

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

Análisis de precipitaciones y estimación de las curvas IDF para las estaciones meteorológicas de Tambobamba y Curahuasi- Apurímac

Presentado por:

Rogelio Quispe Paucara

Para optar el Título de Ingeniero Civil

Abancay, Perú

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Tesis

“Análisis de precipitaciones y estimación de las curvas IDF para las estaciones meteorológicas de Tambobamba y Curahuasi- Apurímac”

Presentado por **Rogelio Quispe Paucara**, para optar el título de:


INGENIERO CIVIL

Sustentado y aprobado el 01 de diciembre del 2022, ante el jurado evaluador:

Presidente:


Ing. Darwin Duhamel Loayza Encalada


Primer miembro:


Dr. Edgar Zenón Vilca Mansilla

Segundo miembro:


Dr. Walquer Huacani Calsin

Asesor:


Mtro. Diomedes Napoleón Ferrel Sarmiento

Agradecimiento

A Dios, que siempre me guio por el buen camino.

A mi alma mater, por darme la oportunidad de estudiar, y a todos mis docentes que dieron lo mejor de sus enseñanzas para consolidar mis conocimientos.

A mi asesor, Mtro. Diomedes Napoleón Ferrel Sarmiento, por sus orientaciones para culminar la presente investigación.



Dedicatoria

A mi amada madre, Brigida Pauccara Condori (Q.E.P.D.), quien guía mis pasos desde el cielo; y en vida con sus actos me enseñó lo que es la fortaleza.

A mi padre, Maximiliano Quispe Chañi, quien me enseñó que a pesar de todo debemos seguir adelante.

A Maya y Mariela que son mis grandes motivos.

A todas las personas que siempre me animaron e inspiraron a continuar.

“Análisis de precipitaciones y estimación de las curvas IDF para las estaciones meteorológicas de Tambobamba y Curahuasi- Apurímac”

Línea de investigación: Ingeniería de la construcción

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	2
ABSTRACT	3
CAPÍTULO I	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1 Descripción del problema	4
1.2 Enunciado del problema	5
1.2.1 Problema general	5
1.2.2 Problemas específicos	5
1.3 Justificación de la investigación	5
CAPÍTULO II	7
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	7
2.1 Objetivos de la investigación	7
2.1.1 Objetivos generales	7
2.1.2 Objetivos específicos	7
2.2 Hipótesis de la investigación.....	7
2.2.1 Hipótesis general.....	7
2.2.2 Hipótesis específica	7
2.3 Operacionalización de variables	8
CAPÍTULO III	9
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	9
3.1 Antecedentes	9
3.1.1 Antecedentes nacionales	9
3.1.2 Antecedentes internacionales.....	10
3.2 Marco teórico	13
3.2.1 Hidrología	13
3.2.2 Ciclo hidrológico	14
3.2.3 Precipitación	15
3.2.3.1 Formación de la precipitación.....	15
3.2.3.2 Tipos de precipitación.....	16
3.2.3.2.1 Ciclónica	16
3.2.3.2.2 Orográfica	16
3.2.3.2.3 Convectiva	17
3.2.4 Estaciones meteorológicas	18
3.2.4.1 Red de estaciones meteorológicas en el Perú.....	18



3.2.4.2	Medición de las precipitaciones.....	20
3.2.4.2.1	Pluviógrafo.....	20
3.2.4.2.2	Pluviómetros	21
3.2.5	Tormenta de Diseño	22
3.2.5.1	Importancia del análisis de tormentas	22
3.2.5.2	Elementos fundamentales del análisis de tormenta.....	22
3.2.5.2.1	La intensidad.....	22
3.2.5.2.2	Duración.....	23
3.2.5.2.3	Frecuencia.....	23
3.2.5.2.4	Periodo de retorno.....	23
3.2.6	Análisis estadístico.....	24
3.2.6.1	Prueba de datos dudosos	24
3.2.6.2	Cálculo de la probabilidad empírica o experimental	25
3.2.6.3	Determinación de parámetros de funciones de probabilidad.....	26
3.2.6.3.1	L-momentos	26
3.2.6.4	Distribuciones de probabilidad para las variables hidrológicas.....	28
3.2.6.4.1	Distribución normal	28
3.2.6.4.2	Distribución log-normal de 2 parámetros	29
3.2.6.4.3	Distribución log-normal de 3 parámetros	30
3.2.6.4.4	Distribución gamma de 2 parámetros	32
3.2.6.4.5	Distribución Pearson tipo III o gamma de 3 parámetros	33
3.2.6.4.6	Distribución log-Pearson tipo III	36
3.2.6.4.7	Distribución Gumbel.....	36
3.2.6.5	Selección de función de distribución de probabilidad	37
3.2.6.5.1	Pruebas de bondad de ajuste	37
3.2.6.6	Probabilidad, periodo de retorno y riesgo de falla.....	41
3.2.6.6.1	Periodo de retorno.....	41
3.2.6.6.2	Análisis de riesgo	42
3.2.7	Curvas intensidad – duración – frecuencia (IDF).....	44
3.2.8	Curvas IDF a partir Coeficientes de duración del MTC.....	48
3.2.9	Análisis de regresión.....	49
3.2.9.1	Regresión lineal simple.....	49
3.2.9.2	Regresión no lineal	50
3.2.10	Correlación.....	50
3.2.10.1	Coefficiente de correlación	50
3.2.10.2	Coefficiente de determinación.....	51



3.2.10.3	Coeficiente de determinación ajustado	51
3.2.11	Comparación en posición y forma	52
3.2.11.1	Comparación en posición.....	52
3.2.11.2	Medidas de forma	53
3.2.12	R Studio	55
3.2.12.1	Paquete lmom.....	56
3.3	Marco conceptual.....	58
3.3.1	Precipitación	58
3.3.2	Intensidad	58
3.3.3	Curvas IDF.....	58
3.3.4	Periodo de retorno.....	58
CAPÍTULO IV.....		59
METODOLOGÍA		59
4.1	Tipo y nivel de investigación	59
4.1.1	Tipo de investigación	59
4.1.2	Nivel de investigación.....	59
4.2	Diseño de investigación	59
4.3	Población y muestra	59
4.3.1	Población.....	59
4.3.2	Muestra	59
4.4	Procedimiento	59
4.5	Técnicas e instrumentos	61
4.6	Análisis estadístico.....	61
CAPÍTULO V.....		62
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....		62
5.1	Análisis de resultados	62
5.1.1	Resultados para la estación meteorológica de Tambobamba.....	62
5.1.1.1	Precipitación máxima en 24 horas	62
5.1.1.2	Prueba de datos dudosos	63
5.1.1.3	Análisis probabilístico	64
5.1.1.3.1	Pruebas de bondad de ajuste	68
5.1.1.4	Curvas intensidad duración frecuencia para la estación de Tambobamba.....	71
5.1.1.5	Comparación en forma y posición	83
5.1.2	Resultados para la estación meteorológica de Curahuasi	92
5.1.2.1	Precipitación máxima en 24 horas	92
5.1.2.2	Prueba de datos dudosos	93
5.1.2.3	Análisis probabilístico	94



5.1.2.3.1	Pruebas de bondad de ajuste	97
5.1.2.4	Curvas intensidad duración frecuencia para la estación Curahuasi	100
5.1.2.5	Comparación en posición y forma	109
5.2	Contrastación de hipótesis	118
5.3	Discusión.....	118
CAPÍTULO VI.....		121
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		121
6.1	Conclusiones	121
6.2	Recomendaciones	122
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		123
ANEXOS.....		128



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 — Operacionalización de variables.....	8
Tabla 2 — Formas de precipitación	16
Tabla 3 — Valores K_n para la prueba de datos dudosos, nivel de significancia 10%	25
Tabla 4 — Coeficientes de aproximación	30
Tabla 5 — Coeficientes de aproximación	34
Tabla 6 — Prueba de Kolmogorov-Smirnov.....	40
Tabla 7 — Periodo de retorno de diseño recomendado, para estructuras menores.....	42
Tabla 8 — Valores de R, en función de T y n.....	43
Tabla 9 — Valores máximos recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje.....	44
Tabla 10 — Correlación P24h y diversos periodos de duración (Dt).....	47
Tabla 11 — Coeficientes de duración lluvias entre 48 horas y una hora	48
Tabla 12 — Técnicas e instrumentos de investigación	61
Tabla 13 — Meses con mayor cantidad de registros de precipitaciones máximas en 24 horas	62
Tabla 14 — Precipitaciones máximas en 24 horas de la estación meteorológica de Tambobamba	63
Tabla 15 — Determinación de los momentos probables ponderados para la estación de Tambobamba	65
Tabla 16 — Resultados de las funciones de distribución acumulada para la estación de Tambobamba	67
Tabla 17 — Resultados de la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov para la estación de Tambobamba	68
Tabla 18 — Resumen de la prueba de Kolmogorov-Smirnov para la estación meteorológica de Tambobamba para $\alpha = 5\%$	69
Tabla 19 — Resumen de la prueba Chi-cuadrado para la estación meteorológica de Tambobamba para $\alpha = 5\%$	70
Tabla 20 — Precipitación máxima en 24 horas, para diferentes periodos de retorno, para la estación de Tambobamba	71
Tabla 21 — Deducción de precipitaciones máximas para una hora de duración, para la estación de Tambobamba	72
Tabla 22 — Tabulación de valores para obtener la ecuación del coeficiente de frecuencia, para la estación de Tambobamba	73
Tabla 23 — Duración de precipitación para diferentes tiempos, para la estación de Tambobamba	74
Tabla 24 — Precipitaciones para diferentes periodos de retorno y duraciones a partir de la Tabla 23 para la estación de Tambobamba	75
Tabla 25 — Valores de coeficientes de duración para diferentes periodos de retorno y duraciones, para la estación de Tambobamba	76
Tabla 26 — Precipitaciones generadas a partir de la ecuación 144, para la estación de Tambobamba	78
Tabla 27 — Intensidad para diferentes duraciones y periodos de retorno, para la estación de Tambobamba	78
Tabla 28 — Coeficientes de duración generados para 10, 20 y 30 minutos	80
Tabla 29 — Coeficientes de duración del MTC extendidos.....	80
Tabla 30 — Precipitaciones generadas para diferentes periodos de retorno y duraciones con los coeficientes de duración del MTC	81

Tabla 31 — Intensidades generadas para diferentes periodos de retorno y duraciones con los coeficientes de duración del MTC.....	82
Tabla 32 — Comparación de intensidades obtenidas para la estación meteorológica de Tambobamba y coeficientes de duración del MTC.....	83
Tabla 33 — Resumen estadístico de las intensidades calculadas por la ecuación 145 y los coeficientes de duración del MTC, T=2 años, para la estación meteorológica de Tambobamba	83
Tabla 34 — Resumen estadístico de las intensidades calculadas por la ecuación 145 y los coeficientes de duración del MTC, T=5 años, para la estación meteorológica de Tambobamba	84
Tabla 35 — Resumen estadístico de las intensidades calculadas por la ecuación 145 y los coeficientes de duración del MTC, T=10 años, para la estación meteorológica de Tambobamba	84
Tabla 36 — Resumen estadístico de las intensidades calculadas por la ecuación 145 y los coeficientes de duración del MTC, T=25 años, para la estación meteorológica de Tambobamba	85
Tabla 37 — Resumen estadístico de las intensidades calculadas por la ecuación 145 y los coeficientes de duración del MTC, T=50 años, para la estación meteorológica de Tambobamba	85
Tabla 38 — Comparación de medias de las intensidades calculadas por la ecuación 145 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Tambobamba, para T=2 años.....	86
Tabla 39 — Comparación de medias de las intensidades calculadas por la ecuación 145 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Tambobamba, para T=5 años.....	87
Tabla 40 — Comparación de medias de las intensidades calculadas por la ecuación 145 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Tambobamba, para T=10 años.....	87
Tabla 41 — Comparación de medias de las intensidades calculadas por la ecuación 145 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Tambobamba, para T=25 años.....	88
Tabla 42 — Comparación de medias de las intensidades calculadas por la ecuación 145 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Tambobamba, para T=50 años.....	88
Tabla 43 — Comparación de desviación estándar de las intensidades calculadas por la ecuación 145 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Tambobamba, para T=2 años	89
Tabla 44 — Comparación de desviación estándar de las intensidades calculadas por la ecuación 145 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Tambobamba, para T=5 años	90
Tabla 45 — Comparación de desviación estándar de las intensidades calculadas por la ecuación 145 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Tambobamba, para T=10 años	90
Tabla 46 — Comparación de desviación estándar de las intensidades calculadas por la ecuación 145 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Tambobamba, para T=25 años	91



Tabla 47 — Comparación de desviación estándar de las intensidades calculadas por la ecuación 145 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Tambobamba, para T=50 años	91
Tabla 48 — Precipitaciones máximas en 24 horas de la estación meteorológica de Curahuasi	92
Tabla 49 — Determinación de los momentos probables ponderados para la estación de Curahuasi	94
Tabla 50 — Resultados de las funciones de distribución acumulada para la estación de Curahuasi	96
Tabla 51 — Resultados de la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov para la estación de Curahuasi	97
Tabla 52 — Resumen de la prueba de Kolmogorov-Smirnov para la estación meteorológica de Curahuasi, para $\alpha=5\%$	98
Tabla 53 — Resumen de la prueba Chi-cuadrado para la estación meteorológica de Curahuasi para $\alpha=5\%$	98
Tabla 54 — Precipitación máxima en 24 horas, para diferentes periodos de retorno, para la estación de Curahuasi	100
Tabla 55 — Deducción de precipitaciones máximas para una hora de duración, para la estación de Curahuasi	100
Tabla 56 — Tabulación de valores para obtener la ecuación del coeficiente de frecuencia, para la estación de Curahuasi	101
Tabla 57 — Duración de precipitación para diferentes tiempos, para la estación de Curahuasi	102
Tabla 58 — Precipitaciones para diferentes periodos de retorno y duraciones a partir de la Tabla 57, para la estación de Curahuasi	103
Tabla 59 — Valores de coeficientes de duración para diferentes periodos de retorno y duraciones, para la estación de Curahuasi	104
Tabla 60 — Precipitaciones generadas a partir de fórmula, para la estación de Curahuasi ..	105
Tabla 61 — Intensidad para diferentes duraciones y periodos de retorno, para la estación de Curahuasi	106
Tabla 62 — Precipitaciones generadas para diferentes periodos de retorno y duraciones con los coeficientes de duración del MTC	107
Tabla 63 — Intensidades generadas para diferentes periodos de retorno y duraciones con los coeficientes de duración del MTC.....	108
Tabla 64 — Comparación de intensidades obtenidas para la estación meteorológica de Curahuasi coeficientes de duración del MTC y ecuación 149	108
Tabla 65 — Resumen estadístico de las intensidades calculadas por la ecuación 149 y los coeficientes de duración del MTC, T=2 años, para la estación meteorológica de Curahuasi	109
Tabla 66 — Resumen estadístico de las intensidades calculadas por la ecuación 149 y los coeficientes de duración del MTC, T=5 años, para la estación meteorológica de Curahuasi	110
Tabla 67 — Resumen estadístico de las intensidades calculadas por la ecuación 149 y los coeficientes de duración del MTC, T=10 años, para la estación meteorológica de Curahuasi	110
Tabla 68 — Resumen estadístico de las intensidades calculadas por la ecuación 149 y los coeficientes de duración del MTC, T=25 años, para la estación meteorológica de Curahuasi	110

Tabla 69 — Resumen estadístico de las intensidades calculadas por la ecuación 149 y los coeficientes de duración del MTC, T=50 años, para la estación meteorológica de Curahuasi	111
Tabla 70 — Comparación de medias de las intensidades calculadas por la ecuación 149 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Curahuasi, para T=2 años	112
Tabla 71 — Comparación de medias de las intensidades calculadas por la ecuación 149 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Curahuasi, para T=5 años	113
Tabla 72 — Comparación de medias de las intensidades calculadas por la ecuación 149 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Curahuasi, para T=10 años	113
Tabla 73 — Comparación de medias de las intensidades calculadas por la ecuación 149 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Curahuasi, para T=25 años	113
Tabla 74 — Comparación de medias de las intensidades calculadas por la ecuación 149 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Curahuasi, para T=50 años	114
Tabla 75 — Comparación de desviación estándar de las intensidades calculadas por la ecuación 149 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Curahuasi, para T=2 años	115
Tabla 76 — Comparación de desviación estándar de las intensidades calculadas por la ecuación 149 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Curahuasi, para T=5 años	115
Tabla 77 — Comparación de desviación estándar de las intensidades calculadas por la ecuación 149 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Curahuasi, para T=10 años	116
Tabla 78 — Comparación de desviación estándar de las intensidades calculadas por la ecuación 149 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Curahuasi, para T=25 años	116
Tabla 79 — Comparación de desviación estándar de las intensidades calculadas por la ecuación 149 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Curahuasi, para T=50 años	117



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 — Representación en diagrama de bloques del sistema hidrológico global.....	14
Figura 2 — Esquema de precipitación ciclónica, frente frío.....	16
Figura 3 — Esquema de precipitación orográfica.....	17
Figura 4 — Esquema de precipitación convectiva.....	17
Figura 5 — Red de estaciones Hidrometeorológicos en el Perú al 2021.....	18
Figura 7 — Pluviógrafo.....	20
Figura 6 — Pluviómetro.....	21
Figura 8 — Sesgo de los datos.....	53
Figura 9 — Grados de curtosis.....	54
Figura 10 — Entorno del software R Studio.....	57
Figura 11 — Procedimiento de investigación.....	60
Figura 12 — Límites superiores e inferiores para la serie de tiempo de la estación meteorológica Tambobamba.....	64
Figura 13 — Ajuste de la distribución Pearson tipo III para la estación de Tambobamba.....	70
Figura 14 — Regresión entre periodo de retorno y coeficiente de frecuencia para la estación de Tambobamba.....	74
Figura 15 — Regresión entre la duración y coeficiente de duración para la estación de Tambobamba.....	77
Figura 16 — Curvas IDF para la estación de Tambobamba generados a partir de la Ecuación 145.....	79
Figura 17 — Ajuste de duración y coeficiente de duración del MTC.....	80
Figura 18 — Curvas IDF generados a partir de coeficientes de duración recomendados por el MTC.....	82
Figura 19 — Límites superiores e inferiores para la serie de tiempo de la estación meteorológica Curahuasi.....	94
Figura 20 — Ajuste de la distribución log Pearson tipo III para la estación de Curahuasi.....	99
Figura 21 — Regresión entre el periodo de retorno y el coeficiente de frecuencia para la estación de Curahuasi.....	102
Figura 22 — Regresión entre la duración y coeficiente de duración para la estación de Curahuasi.....	105
Figura 23 — Curvas IDF para la estación de Curahuasi generadas a partir de la ecuación 149.....	107
Figura 24 — Coeficientes de duración generadas a partir de los coeficientes de duración del MTC para estación de Curahuasi.....	108



INTRODUCCIÓN

Para el diseño de una infraestructura hidráulica, es necesario contar con las curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF) las cuales permitirán obtener el caudal, con ayuda de modelos de lluvia escorrentía. Sin embargo, en nuestro país estas investigaciones poco a poco se van desarrollando, el panorama es similar en nuestra región ya que no se cuentan con curvas IDF a pesar que existen estaciones meteorológicas con información pluviométrica.

A partir de lo anterior, la presente investigación plantea la siguiente pregunta de investigación ¿Son adecuadas las estimaciones de las curvas intensidad-duración-frecuencia a partir del análisis de precipitaciones, en las estaciones meteorológicas de Tambobamba y Curahuasi para el diseño de obras hidráulicas?, por lo que el objetivo es estimar curvas intensidad-duración-frecuencia a partir de los registros históricos de precipitación con las que cuentan cada una de las estaciones meteorológicas.

El desarrollo de la investigación se estructura de la siguiente manera:

En el capítulo I; planteamiento del problema, se identifica la situación problemática respecto a la necesidad de contar con información de las curvas intensidad-duración-frecuencia, además se identifican los enunciados del problema, así como la justificación de la investigación.

En el capítulo II; objetivos e hipótesis, se presentan los objetivos de la investigación, así como sus respectivas hipótesis y la operacionalización de variables identificando la variable independiente y dependiente.

En el capítulo III; marco teórico referencial, se da a conocer los antecedentes de investigaciones similares, se establecen las bases teóricas que involucran conceptos como hidrología, precipitación, estaciones meteorológicas, momentos lineales, funciones de distribución de probabilidad, pruebas de bondad de ajuste, curvas IDF, coeficiente de duración, coeficiente de frecuencia, comparación en posición y forma.

En el capítulo IV; metodología, se describen aspectos como el tipo de investigación, su diseño, población y tamaño de muestra, además se describe el procedimiento que se realiza.

En el capítulo V; se describen los resultados y análisis de datos, dentro de esta se encuentra la esencia de la investigación.

En el capítulo VI; se exponen las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y los anexos de la investigación.



RESUMEN

En nuestra región no se tienen establecidas estimaciones de curvas intensidad-duración frecuencia (IDF), ya que las investigaciones enfocadas a este aspecto poco a poco van tomando relevancia por la importancia que estas tienen en el diseño de obras hidráulicas. Sin embargo, existen estaciones meteorológicas con información pluviométrica. La finalidad de la investigación fue realizar la estimación de las curvas intensidad-duración-frecuencia para el diseño de obras hidráulicas a partir de los datos registrados por el SENAMHI, de la variable precipitación, en las estaciones meteorológicas de Tambobamba y Curahuasi. Para el análisis probabilístico de las precipitaciones máximas en 24 horas, se utilizó las funciones teóricas normal, log-normal de 2 parámetros, log-normal de 3 parámetros, gamma, Pearson tipo III, log-Pearson tipo III y Gumbel, para la selección de la función de distribución de probabilidad que mejor se ajustó al conjunto de datos seleccionados, se utilizaron las pruebas de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov y Chi cuadrado. Siendo las seleccionadas las distribuciones Pearson y log-Pearson para las estaciones de Tamobobamba y Curahuasi, respectivamente. Las intensidades de lluvia se generaron a partir de ecuaciones empíricas, las cuales se denominaron coeficiente de frecuencia y coeficiente de duración cada una de ellas se determinó mediante regresión donde los coeficientes de determinación y coeficiente de determinación ajustado fueron buenos. Finalmente se combinó los dos coeficientes para determinar la ecuación que permita estimar las curvas intensidad duración frecuencia, luego se realizó la comparación en forma, por medio de sus sesgos y curtosis; y comparación en posición, por medio de sus medias y desviaciones estándar, a través de las pruebas de t-Student y f-Fisher, respectivamente; entre las intensidades generadas por los coeficientes de duración del manual para diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito del MTC y las desarrolladas a partir de los registros de precipitaciones máximas en 24 horas, de las estaciones meteorológicas de Curahuasi y Tambobamba, los cuales fueron satisfactorios.

Palabras clave: *Curvas IDF, precipitación, distribución de probabilidad, coeficiente de duración, coeficiente de frecuencia.*



ABSTRACT

In our region there are no established estimates of intensity-duration-frequency (IDF) curves, since the investigations focused on this aspect are gradually gain relevance, due to the importance they have in the design of hydraulic works. However, there are weather stations with rainfall information. The purpose of the research was to estimate the intensity-duration-frequency curves for the design of hydraulic works, obtained from the data recorded by SENAMHI of the precipitation variable at the Tambobamba and Curahuasi meteorological stations. For the probabilistic analysis of the maximum rainfall in 24 hours, for this, the data provided by SENAMHI was taken. the theoretical functions normal, 2-parameter log-normal, 3-parameter log-normal, gamma, Pearson type III, log-Pearson type III and Gumbel were used. To select the probability distribution function that best adapted to the selected data set, the Kolmogorov-Smirnov and Chi-square Goodness of Fit Tests were used. Being the selected Pearson and log-Pearson distributions for the Tambobamba and Curahuasi stations, respectively. The rainfall intensities were generated from empirical equations, which were denominated frequency coefficient and duration coefficient, each of them was determined by regression. Where the coefficients of determination and adjusted coefficient of determination were good. Finally, the two coefficients were combined to determine the equation that allows estimating the intensity-duration-frequency curves. Then the comparison was made in form, through its biases and kurtosis; and comparison in position, through their means and standard deviations, through the t-Student and f-Fisher tests, respectively; between the intensities generated by the duration coefficients of the Design Manual of Unpaved Highways of Low Volume of Traffic of the Ministry of Transport and Communications (MTC), and those developed from the records of maximum rainfall in 24 hours, from the meteorological stations from Curahuasi and Tambobamba, which were satisfactory.

Keywords: *IDF curves, precipitation, probability distribution, coefficient of duration, frequency coefficient.*



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

A nivel internacional existen varias investigaciones cuyos objetivos se centran en la estimación de las curvas intensidad-duración-frecuencia, estas “[...]representan una de las herramientas más utilizadas para estimar caudales máximos, que sirven para el diseño de obras hidráulicas [...]” (GRAJALES Y CARVAJAL 2019). A pesar que muchos de estos países cuentan con perfiles de tormenta y ecuaciones que permiten obtener directamente las curvas IDF, continúan perfeccionando sus métodos de estimación.

A nivel nacional las investigaciones sobre este tema poco a poco van tomando relevancia con estudios similares a los de (ESQUEN Y RODRIGUEZ 2016), ya que tienen mucha importancia en el diseño y posterior construcción de las diferentes obras hidráulicas. Sin embargo, este tipo de estudios no se dan en todas las regiones.

En Apurímac, las estaciones implementadas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, que miden y registran la variable caudal son reducidas, por lo que esta información hace falta en zonas de interés en las cuales se realizan proyectos hidráulicos, al respecto (HIDALGO 2019) manifiesta que “en un proyecto hidráulico la etapa con más incertidumbre es la hidrología. la cantidad de estaciones meteorológicas o hidrométricas disponibles en nuestro país es muy escasa, a pesar de ser sumamente necesarias para desarrollar ingeniería hidrológica básica [...]”. Por esta razón se recurre al análisis de las precipitaciones máximas en 24 horas para la estimación de las curvas IDF, lo cual permitirá calcular, a través de modelos de lluvia escorrentía, los caudales máximos para el diseño de obras hidráulicas.

En la actualidad en la región de Apurímac no se cuentan con estudios que se enfoquen a la estimación de las curvas IDF, sin embargo, los distritos de Tambobamba y Curahuasi, cuentan con estaciones meteorológicas implementadas por el SENAMHI, las cuales cuentan con información pluviométrica, por lo cual es necesario aprovechar la información registrada a lo largo de los años para poder estimar las curvas intensidad-duración –frecuencia.

