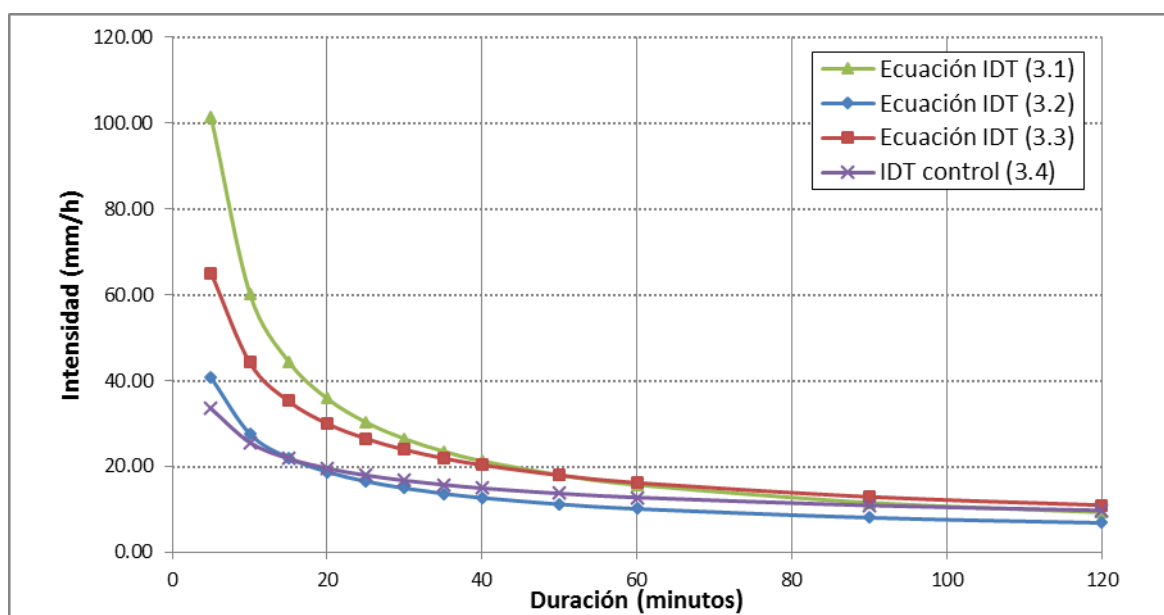


Gráfico 9.1. Intensidad máxima de precipitación pluvial periodo de retorno 2 años

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 9.2  
 Comparativo de intensidad máxima de precipitación pluvial, periodo de retorno 5 años

Duración (minutos)	Periodo de retorno de 5 años						
	Intensidad máxima de precipitación pluvial (mm/h)						IDT control (3.4)
	Ecuación IDT (3.1)		Ecuación IDT (3.2)		Ecuación IDT (3.3)		
5	123.24	303.25%	49.05	120.69%	78.45	193.04%	40.64
10	73.28	235.70%	33.30	107.11%	53.26	171.31%	31.09
15	54.06	203.39%	26.55	99.89%	42.46	159.74%	26.58
20	43.57	183.22%	22.61	95.08%	36.16	152.06%	23.78
25	36.86	169.01%	19.96	91.52%	31.92	146.35%	21.81
30	32.15	158.14%	18.03	88.69%	28.83	141.81%	20.33
35	28.64	149.56%	16.54	86.37%	26.45	138.12%	19.15
40	25.91	142.44%	15.35	84.39%	24.55	134.96%	18.19
50	21.92	131.34%	13.55	81.19%	21.67	129.84%	16.69
60	19.11	122.89%	12.24	78.71%	19.57	125.85%	15.55
90	14.10	106.09%	9.76	73.44%	15.60	117.38%	13.29
120	11.37	95.63%	8.31	69.89%	13.29	111.77%	11.89

Fuente: Elaboración propia, 2018.