Por otra parte, considerando que actualmente se vienen ejecutando diferentes obras hidráulicas, es necesario contar con este insumo básico en los cálculos de diseño, para



que de esta forma las obras no se sobredimensionen, las cuales generan gastos innecesarios en los proyectos, o sean deficientes, llegando a un colapso, al momento de que estas obras entren en operación.

De seguir con esta problemática, no se tendrá con seguridad, que los proyectos en el campo de la hidráulica que actualmente se vienen elaborando en las distintas provincias y distritos, se efectúen de acuerdo a las verdaderas necesidades.

Por tal motivo es necesario realizar la estimación de las curvas IDF a partir de información pluviométrica, en base a modelos matemáticos, y sus respectivas ecuaciones para que sean aplicables en las áreas circundantes a dichas estaciones, aprovechando los datos registrados en las estaciones meteorológicas con las que cuenta el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), de esta forma se contará con datos que ayuden de mejor manera al dimensionamiento de los proyectos hidráulicos y el aprovechamiento de recursos hídricos.

1.2 Enunciado del problema

1.2.1 Problema general

¿Son adecuadas las estimaciones de las curvas intensidad-duración-frecuencia a partir del análisis de precipitaciones, en las estaciones meteorológicas de Tambobamba y Curahuasi para el diseño de obras hidráulicas?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Qué función de distribución de probabilidad se ajusta a las precipitaciones máximas en 24 horas de las estaciones meteorológicas de Tambobamba y Curahuasi?
- ¿Qué expresiones permiten estimar las curvas de intensidad-duración-frecuencia para las estaciones meteorológicas de Tambobamba y Curahuasi?
- ¿Son significativas las diferencias de las variaciones en forma y posición de las curvas IDF generadas en cada una de las estaciones meteorológicas, respecto a las curvas IDF generadas por los coeficientes de duración del MTC?

1.3 Justificación de la investigación

Teniendo en consideración que en nuestra región existen datos históricos de la variable precipitación, en las estaciones meteorológicas como son las de Tambobamba y Curahuasi, es necesario estimar las curvas intensidad-duración frecuencia (IDF) en base

a ecuaciones que tienen uso a nivel mundial, debido a que este tipo de investigaciones poco a poco van tomando relevancia por la importancia que tienen en el diseño de obras hidráulicas.

Cabe mencionar que el presente estudio se basa tomando como referencia investigaciones similares y utilizando ecuaciones universales que permitieron la estimación de las curvas IDF en otras partes del mundo. El estudio es conveniente ya que se cuentan con información histórica en las estaciones meteorológicas consideradas para el presente estudio.

Teniendo en consideración lo anterior los principales beneficiados vienen a ser los profesionales dedicados a la formulación de proyectos hagan uso de esta información, de esta forma se tendrá la certeza de que los dimensionamientos sean adecuados. Asimismo, la estimación de las curvas intensidad-duración –frecuencia son de mucha importancia en el aspecto social, ya que este es un insumo primordial para los diseños hidráulicos, que directamente afectaran a los beneficiarios de los proyectos en términos de los dimensionamientos adecuados que satisfagan las necesidades de los mismos. A la vez este está relacionado con temas económicos.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.1.1 Objetivos generales

Estimar curvas intensidad-duración-frecuencia adecuadas para las estaciones meteorológicas de Tambobamba y Curahuasi a partir del análisis de precipitaciones para el diseño de obras hidráulicas.

2.1.2 Objetivos específicos

- Realizar el análisis de precipitaciones máximas en 24 horas, de las estaciones meteorológicas de Tambobamba y Curahuasi realizando el ajuste a una función de distribución de probabilidad mediante pruebas de bondad de ajuste.
- Determinar la expresión que permita estimar las curvas intensidad-duración-frecuencia para diferentes duraciones y periodos de retorno.
- Determinar la variación en posición y forma de las curvas IDF generadas respecto a las curvas IDF generadas a partir de los coeficientes de duración del MTC

2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.1 Hipótesis general

La estimación de las curvas intensidad-duración-frecuencia de las estaciones meteorológicas de Tambobamba y Curahuasi, generados a partir del análisis de precipitaciones, proporcionan una adecuada información para el diseño de obras hidráulicas.

2.2.2 Hipótesis específica

- El análisis de precipitaciones máximas en 24 horas permitirá relacionar y obtener la magnitud de los eventos utilizando una función de distribución de probabilidad.
- Las expresiones que permiten obtener las curvas de IDF para diferentes duraciones y periodos de retorno son adecuadas para cada estación meteorológica.
- La variación en forma y posición de las curvas IDF generadas a partir de los datos de las estaciones meteorológicas respecto a las curvas IDF generadas a partir de los coeficientes de duración del MTC, no son significativas

2.3 Operacionalización de variables

Tabla 1 — Operacionalización de variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Técnica	Instrumento
Independiente Análisis de precipitaciones	Precipitación	mm	Lectura de los registros del SENAMHI	Ficha de registro del SENAMHI
Dependiente Estimación de curvas IDF	Intensidad Duración Periodo de retorno(frecuencia)	mm/h h años	Aplicación de formula Aplicación de formula Aplicación de formula	Fórmula para la estimación de curvas IDF

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

3.1.1 Antecedentes nacionales

UGARTE RAMOS (2012), en su investigación “**Análisis de precipitaciones máximas diarias para la deducción de fórmulas de intensidad de lluvia, y curvas IDF para las estaciones de Huancané, Moho y Putina**” realizó el análisis de las precipitaciones máximas en 24 horas para ello primero efectuó el análisis de consistencia y homogeneidad. Ajusto los datos a función de distribución de probabilidad utilizando la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov, siendo seleccionada la distribución log-normal de 2 parámetros. Utilizaron el perfil de lluvia tipo II propuesta por el SCS los resultados de este coincidieron con el método de Dyck y Peschke para duraciones menores a una hora. Luego utilizó la ecuación empírica que permitió calcular las ecuaciones IDF utilizando regresión para los ajustes. Las ecuaciones que obtuvieron son:

Para la estación de Huancané:

$$I = \frac{332.7196 * T^{0.1556}}{D^{0.7421}}$$

Para la estación de Huaraya - Moho:

$$I = \frac{375.7176793 * T^{0.137149322}}{D^{0.742098088}}$$

Para la estación de Putina:

$$I = \frac{283.5496151 * T^{0.141302543}}{D^{0.742098088}}$$

Donde T está en años y D en minutos

ESQUEN LOZANO (2016), en su investigación “**Determinación de la confiabilidad del método Italo Latino Americano para el cálculo de hietogramas de diseño en las estaciones pluviométricas de Salpo, Quiruvilca y Julcan-cuenca Moche**”, desarrollo el software denominado HydroIILA, mediante el software Visual Basic, el cual permitió obtener las curvas intensidad-duración-frecuencia y el hietograma de diseño, utilizando el método Italo Latino Americano de forma automática al ingresar los parámetros necesarios de la zona de interés de acuerdo a la ubicación de las estacones mencionadas.

Asimismo, se efectuó el tratamiento y evaluación de la información pluviométrica para luego ajustar los datos a una función de distribución de probabilidad utilizando pruebas de bondad de ajuste. Mediante regresión lineal múltiple se ajustaron los datos una ecuación empírica que permitió obtener las curvas IDF y los respectivos hietogramas de diseño para cada caso. Obtenido los resultados de los hietogramas de diseño por los dos métodos compararon los resultados para poder verificar el porcentaje de fiabilidad y la diferencia de los mismos concluyendo que la confiabilidad en periodos de retorno altos (T:500años) es mayor y disminuye a medida que el periodo de retorno se reduce (T: 50, 25, 10 y 2 años).

3.1.2 Antecedentes internacionales

MEJIA ARRIETA (2017), en su investigación “**Estimación de curva IDF a partir de lluvias máximas en 24 horas en el departamento del Atlántico**”, analizó el comportamiento de lluvias de corta duración registrados en estaciones pluviograficas así como datos de precipitaciones máximas en 24 horas registrados en estaciones pluviométricas. Se efectuó la evaluación de ajuste de series a funciones de distribución de probabilidad, las utilizadas fueron las distribuciones Gumbel, Pearson tipo III y SQRT. La distribución Gumbel fue la utilizada para la elaboración de las curvas IDF para ello se ajustaron a modelos matemáticos. El error relativo promedio porcentual para los valores de intensidad máxima calculados por los métodos en cada estación pluviografica variaron entre 4% a 37%. Por otra parte, utilizo métodos geo estadísticos para para analizar la variabilidad espacial de las precipitaciones y las intensidades.

CADAVID CARTAGENA (2007) ,en su investigación “**Curvas IDF, Hietogramas de diseño de obras de infraestructura e impacto económico del periodo de retorno**”, tomo un total de 165 curvas IDF para diferentes estaciones y otras obtenidas de otras investigaciones. Se enfocó en sistemas de evacuación de aguas generadas por lluvias en áreas urbanas, para ello realizaron un análisis de áreas tributarias, pendientes, selección del diámetro tuberías para determinados periodos de retorno, la cual es uno de los elementos importantes en la determinación de las curvas IDF, y en su influencia de los costos generados. Entre las ideas principales de sus conclusiones indica que los periodos de retorno deben ser utilizados de acuerdo al comportamiento de la lluvia de la zona, asimismo recomienda adoptar un periodo de retorno de 5 años en el caso de redes y según casos justificados aumentar dicho periodo de retorno a 10 años de acuerdo a la importancia de la obra.



TWAGIRAYEZU Y OTROS (2019), en su investigación “**Development of Rainfall Intensity Duration Frequency (IDF) Curves for Hydraulic Design Aspect**”, Para desarrollar las curvas IDF, obtuvieron los datos de dos estaciones, donde se consideró 30 y 25 años de registros históricos. La función de distribución teórica utilizada fue Gumbel, para la determinación de los valores esperados. Para poder descomponer la precipitación para diferentes duraciones utilizaron la fórmula de reducción empírica meteorológica de la India, a partir de las precipitaciones máximas en 24 horas y finalmente obtuvieron las fórmulas empíricas de las curvas IDF, para cada una de las estaciones, para ello utilizaron regresión las mismas que tuvieron coeficientes de correlación superiores a 0.98. las curvas IDF fueron para duraciones entre 10 a 1440 minutos y periodos de retorno de 2 a 100 años. Asimismo, los autores mencionan que las mismas serán utilizadas para diseño de instalaciones de drenaje seguras y económicas.

ALHASSOUN (2011), en su investigación “**Developing an empirical formulae to estimate rainfall intensity in Riyadh region**” trabajó con registros históricos de precipitación, que comprende el periodo 1963-1994, las funciones que mejor se ajustaron a los datos analizados fueron Gumbel y Log Pearson tipo III, además se utilizó la distribución Log normal para las comparaciones. Las duraciones que utilizo son 10, 20, 30 minutos y 1, 2, 24 horas para periodos de retorno de 2, 3, 10, 25,50,100 años con los cuales se obtuvieron las curvas IDF. Finalmente, estos datos se ajustaron mediante regresión a una formulas empírica.

KALITA Y TALUKDAR (2017), y otros , en su investigación “**Establishment of Intensity-Duration-Frequency Formula for Precipitation in Puthimari Basin, Assam**”, se planteó establecer la relación de intensidad-duración-frecuencia, combinando procedimientos a partir de ecuaciones empíricas conocidas, las cuales se emplean en diversos países.

Partieron de una relación básica, la cual indica que la intensidad depende de dos factores principales como son la duración de la precipitación y el periodo de retorno. Para obtener estas relaciones se basa en las ecuaciones de Bernard y tomaron como referencia uno de los factores planteados en las ecuaciones de Bell , Chen y Koutsoyiannis. La función de distribución de probabilidad que utiliza, es la de Gumbel.

Para obtener las ecuaciones finales que permitieron obtener las curvas intensidad-duración-frecuencia, se determinaron las ecuaciones de cada uno de los factores



mediante regresión a partir de los datos de 24 horas de 10 años de registro. El análisis estadístico se efectuó para duraciones de 1,2,3,4,5,6 y 7 horas y respecto al periodo de retorno se tomaron 2, 5, 10, 25 y 50 años.

VIVEKANANDAN (2015), en su investigación “**Estimation of Probable Maximum Precipitation Using Statistical Method**”, estudió un concepto importante, la cual es la precipitación máxima probable, la misma que tiene aplicabilidad para temas de hidráulica, la investigación se realizó en Devarapalle y Visakhapatman cada una con 13 y 39 años de registro de precipitaciones respectivamente, su metodología consistió en: verificar la aleatoriedad, homogeneidad y valores atípicos en la serie de datos mediante pruebas estadísticas, calcular la precipitación extrema por distribución Valor Extremo Tipo 1, realizar la prueba de bondad de ajuste mediante la prueba Anderson-Darling, estimar la precipitación máxima probable por el método de Hershfield, para finalmente analizar los resultados obtenidos.

Por otra parte, para la determinación de los parámetros de función de distribución de probabilidad, se utilizó el método de máxima verosimilitud, una vez obtenidos estos parámetros se pudieron obtener las precipitaciones máximas probables (lluvias extremas) para diferentes periodos de retorno las cuales variaron de 2 a 1000 años para cada uno de los casos. Entre sus principales conclusiones del autor, menciona que los resultados obtenidos serian útiles para la planificación, el diseño y la evaluación de riesgos de las estructuras hidráulicas de alto riesgo.



3.2 Marco teórico

3.2.1 Hidrología

“Hidrología es la ciencia geográfica que se dedica al estudio de la distribución, espacial y temporal y las propiedades del agua presente en la atmosfera y en la corteza terrestre. Esto incluye las precipitaciones [...]” (MTC 2011, p. 13). Asimismo, la hidrología “[...]es utilizada en ingeniería principalmente en relación con el diseño y ejecución de estructuras hidráulicas [...] Por tanto, parece que el conocimiento de los fundamentos de la hidrología es una parte esencial de la preparación del ingeniero civil” (LINSEY, KOHLER Y PAULUS 1977, p. 4)

“Las ciencias hídricas están relacionadas con las aguas de la tierra su distribución y circulación, sus propiedades físicas y químicas, su interacción con el ambiente y con los seres vivos y en particular con los seres humanos” (TE CHOW, MAIDMENT Y MAYS 1994, p. 1).

“El análisis hidrológico exhaustivo es, pues, el primer paso fundamental en la planeación, diseño y operación de proyectos hidráulicos [...] la hidrología juega también un papel importante en la operación efectiva de estructuras hidráulicas. Las dimensiones físicas o capacidad de conducción de una estructura hidráulica”(APARICIO MIJARES 1992, p. 13).

Según MONSALVE SÁENZ (1999, p. 27), menciona diversas aplicaciones de la hidrología, entre ellas:

- Estudio y construcción de obras hidráulicas
 - Fijación de las dimensiones hidráulicas de obra de ingeniería, tales como puentes, etc.
 - Proyectos de presas.
 - Establecimiento de métodos de construcción.
- Drenaje
 - Estudio de características del nivel freático.
 - Examen de las condiciones de alimentación y de escurrimiento natural del nivel freático: precipitación, hoya de contribución y nivel de aguas de las corrientes.
- Irrigación
 - Escogencia de agua necesaria.



- Estudio de evaporación e infiltración.
- Regulación de los cursos de agua y control de inundaciones
 - Estudio de variación de caudal y previsión de crecientes máximas.
 - Exámenes de oscilaciones del nivel de agua y de las áreas de inundación.

Adicionalmente se puede complementar con lo indicado por CAMPOS ARANDA (2010, p. 8), quien menciona entre otras aplicaciones, las siguientes: Presas o embalses para abastecimiento de agua potable, presas de control de crecienta, obras de protección contra crecientes, entre otros.

Respecto a los autores citados, se resalta que la hidrología es de mucha importancia para el diseño, ejecución y operación de diferentes tipos de estructuras hidráulicas.

3.2.2 Ciclo hidrológico

“Se denomina ciclo hidrológico, al conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en un estado (sólido, líquido, gaseoso), como en su forma (agua superficial, agua subterránea, etc)” (VILLON BEJAR 2002, p. 16).

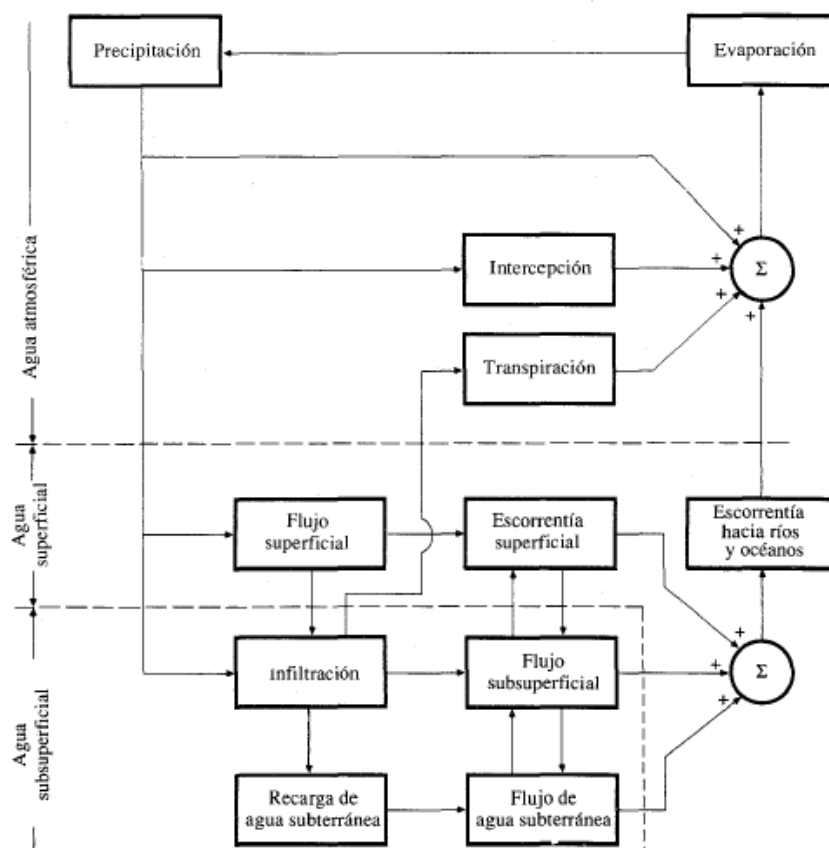


Figura 1 — Representación en diagrama de bloques del sistema hidrológico global
Fuente: (VILLON BEJAR 2002)

Asimismo, este “[...] es el foco central de la hidrología, el ciclo no tiene principio ni fin y sus diversos procesos ocurren en forma continua [...] está compuesto de muchos ciclos interrelacionados de extensión continental, regional y local” (TE CHOW, MAIDMENT Y MAYS 1994, P. 2).

Se puede inferir que el ciclo hidrológico es un proceso sumamente complejo, el cual ocurre en la naturaleza en diferentes estados, estos procesos físicos y químicos son continuos en el tiempo y espacio. Además, su influencia en diferentes fenómenos propias de la naturaleza, así mismo esto influye directamente en la necesidad de su estudio para diferentes campos como la ingeniería.

3.2.3 Precipitación

“Se define precipitación a toda forma de humedad, que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie terrestre. De acuerdo a esta definición, las lluvias, las granizadas, las garuas y nevadas son formas distintas del mismo fenómeno de precipitación” (CHEREQUE MORAN 1989, p. 15). “[...] La formación de precipitación requiere la elevación de una masa de agua en la atmosfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense” (TE CHOW, MAIDMENT Y MAYS 1994, p. 65).

En la “[...]ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y su medición y análisis forman el punto de partida de los estudios concernientes al uso y control del agua”(VILLON BEJAR 2002, p. 69).

Desde nuestro punto de vista la precipitación es un factor importante de estudio, ya que la intensidad de la misma influye en el diseño y construcción de diversas obras hidráulicas.

3.2.3.1 Formación de la precipitación

Para la formación de la precipitación se deben cumplir ciertas condiciones meteorológicas, como se describe a continuación:

“la humedad siempre está presente en la atmosfera aun en los días sin nubes. Para que ocurra la precipitación, se requiere algún mecanismo que enfríe el aire lo suficiente para que llegue de esta manera a, o cerca del punto de saturación. Los enfriamientos de grandes masas, necesarios para que se produzcan cantidades significativas de precipitación, se logran



cuando ascienden las masas de aire [...]” (LINSEY, KOHLER Y PAULUS 1977, p. 45).

Según MONSALVE SÁENZ (1999), para la formación de precipitaciones son necesarios elementos como: “Humedad atmosférica, Radiación Solar, Mecanismo de enfriamiento de aire, Presencia de núcleos higroscópicos para que haya condensación, Mecanismo de crecimiento de las partículas.”

VILLON BEJAR (2002), describe a las principales formas de precipitación:

Tabla 2 — Formas de precipitación

Nombre	Descripción	Tamaño (mm)
Llovizna	Pequeñas gotas de agua	0.1 - 0.5
Lluvia	Gotas de agua	> 0.5
Nieve	Cristales de hielo blanco translucido	-
Granizo	Fragmentos irregulares de hielo	5 – 125

Fuente: (VILLON BEJAR 2002)

3.2.3.2 Tipos de precipitación

3.2.3.2.1 Ciclónica

“Se producen cuando hay un encuentro de dos masas de aire, con diferente temperatura y humedad, las nubes más calientes son violentamente impulsadas a las partes más altas, donde pueden producirse la condensación y precipitación [...]” (VILLON BEJAR 2002, p. 72)

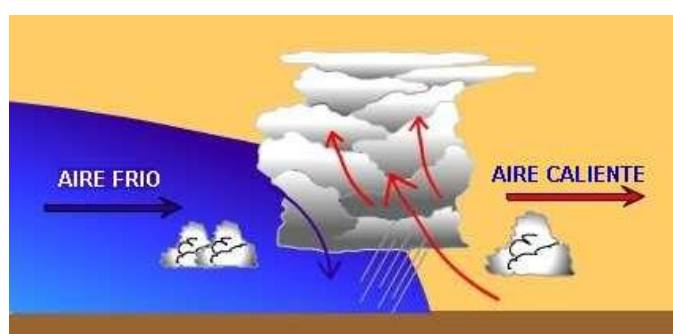


Figura 2 — Esquema de precipitación ciclónica, frente frío

Fuente: (BASUALDO Y HEINZENKNECHT 2021)

3.2.3.2.2 Orográfica

“Resulta del avance de aire húmedo (generalmente desde el mar) que es obligado a ascender por efecto de una cadena montañosa. La mayor parte de la precipitación se produce a barlovento de la cadena.” (FATTORELLI Y FERNANDEZ 2011, p. 28)

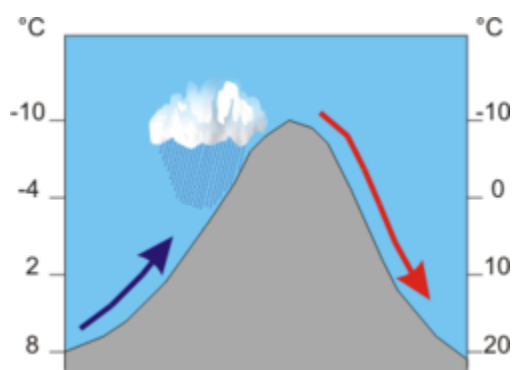


Figura 3 — Esquema de precipitación orográfica

Fuente: (WIKIPEDIA 2021)

En WIKIPEDIA (2021), se describe que el aire húmedo ascendente está representado mediante el color azul oscuro, el cual al encontrarse con un obstáculo orográfico se origina la precipitación representada con azul claro en el lado de barlovento; en el sotavento desciende aire seco y cálido el cual está representado por el color marrón.

3.2.3.2.3 Convectiva

“Es causada por el ascenso de aire cálido más liviano que el aire frío de los alrededores. Las diferencias en temperaturas pueden ser el resultado de calentamientos diferenciales en la superficie, de enfriamientos diferenciales en la parte superior de la capa de aire o de ascensos mecánicos cuando el aire es forzado a pasar sobre una masa de aire más fría y más densa, o sobre una barrera montañosa.” (LINSEY, KOHLER Y PAULUS 1977, p. 50)

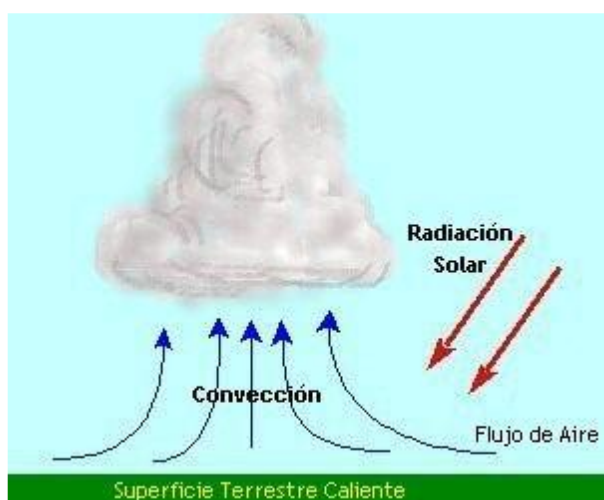


Figura 4 — Esquema de precipitación convectiva

Fuente: (SAROCHAR 2013)



3.2.4 Estaciones meteorológicas

La estación meteorológica es “[...] el sitio donde se hacen observaciones y mediciones puntuales de las diferentes variables meteorológicas, usando instrumentos apropiados, con el fin de establecer el comportamiento atmosférico en las diferentes zonas de un territorio” (IDEAM 2019).