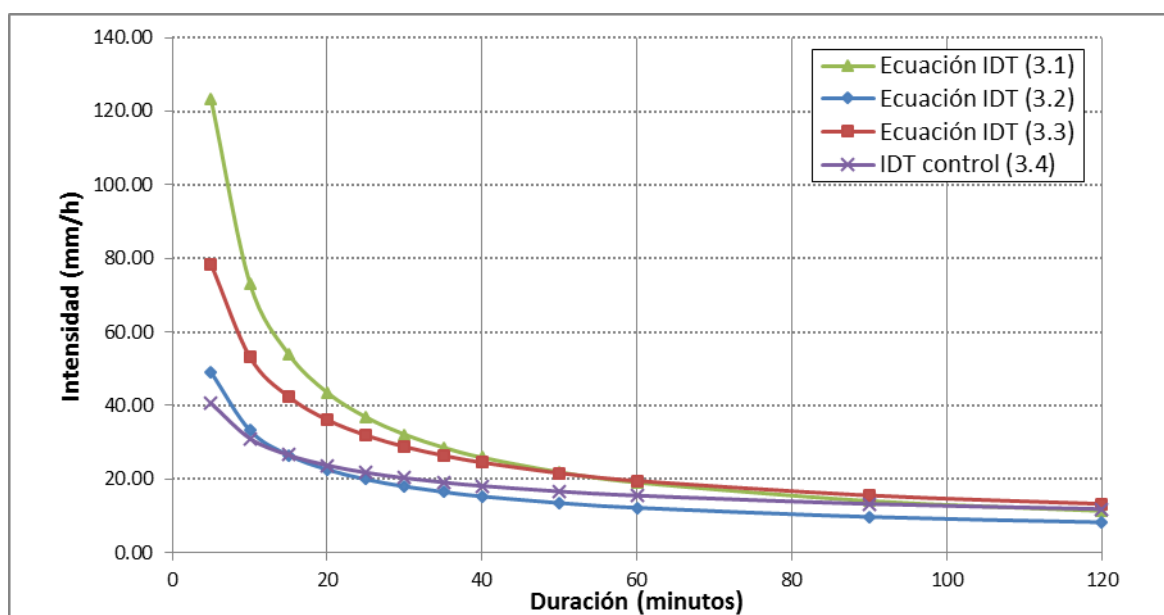


Gráfico 9.2. Intensidad máxima de precipitación pluvial periodo de retorno 5 años

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 9.3  
 Comparativo de intensidad máxima de precipitación pluvial, periodo de retorno 10 años

Duración (minutos)	Periodo de retorno de 10 años						
	Intensidad máxima de precipitación pluvial (mm/h)						IDT control (3.4)
	Ecuación IDT (3.1)		Ecuación IDT (3.2)		Ecuación IDT (3.3)		
5	142.77	303.51%	56.46	120.03%	90.30	191.96%	47.04
10	84.89	235.94%	38.33	106.53%	61.31	170.40%	35.98
15	62.63	203.61%	30.56	99.35%	48.88	158.91%	30.76
20	50.48	183.43%	26.03	94.59%	41.62	151.24%	27.52
25	42.70	169.11%	22.97	90.97%	36.74	145.50%	25.25
30	37.24	158.27%	20.75	88.19%	33.18	141.01%	23.53
35	33.18	149.66%	19.04	85.88%	30.45	137.35%	22.17
40	30.01	142.57%	17.67	83.94%	28.26	134.25%	21.05
50	25.39	131.49%	15.60	80.79%	24.95	129.21%	19.31
60	22.14	123.00%	14.09	78.28%	22.53	125.17%	18.00
90	16.34	106.17%	11.23	72.97%	17.96	116.70%	15.39
120	13.17	95.64%	9.56	69.43%	15.30	111.11%	13.77

Fuente: Elaboración propia, 2018.