3.2.4.1 Red de estaciones meteorológicas en el Perú

El Servicio Nacional de Meteorología e hidrología (SENAMHI) es un órgano adscrito al ministerio del ambiente, fue creada con D.L.N° 17532 el 25 de marzo de 1969. Tiene como propósito “generar y proveer información y conocimiento meteorológico, hidrológico y climático de manera confiable, oportuna y accesible en beneficio de la sociedad peruana.” (SENAMHI 2021b)

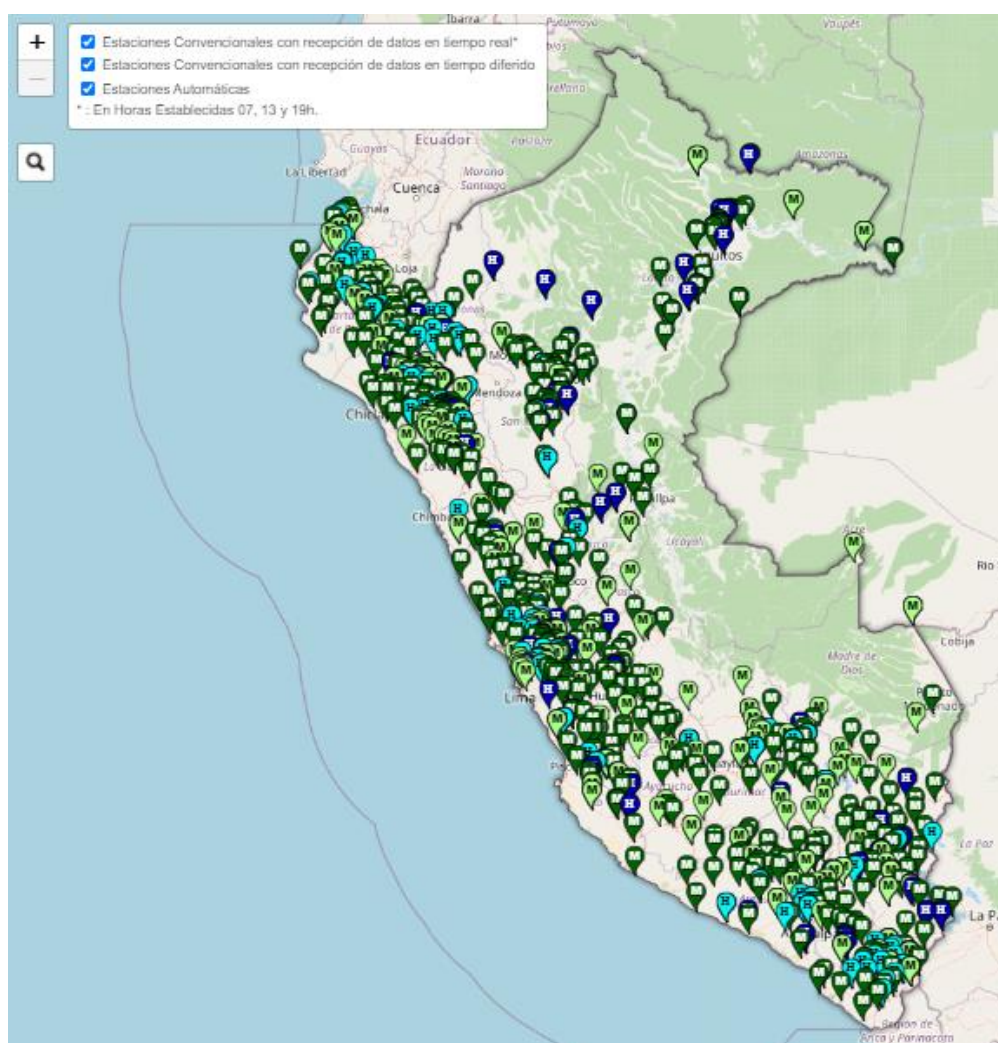


Figura 5 — Red de estaciones Hidrometeorológicas en el Perú al 2021
Fuente: (SENAMHI 2021a)

Actualmente, en el Perú, el SENAMHI “[...] opera, controla, organiza y mantiene la Red Nacional de más de 900 Estaciones Meteorológicas e Hidrológicas de conformidad con las normas técnicas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM).” (SENAMHI 2021b)

Entre las principales estaciones con las que cuenta el SENAMHI son:

- Estación meteorológica convencional
- Estación meteorológica automática
- Estación hidrológica convencional
- Estación hidrológica automática

Para la presente investigación se tomarán los datos de dos estaciones meteorológicas, las cuales son del tipo Convencional-Meteorológica, estas estaciones se caracterizan porque los datos son registrados diariamente por un observador meteorológico quien está capacitado para realizar las lecturas de los diferentes instrumentos de medición con los que cuenta la estación meteorológica, pueden medir la temperatura, humedad relativa y la precipitación (mm/día). Esta última variable es la considerada en las siguientes estaciones meteorológicas:

Estación: Tambobamba

- Departamento: Apurímac
- Provincia: Cotabambas
- Distrito: Tambobamba
- Latitud: 13°56'41.7" S
- Longitud: 72°10'30.8" W
- Altitud: 3279 msnm.
- Tipo: convencional-meteorológica
- Código: 113059

Estación: Curahuasi

- Departamento: Apurímac
- Provincia: Abancay
- Distrito: Curahuasi
- Latitud: 13°33'9.4" S
- Longitud: 72°44'5.6" W
- Altitud: 2741 msnm

- Tipo: convencional-meteorológica
- Código: 113029

3.2.4.2 Medición de las precipitaciones

La precipitación se mide en términos “[...] de la altura de lámina de agua (hp) y se expresa comúnmente en milímetros. Esta altura de lámina de agua, indica la altura del agua que se acumularía en una superficie horizontal, si la precipitación permaneciera donde cayó [...]” (VILLON BEJAR 2002, p. 73).

“Se expresa la cantidad de lluvia, Δh , como la altura caída y acumulada sobre una superficie plana e impermeable” (MONSALVE SÁENZ 1999, p. 83).

La medición de la lámina o altura de agua como lo indican Villon y Monsalve toma relevancia cuando esta tiene su aplicabilidad en términos de cantidad total de agua en determinados tiempos y estas pueden generar por ejemplo una acumulación de agua en un determinado punto como el de una cuenca. Está a la vez puede ser un tema de aprovechamiento o prevención.

3.2.4.2.1 Pluviógrafo

“Es un instrumento, que registra la altura de lluvia en función del tiempo, lo cual permite determinar la intensidad de la precipitación, dato importante para el diseño de estructuras hidráulicas” (VILLON BEJAR 2002, p. 75).

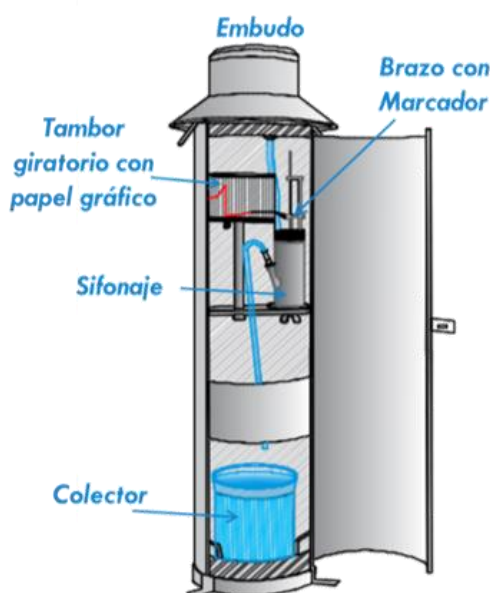


Figura 6 — Pluviógrafo

Fuente: (INTESCO S.A.S. 2019)

Son similares a los pluviómetros, “[...] con la diferencia de que tienen un mecanismo para producir un registro continuo de precipitación, este mecanismo está formado por un tambor que gira a la velocidad constante sobre el que se coloca un papel graduado especialmente.[...]” (APARICIO MIJARES 1992, p. 134).

La importancia del pluviógrafo consiste en el registro que se tiene de la precipitación en términos del tiempo, lo que facilita obtener un dato tan importante el cual es la intensidad de la lluvia, del cual se puede obtener las ecuaciones de curvas IDF mediante tratamiento estadísticos, sin embargo, no todas las estaciones cuentan con este tipo de registro.

3.2.4.2.2 Pluviómetros

De acuerdo a APARICIO MIJARES (1992), el pluviómetro está formado por un recipiente cilíndrico graduado, al cual se descarga el agua de la lluvia a través de un embudo, en la cual normalmente se colocan mallas para evitar el ingreso de basura. Normalmente la relación entre las secciones del área de captación y el área del recipiente es de 10 a 1 con el objetivo de que por un milímetro de lluvia se almacene un centímetro de altura en el recipiente cilíndrico graduado. (p. 134)

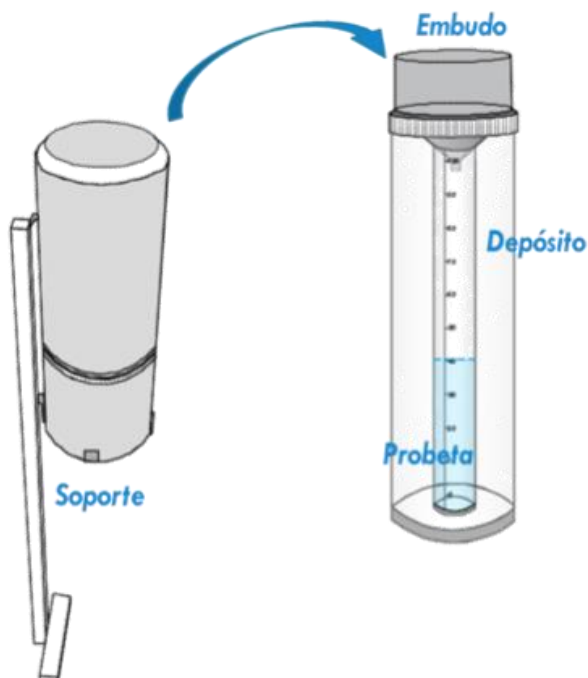


Figura 7 — Pluviómetro

Fuente: (INTESCO S.A.S. 2019)

3.2.5 Tormenta de Diseño

“La tormenta es el conjunto de lluvias que obedece a una misma perturbación meteorológica y de características bien definidas. Una tormenta puede durar desde unos pocos minutos hasta varias horas y aún días y puede abarcar desde una zona pequeña hasta una extensa región, y de las tormentas interesa conocer las curvas intensidad-duración-frecuencia” (CHEREQUE MORAN 1989, p. 35).

“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 este 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, o mediante un mapa de isoyetas que especifique el patrón espacial de la precipitación” (TE CHOW, MAIDMENT Y MAYS 1994, p. 455).

3.2.5.1 Importancia del análisis de tormentas

Según VILLON BEJAR (2002), indica que existe estrecha relación entre el análisis de las tormentas de diseño y los estudios iniciales, al diseño de diferentes tipos de obras hidráulicas, como pueden ser: drenaje, cálculos de caudales máximos, dimensionamiento de luz de un puente, estudios relacionados con el suelo, estudios para alcantarillas. (p.86)

“Las dimensiones de estas obras, dependen principalmente de la magnitud que las tormentas tengan, y de la frecuencia o periodo de retorno, esto a su vez determina el coeficiente de seguridad que se da la obra, o a los años de vida probable de la misma” (VILLON BEJAR 2002, p. 86).

3.2.5.2 Elementos fundamentales del análisis de tormenta

3.2.5.2.1 La intensidad

Para VILLON BEJAR (2002), viene a ser la cantidad de agua precipitada (o altura máxima) por unidad de tiempo. Asimismo, indica que en cada tormenta interesa la intensidad máxima que se presentó. (p. 87)



En otros términos, “la intensidad es la tasa temporal de precipitación, es decir, la profundidad por unidad e tiempo (mm/h)” (MTC 2011, p. 34).

La intensidad se expresa mediante:

$$i_{max} = \frac{P}{t} \quad (1)$$

Donde:

i_{max} : intensidad máxima en mm/hora

P : precipitación en altura de agua, en mm

t : tiempo en horas

3.2.5.2.2 Duración

Según VILLON BEJAR (2002), es el tiempo que avanza desde el inicio hasta el fin de la tormenta, el cual puede ser definido como un periodo de tiempo, cuya medida puede ser en minutos u horas de acuerdo a cuanto dure una tormenta. Su importancia radica en la determinación de las intensidades máximas. (p. 87)

3.2.5.2.3 Frecuencia.

“Es el número de veces que se repite una tormenta, de características de intensidad y duración definidas en un periodo de tiempo más o menos largo, tomado generalmente en años” (VILLON BEJAR 2002, p. 87).

Como ejemplo “[...]Una tormenta la frecuencia 1/15 significa que es probable que se presente, como término medio, una vez cada 15 años. Los 15 años vienen a constituir el tiempo de retorno o periodo de retorno de dicha tormenta[...]” (CHEREQUE MORAN 1989, p. 35).

3.2.5.2.4 Periodo de retorno

“Intervalo de tiempo promedio, dentro del cual un evento de magnitud x , puede ser igualado o excedido, por lo menos una vez en promedio. Representa el inverso de la frecuencia” (VILLON BEJAR 2002, p. 88).

$$T = \frac{1}{f} \quad (2)$$

Donde:

T: es el periodo de retorno, en años



f: es la frecuencia ocurrencia de un evento $\geq x$

3.2.6 Análisis estadístico

3.2.6.1 Prueba de datos dudosos

Este es uno de los primeros procedimientos, del análisis exploratorio de datos, el cual permitirá detectar si los datos registrados pueden ser atípicos.

TE CHOW, MAIDMENT Y MAYS (1994), hace referencia al método del Water Resources Council, para poder ajustar los datos dudosos, asimismo menciona que estos datos dudosos, llamados también como outliers, son aquellos puntos que se encuentran distanciados de una tendencia que forman la mayoría de los datos, en forma significativa. Asimismo, menciona que suprimir o mantener estos datos puede influir en la obtención de los parámetros estadísticos.

Para encontrar los datos dudosos, el método del Water Resources Council, establece las siguientes formulas:

Para los datos dudosos altos, se utiliza:

$$y_H = \bar{y} + K_n s_y \quad (3)$$

Para los datos dudosos bajos, se utiliza:

$$y_L = \bar{y} - K_n s_y \quad (4)$$

Donde:

y_H : es el umbral de dato dudoso alto en unidades logarítmicas.

y_L : es el umbral de dato dudoso bajo en unidades logarítmicas.

K_n : estadístico para un nivel de significancia del 10%

\bar{y} : media de los logaritmos de la muestra

S_y : desviación estándar de los logaritmos de la muestra

Para determinar el umbral alto de precipitación se utilizará:

$$P_H = 10^{y_H} \quad (5)$$

Para determinar el umbral bajo de precipitación se utilizará:

$$P_L = 10^{y_L} \quad (6)$$

El valor del estadístico K_n se obtienen de la siguiente tabla.

Tabla 3 — Valores K_n para la prueba de datos dudosos, nivel de significancia 10%

Tamaño de la muestra n	K_n	Tamaño de la muestra n	K_n	Tamaño de la muestra n	K_n	Tamaño de la muestra n	K_n
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

Fuente: U.S. WATER RESOURCES COUNCIL, 1981

3.2.6.2 Cálculo de la probabilidad empírica o experimental

Dado un conjunto ordenado de datos:

$$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$$

Existen muchas fórmulas empíricas para determinar la probabilidad de ocurrencia de los datos ordenados, muchos autores recomiendan el uso de la fórmula empírica de Weibull:

$$P = \frac{m}{n + 1} \quad (7)$$

Donde

P : es la probabilidad empírica o experimental acumulada

m : es el número de orden

n : es el número de datos

La probabilidad de excedencia $P(X \geq x)$, toma el valor de P , si los datos se ordenan de mayor a menor; y la probabilidad de no excedencia $P(X < x)$, toma el valor de P , si los datos se ordenan de menor a mayor.

3.2.6.3 Determinación de parámetros de funciones de probabilidad

“La estimación de parámetros para funciones de densidad de probabilidad o funciones de masa de probabilidad es un problema central en el análisis estadístico y las ciencias aplicadas porque permite construir predicciones modelos y hacer inferencias” (MOSQUERA GUTIÉRREZ Y HERNÁNDEZ 2021).

El cálculo de los parámetros para las diferentes funciones de probabilidad es de vital importancia ya que estas permitirán una mejor estimación de precipitaciones para diferentes periodos de retorno, entre los principales métodos que se recomiendan en diversas bibliografías, están: momentos ordinarios, momentos lineales (L-momentos) y máxima verosimilitud. Para el presente estudio se utilizará el método de L-momentos o momentos lineales.

3.2.6.3.1 L-momentos

“Jonathan R.M Hosking (1990) desarrollo la teoría de los momentos lineales basada en el ordenamiento estadístico, a diferencia de los cálculos indirectos usando la probabilidad de los momentos pesados” (VILLÓN BEJAR 2016).

GUBAREVA Y GARTSMAN (2010) menciona que al igual que los momentos ordinarios, los momentos lineales (L-momentos) se utilizan como primer procedimiento para la estimación de parámetros de distribución las cuales se basan en los datos disponibles. Asimismo, manifiesta que el método de momentos lineales es mucho más conveniente que el método de máxima verosimilitud.

VILLÓN BEJAR (2016) indica que por este método, el cálculo de la dispersión se da en términos de la diferencia de todos los datos entre sí y considerando todas las combinaciones existentes, esto favorece en la estimación de los parámetros ya que la sensibilidad a valores extremos será reducida. Caso contrario ocurre con los momentos ordinarios, donde se elevan a potencias. (p. 120)

De las referencias anteriores se puede afirmar que el método de momentos lineales, sirven para la estimación de parámetros y tiene cierta ventaja sobre los demás métodos.



HOSKING (1990), define al método de L-momentos, como combinaciones lineales de probabilidad de momentos ponderados; para una muestra de n datos estos deben de ser ordenados en forma ascendente $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$, luego se calculan los estimadores β_r con las siguiente formula:

$$\beta_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(i-1)(i-2) \dots (i-r)}{(n-1)(n-2) \dots (n-r)} x_{i:n} \quad (8)$$

Donde $x_{i:n}$ es el i -ésimo elemento en orden ascendente

De la cual se originan las primeras probabilidades de momentos ponderados:

$$\beta_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{i:n} \quad (9)$$

$$\beta_1 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{(i-1)}{(n-1)} x_{i:n} \quad (10)$$

$$\beta_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(i-1)(i-2)}{(n-1)(n-2)} x_{i:n} \quad (11)$$

$$\beta_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(i-1)(i-2)(i-3)}{(n-1)(n-2)(n-3)} x_{i:n} \quad (12)$$

El sistema de ecuaciones lineales que relacionan los momentos λ_r con los momentos ponderados de probabilidad β_r , se pueden obtener mediante:

$$\lambda_{r+1} = \sum_{k=0}^r (-1)^{r-k} \binom{r}{k} \binom{r+k}{k} \beta_k \quad (13)$$

Los primeros cinco L-momentos son:

$$\lambda_1 = \beta_0 \quad (14)$$

$$\lambda_2 = 2\beta_1 - \beta_0 \quad (15)$$

$$\lambda_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \quad (16)$$

$$\lambda_4 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0 \quad (17)$$

$$\lambda_5 = 70\beta_4 - 140\beta_3 + 90\beta_2 - 20\beta_1 + \beta_0 \quad (18)$$

Las razones de los momentos lineales se definen de la siguiente forma:

- Coeficiente de variación L-CV:

$$\tau = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad (19)$$

- Coeficiente de asimetría L-SK:

$$\tau_3 = \frac{\lambda_3}{\lambda_2} \quad (20)$$

- Coeficiente de curtosis L-CK

$$\tau_4 = \frac{\lambda_4}{\lambda_2} \quad (21)$$

3.2.6.4 Distribuciones de probabilidad para las variables hidrológicas

“Dado que la planeación y el diseño se refieren a eventos del futuro cuyo tiempo de ocurrencia o magnitud de ocurrencia o magnitud no pueden predecirse, debemos recurrir al estudio de la probabilidad o frecuencia” (APARICIO MIJARES 1992).

“El análisis de frecuencias es una técnica para ajustar una distribución de probabilidad a una serie de observaciones para definir las probabilidades de futuros eventos de algunos eventos de interés [...] el uso de esta técnica ha jugado un papel importante en la práctica de la ingeniería” (KHALIQ ET AL. 2006)

Haciendo uso de referencias bibliográficas, podemos mencionar las principales distribuciones que se utilizan en el campo de la hidrología, entre las cuales tenemos: Normal, log-normal de 2 parámetros, log-normal de 3 parámetros, gamma, Pearson tipo III, log-Pearson tipo III y Gumbel. Asimismo, es necesario mencionar que para el cálculo de los parámetros, en cada una de las funciones de distribución se utilizara el método de momentos lineales planteado por HOSKING Y WALLIS (1997).

3.2.6.4.1 Distribución normal

La función densidad está definida por:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (22)$$

Donde:

$f(x)$: función densidad normal de la variable x

μ : parámetro de localización

σ : parámetro de escala

Su función de distribución acumulada:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx \quad (23)$$

Remplazando con la variable estandarizada:

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (24)$$

Se obtiene:

$$F(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^Z e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad (25)$$

El cálculo de parámetro mediante momentos lineales:

- Parámetro de posición o localización

$$\mu = \lambda_1 \quad (26)$$

- Parámetro de escala

$$\sigma = \lambda_2 \sqrt{\pi} \quad (27)$$

Donde λ_1 y λ_2 son el primer y segundo momento lineal respectivamente

3.2.6.4.2 Distribución log-normal de 2 parámetros

Su función de densidad está dada por:

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_{ln}\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu_{ln}}{\sigma_{ln}}\right)^2} \quad (28)$$

Donde:

μ_{ln} : parámetro de localización en el campo de los logaritmos naturales

σ_{ln} : parámetro de escala en el campo de los logaritmos naturales

La función de distribución acumulada:

$$F(x) = \int_0^x \frac{1}{x\sigma_{ln}\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu_{ln}}{\sigma_{ln}}\right)^2} \quad (29)$$

$$\text{Si: } Z = \frac{\ln x - \mu_{ln}}{\sigma_{ln}}$$

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^Z e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad (30)$$

Los parámetros mediante el método de momentos lineales, se calcularán a partir de las siguientes relaciones:

$$\mu_{ln} = \lambda_1 \quad (31)$$

$$\sigma_{ln} = \lambda_2 \sqrt{\pi} \quad (32)$$

Donde

λ_1, λ_2 : primer y segundo momento lineal calculados con $y_i = \ln x_i$

3.2.6.4.3 Distribución log-normal de 3 parámetros

La función de distribución de la normal generalizada viene dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha\sqrt{2\pi}} e^{ky-y^2/2}, \quad (33)$$

$$y = \begin{cases} -k^{-1} \ln \{1 - k(x - \xi)/\alpha\}, & k \neq 0 \\ \frac{(x - \xi)}{\alpha}, & k = 0 \end{cases} \quad (34)$$

Donde los parámetros de distribución son:

ξ : es el parámetro de localización

α : es el parámetro de escala.

k : es el parámetro de forma

A continuación, se hace referencia a las fórmulas establecidas por HOSKING Y WALLIS (1997). Los L-momentos se definen para todos los valores de k .

$$\lambda_1 = \xi + \alpha(1 - e^{k^2/2})/k \quad (35)$$

$$\lambda_2 = \frac{\alpha}{k} e^{k^2/2} \{1 - 2\Phi(-k/\sqrt{2})\} \quad (36)$$

No hay expresiones simples para la relación de τ_r por el método de L-momentos, cuando $r \geq 3$. Ellas están expresadas únicamente en términos de k , se pueden calcular mediante integración numérica.

Tabla 4 — Coeficientes de aproximación

	$\tau_4^0 = 1.2260172 \times 10^{-1}$	
$A_0 = 4.8860251 \times 10^{-1}$	$C_0 = 1.8756590 \times 10^{-1}$	$E_0 = 2.0466534$
$A_1 = 4.4493076 \times 10^{-3}$	$C_1 = -2.5352147 \times 10^{-3}$	$E_1 = -3.6544371$

$A_2 = 8.8027039 \times 10^{-4}$	$C_2 = 2.6995102 \times 10^{-4}$	$E_2 = 1.8396733$
$A_3 = 1.1507084 \times 10^{-6}$	$C_3 = -1.8446680 \times 10^{-6}$	$E_3 = -0.20360244$
$B_1 = 6.4662924 \times 10^{-2}$	$D_1 = 8.2325617 \times 10^{-2}$	$F_1 = -2.0182173$
$B_2 = 3.3090406 \times 10^{-3}$	$D_2 = 4.2681448 \times 10^{-3}$	$F_2 = 1.2420401$
$B_3 = 7.4290680 \times 10^{-5}$	$D_3 = 1.1653690 \times 10^{-4}$	$F_3 = -0.21741801$

Fuente: (HOSKING Y WALLIS 1997)

Alternativamente se pueden usar aproximaciones de funciones racionales, las siguientes fracciones para τ_3 y τ_4 tienen una precisión mejor que 2×10^{-7} y 5×10^{-7} respectivamente, para $|k| \leq 4$, correspondiente a $|\tau_3| \leq 0.99$ y $\tau_4 \leq 0.98$:

$$\tau_3 \approx -k \frac{A_0 + A_1 k^2 + A_2 k^4 + A_3 k^6}{1 + B_1 k^2 + B_2 k^4 + B_3 k^6} \quad (37)$$

$$\tau_4 \approx \tau_4^0 + k^2 \frac{C_0 + C_1 k^2 + C_2 k^4 + C_3 k^6}{1 + D_1 k^2 + D_2 k^4 + D_3 k^6} \quad (38)$$

El parámetro de forma k es una función única de τ_3 . No es posible una solución explícita, pero la siguiente aproximación tiene una precisión relativa mejor que 2.5×10^{-6} para $|\tau_3| \leq 0.94$, correspondiente a $k \leq 3$.

$$k \approx -\tau_3 \frac{E_0 + E_1 \tau_3^2 + E_2 \tau_3^4 + E_3 \tau_3^6}{1 + F_1 \tau_3^2 + F_2 \tau_3^4 + F_3 \tau_3^6} \quad (39)$$

Los demás parámetros usando los coeficientes de aproximación, son:

$$\alpha = \frac{\lambda_2 k e^{-k^2/2}}{1 - 2\Phi(-k/\sqrt{2})}, \quad \xi = \lambda_1 - \frac{\alpha}{k} (1 - e^{k^2/2}) \quad (40)$$

Para el caso de la distribución log normal de tres parámetros, y viene a ser:

$$y = \frac{\ln(x - \zeta) - \mu_{ln}}{\sigma_{ln}} \quad (41)$$

Donde ζ es el límite inferior (espacio real) para los que $\zeta < \lambda_1 - \lambda_2$, μ_{ln} es la media en el espacio del logaritmo natural y σ_{ln} es la desviación estándar en el espacio del logaritmo natural.

La igualdad de parámetros entre log-normal generalizada y log normal de 3 parámetros, al despejar $\eta = \exp(\mu_{ln})$, son:

$$\xi = \zeta + \eta \quad (42)$$

$$\alpha = \eta\sigma_{ln} \quad (43)$$

$$k = -\sigma_{ln} \quad (44)$$

Los parámetros del log-normal de 3 parámetros en términos de los parámetros de la normal generalizada, dejando $\eta = \lambda_1 - \zeta$, son:

$$\sigma_{ln} = \sqrt{2}\Phi^{-1}(0.5[1 + \lambda_2/\eta]) \quad (45)$$

$$\mu_{ln} = \ln(\eta) - 0.5\sigma_{ln}^2 \quad (46)$$

Conociendo ζ y despejando $\eta = \alpha/\sigma_{ln}$, son:

$$\sigma_{ln} = -k \quad (47)$$

$$\mu_{ln} = \ln(\eta) \quad (48)$$

$$\zeta = \xi - \eta \quad (49)$$

Las expresiones y coeficientes de aproximación de la distribución log normal generalizada, se utilizaron las bibliografías de (HOSKING Y WALLIS 1997) y (ASQUITH 2011)

Estos últimos parámetros pueden ser reemplazados en:

Función de densidad:

$$f(x) = \frac{1}{(x - \zeta)\sigma_{ln}\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x-\zeta)-\mu_{ln}}{\sigma_{ln}}\right)^2} \quad (50)$$

Función acumulada:

$$F(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^Z e^{-\frac{z^2}{2}} dZ \quad (51)$$

Donde:

$$Z = \frac{\ln(x - \zeta) - \mu_{ln}}{\sigma_{ln}} \quad (52)$$

3.2.6.4.4 Distribución gamma de 2 parámetros

Su función densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{x^{\alpha-1}e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)} \quad (53)$$

Para los siguientes intervalos:

$$0 \leq x < \infty$$

$$0 < \alpha < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

Donde:

α : es el parámetro de forma

β : es el parámetro de escala

$\Gamma(\gamma)$: función gamma completa, definida por:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx \quad (54)$$

Que converge si $\alpha > 0$

La función de distribución acumulada

$$F(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx, \quad x > 0 \quad (55)$$

Los dos primeros momentos lineales son:

$$\lambda_1 = \alpha\beta \quad (56)$$

$$\lambda_2 = \frac{\beta}{\sqrt{\pi}} \exp(\ln[\Gamma(\alpha + 0.5)] - \ln[\Gamma(\alpha)]) \quad (57)$$

3.2.6.4.5 Distribución Pearson tipo III o gamma de 3 parámetros

Los parámetros de la distribución son los tres primeros momentos ordinarios: la media o parámetro de localización μ , la desviación estándar o parámetro de escala σ , y sesgo o parámetro de forma γ (HOSKING 2019), pero alternativamente pueden ser expresados con los parámetros ξ (localización), β (escala, $\beta > 0$), y α (forma, $\alpha > 0$) (ASQUITH 2011).

La función de densidad:

$$f(x) = \frac{(x - \xi)^{\alpha-1} e^{-\frac{(x-\xi)}{\beta}}}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} \quad (58)$$

Donde el dominio:

$$\xi \leq x < +\infty$$

Siendo:

$\Gamma(\gamma)$: función gamma completa

La relación entre los primeros momentos ordinarios (producto de momentos) y los tres parámetros alternativos para $\gamma \neq 0$ son:

$$\alpha = 4/\gamma^2 \quad (59)$$

$$\beta = \sigma|\gamma|/2 \quad (60)$$

$$\xi = \mu - 2\sigma/\gamma \quad (61)$$

Los momentos lineales son:

$$\lambda_1 = \xi + \alpha\beta \quad (62)$$

$$\lambda_2 = \frac{\beta \Gamma(\alpha + 0.5)}{\sqrt{\pi} \Gamma(\alpha)} \quad (63)$$

$$\tau_3 = 6I_{1/3}(\alpha, 2\alpha) - 3 \quad (64)$$

Donde $I_x(p, q)$ denota la relación de función beta incompleta, función beta incompleta regularizada, función beta regularizada.

$$I_x(p, q) = \frac{\Gamma(p+q)}{\Gamma(p)\Gamma(q)} \int_0^x t^{p-1}(1-t)^{q-1} dt \quad (65)$$

HOSKING Y WALLIS (1997) indican que, no hay expresión simple para τ_4 . Se pueden utilizar aproximaciones de funciones racionales para expresar τ_3 y τ_4 aproximadamente como funciones de α . Las siguientes aproximaciones son precisas a 10^{-6} . Si $\alpha \geq 1$,

$$\tau_3 \approx \alpha^{-1/2} \frac{A_0 + A_1\alpha^{-1} + A_2\alpha^{-2} + A_3\alpha^{-3}}{1 + B_1\alpha^{-1} + B_2\alpha^{-2}} \quad (66)$$

$$\tau_4 \approx \frac{C_0 + C_1\alpha^{-1} + C_2\alpha^{-2} + C_3\alpha^{-3}}{1 + D_1\alpha^{-1} + D_2\alpha^{-2}} \quad (67)$$

Si $\alpha < 1$

$$\tau_3 \approx \frac{1 + E_1\alpha^1 + E_2\alpha^2 + E_3\alpha^3}{1 + F_1\alpha^1 + F_2\alpha^2 + F_3\alpha^3} \quad (68)$$

$$\tau_4 \approx \frac{1 + G_1\alpha^1 + G_2\alpha^2 + G_3\alpha^3}{1 + H_1\alpha^1 + H_2\alpha^2 + H_3\alpha^3} \quad (69)$$

Los coeficientes de aproximación se aprecian en la siguiente tabla:

Tabla 5 – Coeficientes de aproximación

$A_0 = 3.2573501 \times 10^{-1}$	$C_0 = 1.2260172 \times 10^{-1}$
$A_1 = 1.6869150 \times 10^{-1}$	$C_1 = 5.3730130 \times 10^{-2}$
$A_2 = 7.8327243 \times 10^{-2}$	$C_2 = 4.3384378 \times 10^{-2}$
$A_3 = -2.9120539 \times 10^{-3}$	$C_3 = 1.1101277 \times 10^{-2}$

$B_1 = 4.6697102 \times 10^{-1}$	$D_1 = 1.8324466 \times 10^{-1}$
$B_2 = 2.4255406 \times 10^{-1}$	$D_2 = 2.0166036 \times 10^{-1}$
$E_1 = 2.3807576$	$G_1 = 2.1235833$
$E_2 = 1.5931792$	$G_2 = 4.1670213$
$E_3 = 1.1618371 \times 10^{-1}$	$G_3 = 3.1925299$
$F_1 = 5.1533299$	$H_1 = 9.0551443$
$F_2 = 7.1425260$	$H_2 = 2.6649995 \times 10^1$
$F_3 = 1.9745056$	$H_3 = 2.6193668 \times 10^1$

Fuente: (HOSKING Y WALLIS 1997)

HOSKING Y WALLIS (1997) indican que los parámetros tienen soluciones cuasi analíticas. Las siguientes aproximaciones tienen una relativa precisión mejor que 5×10^{-5} , para los valores de α

Si $0 < |\tau_3| < 1/3$, entonces $z = 3\pi\tau_3^2$ y se usa la mínima aproximación por Hosking para α .

$$\alpha \approx \frac{1 + 0.2906z}{z + 0.1882z^2 + 0.0442z^3} \quad (70)$$

Si $1/3 \leq |\tau_3| < 1$, entonces $z = 1 - |\tau_3|$ se usa:

$$\alpha \approx \frac{0.36067z - 0.59567z^2 + 0.25361z^3}{1 - 2.78862z + 2.56096z^2 - 0.77045z^3} \quad (71)$$

Los parámetros en términos de α y los L momentos, son:

$$\gamma = \text{sign}(\tau_3) \frac{2}{\sqrt{\alpha}} \quad (72)$$

$$\sigma = \frac{\lambda_2 \Gamma(\alpha) \sqrt{\alpha \pi}}{\Gamma(\alpha + 0.5)} \quad (73)$$

$$\mu = \lambda_1 \quad (74)$$

La función de distribución acumulada, está dada por:

$$F(x) = \int_{\xi}^x \frac{(x - \xi)^{\alpha-1} e^{-\frac{(x-\xi)}{\beta}}}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} dx \quad (75)$$

Considerando la variable reducida:

$$Z = \frac{x - \xi}{\beta} \quad (76)$$

La función acumulada Pearson tipo III reducida, será:

$$F(Z) = \int_0^Z \frac{Z^{\alpha-1} e^{-Z}}{\Gamma(\alpha)} \quad (77)$$



3.2.6.4.6 Distribución log-Pearson tipo III

La función de densidad:

$$f(x) = \frac{(\ln x - \xi)^{\alpha-1} e^{-\frac{\ln x - \xi}{\beta}}}{x\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \quad (78)$$

Para:

$$\begin{aligned} \xi &\leq x < \infty \\ -\infty &< \xi < \infty \\ 0 &< \beta < \infty \\ 0 &< \alpha < \infty \end{aligned}$$

Siendo:

ξ : parámetro de posición

β : parámetro de escala

α : parámetro de forma

$\Gamma(\gamma)$: función gamma completa.

Para cálculo de los parámetros se utilizan los mismos procedimientos que se utilizan en la distribución Pearson tipo 3. Pero antes se debe aplicar el logaritmo natural a las observaciones x_1, x_2, \dots, x_n .

La función de distribución acumulada:

$$F(x) = \int_{\xi}^x \frac{(\ln x - \xi)^{\alpha-1} e^{-\frac{\ln x - \xi}{\beta}}}{x\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} dx \quad (79)$$

Considerando la variable reducida

$$Z = \frac{\ln x - \xi}{\beta} \quad (80)$$

La función acumulada reducida:

$$F(Z) = \int_0^Z \frac{Z^{\alpha-1} e^{-Z}}{\Gamma(\alpha)} \quad (81)$$

3.2.6.4.7 Distribución Gumbel

La función de densidad:

$$f(x) = \alpha^{-1} \exp\{-(x - \xi)/\alpha\} \exp[-\exp\{-(x - \xi)/\alpha\}] \quad (82)$$

La función acumulada

$$F(x) = \exp[-\exp\{-(x - \xi)/\alpha\}] \quad (83)$$

Donde:

- ξ : es el parámetro de localización
- α : es el parámetro de escala

Los parámetros mediante el método de L momentos, son:

- Parámetro de localización

$$\alpha = \frac{\lambda_2}{\log(2)} \quad (84)$$

- Parámetro de escala

$$\xi = \lambda_1 - \alpha\rho \quad (85)$$

Donde ρ es la constante de Euler's, 0.5772...

3.2.6.5 Selección de función de distribución de probabilidad

“Se observa que la diferencia entre una y otra función puede ser apreciable. En muchos casos las diferencias son mucho mayores que las que resultan aquí. Una selección apresurada de cualquiera de las funciones podrá traducirse en una estructura sobrediseñada y costosa o subdiseñada y peligrosa. Por ello, se debe seleccionar la función con cuidado” (APARICIO MIJARES 1992, p. 270).

3.2.6.5.1 Pruebas de bondad de ajuste

Las pruebas de bondad de ajuste “[...]consisten en comprobar gráfica y estadísticamente, si la frecuencia empírica de la serie analizada se ajusta a una determinada función de probabilidad teórica[...]”(VILLÓN BEJAR 2016, p. 171). Esta “[...] puede probarse comparando los valores teóricos y muestrales de las funciones de frecuencia relativa o de frecuencia acumulada” (TE CHOW, MAIDMENT Y MAYS 1994, p. 378).

Asimismo, sirven “[...]para probar si una variable puede modelarse con cierta distribución” (BOLOGNA, 2018 pág. 215), por lo cual este es un procedimiento básico para elegir la función de probabilidad que mejor se ajuste a las variables.

“En la teoría estadística, las pruebas de bondad de ajuste más conocidas son la χ^2 y la Kolmogorov-Smirnov” (APARICIO MIJARES 1992, p. 275).

a. Prueba Chi-cuadrado (χ^2)

(APARICIO MIJARES 1992, p. 276), indica que “esta prueba fue propuesta por Karl Pearson en 1900, para aplicar la prueba, el primer paso es dividir los

datos en un número k de intervalos de clase. Posteriormente se calcula el parámetro estadístico”:

$$D = \sum_{i=1}^k \frac{(\theta_i - \epsilon_i)^2}{\epsilon_i} \quad (86)$$

Donde:

D : Valor calculado de Chi Cuadrado, a partir de los eventos observados.

θ_i : número de eventos observados en el intervalo i .

ϵ_i : número esperado de eventos en el mismo intervalo.

k : número de eventos.

Para calcular ϵ_i :

$$\epsilon_i = n[F(S_i) - F(I_i)] \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (87)$$

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 y n es el número de eventos.

Luego de calcular D para cada función de distribución considerada, se obtiene el valor de una variable aleatoria con distribución χ^2 para $v = k - 1 - m$ grados de libertad y un nivel de significancia α , donde m es el número de parámetros estimados a partir del conjunto de datos.

Para aceptar una función de distribución dada, se debe cumplir:

$$D \leq \chi^2_{1-\alpha, k-1-m} \quad (88)$$

El valor de $\chi^2_{1-\alpha, k-1-m}$ se obtiene utilizando las tablas de la función de distribución χ^2 . El valor que tomará α , en la investigación será del 5%; este valor, en la teoría estadística, es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula.

b. Prueba Kolmogorov – Smirnov

“Método por el cual se comprueba la bondad de ajuste de las distribuciones, asimismo permite elegir la más representativa, es decir la de mejor ajuste”(MTC 2011, p. 32).

Para (APARICIO MIJARES 1992, p. 279). “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 $F(x_m)$ ”, para la presente investigación se utilizará la siguiente simbología:



$$\Delta = \text{máx}|F(x) - P(x)| \quad (89)$$

Donde:

Δ : Estadístico de Kolmogorov-Smirnov, dicho valor se halla de la diferencia máxima existente entre la probabilidad ajustada y la probabilidad empírica.

$F(x)$: probabilidad de la distribución teórica.

$P(x)$: probabilidad experimental o empírica de los datos.

El estadístico Δ tiene su función de distribución de probabilidades.

Si Δ_0 es un valor crítico para cada un nivel de significancia α , se tiene que:

$$P[\text{máx}|F(x) - (x)| \geq \Delta_0] = \alpha \quad (90)$$

ó

$$P[\Delta \geq \Delta_0] = \alpha \quad (91)$$

También

$$P[\Delta < \Delta_0] = 1 - \alpha \quad (92)$$

(VILLÓN BEJAR 2016) recomienda los siguientes procedimientos para efectuar el ajuste:

1.- calcular la probabilidad empírica o experimental $P(x)$ de los datos, para eso usar la fórmula de Weibull:

$$P(x) = \frac{m}{n + 1} \quad (93)$$

Donde:

$P(x)$: probabilidad empírica o experimental

m : número de orden

n : número de datos

2. calcular la probabilidad teórica $F(x)$: En la cual se usará la ecuación de la función acumulada $F(x)$, o tablas elaboradas para tal fin.

3. Calcular las diferencias $P(x) - F(x)$, para todos los valores de x .

4. Seleccionar la máxima diferencia:

$$\Delta = \text{máx}|F(x) - P(x)|$$

5. Calcular el valor crítico del estadístico Δ , es decir Δ_0 , para un $\alpha = 0.05$ y n igual al número de datos. Para hallar los valores de Δ_0 se utilizarán tablas.

comparar el valor estadístico Δ , con el valor crítico Δ_0 de la tabla. Con los siguientes criterios de decisión.

Si:

$\Delta < \Delta_0$ se considera que el ajuste es bueno, al nivel de significación seleccionado

$\Delta \geq \Delta_0$ se considera que el ajuste no es bueno, al nivel de significación seleccionado. Siendo necesario probar con otra distribución.

Tabla 6 — Prueba de Kolmogorov-Smirnov

Tamaño de la Muestra	Nivel de significancia				
	0.2	0.15	0.1	0.05	0.01
1	0.9	0.925	0.95	0.875	0.995
2	0.684	0.726	0.776	0.842	0.929
3	0.565	0.597	0.642	0.708	0.828
4	0.494	0.525	0.564	0.624	0.733
5	0.446	0.474	0.51	0.565	0.669
6	0.41	0.436	0.47	0.521	0.618
7	0.381	0.405	0.438	0.486	0.577
8	0.358	0.381	0.411	0.457	0.543
9	0.339	0.36	0.388	0.432	0.514
10	0.322	0.342	0.368	0.41	0.49
11	0.307	0.326	0.352	0.391	0.468
12	0.295	0.313	0.338	0.375	0.45
13	0.284	0.302	0.325	0.361	0.433
14	0.274	0.292	0.314	0.349	0.418
15	0.266	0.283	0.304	0.338	0.404
16	0.258	0.274	0.295	0.328	0.392
17	0.25	0.266	0.286	0.318	0.381
18	0.244	0.259	0.278	0.309	0.371
19	0.237	0.252	0.272	0.301	0.363
20	0.231	0.246	0.264	0.294	0.356
25	0.21	0.22	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.2	0.22	0.24	0.29
35	0.18	0.19	0.201	0.23	0.27
≥ 35	$1.07/\sqrt{N}$	$1.14/\sqrt{N}$	$1.22/\sqrt{N}$	$1.36/\sqrt{N}$	$1.63/\sqrt{N}$

Fuente : (TE CHOW, MAIDMENT Y MAYS 1994)

3.2.6.6 Probabilidad, periodo de retorno y riesgo de falla

3.2.6.6.1 Periodo de retorno

“Se define el periodo de retorno T , como el intervalo promedio de tiempo en año, dentro del cual un evento de magnitud x puede ser igualado o excedido por lo menos una vez en promedio [...]” (VILLÓN BÉJAR 2005 pág. 85).

De lo anterior, si un evento igual o mayor a x ocurre una vez en T años, entonces su probabilidad de ocurrencia P , es igual 1 en T casos.

$$P(X \geq x) = \frac{1}{T} \quad (94)$$

ó

$$T = \frac{1}{P(X \geq x)} \quad (95)$$

Donde:

$P(X \geq x)$: probabilidad de ocurrencia de un evento $\geq x$

T : periodo de retorno, en años

La definición anterior, permite indicar que la probabilidad de que x ocurra en cualquier año; es decir, la probabilidad de ocurrencia de un evento $< x$, se expresa como:

$$P(X < x) = 1 - P(X \geq x) \quad (96)$$

$$P(X < x) = 1 - \frac{1}{T} \quad (97)$$

ó

$$T = \frac{1}{1 - P(X < x)} \quad (98)$$

Donde:

T : periodo de retorno

$P(X \geq x)$: probabilidad de excedencia

$P(X < x)$: probabilidad de no excedencia

Según VILLÓN BÉJAR (2005), los periodos recomendados para estructuras menores son:

Tabla 7 — Periodo de retorno de diseño recomendado, para estructuras menores

Tipo de estructura	Periodo de retorno (años)
Puente sobre carretera importante	50-100
Puente sobre carretera menos importante o alcantarilla sobre carretera importante	25
Alcantarillas sobre camino secundario	5-10
Drenaje lateral de los pavimentos, donde puede tolerarse encharcamientos con lluvia de corta duración	1-2
Drenaje de aeropuertos	5
Drenaje urbano	2-10
Drenaje agrícola	5-10
Muros de encauzamiento	2-50

Fuente: VILLÓN BÉJAR (2005)

Respecto a este concepto, se puede decir que,

“[...] mide la rareza de eventos extremos como inundaciones y sequías que pueden causar grandes daños a la sociedad y al medio ambiente; por lo tanto, se encuentra en el corazón del diseño hidráulico y los problemas de evaluación de riesgos. De hecho el periodo de retorno es un concepto probabilístico comúnmente aplicado en la literatura hidrológica, que ha atraído un renovado interés estimulado por la necesidad de lidiar eficientemente con procesos complejos en un entorno cambiante” (VOLPI 2019).

Este concepto es un insumo básico para el diseño de diversas estructuras hidráulicas, la cual se relaciona con la vida útil de la misma, asimismo tiene una estrecha relación con el riesgo de falla; estos deben de ser analizados para que las obras no fallen a lo largo de su vida útil.

3.2.6.6.2 Análisis de riesgo

Toda estructura hidráulica es susceptible a fallar si la magnitud calculada correspondiente al periodo de retorno de diseño excede al valor calculado para la

vida útil de la estructura; esto se denomina riesgo hidrológico natural o inherente, se tiene entonces:

La probabilidad de que un suceso de retorno T SI se produzca del próximo año:

$$P = \frac{1}{T}$$

La probabilidad de que un suceso de retorno T, NO se produzca el próximo año:

$$\bar{P} = 1 - \frac{1}{T} \quad (99)$$

La probabilidad de que un suceso de retorno T, NO se produzcan en los próximos n años:

$$\underbrace{\bar{P} \cdot \bar{P} \dots \bar{P}}_{n \text{ factores}} = \bar{P}^n = \left[1 - \frac{1}{T}\right]^n \quad (100)$$

La última expresión obtenida es el riesgo de falla (R), es decir la probabilidad que si se produzca alguna vez un suceso de periodo de retorno T a lo largo de un periodo de n años.

$$R = 1 - (\bar{P})^n \quad (101)$$

$$R = 1 - \left[1 - \frac{1}{T}\right]^n \quad (102)$$

Donde:

R: riesgo o falla

n: vida útil del proyecto (años)

T: Periodo de retorno (años)

Tabla 8 — Valores de R, en función de T y n

T	Riesgo		
	n= 50	n= 100	n= 150
10	0.99485	0.99997	1.00000
20	0.92306	0.99408	0.99954
50	0.63583	0.86738	0.95170
100	0.39499	0.63397	0.77855

500	0.09525	0.18143	0.25940
1000	0.04879	0.09521	0.13936
5000	0.00995	0.01980	0.02956
10000	0.00499	0.00995	0.01489

Fuente: (MTC 2011)

El ministerio de transportes y comunicaciones (MTC 2011, p. 25), recomienda la siguiente tabla para la selección del riesgo.

Tabla 9 — Valores máximos recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje

Tipo de obra	Riesgo admisible (%)
Puentes	25
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	30
Alcantarillas de paso de quebradas menores y descarga de agua de cunetas	35
Drenaje de plataforma (a nivel longitudinal)	40
Subdrenes	40
Defensas ribereñas	25

Fuente: (MTC 2011)

3.2.7 Curvas intensidad – duración – frecuencia (IDF)

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” (MTC 2011, p. 34).

Además, “[...] están fácilmente disponibles porque se utiliza una intensidad de lluvia como entrada para muchos métodos de diseño hidrológico [...] la curva IDF también podría usarse para encontrar la frecuencia de un evento de tormenta medido [...]” (McCUEN 1989, p. 179).

Respecto a las aplicaciones de las curvas IDF, se puede decir que “[...] es una de las herramientas más utilizadas en la ingeniería de recursos hídricos, ya sea para la planificación, diseño y operación de proyectos de recursos hídricos” (AHMED A. 2017). Asimismo, “[...] son importantes para el diseño de varias estructuras hidráulicas como alcantarillas, presas y sistema de drenaje de aguas pluviales [...]”

(SAAD AL-WAGDANY 2020), “[...] sistemas de transporte, puentes y carreteras [...]” (TWAGIRAYEZU ET AL. 2019).

“La relación IDF es crucial para cualquier medida de mitigación de inundaciones, proyectos de ingeniería de agua y diseños de ingeniería de recursos hídricos. Dicha relación se utiliza para desarrollar tormentas de diseño para obtener la descarga máxima y la forma del hidrograma de cualquier diseño hidráulico. Las tormentas de diseño son utilizadas ampliamente por ingenieros civiles para diseñar y dimensionar de manera segura y económica la red de aguas pluviales de una ciudad o estructura de control de inundaciones” (EWEA, ELFEKI Y ALAMRI 2016).

De los autores mencionados anteriormente, se destaca que las curvas IDF son de mucha utilidad para el dimensionamiento de estructuras hidráulicas, evaluación de riesgo de inundaciones y es un insumo básico para el modelamiento hidrológico.

Asimismo, existen muchas metodologías para la determinación de las curvas IDF, para la presente se utilizará una metodología basada en las propuestas de BELL (1969), CHEN (1983), KOUTSOYIANNIS, KOZONIS Y MANETAS (1998) y entre otras investigaciones. (OBEID Y KHOLY 2021) entre otros, combinan los estudios para presentar una nueva forma de obtener la ecuación de las curvas IDF, la cual se describe a continuación:

Las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia, matemáticamente es la relación de estas tres variables. Matemáticamente se expresa de la siguiente forma:

$$I = f(T, d) \quad (103)$$

Donde, I es la intensidad media en mm/h, d es la duración en horas o minutos, y T es el periodo de retorno.

OBEID Y KHOLY (2021), en sus investigaciones hace referencia a la ecuación empírica de Sherman, para obtener las curvas IDF, expresada de la siguiente forma:

$$i = \frac{A}{(d + B)^C} \quad (104)$$

Donde:

i : es la intensidad (mm/h)

A, B y C : son parámetros constantes de las condiciones meteorológicas



d : es la duración en horas o minutos

A nivel mundial se tienen muchas ecuaciones generalizadas para las curvas IDF, entre ellas se tiene la ecuación propuesta por BELL (1969), asimismo se tiene la ecuación desarrollada por CHEN (1983).

La ecuación de BELL (1969), fue desarrollada para lluvias de corta duración de alta intensidad y periodo de retorno.

$$\frac{P_d^T}{P_{60}^T} = 0.54d^{0.25} + 0.50 \quad (5\text{min} < d < 120\text{min}) \quad (105)$$

$$\frac{P_d^T}{P_d^{10}} = 0.21\ln T + 0.52 \quad (2\text{años} < d < 100\text{años}) \quad (106)$$

Además, NHAT, TACHIKAWA Y TAKARA (2006) hace referencia a CHEN (1983) y BELL (1969), quienes encontraron la relación IDF producida por frecuencia de análisis en cada pluviómetro de registro se ajustó a la siguiente relación.

$$\frac{I_d^T}{I_{d'}^{T'}} = f_1(T)f_2(d) \quad (107)$$

Donde,

T : es el periodo de retorno en años

d : es la duración de la lluvia

T' : es un periodo de retorno constante (en años), como valor base

d' : una duración de lluvia constante, como valor base

I_d^T : es la intensidad de lluvia con un periodo de retorno T y una duración de lluvia de d horas

$I_{d'}^{T'}$: es la intensidad de lluvia con un periodo de retorno T' y una duración de lluvia de d' horas

$f_1(T)$: es una función del periodo de retorno y se supone que es la razón de I_d^T a $I_{d'}^{T'}$. Esta función no depende de la duración d .

$f_2(d)$: es una función únicamente de la duración d y se supone que es la relación de I_d^T a $I_{d'}^{T'}$. Esta función no depende del periodo de retorno.

De la ecuación 107, se puede decir que para las curvas IDF dependen de dos factores, las cuales se denominaran como coeficiente de frecuencia ($f_1(T)$) y coeficiente de duración ($f_2(d)$).

Respecto a los coeficientes de duración y frecuencia, NHAT, TACHIKAWA Y TAKARA (2006), obtiene las siguientes relaciones en base a los autores descritos.