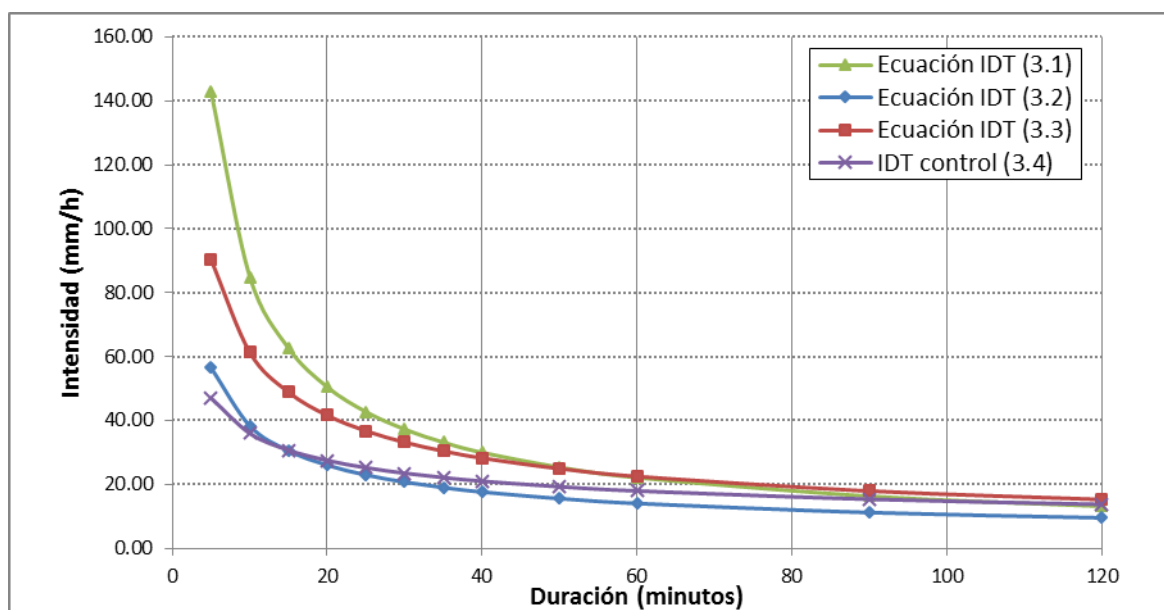


Gráfico 9.3. Intensidad máxima de precipitación pluvial periodo de retorno 10 años

Fuente: Elaboración propia, 2018.



Tabla 9.4  
 Comparativo de intensidad máxima de precipitación pluvial, periodo de retorno 25 años

Duración (minutos)	Periodo de retorno de 25 años						
	Intensidad máxima de precipitación pluvial (mm/h)						IDT control (3.4)
	Ecuación IDT (3.1)		Ecuación IDT (3.2)		Ecuación IDT (3.3)		
5	173.41	303.85%	68.01	119.17%	108.76	190.57%	57.07
10	103.11	236.17%	46.17	105.75%	73.84	169.13%	43.66
15	76.07	203.83%	36.81	98.63%	58.87	157.74%	37.32
20	61.31	183.62%	31.35	93.89%	50.13	150.13%	33.39
25	51.86	169.31%	27.67	90.34%	44.25	144.47%	30.63
30	45.23	158.42%	24.99	87.53%	39.97	140.00%	28.55
35	40.30	149.81%	22.93	85.24%	36.67	136.32%	26.90
40	36.46	142.76%	21.28	83.32%	34.03	133.24%	25.54
50	30.84	131.63%	18.79	80.20%	30.05	128.25%	23.43
60	26.90	123.17%	16.97	77.70%	27.14	124.27%	21.84
90	19.84	106.27%	13.53	72.47%	21.63	115.85%	18.67
120	15.99	95.75%	11.52	68.98%	18.42	110.30%	16.70

Fuente: Elaboración propia, 2018.