Coeficiente de frecuencia

BELL (1969), CHEN (1983) y KOUTSOYIANNIS, KOZONIS Y MANETAS (1998) proponen la función del periodo de retorno $f_1(T)$, como la relación de I_d^T a $I_d^{T'}$.

$$f_1(T) = \frac{I_d^T}{I_d^{T'}} = \frac{I_{d'}^T}{I_{d'}^{T'}} = e + \lambda \ln T \quad (108)$$

La ecuación 108 se puede simplificar, para una misma duración, y obtener la relación en términos de la precipitación.

$$f_1(T) = \frac{P_d^T}{P_d^{T'}} = e + \lambda \ln T \quad (109)$$

Coeficiente de duración

$f_2(d)$ es la razón de I_t^T a $I_t^{T'}$, la cual es una función de la duración de la lluvia.

$$f_2(d) = \frac{I_d^T}{I_d^{T'}} = \frac{I_{d'}^T}{I_{d'}^{T'}} = \frac{A}{(d + B)^c} \quad (110)$$

Al igual que en el coeficiente de frecuencia, la ecuación 110 se puede simplificar y obtener una formula en términos de la precipitación.

$$f_2(d) = \frac{P_d^T}{P_d^{T'}} = \frac{A}{(d + B)^c} \quad (111)$$

Debido a que se carece de datos pluviograficos, en las zonas de estudio, las cuales permitan obtener los coeficientes de duración, se utilizara los siguientes coeficientes.

Tabla 10 — Correlación P_{24h} y diversos periodos de duración (D_t^t)

Duración (D_t^t): min	Centro y norte	Sur	Valor asumido
P(10')	0.2000 P_{24}	0.1400 P_{24}	0.1700 P_{24}
P(20')	0.2800 P_{24}	0.2300 P_{24}	0.2550 P_{24}
P(30')	0.3300 P_{24}	0.2800 P_{24}	0.3050 P_{24}
P(60') (1h)	0.3862 P_{24}	0.3862 P_{24}	0.3862 P_{24}
P(120') (2h)	0.4600 P_{24}	0.4700 P_{24}	0.4650 P_{24}

P(360') (6h)	$0.7184P_{24}$	$0.7184P_{24}$	$0.7184P_{24}$
P(720') (12h)	$0.8300P_{24}$	$0.8300P_{24}$	$0.8300P_{24}$

Fuente: (CASTILLO Y BELTRÁN 1979)

Ecuación IDF

Reemplazando las ecuaciones 109 y ecuación 111 en la ecuación 107 se obtiene:

$$P_d^T = P_{1h}^{10\text{años}} (\lambda \ln T + e) \frac{A}{(d + B)^c} \quad (112)$$

Asimismo, si dividimos la ecuación 112 entre un tiempo de duración d se obtiene la intensidad en base a la ecuación 1, de esta forma se deduce la fórmula para obtener las curvas IDF, la cual es la siguiente:

$$I_d^T = P_{1h}^{10\text{años}} (\lambda \ln T + e) \frac{A}{(d + B)^c} \frac{60}{d} \quad (113)$$

Se considera que I_d^T es la intensidad en mm/h, T es el periodo de retorno en años y d es la duración en minutos. Cabe precisar que los valores base $T' = 10$ años y $d' = 1$ hora, se tomaron en base a las ecuaciones desarrolladas por BELL (1969).

3.2.8 Curvas IDF a partir Coeficientes de duración del MTC

En el manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito, aprobado por la Resolución Ministerial N°305-2008-MTC/02, en el capítulo de hidrología y drenaje, se da a conocer los coeficientes de duración, asimismo, menciona que "para el pronóstico de caudales, el procedimiento requiere contar con la familia de curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) [...]", los coeficientes se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 11 — Coeficientes de duración lluvias entre 48 horas y una hora

Duración de la precipitación en horas	Coefficientes
1	0.25
2	0.31
3	0.38
4	0.44
5	0.50
6	0.56

8	0.64
10	0.73
12	0.79
14	0.83
16	0.87
18	0.90
20	0.93
22	0.97
24	1
48	1.32

Fuente: (MTC 2008)

Cabe mencionar que estos coeficientes también se hacen mención en el manual de hidrología, hidráulica y drenaje, del ministerio de transportes y comunicaciones, aprobado mediante Resolución Directoral N° 20-2011-MTC/14.

3.2.9 Análisis de regresión

“Es una técnica determinística, que permite determinar la naturaleza de la relación funcional entre dos o más variables [...]” (VILLÓN BEJAR 2016).

3.2.9.1 Regresión lineal simple

“[...]está basado en la suposición de que dos variables están relacionados en forma lineal” (VILLÓN BEJAR 2016, p. 273).

La ecuación de regresión lineal es:

$$y = a + bx \quad (114)$$

Donde

x : es la variable independiente

y : es la variable dependiente

a : es el intercepto o también valor de y cuando $x = 0$

b : es la pendiente de la línea o coeficiente de regresión

La estimación de sus parámetros se realiza mediante mínimos cuadrados:

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (115)$$

$$b = \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)(\sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n x_i y_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (116)$$

3.2.9.2 Regresión no lineal

Para el caso de las relaciones no lineales, se utilizan artificios adecuados con las cuales se pueden obtener relaciones lineales. Existen muchas relaciones no lineales, a continuación, se muestran algunas:

$$y = \frac{1}{a + bx} \quad (117)$$

$$y = a + \frac{b}{x} \quad (118)$$

$$y = ab^x \quad (119)$$

$$y = ax^b \quad (120)$$

$$y = ax + bx^2 \quad (121)$$

Cabe mencionar que existen programas que permiten calcular directamente los parámetros y coeficientes, para diferentes curvas, a través de procesos computacionales.

3.2.10 Correlación

“La correlación se define como la asociación entre dos o más variables aleatorias [...]” (VILLÓN BEJAR 2016).

Entre las principales medidas de correlación tenemos:

3.2.10.1 Coeficiente de correlación

También conocido como el coeficiente de correlación de Pearson, “es el estadístico que permite medir el grado de asociación de dos variables linealmente relacionadas” (VILLÓN BEJAR 2016). Otro aspecto importante a considerar es que “[...] el coeficiente de correlación muestra una medida para la dependencia lineal entre dos variables, pero no al modelo de la regresión lineal. Dicho en otras palabras, el coeficiente de correlación no implica causalidad [...]” (GUTIÉRREZ GONZÁLEZ Y VLADIMIROVNA PANTELEEVA 2016, p. 293).

$$r = \frac{cov(x, y)}{S_n(x)S_n(y)} \quad (122)$$

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (123)$$

Donde los valores de r varían entre -1 y 1 describen los grados de asociación, de las cuales se tienen los siguientes casos.

- -1 indica que existe una muy fuerte relación lineal negativa perfecta entre las variables
- 0 indica que no hay relación entre las dos variables
- +1 indica que existe muy fuerte relación lineal positiva entre las variables

3.2.10.2 Coeficiente de determinación

“Es la proporción o porcentaje, de la variación total de la variable dependiente y , que es explicada por la variable independiente x ” (VILLÓN BEJAR 2016).

Para calcular el coeficiente de determinación simple, utilizando los residuales, se utiliza la siguiente formula:

$$r^2 = 1 - \frac{SCE}{SC_{yy}} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (124)$$

Donde:

SCE : es el error estándar de estimación

SC_{yy} : es la varianza sesgada de y

y : valores muestrales de y

\bar{y} : promedio de los valores de y

\hat{y} : valores estimados de y con la ecuación de regresión

Donde el valor del coeficiente de determinación varía entre 0 y 1, “el límite superior se logra cuando el ajuste a los datos es perfecto, es decir, cuando los residuales son cero” (WALPOLE ET AL. 2012, p. 408).

$$0 \leq r^2 \leq 1 \quad (125)$$

“[...] r^2 es uno de los estadísticos que se consulta con más frecuencia en el análisis de regresión porque refleja en forma breve y exacta la habilidad de la variable predictora elegida x , para explicar la variabilidad de y [...]” (GUTIÉRREZ GONZÁLEZ Y VLADIMIROVNA PANTELEEVA 2016, p. 298).

3.2.10.3 Coeficiente de determinación ajustado

“[...] en los modelos de regresión lineal múltiple el uso del coeficiente de determinación tiene el problema de que su valor aumenta conforme se agregan variables al modelo[...]”(GUTIÉRREZ GONZÁLEZ Y VLADIMIROVNA PANTELEEVA 2016, p. 308), entonces el r_{aj}^2 “[...] proporciona un ajuste a los

grados de libertad [...]” (WALPOLE ET AL. 2012, p. 464), el mismo autor indica que esto se realiza con el fin de no sobreajustar al modelo seleccionado.

$$r_{aj}^2 = 1 - \frac{n-1}{n-(m+1)} \left(\frac{SCE}{SC_{yy}} \right) \quad (126)$$

$$r_{aj}^2 = 1 - \frac{(n-1)(1-r^2)}{n-m-1} \quad (127)$$

Donde:

m : es la cantidad de variables independientes del modelo

n : es el número de observaciones

3.2.11 Comparación en posición y forma

3.2.11.1 Comparación en posición

a. Prueba t para muestras independientes

Conocida como prueba t de Student, “[...]Se usa para determinar si existe diferencia estadística entre las medias de dos grupos independientes” (GOSS - SAMPSON 2018, p. 39).

$$t_c = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \quad (128)$$

Donde:

\bar{x}_1, S_1^2 : son la media y varianza de la primera parte del registro de tamaño n_1

\bar{x}_2, S_2^2 : son la media y varianza de la primera parte del registro de tamaño n_2

Un valor alto t_c indica que existe gran diferencia entre los grupos. Si el valor es mínimo, mayor será la similitud entre los grupos.

El criterio de aceptación o rechazo es el siguiente:

- Si $|t_c| \leq t_t$, ($\alpha = 5\%$) se concluye las medias son iguales.
- Si $|t_c| > t_t$, ($\alpha = 5\%$) se concluye las medias son diferentes.

b. Prueba F

Se utiliza para poder comprobar la homogeneidad en la varianza de dos muestras.

$$S_1^2 > S_2^2 \quad F_c = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (129)$$

$$S_2^2 > S_1^2 \quad F_c = \frac{S_2^2}{S_1^2} \quad (130)$$

Donde S_1^2 y S_2^2 son las varianzas para cada periodo analizado, además F_c es el F calculado.

El valor de F_t o tabular se determina a partir de la tabla estadística de la distribución F de Fisher, considerando lo siguiente:

- Nivel de significancia del 5%
- Grados de libertad: se obtienen de los datos del numerador menos uno y datos del denominador menos uno.

Existen dos criterios de decisión:

- Si $F_c \leq F_t$, se concluye que existe consistencia en la varianza.
- Si $F_c > F_t$, se concluye que no existe consistencia en la varianza.

3.2.11.2 Medidas de forma

a. Sesgo o asimetría

El sesgo es el estadístico que mide la simetría o asimetría, “evalúa el grado de distorsión o inclinación que adopta la distribución de los datos respecto a su valor promedio tomado como centro de gravedad” (TESÉN ARROYO 2012).

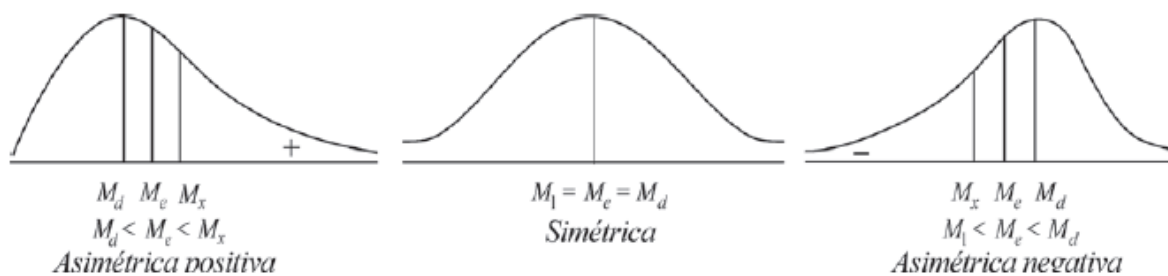


Figura 8 — Sesgo de los datos

Fuente: (RANKIA 2019)

Para el cálculo del sesgo se utiliza la siguiente formula:

$$g1 = \frac{\mu_3}{\sigma^3} \quad (131)$$

Donde:

μ_3 es el tercer momento del conjunto de datos:

$$\mu_3 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^3}{n} \quad (132)$$

σ es la desviación estándar:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (x_i - \mu)^2} \quad (133)$$

μ es la media o promedio

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (134)$$

n es el número de datos

La asimetría de muestra:

$$G1 = \frac{\sqrt{n(n-1)}}{n-2} g1 \quad (135)$$

Para determinar el sesgo estandarizado (se), se utiliza la siguiente relación:

$$se = \frac{G1}{\sqrt{\frac{6}{n}}} \quad (136)$$

“Para los datos que siguen un distribución normal, el valor del sesgo estandarizado debe caer dentro de $(-2,+2)$ ” (TESÉN ARROYO 2012)

b. Curtosis

Es un indicador del grado de llanura de la curva, es decir, que tan elevada o plana es la distribución de ciertos datos, comparado con la distribución normal. “una curtosis positiva da como resultado un vértice de la distribución más agudo, con colas más pronunciadas (largas); en cambio, una curtosis negativa muestra una distribución mucho más uniforme o aplanada, con colas suaves (cortas)” (GOSS - SAMPSON 2018, p. 12).

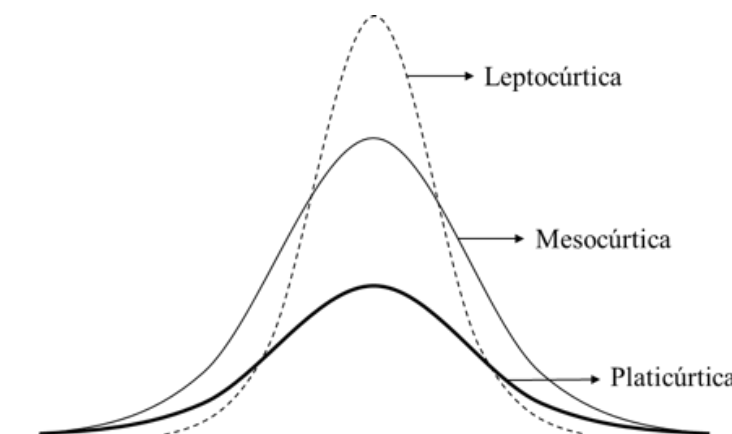


Figura 9 — Grados de curtosis

Fuente: (RANKIA 2019)

La curtosis se calcula mediante:

$$a_4 = \frac{\mu^4}{\sigma^4} \quad (137)$$

Y el exceso de curtosis,

$$g_2 = a_4 - 3 \quad (138)$$

Donde

σ es la desviación estándar.

μ_4 se denomina cuarto momento del conjunto de datos, cuya fórmula es:

$$\mu_4 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^4}{n} \quad (139)$$

La muestra de exceso de curtosis:

$$G_2 = \frac{n-1}{(n-2)(n-3)} [(n+1)g_2 + 6] \quad (140)$$

La curtosis estandarizada (ce) será determinada por:

$$ce = \frac{G_2}{\sqrt{\frac{24}{n}}} \quad (141)$$

(TESÉN ARROYO 2012) indica, que para “los datos que siguen una distribución normal el valor de la curtosis estandarizada debe estar dentro de (-2,2)”.

3.2.12 R Studio

“[...] R es un lenguaje de programación interpretado, de distribución libre, bajo Licencia GNU, y se mantiene en un ambiente para el cómputo estadístico y gráfico. [...]” (SANTANA Y FARFAN 2014).

Según (EQUIPO PRINCIPAL DE DESARROLLO R 2000), especifica las siguientes características:

- Almacenamiento y manipulación efectiva de datos.
- Operadores para cálculo sobre variables indexadas (Arrays), en particular matrices.
- Una amplia, coherente e integrada colección de datos.
- Posibilidades gráficas para análisis de datos.
- Un lenguaje de programación bien desarrollado, simple y efectivo, que incluye condicionales, ciclos, funciones recursivas y posibilidades de entrada y salida.

De estas descripciones se puede decir que “R es un conjunto integrado de programas para manipulación de datos, cálculos y gráficos” (EQUIPO PRINCIPAL DE DESARROLLO R 2000).

El lenguaje R, tiene una diversidad de paquetes las cuales pueden ser utilizadas para el tratamiento de datos. Entre los paquetes de interés se pueden mencionar: “lmom”

(HOSKING 2019) ,” Hmisc” (HARRELL JR 2021), “tidyverse” (WICKHAM 2021), cada uno de estos paquetes contiene una serie de librerías, por ejemplo el paquete “tidyverse” contiene a las librerías: ggplot2, dplyr, tidyr, entre otros.

3.2.12.1 Paquete lmom

El paquete “lmom” desarrollado por HOSKING (2019) indica que, “este paquete contiene funciones R que deberían facilitar el uso de métodos basados en el momento L”.

Entre las diversas funciones que desarrollo HOSKING (2019), para la presente se utilizan las siguientes:

- **cdf** calcula la función de distribución acumulada de la distribución.
- **qua** calcula la función cuantil (función de distribución acumulada inversa) de la distribución.
- **lmr** calcula las relaciones de los L momentos de la distribución dados sus parámetros.
- **pel** calcula los parámetros de la distribución dados sus L momentos.
- **samlmu** calcula los L momentos de muestra de un vector de datos.

Asimismo, indica que, se utilizan los siguientes códigos para identificar las distribuciones:

- **gam** gamma
- **gum** Gumbel
- **ln3** lognormal
- **nor** normal
- **pe3** Pearson tipo III

Cabe mencionar que HOSKING (2019) da a conocer varias distribuciones y funciones, las que se muestran son solo para el interés de la investigación.



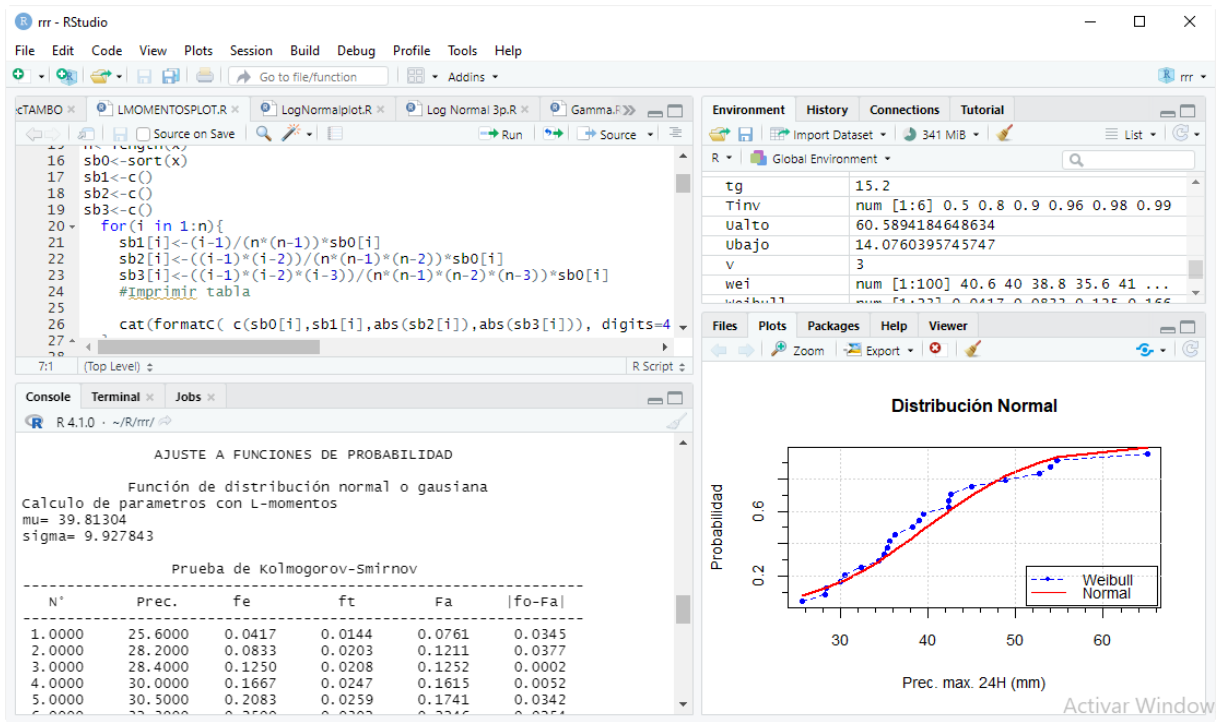


Figura 10 — Entorno del software R Studio



3.3 Marco conceptual

3.3.1 Precipitación

“La precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre y sus mediciones forman el punto de partida de parte de los estudios concernientes al uso y control del agua” (APARICIO MIJARES 1992).

3.3.2 Intensidad

“La intensidad es la tasa temporal de precipitación, es decir, la profundidad por unidad de tiempo (mm/h)” (MTC 2011, p. 34).

3.3.3 Curvas IDF

“La técnica de las curvas IDF, aunque antigua, resulta sumamente útil para realizar análisis puntuales de en estaciones que cuentan con registros pluviográficos de buena longitud, siendo de gran aplicación en el dimensionado de obras hidráulicas que requieren contar con datos de este tipo” (VILLODAS 2008).

3.3.4 Periodo de retorno

“[...]Entendido como un porcentaje de los años de ocurrencia de un evento extremo; por lo que si un suceso extraordinario se presenta (por término medio) cada T años, su probabilidad es de $1/T$ ” (VELEZ ET AL. 2013).



CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

4.1.1 Tipo de investigación

La investigación es del **tipo descriptiva** ya que en su desarrollo busca describir el comportamiento de las precipitaciones máximas en 24 horas para lograr estimar las curvas IDF en las estaciones meteorológicas de Tambobamba y Curahuasi; además tiene un enfoque cuantitativo, ya que se analizan datos numéricos utilizando métodos estadísticos, relacionando el periodo de retorno y su duración.

4.1.2 Nivel de investigación

El nivel de investigación que se utilizará en esta investigación será descriptivo.

4.2 Diseño de investigación

El diseño de investigación es no experimental - longitudinal, ya que se analizará la información registrada en determinados años para cada una de las estaciones meteorológicas.

4.3 Población y muestra

4.3.1 Población

La población para este estudio son todos los datos de la variable precipitación, registrados por el SENAMHI, en cada una de las estaciones meteorológicas:

- Estación Tambobamba: registro histórico mensual de 26 años
- Estación Curahuasi: registro histórico mensual de 26 años

4.3.2 Muestra

Son las precipitaciones máximas en 24 horas, por año, comprendidas por la información facilitada por el SENAMHI, en cada una de las estaciones meteorológicas.

4.4 Procedimiento

Se iniciará con la obtención del registro de datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), luego se procederá a realizar el análisis de datos dudosos, la cual permitirá encontrar si existen datos atípicos. Posteriormente se continuará con el análisis estadístico de los datos, para la selección de la distribución teórica se utilizará el



método de los momentos lineales en la determinación de los parámetros de cada una de las funciones de probabilidad y se verificara el ajuste con las pruebas de bondad de ajuste como son el caso de la prueba de Kolmogorov-Smirnov y Chi cuadrado.

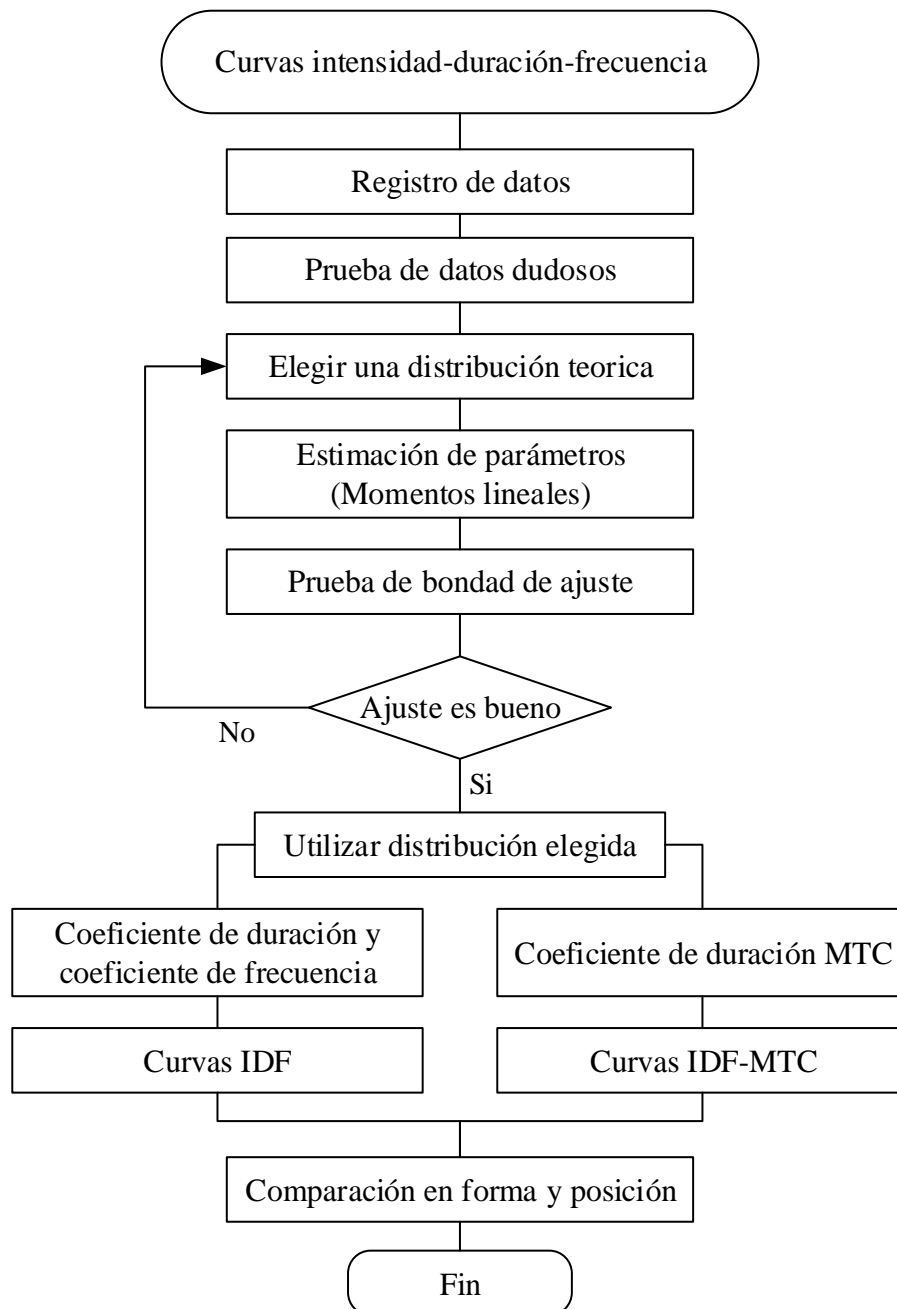


Figura 11 – Procedimiento de investigación

Una vez seleccionada la función de probabilidad a la cual se ajusten los datos de cada una de las estaciones meteorológicas, para cada uno de los caso, se determinara las curvas intensidad-duración-frecuencia con los coeficientes de duración que se especifican en el manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito del MTC, asimismo se estimaran las curvas intensidad-duración-frecuencia

utilizando las fórmulas de los coeficientes de duración y frecuencia, las cuales se basan en estudios anteriores de F. Bell y otros.