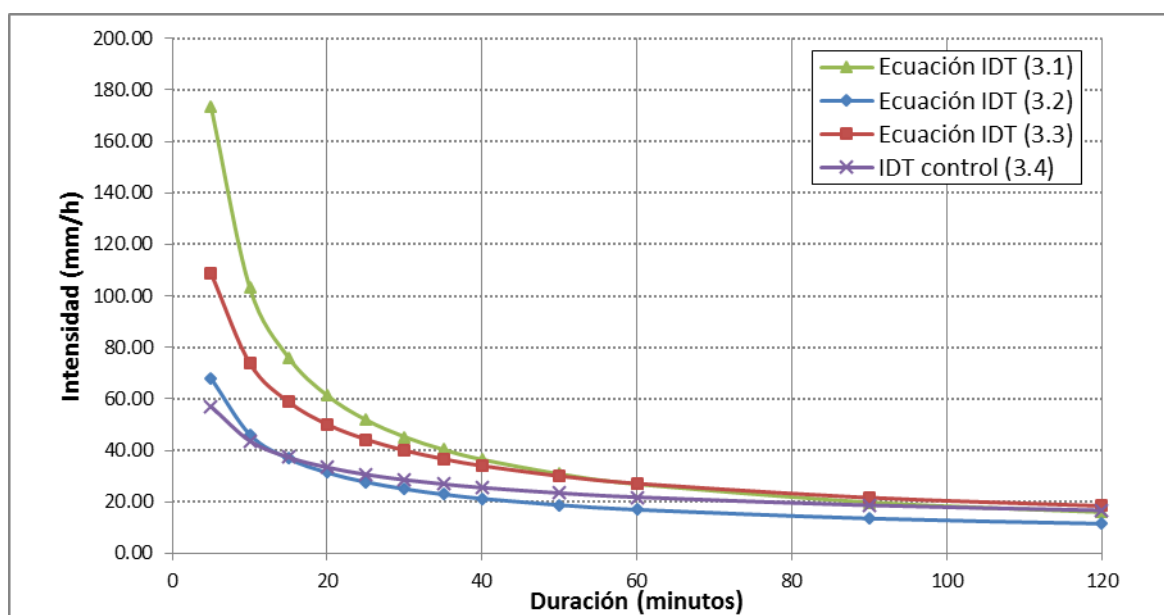


Gráfico 9.4. Intensidad máxima de precipitación pluvial periodo de retorno 25 años

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 9.5  
 Comparativo de intensidad máxima de precipitación pluvial, periodo de retorno 50 años

Duración (minutos)	Periodo de retorno de 50 años						
	Intensidad máxima de precipitación pluvial (mm/h)						IDT control (3.4)
	Ecuación IDT (3.1)		Ecuación IDT (3.2)		Ecuación IDT (3.3)		
5	200.89	304.10%	78.28	118.50%	125.19	189.51%	66.06
10	119.45	236.39%	53.15	105.19%	85.00	168.22%	50.53
15	88.13	204.00%	42.37	98.08%	67.77	156.88%	43.20
20	71.02	183.75%	36.08	93.35%	57.70	149.29%	38.65
25	60.08	169.43%	31.85	89.82%	50.94	143.65%	35.46
30	52.40	158.55%	28.77	87.05%	46.01	139.21%	33.05
35	46.68	149.95%	26.39	84.77%	42.21	135.59%	31.13
40	42.23	142.81%	24.50	82.85%	39.18	132.50%	29.57
50	35.72	131.71%	21.62	79.72%	34.58	127.51%	27.12
60	31.16	123.26%	19.53	77.25%	31.24	123.58%	25.28
90	22.99	106.39%	15.57	72.05%	24.90	115.22%	21.61
120	18.53	95.81%	13.26	68.56%	21.21	109.67%	19.34

Fuente: Elaboración propia, 2018.