Obtenidas las curvas por los dos métodos, se realizará la comparación en posición y forma, las cuales determinaran si las ecuaciones obtenidas son adecuadas.

4.5 Técnicas e instrumentos

Las técnicas e instrumentos que se utilizarán en la presente investigación, se detallan en el siguiente cuadro:

Tabla 12 — Técnicas e instrumentos de investigación

Variable	Técnica	Instrumento
Análisis de precipitaciones	Lectura de los registros del SENAMHI	Ficha de registro del SENAMHI
Desarrollo de curvas IDF	Aplicación de formula	Fórmula para la estimación de las curvas IDF R Studio TableCurve2Dv5

4.6 Análisis estadístico

Los resultados se sometieron al software STATGRAPHICS Centurión, donde se efectuó las comparaciones de variación en forma y posición para poder indicar lo adecuado de las ecuaciones generadas, teniendo como referencia las curvas IDF generadas a partir de los coeficientes de duración del MTC.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Análisis de resultados

5.1.1 Resultados para la estación meteorológica de Tambobamba

5.1.1.1 Precipitación máxima en 24 horas

A partir de los registros históricos facilitados por el SENAMHI, se extrajeron las precipitaciones máximas en 24 horas, para lo cual se procedió de la siguiente forma:

- Tomando como referencia los años con datos completos, se realizó un listado de los meses en los cuales se registró la máxima precipitación en 24 horas, por año, obteniéndose la siguiente tabla.

Tabla 13 — Meses con mayor cantidad de registros de precipitaciones máximas en 24 horas

Mes	Porcentaje de registro (%)
Enero	30
Febrero	30
Marzo	15
Diciembre	15
Octubre	5
Noviembre	5
Abril	0
Mayo	0
Junio	0
Julio	0
Agosto	0
Setiembre	0

En la tabla se puede observar que, los meses en las cuales ocurrieron con mayor frecuencia las precipitaciones máximas en 24 horas son: enero, febrero, marzo, diciembre, octubre y noviembre.

- Se descartaron los datos de precipitación máxima en 24 horas de aquellos años en las cuales no se registraron datos en los meses que con mayor frecuencia existieron estos eventos máximos. Teniendo en consideración lo anterior se descartaron los datos de los años 1995, 1998 y 2020.

Tabla 14 —Precipitaciones máximas en 24 horas de la estación meteorológica de Tambobamba

N°	Año	Precipitación (mm)
1	1996	35
2	1997	38.2
3	1999	25.6
4	2000	42.3
5	2001	52.7
6	2002	39
7	2003	48.8
8	2004	36.2
9	2005	54.7
10	2006	34.3
11	2007	28.2
12	2008	30
13	2009	65
14	2010	42.6
15	2011	35.4
16	2012	42.4
17	2013	28.4
18	2014	39.5
19	2015	35.6
20	2016	30.5
21	2017	45
22	2018	54
23	2019	32.3

5.1.1.2 Prueba de datos dudosos

De acuerdo a método del Water Resources Council, los umbrales altos y bajos se muestran en las series de tiempo, para lo cual se realizaron los cálculos para un nivel de significancia del 10%.

Para la estación de Tambobamba

$$n = 23$$

$$K_n = 2.448$$

$$\bar{y} = 1.588$$

$$s_y = 0.104$$

Reemplazando en las fórmulas respectivas se obtiene:

- El umbral alto o límite superior: $P_H = 69.59mm$
- El umbral bajo o límite inferior: $P_L = 21.54 mm$

Los resultados se muestran de forma gráfica en la serie de tiempo de la estación meteorológica de Tambobamba.

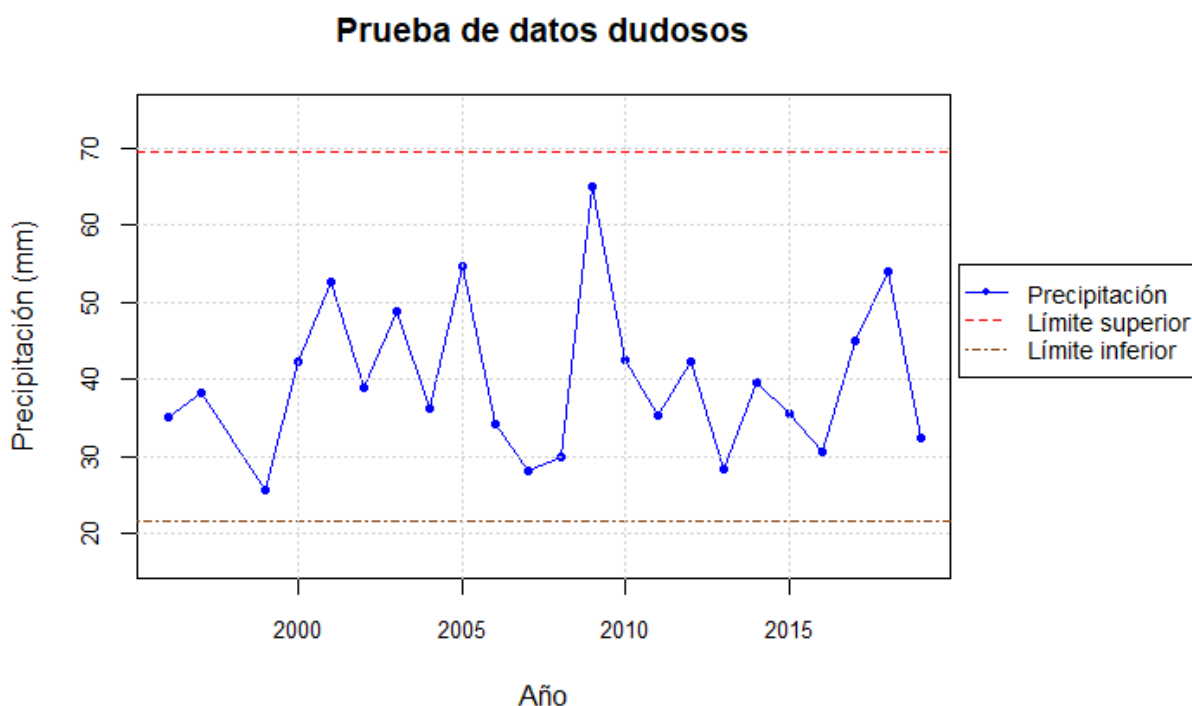


Figura 12 — Límites superiores e inferiores para la serie de tiempo de la estación meteorológica Tambobamba

En la Figura 12, se observa que los datos se encuentran dentro de los rangos permisibles, por lo cual se utilizarán los datos considerados para los siguientes procedimientos.

5.1.1.3 Análisis probabilístico

Para el análisis probabilístico se utilizó el software R Studio, respecto al cálculo de los parámetros estadísticos de las funciones de probabilidad se empleó el método de los momentos lineales.

Las funciones de probabilidad que se analizaron son las siguientes:

- Distribución normal.
- Distribución log-normal 2 parámetros

- Distribución log-normal 3 parámetros
- Distribución gamma
- Distribución Pearson tipo III
- Distribución log-Pearson tipo III
- Distribución Gumbel

Para el procesamiento de los datos se utilizó el software R Studio, para lo cual se instalaron las librerías como son: “lmom” que permite el cálculo de parámetros de las funciones teóricas, “ggplot2” para los gráficos, y otros como los paquetes “tidyverse”, “Hmisc”, así como sus respectivas librerías. Asimismo, se realizaron programaciones de algoritmos que permitieron obtener la distribución empírica o experimental de Weibull, así como las funciones de densidad, función acumulada, gráficos, y las pruebas de bondad de ajuste Chi cuadrado y Kolmogorov-Smirnov; los procesos descritos se pueden observar en el Anexo F.

Método de momentos lineales

El método para estimar los parámetros para las diferentes funciones de probabilidad es el denominado momentos lineales o L-momentos, para entender la metodología que utiliza se calculara las relaciones existentes como el coeficiente de variación, asimetría y curtosis.

Para aplicar el método de momentos lineales, se deben ordenar los datos de precipitación en forma ascendente, luego se completan los datos respectivos de acuerdo a las ecuaciones 9 al 12.

Tabla 15 — Determinación de los momentos probables ponderados para la estación de Tambobamba

N°	β_0	β_1	β_2	β_3
1	25.6			
2	28.2	0.0557		
3	28.4	0.1123	0.0053	
4	30	0.1779	0.0169	0.0008
5	30.5	0.2411	0.0344	0.0034
6	32.3	0.3192	0.0608	0.0091
7	34.3	0.4067	0.0968	0.0194
8	35	0.4842	0.1383	0.0346
9	35.4	0.5597	0.1866	0.056
10	35.6	0.6332	0.2412	0.0844
11	36.2	0.7154	0.3066	0.1226

12	38.2	0.8304	0.3954	0.178
13	39	0.9249	0.4845	0.2422
14	39.5	1.0148	0.5799	0.3189
15	42.3	1.1704	0.7245	0.4347
16	42.4	1.2569	0.8379	0.5447
17	42.6	1.347	0.9622	0.6735
18	45	1.5119	1.1519	0.8639
19	48.8	1.736	1.4053	1.1242
20	52.7	1.9789	1.6962	1.4417
21	54	2.1344	1.9311	1.738
22	54.7	2.2702	2.1621	2.054
23	65	2.8261	2.8261	2.8261
	39.813	22.7071	16.2441	12.7704

Los estimadores de momentos de probabilidad ponderada calculados son:

$$\beta_0 = 39.813 \quad \beta_1 = 22.7071 \quad \beta_2 = 16.2441 \quad \beta_3 = 12.7704$$

A partir de los valores de momentos de probabilidad ponderada se pueden calcular los cuatro primeros momentos lineales, utilizando las ecuaciones del 14 al 17, obteniéndose:

$$\lambda_1 = 39.813$$

$$\lambda_2 = 5.6012$$

$$\lambda_3 = 1.035$$

$$\lambda_4 = 0.7572$$

Con esta información se pueden obtener las relaciones existentes, utilizando las fórmulas del 19 al 21, los resultados de dichas relaciones se muestran a continuación:

$$\text{Coeficiente de variación L-CV:} \quad \tau = 0.1407$$

$$\text{Coeficiente de asimetría L-SK} \quad \tau_3 = 0.1848$$

$$\text{Coeficiente de curtosis L-CK} \quad \tau_4 = 0.1352$$

Cabe mencionar que el cálculo de los parámetros para cada una de las funciones teóricas utilizadas para el análisis probabilístico se realizara mediante el uso del software R Studio, específicamente con el paquete “lmom”, el cual fue desarrollado por HOSKING (2019).

Funciones de distribución

En la Tabla 16, se muestran la distribución empírica de Weibull $P(x)$ y las funciones de distribución acumulada de las distribuciones teóricas $F(x)$, los datos de precipitación se ordenaron en forma ascendente, ya que este se utilizará para la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Tabla 16 — Resultados de las funciones de distribución acumulada para la estación de Tambobamba

m	x	$P(x)$	$F(x)$						
			Nor	Lnor2	Lnor3	Gam	PeIII	LPeIII	Gum
1	25.6	0.0417	0.0761	0.0464	0.0327	0.0606	0.0278	0.0309	0.0384
2	28.2	0.0833	0.1211	0.0989	0.0912	0.1129	0.0927	0.0881	0.0941
3	28.4	0.1250	0.1252	0.104	0.0972	0.1177	0.0992	0.094	0.0997
4	30	0.1667	0.1615	0.15	0.1513	0.1612	0.1568	0.1478	0.1509
5	30.5	0.2083	0.1741	0.1662	0.1703	0.1763	0.1767	0.1669	0.169
6	32.3	0.2500	0.2246	0.2308	0.2452	0.2361	0.253	0.2422	0.2411
7	34.3	0.2917	0.2893	0.3114	0.3355	0.3107	0.3423	0.3331	0.3293
8	35	0.3333	0.3139	0.341	0.3676	0.3383	0.3736	0.3655	0.3611
9	35.4	0.3750	0.3283	0.3581	0.3859	0.3543	0.3914	0.384	0.3793
10	35.6	0.4167	0.3356	0.3667	0.395	0.3623	0.4003	0.3932	0.3884
11	36.2	0.4583	0.358	0.3925	0.4223	0.3867	0.4266	0.4206	0.4156
12	38.2	0.5000	0.4355	0.4784	0.51	0.4684	0.5112	0.5088	0.5038
13	39	0.5417	0.4674	0.512	0.5432	0.5009	0.5432	0.5422	0.5375
14	39.5	0.5833	0.4874	0.5326	0.5633	0.521	0.5626	0.5623	0.5579
15	42.3	0.6250	0.5989	0.6407	0.6654	0.6282	0.6616	0.6643	0.6618
16	42.4	0.6667	0.6028	0.6443	0.6687	0.6318	0.6648	0.6676	0.6652
17	42.6	0.7083	0.6105	0.6514	0.6752	0.639	0.6712	0.6741	0.6719
18	45	0.7500	0.6993	0.7297	0.746	0.7192	0.7408	0.7444	0.7442
19	48.8	0.7917	0.8173	0.8267	0.8315	0.8214	0.8266	0.8292	0.8314
20	52.7	0.8333	0.9029	0.8951	0.8915	0.8948	0.8882	0.8885	0.8923
21	54	0.8750	0.9235	0.912	0.9066	0.913	0.904	0.9035	0.9075
22	54.7	0.9167	0.9331	0.92	0.9139	0.9216	0.9116	0.9107	0.9149
23	65	0.9583	0.9944	0.9824	0.9744	0.9862	0.9754	0.9715	0.9754

Cabe mencionar que los resultados de los parámetros y las funciones acumuladas de cada distribución teórica se encuentra en el Anexo C.1.

5.1.1.3.1 Pruebas de bondad de ajuste

Para la prueba de Kolmogorov-Smirnov, se calculó las funciones de distribución acumulada en cada función teórica de probabilidad, así como la función empírica de Weibull con el fin de encontrar el valor absoluto de las diferencias de los mismos, estos se calcularon a partir de la Tabla 16.

Tabla 17 — Resultados de la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov para la estación de Tambobamba

m	x	F(x) - P(x)						
		Nor	Lnor2	Lnor3	Gam	PeIII	LPeIII	Gum
1	25.6	0.0345	0.0047	0.0089	0.0189	0.0139	0.0108	0.0033
2	28.2	0.0377	0.0155	0.0079	0.0295	0.0094	0.0047	0.0108
3	28.4	0.0002	0.0210	0.0278	0.0073	0.0258	0.0310	0.0253
4	30	0.0052	0.0167	0.0154	0.0055	0.0098	0.0189	0.0158
5	30.5	0.0342	0.0421	0.0380	0.0320	0.0316	0.0415	0.0393
6	32.3	0.0254	0.0192	0.0048	0.0139	0.003	0.0078	0.0089
7	34.3	0.0023	0.0197	0.0438	0.0191	0.0506	0.0414	0.0376
8	35	0.0194	0.0076	0.0343	0.005	0.0403	0.0322	0.0278
9	35.4	0.0467	0.0169	0.0109	0.0207	0.0164	0.0090	0.0043
10	35.6	0.0810	0.0500	0.0216	0.0543	0.0164	0.0235	0.0283
11	36.2	0.1004	0.0658	0.0361	0.0717	0.0317	0.0377	0.0427
12	38.2	0.0645	0.0216	0.0100	0.0316	0.0112	0.0088	0.0038
13	39	0.0743	0.0297	0.0015	0.0408	0.0016	0.0005	0.0042
14	39.5	0.0959	0.0507	0.0200	0.0624	0.0207	0.021	0.0255
15	42.3	0.0261	0.0157	0.0404	0.0032	0.0366	0.0393	0.0368
16	42.4	0.0639	0.0224	0.002	0.0349	0.0019	0.0009	0.0015
17	42.6	0.0978	0.057	0.0331	0.0694	0.0372	0.0342	0.0365
18	45	0.0507	0.0203	0.004	0.0308	0.0092	0.0056	0.0058
19	48.8	0.0257	0.0351	0.0399	0.0297	0.0349	0.0375	0.0397
20	52.7	0.0695	0.0617	0.0582	0.0614	0.0549	0.0552	0.0590
21	54	0.0485	0.037	0.0316	0.038	0.029	0.0285	0.0325
22	54.7	0.0165	0.0034	0.0028	0.005	0.0051	0.006	0.0018
23	65	0.0361	0.0241	0.0161	0.0279	0.0171	0.0132	0.0171

En la Tabla 17, se observa los resultados del valor absoluto de las diferencias entre la distribución empírica y teórica, para cada uno de los valores de precipitación

considerados. Los que se encuentran resaltados son las máximas diferencias para cada una de las distribuciones utilizadas.

Tabla 18 — Resumen de la prueba de Kolmogorov-Smirnov para la estación meteorológica de Tambobamba para $\alpha = 5\%$

N°	Función de distribución	Δ	Δ_0	$\Delta < \Delta_0$
1	Pearson III	0.0549	0.2836	Se acepta
2	Log-Pearson III	0.0552	0.2836	Se acepta
3	Log-normal 3P	0.0582	0.2836	Se acepta
4	Gumbel	0.0590	0.2836	Se acepta
5	Log-normal 2P	0.0658	0.2836	Se acepta
6	Gamma	0.0717	0.2836	Se acepta
7	Normal	0.1004	0.2836	Se acepta

En la Tabla 18, se muestra el resumen de los deltas calculados $\Delta = \max |F(x) - P(x)|$, para cada una de las funciones teóricas de probabilidad comparados con el delta tabular crítico (Δ_0), este último depende de la cantidad de datos y se obtuvo con la fórmula de la Tabla 6, para un nivel de significancia del 5%.

Los resultados se ordenaron de acuerdo al valor del delta calculado en forma ascendente, donde la posición uno indica el mejor ajuste, siendo la distribución Pearson tipo III la que mejor se ajustó a los datos de precipitación máxima de la estación de Tambobamba. Asimismo, se observó que todas las funciones teóricas son aceptables para un nivel de significancia del 5%.

Gráficamente se puede observar el ajuste de distribución Pearson tipo III.

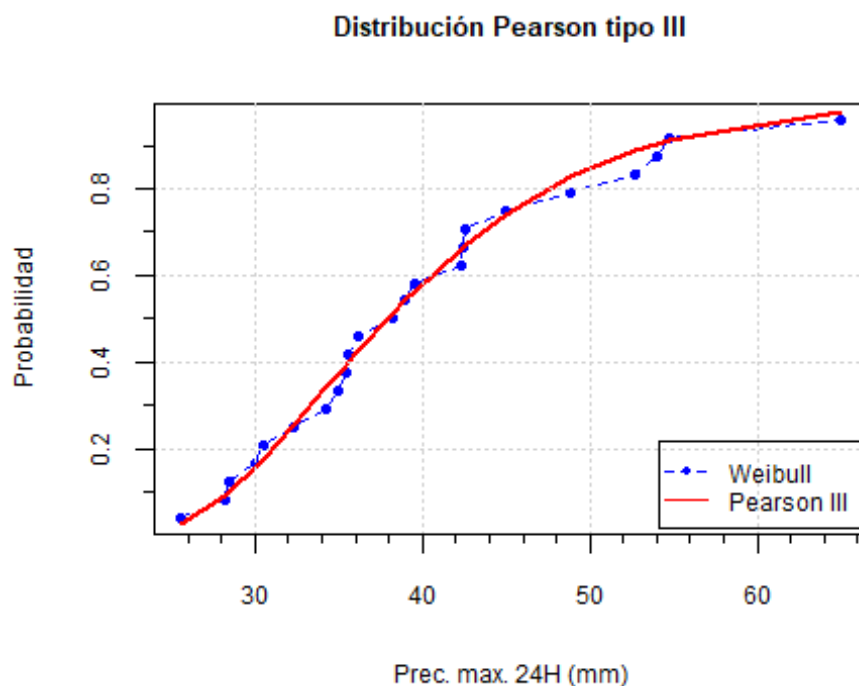


Figura 13 — Ajuste de la distribución Pearson tipo III para la estación de Tambobamba

En la Figura 13 se observa que los valores de la distribución empírica Weibull se ajustan adecuadamente a la función de distribución de probabilidad Pearson tipo III.

A continuación, se muestra el resumen de los resultados de la prueba de bondad de ajuste de Chi-cuadrado para la estación meteorológica de Tambobamba, los resultados en la tabla están ordenados de acuerdo al mejor ajuste obtenido en forma ascendente, siendo la posición uno el mejor ajuste; las pruebas se encuentran detalladas en el Anexo D.1.

Tabla 19 — Resumen de la prueba Chi-cuadrado para la estación meteorológica de Tambobamba para $\alpha = 5\%$

Nº	Función de distribución	D	χ^2	$D < \chi^2$
1	Pearson 3	3.037212	5.991465	Se acepta
2	Log-Pearson 3	3.188345	5.991465	Se acepta
3	Log-normal 3P	3.19201	5.991465	Se acepta
4	Gumbel	3.20841	7.814728	Se acepta
5	Log-normal 2P	3.274488	7.814728	Se acepta
6	Gamma	3.422665	7.814728	Se acepta
7	Normal	4.625066	7.814728	Se acepta



En la Tabla 19 se puede visualizar que todas las funciones teóricas de probabilidad son aceptables para la prueba Chi cuadrado, pero la que mejor se ajustó es la función de distribución de probabilidad Pearson tipo III.

De las dos pruebas de bondad de ajuste, la que mejor se ajustó a los datos de precipitación máxima en 24 horas registrados en la estación meteorológica de Tambobamba, es la distribución Pearson tipo III, ya que esta se mantuvo en la posición uno, tanto en la prueba de Kolmogorov-Smirnov y en la prueba de Chi-cuadrado, motivo por el cual se seleccionó dicha distribución teórica.

Una vez seleccionado la función de distribución de probabilidad se calculó la estimación de las precipitaciones máximas en 24 horas, para diferentes periodos de retorno, esto en base a la Tabla 7, en las cuales se muestran los periodos de retorno considerados para estructuras menores.

Tabla 20 — Precipitación máxima en 24 horas, para diferentes periodos de retorno, para la estación de Tambobamba

T (años)	Probabilidad de excedencia	Probabilidad de no excedencia	Prec. max. 24h (mm)
2	0.500	0.500	37.93
5	0.200	0.998	47.48
10	0.100	0.900	53.66
25	0.040	0.960	61.18
50	0.020	0.980	66.58
100	0.010	0.990	71.81

En la Tabla 20, se muestran las precipitaciones máximas en 24 horas, las cuales fueron calculados en base a la función de distribución de probabilidad Pearson tipo III, y los periodos de retorno considerados.

5.1.1.4 Curvas intensidad duración frecuencia para la estación de Tambobamba

Para poder estimar la ecuación de las curvas IDF, así como su respectivo gráfico, se procedió a calcular los factores correspondientes como son el coeficiente de frecuencia y coeficiente de duración, para finalmente reemplazarlo en la fórmula final.

Coefficiente de frecuencia

Se determinó las precipitaciones para una hora, utilizando el coeficiente de duración de duración para una hora $P_{1h} = 0.3862P_{24h}$, establecido en la Tabla 10, la cual se utilizó debido a que no se cuenta con registros pluviografico. En base a este valor se calculó la precipitación de 1 hora para todos los datos de precipitación máxima en 24 horas:

Tabla 21 — Deducción de precipitaciones máximas para una hora de duración, para la estación de Tambobamba

Nº	Año	P24h	P1h
1	1996	35	13.52
2	1997	38.2	14.75
3	1999	25.6	9.89
4	2000	42.3	16.34
5	2001	52.7	20.35
6	2002	39	15.06
7	2003	48.8	18.85
8	2004	36.2	13.98
9	2005	54.7	21.13
10	2006	34.3	13.25
11	2007	28.2	10.89
12	2008	30	11.59
13	2009	65	25.1
14	2010	42.6	16.45
15	2011	35.4	13.67
16	2012	42.4	16.37
17	2013	28.4	10.97
18	2014	39.5	15.25
19	2015	35.6	13.75
20	2016	30.5	11.78
21	2017	45	17.38
22	2018	54	20.85
23	2019	32.3	12.47

Como los datos se ajustaron a la distribución Pearson Tipo III, se efecto un análisis probabilístico para las precipitaciones de una hora, obteniéndose la precipitación de



una hora para un periodo de retorno de 10 años $P_{d=1h}^{T'=10años} = 20.72mm$, el cual es un valor a tomar en consideración para determinar el coeficiente de frecuencia. cabe mencionar que valor base para el periodo de retorno será de $T' = 10 años$ y el valor base para la duración será de $d = 1 hora$, tomando como referencia lo propuesto por BELL (1969), en las ecuaciones 105 y 106, por ser considerada como ecuación universal en otras investigaciones.

El valor obtenido, permitió calcular los valores de la columna de coeficiente de frecuencia $f_1(T)$, utilizándose la relación establecida para dicho factor la cual es:

$$f_1(T) = \frac{P_d^T}{P_{d=1h}^{T'=10años}} = \frac{P_d^T}{20.72mm}$$

Tabla 22 — Tabulación de valores para obtener la ecuación del coeficiente de frecuencia, para la estación de Tambobamba

T (años)	Prec. máx. 1h (mm)	$f_1(T)$
2	14.65	0.7070
5	18.34	0.8851
10	20.72	1.0000
25	23.63	1.1404
50	25.71	1.2408
100	27.73	1.3383

Para obtener los parámetros de la ecuación 109, correspondiente al coeficiente de frecuencia, se utilizó el método de regresión no lineal para lo cual se empleó los valores de las columnas del periodo de retorno (T) y la columna de coeficientes de frecuencia $f_1(T)$ de la Tabla 22. para este procedimiento se utilizó el software TableCurve2Dv5.