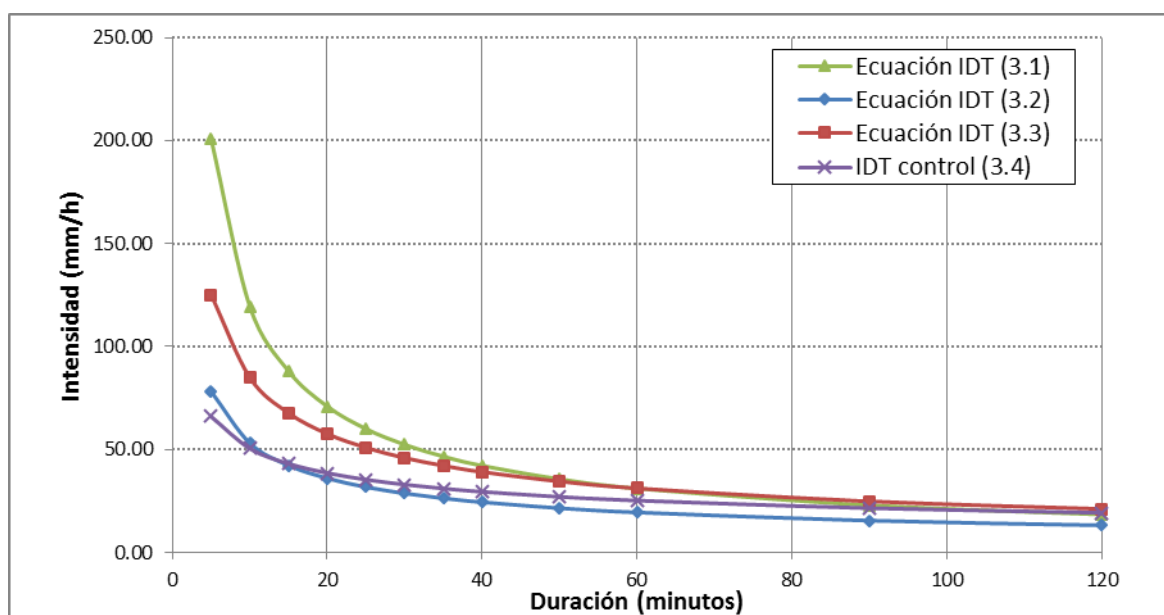


Gráfico 9.5. Intensidad máxima de precipitación pluvial periodo de retorno 50 años

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla 9.6  
 Comparativo de intensidad máxima de precipitación pluvial, periodo de retorno 100 años

Duración (minutos)	Periodo de retorno de 100 años						
	Intensidad máxima de precipitación pluvial (mm/h)						IDT control (3.4)
	Ecuación IDT (3.1)		Ecuación IDT (3.2)		Ecuación IDT (3.3)		
5	232.72	304.33%	90.11	117.84%	144.11	188.45%	76.47
10	138.38	236.59%	61.18	104.60%	97.84	167.28%	58.49
15	102.09	204.14%	48.77	97.52%	78.01	155.99%	50.01
20	82.28	183.91%	41.53	92.83%	66.42	148.46%	44.74
25	69.60	169.59%	36.66	89.33%	58.64	142.88%	41.04
30	60.70	158.69%	33.11	86.56%	52.96	138.46%	38.25
35	54.08	150.06%	30.38	84.30%	48.59	134.82%	36.04
40	48.92	142.96%	28.20	82.41%	45.10	131.79%	34.22
50	41.38	131.78%	24.89	79.27%	39.81	126.78%	31.40
60	36.10	123.38%	22.48	76.83%	35.95	122.86%	29.26
90	26.63	106.48%	17.92	71.65%	28.67	114.63%	25.01
120	21.46	95.89%	15.26	68.19%	24.41	109.07%	22.38

Fuente: Elaboración propia, 2018.