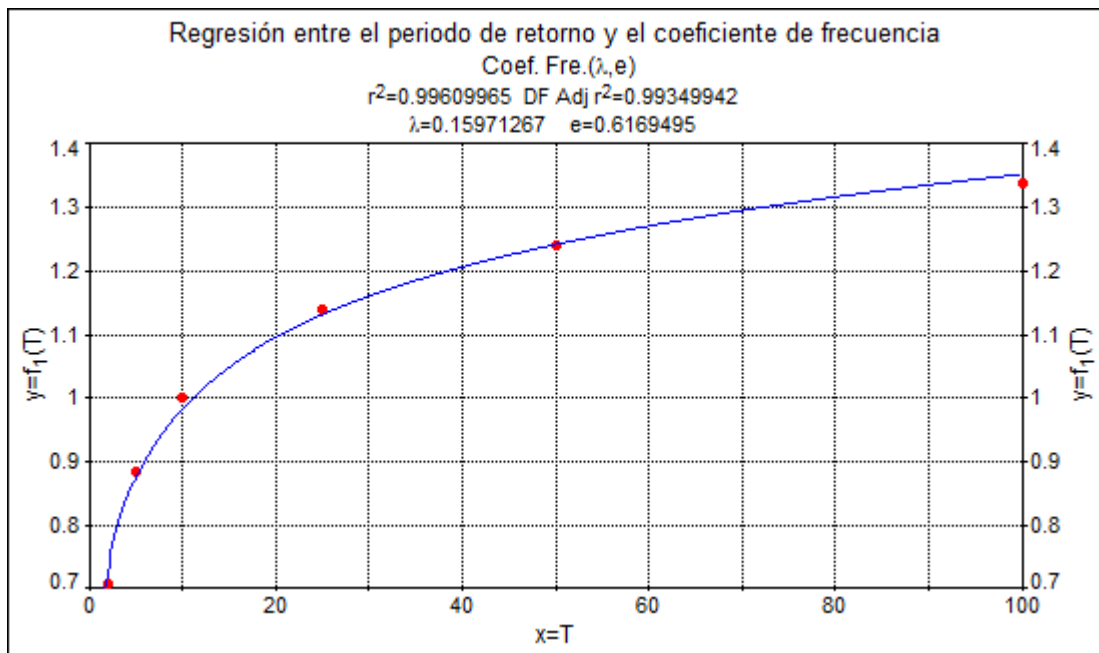


Figura 14 — Regresión entre periodo de retorno y coeficiente de frecuencia para la estación de Tambobamba

La ecuación del coeficiente de frecuencia, que se logró utilizando regresión, es:

$$f_1(T) = 0.160\ln(T) + 0.617 \tag{142}$$

$$r^2 = 0.996$$

$$r_{aj}^2 = 0.993$$

Como el coeficiente de determinación se aproxima a la unidad, podemos asumir que el ajuste de los datos es bueno. Por otra parte, el coeficiente de determinación ajustado es ligeramente menor debido a que este valor depende de la cantidad de coeficientes de la ecuación del coeficiente de frecuencia; para no sobreestimar el resultado del coeficiente de determinación.

Coefficiente de duración

Para el coeficiente de duración el primer procedimiento fue determinar las precipitaciones para diferentes duraciones utilizando los coeficientes de duración para diferentes tiempos establecidos en la Tabla 10, obteniéndose:

Tabla 23 — Duración de precipitación para diferentes tiempos, para la estación de Tambobamba

N°	P _{24h}	Precipitación (mm), con duración en minutos						
		10	20	30	60	120	360	720
1	25.6	4.35	6.53	7.81	9.89	11.9	18.39	21.25
2	28.2	4.79	7.19	8.6	10.89	13.11	20.26	23.41



3	28.4	4.83	7.24	8.66	10.97	13.21	20.4	23.57
4	30	5.1	7.65	9.15	11.59	13.95	21.55	24.9
5	30.5	5.19	7.78	9.3	11.78	14.18	21.91	25.31
6	32.3	5.49	8.24	9.85	12.47	15.02	23.2	26.81
7	34.3	5.83	8.75	10.46	13.25	15.95	24.64	28.47
8	35	5.95	8.93	10.67	13.52	16.28	25.14	29.05
9	35.4	6.02	9.03	10.8	13.67	16.46	25.43	29.38
10	35.6	6.05	9.08	10.86	13.75	16.55	25.58	29.55
11	36.2	6.15	9.23	11.04	13.98	16.83	26.01	30.05
12	38.2	6.49	9.74	11.65	14.75	17.76	27.44	31.71
13	39	6.63	9.95	11.89	15.06	18.14	28.02	32.37
14	39.5	6.72	10.07	12.05	15.25	18.37	28.38	32.78
15	42.3	7.19	10.79	12.9	16.34	19.67	30.39	35.11
16	42.4	7.21	10.81	12.93	16.37	19.72	30.46	35.19
17	42.6	7.24	10.86	12.99	16.45	19.81	30.6	35.36
18	45	7.165	11.47	13.72	17.38	20.92	32.33	37.35
19	48.8	8.3	12.44	14.88	18.85	22.69	35.06	40.5
20	52.7	8.96	13.44	16.07	20.35	24.51	37.86	43.74
21	54	9.18	13.77	16.47	20.85	25.11	38.79	44.82
22	54.7	9.3	13.95	16.68	21.13	25.44	39.3	45.4
23	65	11.05	16.58	19.82	25.1	30.23	46.7	53.95

En la tabla 23, se obtuvo las precipitaciones para diferentes tiempos de duración las cuales variaron entre 10 y 720 minutos, estas para cada precipitación máxima en 24 horas.

Luego se efectuó el respectivo análisis probabilístico teniendo en consideración la función de probabilidad que se ajustó de mejor forma a los datos, la cual fue la distribución Pearson tipo III, de esta forma se obtuvo la precipitación para diferentes duraciones y periodos de retorno:

Tabla 24 — Precipitaciones para diferentes periodos de retorno y duraciones a partir de la Tabla 23 para la estación de Tambobamba

Duración (min)	Precipitación (mm)				
	T=2	T=5	T=10	T=25	T=50
10	6.45	8.07	9.12	10.4	11.32

20	9.67	12.11	13.68	15.6	16.98
30	11.57	14.48	16.36	18.66	20.31
60	14.65	18.34	20.72	23.63	25.71
120	17.64	22.08	24.95	28.45	30.96
360	27.25	34.11	38.55	43.95	47.83
720	31.48	39.41	44.53	50.78	55.26

En base a los valores base considerados, se utilizará la relación del coeficiente de frecuencia:

$$f_2(d) = \frac{P_d^T}{P_{d'=1h}^{T=10\text{años}}} = \frac{P_d^T}{20.72mm}$$

Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 25 — Valores de coeficientes de duración para diferentes periodos de retorno y duraciones, para la estación de Tambobamba

Duración (min)	$f_2(d)$				
	T=2	T=5	T=10	T=25	T=50
10	0.311	0.389	0.44	0.502	0.546
20	0.467	0.584	0.66	0.753	0.819
30	0.558	0.699	0.79	0.901	0.98
60	0.707	0.885	1	1.14	1.241
120	0.851	1.066	1.204	1.373	1.494
360	1.315	1.646	1.861	2.121	2.308
720	1.519	1.902	2.149	2.451	2.667

De la Tabla 25, se obtuvo el segundo factor o coeficiente de duración, para ello se utilizó el método de regresión no lineal, para poder determinar los parámetros de la ecuación 111, a la cual se ajustaron los datos de la duración y el coeficiente de duración para un periodo de retorno de 10 años, el ajuste se puede visualizar en la Figura 15:

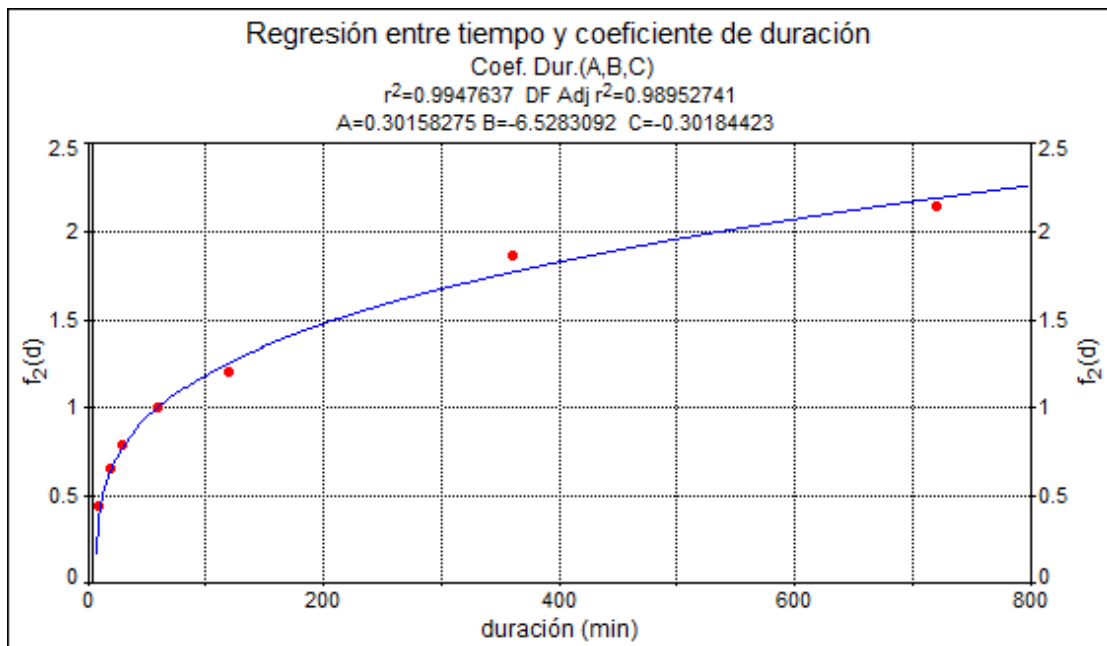


Figura 15 — Regresión entre la duración y coeficiente de duración para la estación de Tambobamba

La ecuación que se obtuvo es la siguiente:

$$f_2(d) = \frac{0.302}{(d - 6.528)^{-0.302}} \quad (143)$$

$$r^2 = 0.9947$$

$$r_{aj}^2 = 0.9895$$

Respecto al coeficiente de determinación, la cual se aproxima a la unidad, se pudo decir que el ajuste es bueno. El coeficiente de determinación es ligeramente menor, porque en la ecuación participan tres coeficientes, está a la vez es un buen indicador por su cercanía a la unidad.

Combinando las dos ecuaciones, coeficiente de frecuencia y coeficiente de duración, se obtuvo la siguiente fórmula para poder determinar las precipitaciones para diferentes periodos de retorno y diferentes duraciones. Esta se puede deducir a partir de la ecuación 107 en términos de la precipitación:

$$P_d^T = P_{1h}^{10años} (0.160 \ln(T) + 0.617) \frac{0.302}{(d - 6.528)^{-0.302}} \quad (144)$$

Con esta ecuación se puede determinar las precipitaciones, que se muestran en la Tabla 26.

Tabla 26 — Precipitaciones generadas a partir de la ecuación 144, para la estación de Tambobamba

Duración (min)	Precipitación (mm)				
	T=2	T=5	T=10	T=25	T=50
10	6.63	7.97	8.98	10.32	11.33
20	9.99	12	13.52	15.54	17.06
30	11.81	14.19	15.99	18.37	20.17
60	15.15	18.2	20.51	23.56	25.87
120	19.01	22.84	25.74	29.57	32.47
240	23.64	28.4	32.01	36.77	40.37
360	26.8	32.19	36.28	41.67	45.76

A partir de las precipitaciones se pueden determinar las intensidades utilizando una relación básica que indica, que la intensidad es la precipitación dividida entre el tiempo o duración, obteniéndose dichos resultados en la Tabla 27.

Tabla 27 — Intensidad para diferentes duraciones y periodos de retorno, para la estación de Tambobamba

Duración (min)	Intensidad (mm/h)				
	T=2	T=5	T=10	T=25	T=50
10	39.8	47.82	53.88	61.9	67.96
20	29.97	36.01	40.57	46.61	51.17
30	23.63	28.39	31.99	36.74	40.34
60	15.15	18.2	20.51	23.56	25.87
120	9.51	11.42	12.87	14.78	16.23
240	5.91	7.1	8.00	9.19	10.09
360	4.47	5.37	6.05	6.95	7.63

Los valores de esta última tabla se pueden generar directamente utilizando la ecuación 145, la cual es la expresión reducida de los valores reemplazados en la ecuación 113, la cual tiene la siguiente forma:

$$I_d^T = P_{1h}^{10\text{años}} * (0.160 \ln(T) + 0.617) * \frac{0.302}{(d - 6.528)^{-0.302}} * \frac{60}{d}$$

$$I_d^T = \frac{18.12 P_{1h}^{10\text{años}} (0.160 \ln(T) + 0.617)}{d(d - 6.528)^{-0.302}} \quad (145)$$

Donde I_d^T es la intensidad en mm/h, T es el periodo de retorno en años, d es la duración en minutos y $P_{1h}^{10años}$ es la precipitación base para una duración de una hora y un periodo de retorno de 10 años.

Grafica de curvas IDF-estación de Tambobamba

Las curvas IDF estimadas a partir de los datos de las precipitaciones máximas en 24 horas, de la estación de Tambobamba se pueden generar a partir de la ecuación 145 o también utilizando la Tabla 27. Gráficamente se puede visualizar en la siguiente figura.

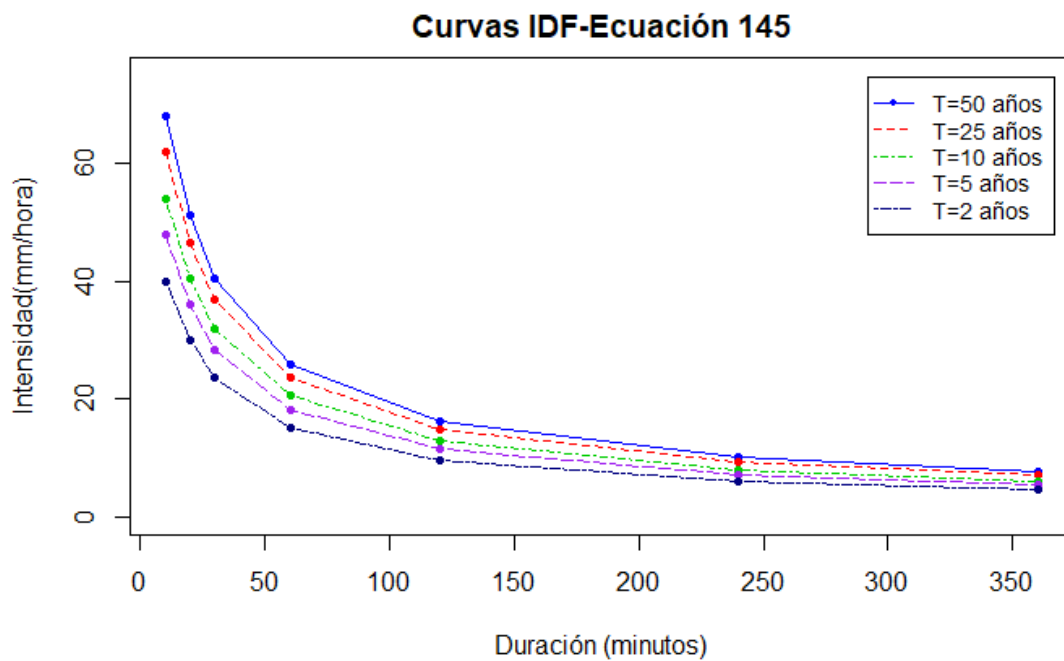


Figura 16 — Curvas IDF para la estación de Tambobamba generados a partir de la Ecuación145

Curvas IDF mediante coeficientes del MTC

Para poder comprobar si las curvas IDF estimadas a partir de los datos de la estación de Tambobamba son adecuadas, fue necesario comparar dichos resultados con las curvas IDF generadas utilizando los coeficientes de duración que recomienda el MTC en la manual para diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito, dichos coeficientes se muestran en la Tabla 11.

Para poder generar las curvas IDF con los coeficientes de duración, el primer paso fue extender los coeficientes para duraciones de 10, 20 y 30 minutos tomando como base los datos de la Tabla 11 para duraciones entre 1 y 24 horas; esto se realizó con ayuda del software TableCurve 2D v5.01.01, los resultados del ajuste de regresión no lineal se muestran en la Figura 17, donde el ajuste seleccionado fue la serie



polinómica de Fourier 3×2 con un coeficiente de determinación $r^2 = 0.99959831$ el cual es un valor cercano a la unidad al igual que el coeficiente de determinación ajustado y por la cual se considera que el ajuste a dicha función es bueno.

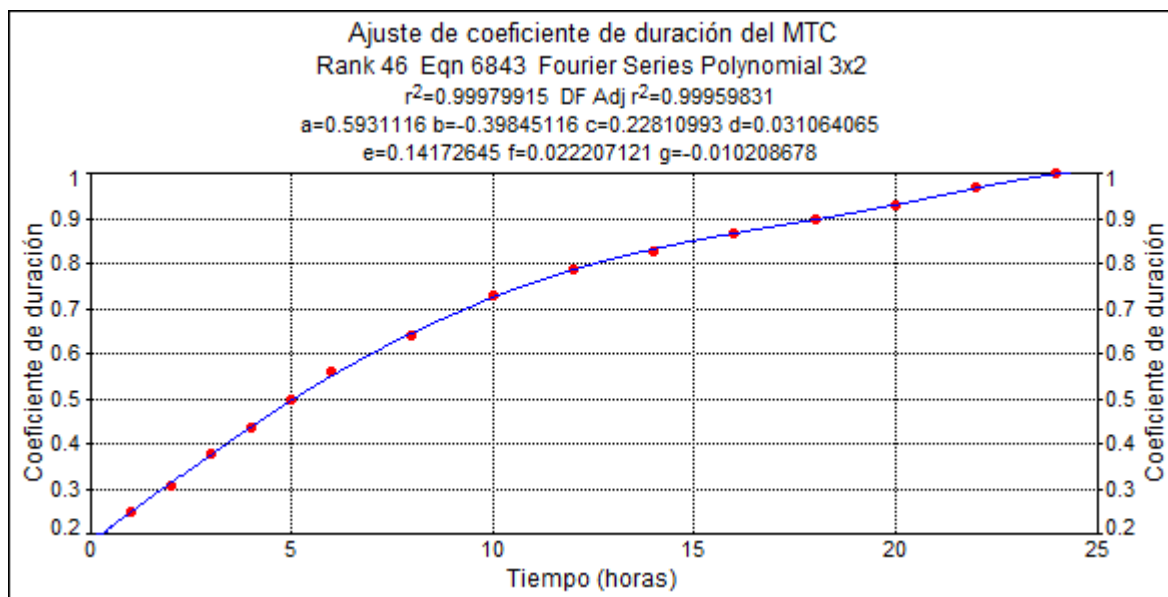


Figura 17— Ajuste de duración y coeficiente de duración del MTC

Obtenida la función a la que mejor se ajustaron la duración y los coeficientes de duración, se procedió a calcular los coeficientes de duración para duraciones de 10, 20 y 30 minutos; los resultados se muestran en la Tabla 28:

Tabla 28 — Coeficientes de duración generados para 10, 20 y 30 minutos

Duración de la precipitación en minutos	Coeficientes de duración generados
10	0.194
20	0.205
30	0.215

Los datos generados en la Tabla 29, se completaron a los coeficientes del manual para diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito del MTC, con lo cual se generó las precipitaciones para diferentes periodos de retorno, así como las intensidades.

Tabla 29 — Coeficientes de duración del MTC extendidos

Duración de la precipitación en horas	Coeficientes
0.16667	0.194



0.33333	0.205
0.5	0.215
1	0.25
2	0.31
3	0.38
4	0.44
5	0.50
6	0.56
8	0.64
10	0.73
12	0.79
14	0.83
16	0.87
18	0.90
20	0.93
22	0.97
24	1
48	1.32

Fuente: adaptado a los coeficientes de duración del manual para el diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito del MTC

Las precipitaciones que se generaron con los coeficientes de duración para diferentes periodos de retorno se muestran en la Tabla 30, estos valores se obtuvieron en base a la Tabla 20 multiplicados por los respectivos coeficientes de duración considerados. Los periodos de retorno considerados son similares a los utilizados para la estimación de las curvas IDF a partir de los datos de la estación de Tambobamba al igual que las duraciones.

Tabla 30 — Precipitaciones generadas para diferentes periodos de retorno y duraciones con los coeficientes de duración del MTC

Duración (min)	Precipitación (mm)				
	T=2	T=5	T=10	T=25	T=50
10	7.36	9.21	10.41	11.87	12.92
20	7.77	9.73	11	12.54	13.65
30	8.15	10.21	11.54	13.15	14.32
60	9.48	11.87	13.41	15.3	16.65
120	11.76	14.72	16.63	18.97	20.64
240	16.69	20.89	23.61	26.92	29.3

360	21.24	26.59	30.05	34.26	37.29
-----	-------	-------	-------	-------	-------

Obtenidas las precipitaciones, se pudieron determinar las intensidades para cada uno de los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25 y 50 años y las duraciones respectivas, estas se muestran en la Tabla 31; asimismo estos datos serán necesarios para las comparaciones en forma y posición.

Tabla 31 — Intensidades generadas para diferentes periodos de retorno y duraciones con los coeficientes de duración del MTC

Duración (min)	Intensidad (mm/h)				
	T=2	T=5	T=10	T=25	T=50
10	44.16	55.26	62.46	71.22	77.52
20	23.31	29.19	33	37.62	40.95
30	16.3	20.42	23.08	26.3	28.64
60	9.48	11.87	13.41	15.3	16.65
120	5.88	7.36	8.31	9.48	10.32
240	4.17	5.22	5.9	6.73	7.32
360	3.54	4.43	5.01	5.71	6.22

A partir de la Tabla 31 se puede obtener las respectivas curvas IDF con los coeficientes de duración del MTC, la cual se muestra en la Figura 18.

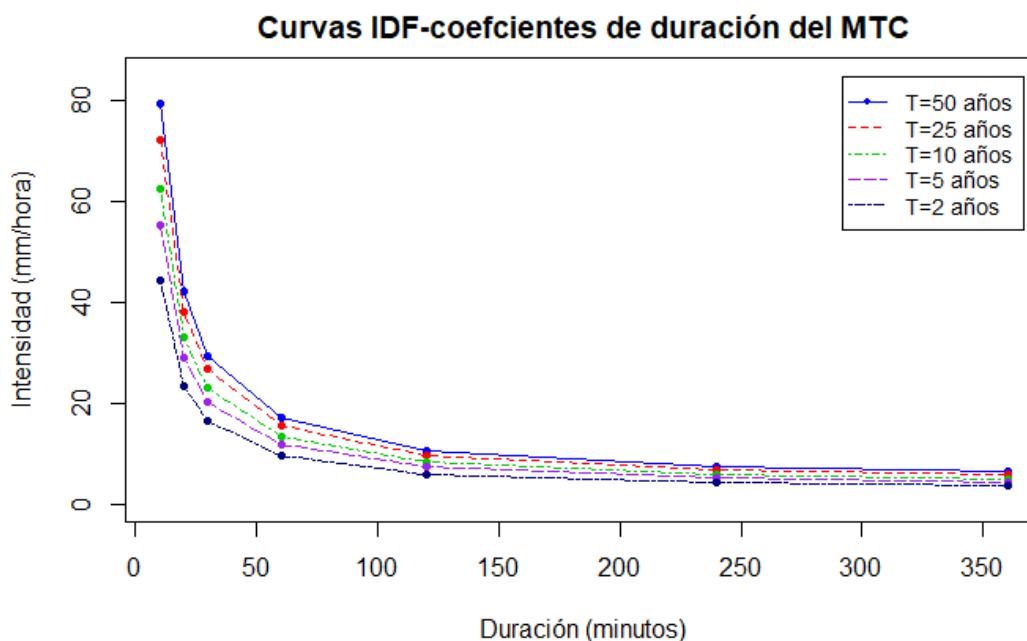


Figura 18 — Curvas IDF generados a partir de coeficientes de duración recomendados por el MTC

En la Tabla 32 se muestran los resultados de las intensidades para la estación Tambobamba y los obtenidos por los coeficientes de duración del MTC, con esta información se realizó el análisis estadístico para cada uno de los periodos de retorno con el fin de establecer si los resultados de la estimación de las curvas IDF generados a partir de las precipitaciones máximas en 24 horas de la estación Tambobamba son adecuados.

Tabla 32 — Comparación de intensidades obtenidas para la estación meteorológica de Tambobamba y coeficientes de duración del MTC

Duración (min)	Intensidad (mm/h)									
	coef	Ec.145	coef	Ec.145	Coef	Ec.145	Coef	Ec.145	coef	Ec.145
	T=2	T=2	T=5	T=5	T=10	T=10	T=25	T=25	T=50	T=50
10	44.16	39.8	55.26	47.82	62.46	53.88	71.22	61.9	77.52	67.96
20	23.31	29.97	29.19	36.01	33	40.57	37.62	46.61	40.95	51.17
30	16.3	23.63	20.42	28.39	23.08	31.99	26.3	36.74	28.64	40.34
60	9.48	15.15	11.87	18.2	13.41	20.51	15.3	23.56	16.65	25.87
120	5.88	9.51	7.36	11.42	8.31	12.87	9.48	14.78	10.32	16.23
240	4.17	5.91	5.22	7.1	5.9	8	6.73	9.19	7.32	10.09
360	3.54	4.47	4.43	5.37	5.01	6.05	5.71	6.95	6.22	7.63

5.1.1.5 Comparación en forma y posición

Comparación en forma

La primera comparación que se realizó fue en forma, para tal fin se utilizó el software STATGRAPHICS Centurion, en las cuales se analizó el sesgo y curtosis, para los resultados obtenidos en los periodos de retorno considerados.

Tabla 33 — Resumen estadístico de las intensidades calculadas por la ecuación 145 y los coeficientes de duración del MTC, T=2 años, para la estación meteorológica de Tambobamba

	coef.(2)	ec.145(2)
Recuento	7	7
Promedio	15.2629	18.3486
Desviación Estándar	14.6221	13.2841
Coficiente de Variación	95.8018%	72.3984%
Mínimo	3.54	4.47
Máximo	44.16	39.8
Rango	40.62	35.33

Sesgo Estandarizado	1.6653	0.673795
Curtosis Estandarizada	1.18772	-0.504409

El resumen estadístico de la Tabla 33 sirve para evaluar si las diferencias entre los estadísticos de las dos muestras son estadísticamente significativas, de los resultados mostrados son de interés el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada las cuales se usan para comparar si las muestras provienen de distribuciones normales. Si los valores de estos estadísticos están fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo cual implicaría invalidar las pruebas que comparan las desviaciones estándar. Para este caso, ambos valores del sesgo estandarizado y curtosis estandarizada se encuentran dentro del rango.