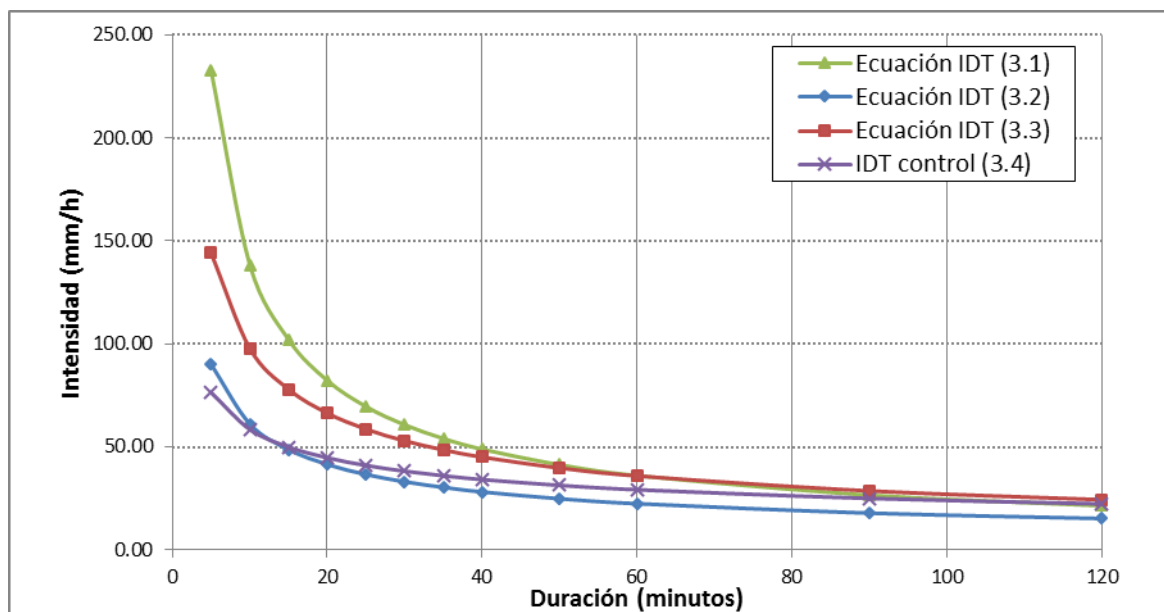


Gráfico 9.6. Intensidad máxima de precipitación pluvial periodo de retorno 100 años

Fuente: Elaboración propia, 2018.

# Anexo 10

## Panel fotográfico



Fotografía 10.1. Estación climatológica ordinaria CO 788-Capachica



Fotografía 10.2. Pluviómetro de estación CO 788-Capachica



Fotografía 10.3. Personal encargado de la estación CO 788-Capachica



Fotografía 10.4. Pluviógrafo en la estación CO 788-Capachica

# Anexo 11

## **Matriz de consistencia**

Tabla 11.1  
Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE INDEPENDIENTE	TIPO DE INVESTIGACIÓN Predictiva
¿Cómo se genera la intensidad máxima de precipitación pluvial con fines de diseño de infraestructura hidráulica en la localidad de Capachica – Puno?	Generar la intensidad máxima de precipitación pluvial con fines de diseño de infraestructura hidráulica en la localidad de Capachica – Puno.	La intensidad máxima de precipitación pluvial con fines de diseño de infraestructura hidráulica en la localidad de Capachica – Puno, se genera aplicando la ecuación IDT.	Precipitación máxima en 24 horas del registro pluviométrico histórico de la estación CO 788- Capachica en milímetros.	Distribución de probabilidad de mejor ajuste.	NIVEL DE INVESTIGACIÓN Comprensivo
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLE DEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN Cuantitativa continua
¿Cuál será la distribución probabilística de mejor ajuste de la precipitación máxima en 24 horas, en la generación de intensidad máxima de precipitación pluvial con fines de diseño de infraestructura hidráulica en la localidad de Capachica – Puno?	Determinar la distribución probabilística de mejor ajuste de la precipitación máxima en 24 horas, en la generación de intensidad máxima de precipitación pluvial con fines de diseño de infraestructura hidráulica en la localidad de Capachica – Puno.	La distribución Gumbel, es la distribución probabilística de mejor ajuste de la precipitación máxima en 24 horas, en la generación de intensidad máxima de precipitación pluvial con fines de diseño de infraestructura hidráulica en la localidad de Capachica – Puno.	Intensidad máxima de precipitación pluvial en mm/h.	La ecuación IDT adecuado (ecuación matemática de intensidad máxima de precipitación pluvial, en función de duración y periodo de	$\begin{matrix} E_i & X & l_i \\ E_c & Y & l_c \end{matrix}$
¿Cuál será la ecuación IDT adecuada, en la generación de intensidad máxima de precipitación pluvial con fines de diseño de infraestructura hidráulica en la localidad de Capachica – Puno?	Determinar la ecuación IDT adecuada, para la generación de intensidad máxima de precipitación pluvial con fines de diseño de infraestructura hidráulica en la localidad de Capachica – Puno.	La ecuación IDT adecuada es la obtenida a partir de la ecuación de distribución de la precipitación pluvial de F. C. Bell-Yance Tueros, en la generación de intensidad máxima de precipitación pluvial con fines de diseño de infraestructura hidráulica en la localidad de Capachica – Puno.			CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Prueba U de Mann-Whitney conocida también como prueba de suma de rangos de Wilcoxon

Fuente: Elaboración propia, 2018.