Teniendo en consideración lo anterior, se realizará el resumen estadístico comparando los resultados de las intensidades para cada periodo de retorno, las cuales se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 34 — Resumen estadístico de las intensidades calculadas por la ecuación 145 y los coeficientes de duración del MTC, T=5 años, para la estación meteorológica de Tambobamba

	coef.(5)	ec.145(5)
Recuento	7	7
Promedio	19.1071	22.0443
Desviación Estándar	18.2987	15.962
Coficiente de Variación	95.769%	72.4088%
Mínimo	4.43	5.37
Máximo	55.26	47.82
Rango	50.83	42.45
Sesgo Estandarizado	1.66342	0.673929
Curtosis Estandarizada	1.18385	-0.504544

Tabla 35 — Resumen estadístico de las intensidades calculadas por la ecuación 145 y los coeficientes de duración del MTC, T=10 años, para la estación meteorológica de Tambobamba

	coef.(10)	ec.145(10)
Recuento	7	7
Promedio	21.5957	24.8386
Desviación Estándar	20.6846	17.9841

Coficiente de Variación	95.7809%	72.4037%
Mínimo	5.01	6.05
Máximo	62.46	53.88
Rango	57.45	47.83
Sesgo Estandarizado	1.66319	0.673785
Curtosis Estandarizada	1.18297	-0.504398

Tabla 36 — Resumen estadístico de las intensidades calculadas por la ecuación 145 y los coeficientes de duración del MTC, T=25 años, para la estación meteorológica de Tambobamba

	coef.(25)	ec.145(25)
Recuento	7	7
Promedio	24.6229	28.5329
Desviación Estándar	23.5836	20.6613
Coficiente de Variación	95.7791%	72.4124%
Mínimo	5.71	6.95
Máximo	71.22	61.9
Rango	65.51	54.95
Sesgo Estandarizado	1.66395	0.67421
Curtosis Estandarizada	1.18472	-0.504038

Tabla 37 — Resumen estadístico de las intensidades calculadas por la ecuación 145 y los coeficientes de duración del MTC, T=50 años, para la estación meteorológica de Tambobamba

	coef.(50)	ec.145(50)
Recuento	7	7
Promedio	26.8029	31.3271
Desviación Estándar	25.6702	22.6834
Coficiente de Variación	95.774%	72.408%
Mínimo	6.22	7.63
Máximo	77.52	67.96
Rango	71.3	60.33
Sesgo Estandarizado	1.66355	0.67407
Curtosis Estandarizada	1.18394	-0.503967

De los resúmenes estadísticos en las Tablas 34, 35, 36 y 37 son de interés el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada las cuales se usan para comparar si las muestras provienen de distribuciones normales. Si los valores de estos estadísticos están fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo cual implicaría invalidar las pruebas que comparan las desviaciones estándar. Para los casos de las tablas consideradas, ambos valores del sesgo estandarizado y curtosis estandarizada se encuentran dentro del rango.

Comparación en posición

La comparación en posición se realizó mediante las medias y desviación estándar, para lo cual se utilizó las pruebas de t-Student y f-Fisher, respectivamente.

En las Tablas 38, 39, 40, 41 y 42 se muestra la comparación de medias utilizando la prueba t-Student, para lo cual en el primer caso se especifica el criterio de análisis, para posteriormente generalizar los demás resultados.

Tabla 38 — Comparación de medias de las intensidades calculadas por la ecuación 145 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Tambobamba, para T=2 años

	Intervalo de confianza del 95%
Para la media de coef.(2)	15.2629 +/- 13.5232 [1.73964, 28.7861]
Para la media de ec.145(2)	18.3486 +/- 12.2857 [6.06282, 30.6343]
Para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales:	-3.08571 +/- 16.2688 [-19.3545, 13.1831]
<u>Prueba t para comparar medias</u>	
Hipótesis nula: media1 = media2	
Hipótesis Alt.: media1 <> media2	
suponiendo varianzas iguales: t = -0.413258 valor-P = 0.686707	
No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.	

El criterio de análisis para la Tabla 38 será el siguiente:

- Se observa que se construye los intervalos, ó cotas, de confianza para cada media y para la diferencia entre las medias. Son de interés, el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde -19.3545 hasta 13.1831. como el intervalo contiene el valor de 0, no hay diferencia

significativa entre las medias de las dos muestras de datos, con un nivel de confianza del 95 %.

- Utilizando la prueba-t para evaluar hipótesis específicas acerca de la diferencia entre las medias de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. Para este caso, la prueba se ha construido para determinar si la diferencia entre las dos medias es igual a 0.0 versus la hipótesis alterna de que la diferencia no es igual a 0.0. Como el valor-P calculado no es menor que 0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula.

A continuación, se muestran los resultados para los demás periodos de retorno:

Tabla 39 — Comparación de medias de las intensidades calculadas por la ecuación 145 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Tambobamba, para T=5 años

	Intervalo de confianza del 95%
Para la media de coef.(5)	19.1071 +/- 16.9235 [2.1836, 36.0307]
Para la media de ec.145(5)	22.0443 +/- 14.7624 [7.28185, 36.8067]
Para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales:	-2.93714 +/- 19.9968 [-22.934, 17.0597]
<u>Prueba t para comparar medias</u>	
Hipótesis nula: media1 = media2	
Hipótesis Alt.: media1 <> media2	
suponiendo varianzas iguales: t = -0.320026 valor-P = 0.754452	
No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.	

Tabla 40 — Comparación de medias de las intensidades calculadas por la ecuación 145 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Tambobamba, para T=10 años

	Intervalo de confianza del 95%
Para la media de coef.(10)	21.5957 +/- 19.1301 [2.46563, 40.7258]
Para la media de ec.145(10)	24.8386 +/- 16.6325 [8.20606, 41.4711]
Para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales:	-3.24286 +/- 22.5721 [-25.815, 19.3292]
<u>Prueba t para comparar medias</u>	
Hipótesis nula: media1 = media2	
Hipótesis Alt.: media1 <> media2	
suponiendo varianzas iguales: t = -0.313023 valor-P = 0.759636	
No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.	

Tabla 41 — Comparación de medias de las intensidades calculadas por la ecuación 145 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Tambobamba, para T=25 años

	Intervalo de confianza del 95%
Para la media de coef.(25)	24.6229 +/- 21.8112 [2.81165, 46.4341]
Para la media de ec.145(25)	28.5329 +/- 19.1086 [9.42427, 47.6414]
Para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales:	-3.91 +/- 25.8205 [-29.7305, 21.9105]
<u>Prueba t para comparar medias</u>	
Hipótesis nula: media1 = media2	
Hipótesis Alt.: media1 <> media2	
suponiendo varianzas iguales: t = -0.329938 valor-P = 0.747135	
No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.	

Tabla 42 — Comparación de medias de las intensidades calculadas por la ecuación 145 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Tambobamba, para T=50 años

	Intervalo de confianza del 95%
Para la media de coef.(50)	26.8029 +/- 23.741 [3.06185, 50.5439]
Para la media de ec.145(50)	31.3271 +/- 20.9787 [10.3485, 52.3058]
Para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales:	-4.52429 +/- 28.2106 [-32.7349, 23.6863]
<u>Prueba t para comparar medias</u>	
Hipótesis nula: media1 = media2	
Hipótesis Alt.: media1 <> media2	
suponiendo varianzas iguales: t = -0.349429 valor-P = 0.732823	
No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.	

Considerando los resultados de las Tablas 39, 40, 41 y 42, en base al criterio de análisis, se pudo realizar las siguientes observaciones:

- El valor 0 se encuentra contenido en todos los intervalos de confianza para la diferencia de medias, con un nivel de confianza del 95%, por tanto, no hay diferencias significativas entre las medias de las dos muestras.

- Considerando la prueba t, el valor-P en todos los casos no es menor que 0.05, por tanto, no se puede rechazar la hipótesis nula en todos los casos y se asume que la diferencia de las dos medias es igual a 0.

En las Tablas 43, 44, 45, 46 y 47, se muestra la comparación de varianzas utilizando la prueba F-Fisher, para lo cual es necesario mencionar que todos corresponden a una distribución normal, la cual se puede verificar en la comparación de forma,

En el primer caso se especificó el criterio de análisis, luego se analizó los resultados en forma global para los resultados restantes.

Tabla 43 — Comparación de desviación estándar de las intensidades calculadas por la ecuación 145 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Tambobamba, para T=2 años

	coef.(2)	ec.145(2)
Desviación Estándar	14.6221	13.2841
Varianza	213.806	176.466
Gl	6	6
Razón de Varianzas= 1.21159 Intervalos de confianza del 95.0% Desviación Estándar de coef.(2): [9.42238, 32.1988] Desviación Estándar de ec.145(2): [8.56017, 29.2524] Razones de Varianzas: [0.208186, 7.05118] Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$ Hipótesis Alt.: $\sigma_1 < \sigma_2$ F = 1.21159 valor-P = 0.821704 No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.		

El criterio de análisis de la Tabla 43 fue el siguiente:

- En la tabla se construye intervalos ó cotas de confianza para cada desviación estándar y para la razón de varianzas. Son de interés el intervalo de confianza para la razón de varianzas, el cual se extiende desde 0.208186 hasta 7.05118. Puesto que el intervalo contiene el valor de 1, no hay diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar de las dos muestras con un nivel de confianza del 95.0%.

- Respecto a la prueba F, la prueba se ha construido para determinar si el cociente de las desviaciones estándar es igual a 1.0 versus la hipótesis alternativa de que el cociente no es igual a 1.0. Puesto que el valor-P calculado no es menor que 0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula.

Tabla 44 — Comparación de desviación estándar de las intensidades calculadas por la ecuación 145 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Tambobamba, para T=5 años

	coef.(5)	ec.145(5)
Desviación Estándar	18.2987	15.962
Varianza	334.843	254.786
Gl	6	6
Razón de Varianzas= 1.31422 Intervalos de confianza del 95.0% Desviación Estándar de coef.(5): [11.7916, 40.295] Desviación Estándar de ec.145(5): [10.2858, 35.1494] Razones de Varianzas: [0.22582, 7.64842] Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$ Hipótesis Alt.: $\sigma_1 \neq \sigma_2$ F = 1.31422 valor-P = 0.748533 No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.		

Tabla 45 — Comparación de desviación estándar de las intensidades calculadas por la ecuación 145 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Tambobamba, para T=10 años

	coef.(10)	ec.145(10)
Desviación Estándar	20.6846	17.9841
Varianza	427.851	323.426
Gl	6	6
Razón de Varianzas= 1.32287 Intervalos de confianza del 95.0% Desviación Estándar de coef.(10): [13.329, 45.5487] Desviación Estándar de ec.145(10): [11.5888, 39.602] Razones de Varianzas: [0.227307, 7.6988] Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$		

Hipótesis Alt.: $\sigma_1 \neq \sigma_2$

F = 1.32287 valor-P = 0.74272

No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.

Tabla 46 — Comparación de desviación estándar de las intensidades calculadas por la ecuación 145 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Tambobamba, para T=25 años

	coef.(25)	ec.145(25)
Desviación Estándar	23.5836	20.6613
Varianza	556.184	426.89
Gl	6	6

Razón de Varianzas= 1.30287

Intervalos de confianza del 95.0%

Desviación Estándar de coef.(25): [15.1971, 51.9325]

Desviación Estándar de ec.145(25): [13.314, 45.4976]

Razones de Varianzas: [0.223871, 7.58241]

Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar

Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$

Hipótesis Alt.: $\sigma_1 \neq \sigma_2$

F = 1.30287 valor-P = 0.756231

No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.

Tabla 47 — Comparación de desviación estándar de las intensidades calculadas por la ecuación 145 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Tambobamba, para T=50 años

	coef.(50)	ec.145(50)
Desviación Estándar	25.6702	22.6834
Varianza	658.958	514.535
Gl	6	6

Razón de Varianzas= 1.28069

Intervalos de confianza del 95.0%

Desviación Estándar de coef.(50): [16.5417, 56.5274]

Desviación Estándar de ec.145(50): [14.617, 49.9502]

Razones de Varianzas: [0.220058, 7.45328]

Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar

Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$

Hipótesis Alt.: $\sigma_1 \neq \sigma_2$

$F = 1.28069$ valor-P = 0.771564

No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.

Considerando los resultados de las Tablas 44, 45, 46 y 47, en base al criterio de análisis, se realizó las siguientes observaciones:

- El valor 1 se encuentra contenido en todos los intervalos de confianza para la diferencia de medias, con un nivel de confianza del 95%, por tanto, no hay diferencias estadísticamente significativas entre las varianzas de las dos muestras.
- Considerando la prueba F, el valor-P en todos los casos no es menor que 0.05, por tanto, no se puede rechazar la hipótesis nula en todos los casos y se asume que el cociente de las desviaciones estándar es igual a 1.

5.1.2 Resultados para la estación meteorológica de Curahuasi

5.1.2.1 Precipitación máxima en 24 horas

De los datos proporcionados por el SENAMHI, se observó que faltan datos de precipitación máxima en 24 horas, en el año 2018, asimismo en este año existe un valor máximo que es superior a la media de todos los años, por lo cual se tomara en consideración por ser un evento extraordinario.

Tabla 48 — Precipitaciones máximas en 24 horas de la estación meteorológica de Curahuasi

Nº	Año	Precipitación (mm)
1	1995	25.5
2	1996	26
3	1997	33.2
4	1998	22.9
5	1999	28.1
6	2000	29.2
7	2001	26.2
8	2002	34.9
9	2003	59.6
10	2004	23.6
11	2005	29.6

12	2006	29.8
13	2007	27.6
14	2008	27.1
15	2009	30.7
16	2010	29.6
17	2011	29.2
18	2012	29.7
19	2013	26.7
20	2014	26.7
21	2015	28.6
22	2016	35.3
23	2017	29.1
24	2018	52.7
25	2019	40.9
26	2020	23.3

5.1.2.2 Prueba de datos dudosos

De acuerdo a método del Water Resources Council, los resultados se muestran a continuación:

$$n = 26$$

$$K_n = 2.502$$

$$\bar{y} = 1.4794$$

$$s_y = 0.0974$$

Reemplazando en las fórmulas respectivas se obtiene:

- El umbral alto o límite superior: $P_H = 52.86 \text{ mm}$
- El umbral bajo o límite inferior: $P_L = 17.21 \text{ mm}$

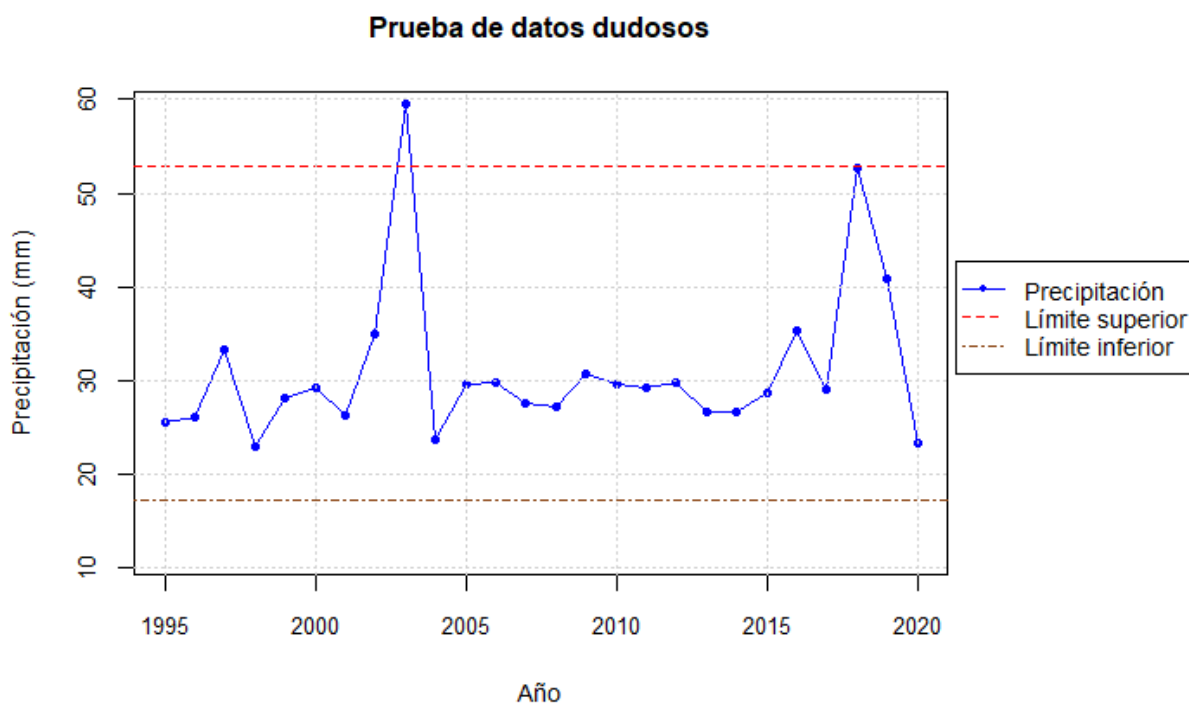


Figura 19 — Límites superiores e inferiores para la serie de tiempo de la estación meteorológica Curahuasi

En la Figura 19, se muestra que existe un dato que se encuentra fuera de los límites permitidos, la cual corresponde al año 2003, este valor se consideró para los siguientes cálculos ya que el SENAMHI registro la ocurrencia del fenómeno El Niño, de intensidad moderada, en los años 2002 y 2003. (SENAMHI, 2014)

5.1.2.3 Análisis probabilístico

Al igual que con los datos de la estación de Tambobamba, se utilizarán las mismas funciones teóricas para el análisis probabilístico.

Método de momentos lineales

Para el empleo del método de los momentos lineales, se utilizarán las fórmulas correspondientes.

Tabla 49 — Determinación de los momentos probables ponderados para la estación de Curahuasi

N°	β_0	β_1	β_2	β_3
1	22.9			
2	23.3	0.0358		
3	23.6	0.0726	0.003	
4	25.5	0.1177	0.0098	0.0004
5	26	0.16	0.02	0.0017
6	26.2	0.2015	0.0336	0.0044
7	26.7	0.2465	0.0513	0.0089
8	26.7	0.2875	0.0719	0.0156



9	27.1	0.3335	0.0973	0.0254
10	27.6	0.3822	0.1274	0.0388
11	28.1	0.4323	0.1621	0.0564
12	28.6	0.484	0.2017	0.0789
13	29.1	0.5372	0.2462	0.1071
14	29.2	0.584	0.292	0.1397
15	29.2	0.6289	0.3407	0.1777
16	29.6	0.6831	0.3985	0.2252
17	29.6	0.7286	0.4554	0.2772
18	29.7	0.7768	0.5178	0.3377
19	29.8	0.8252	0.5845	0.4066
20	30.7	0.8974	0.673	0.4975
21	33.2	1.0215	0.8087	0.6329
22	34.9	1.1275	0.9396	0.7762
23	35.3	1.1948	1.0454	0.9091
24	40.9	1.4472	1.3266	1.2113
25	52.7	1.9458	1.8648	1.7837
26	59.6	2.2923	2.2923	2.2923
	30.9923	17.4442	12.5637	10.0047

En la Tabla 49 se muestran combinaciones lineales a partir de las precipitaciones máximas en 24 horas, con lo cual se obtiene los estimadores de momentos de probabilidad ponderada calculados son:

$$\beta_0 = 30.9923 \quad \beta_1 = 17.4442 \quad \beta_2 = 12.5637 \quad \beta_3 = 10.0047$$

A partir de los estimadores de momentos de probabilidad ponderada, se calcularon los cuatro primeros momentos lineales:

$$\lambda_1 = 30.9923$$

$$\lambda_2 = 3.8961$$

$$\lambda_3 = 1.7093$$

$$\lambda_4 = 1.5211$$

Asimismo, se pueden obtener las relaciones existentes como son:

$$\text{Coeficiente de variación L-CV:} \quad \tau = 0.1257$$

$$\text{Coeficiente de asimetría L-SK} \quad \tau_3 = 0.4387$$

$$\text{Coeficiente de curtosis L-CK} \quad \tau_4 = 0.3904$$

Funciones de distribución

En la Tabla 50 se encuentran las funciones de distribución acumulada y la función experimental de Weibull, las mismas permitirán realizar la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Los cálculos de estos valores y sus parámetros se pueden ver en el Anexo C.2.

Tabla 50 — Resultados de las funciones de distribución acumulada para la estación de Curahuasi

<i>m</i>	<i>x</i>	<i>P(x)</i>	<i>F(x)</i>						
			Nor	Lnor2	Lnor3	Gam	PeIII	LPeIII	Gum
1	22.9	0.037	0.1206	0.0852	0	0.1135	0	0	0.0936
2	23.3	0.0741	0.1327	0.0995	0.0002	0.1275	0	0	0.1101
3	23.6	0.1111	0.1422	0.1111	0.0061	0.1387	0	0	0.1235
4	25.5	0.1481	0.2132	0.2018	0.2124	0.2217	0.2569	0.2286	0.225
5	26	0.1852	0.2349	0.2301	0.2757	0.2466	0.327	0.2884	0.2554
6	26.2	0.2222	0.2438	0.2418	0.3	0.2569	0.351	0.3109	0.2679
7	26.7	0.2593	0.2671	0.2722	0.3577	0.2833	0.4041	0.364	0.2997
8	26.7	0.2963	0.2671	0.2722	0.3577	0.2833	0.4041	0.364	0.2997
9	27.1	0.3333	0.2865	0.2973	0.4005	0.3051	0.4412	0.4031	0.3256
10	27.6	0.3704	0.3116	0.3296	0.4497	0.333	0.4824	0.4483	0.3582
11	28.1	0.4074	0.3377	0.3625	0.4943	0.3615	0.5189	0.4896	0.3909
12	28.6	0.4444	0.3645	0.3959	0.5348	0.3904	0.5518	0.5274	0.4234
13	29.1	0.4815	0.392	0.4295	0.5714	0.4196	0.5815	0.5619	0.4556
14	29.2	0.5185	0.3976	0.4363	0.5783	0.4255	0.5871	0.5685	0.4619
15	29.2	0.5556	0.3976	0.4363	0.5783	0.4255	0.5871	0.5685	0.4619
16	29.6	0.5926	0.4201	0.4631	0.6046	0.4489	0.6086	0.5935	0.4871
17	29.6	0.6296	0.4201	0.4631	0.6046	0.4489	0.6086	0.5935	0.4871
18	29.7	0.6667	0.4258	0.4697	0.6108	0.4548	0.6137	0.5995	0.4933
19	29.8	0.7037	0.4315	0.4764	0.6169	0.4607	0.6188	0.6054	0.4995
20	30.7	0.7407	0.4831	0.5355	0.6669	0.513	0.6605	0.6541	0.5535
21	33.2	0.7778	0.6254	0.684	0.7685	0.6498	0.75	0.756	0.6845
22	34.9	0.8148	0.7143	0.7666	0.8157	0.7305	0.795	0.805	0.7557
23	35.3	0.8519	0.7336	0.7836	0.825	0.7477	0.8042	0.8148	0.7704
24	40.9	0.8889	0.9243	0.9355	0.9092	0.9147	0.8945	0.9049	0.9082
25	52.7	0.9259	0.9992	0.9973	0.9696	0.9962	0.969	0.9702	0.9883
26	59.6	0.963	1	0.9997	0.982	0.9996	0.9844	0.9831	0.9965

5.1.2.3.1 Pruebas de bondad de ajuste

Para la prueba de Kolmogorov-Smirnov se realizó el cálculo del valor absoluto de las diferencias entre las funciones de distribución acumulada de cada función teórica y la función empírica de Weibull a partir de la Tabla 50; los resultados se muestran en la Tabla 51.

Tabla 51 — Resultados de la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov para la estación de Curahuasi

<i>m</i>	<i>x</i>	$ F(x) - P(x) $						
		Nor	Lnor2	Lnor3	Gam	PeIII	LPeIII	Gum
1	22.9	0.0836	0.0482	0.0370	0.0764	0.0370	0.0370	0.0565
2	23.3	0.0586	0.0254	0.0739	0.0535	0.0741	0.0741	0.0360
3	23.6	0.0311	0.0001	0.1050	0.0276	0.1111	0.1111	0.0124
4	25.5	0.0651	0.0536	0.0642	0.0735	0.1087	0.0804	0.0768
5	26	0.0497	0.0449	0.0905	0.0614	0.1418	0.1032	0.0703
6	26.2	0.0216	0.0196	0.0778	0.0347	0.1288	0.0887	0.0457
7	26.7	0.0078	0.0129	0.0985	0.0241	0.1449	0.1047	0.0404
8	26.7	0.0292	0.0241	0.0614	0.0130	0.1079	0.0677	0.0034
9	27.1	0.0468	0.0360	0.0671	0.0282	0.1079	0.0698	0.0078
10	27.6	0.0587	0.0408	0.0793	0.0374	0.1120	0.0779	0.0122
11	28.1	0.0697	0.0449	0.0869	0.0459	0.1115	0.0822	0.0165
12	28.6	0.0799	0.0485	0.0903	0.0540	0.1073	0.0829	0.0210
13	29.1	0.0895	0.0519	0.0899	0.0619	0.1000	0.0804	0.0259
14	29.2	0.1209	0.0823	0.0598	0.0930	0.0686	0.0499	0.0566
15	29.2	0.1579	0.1193	0.0227	0.1301	0.0316	0.0129	0.0936
16	29.6	0.1725	0.1295	0.0120	0.1436	0.0160	0.0009	0.1055
17	29.6	0.2095	0.1666	0.0251	0.1807	0.0210	0.0361	0.1425
18	29.7	0.2409	0.1969	0.0559	0.2119	0.0529	0.0671	0.1733
19	29.8	0.2722	0.2273	0.0868	0.2430	0.0849	0.0983	0.2042
20	30.7	0.2576	0.2053	0.0738	0.2277	0.0802	0.0867	0.1872
21	33.2	0.1524	0.0938	0.0093	0.1280	0.0278	0.0218	0.0933
22	34.9	0.1006	0.0482	0.0009	0.0843	0.0198	0.0098	0.0591
23	35.3	0.1182	0.0682	0.0269	0.1041	0.0476	0.0371	0.0815
24	40.9	0.0354	0.0466	0.0203	0.0258	0.0057	0.0161	0.0193
25	52.7	0.0732	0.0714	0.0437	0.0703	0.0430	0.0443	0.0623
26	59.6	0.0370	0.0367	0.0191	0.0366	0.0215	0.0201	0.0336

Los valores que se encuentran resaltados en la Tabla 51, vienen a ser las diferencias máximas entre la distribución empírica de Weibull y las funciones de distribución acumulada consideradas. A partir de estos se muestra la siguiente tabla

Tabla 52 — Resumen de la prueba de Kolmogorov-Smirnov para la estación meteorológica de Curahuasi, para $\alpha=5\%$

N°	Función de distribución	Δ	Δ_0	$\Delta < \Delta_0$
1	Log-normal 3P	0.1050	0.2667	Se acepta
2	Log-Pearson III	0.1111	0.2667	Se acepta
3	Pearson III	0.1449	0.2667	Se acepta
4	Gumbel	0.2042	0.2667	Se acepta
5	Log-normal 2P	0.2273	0.2667	Se acepta
6	Gamma	0.2430	0.2667	Se acepta
7	Normal	0.2722	0.2667	No se acepta

En la Tabla 52, se muestra el resumen de los deltas máximos calculados para cada una de las funciones teóricas consideradas, las cuales están ordenadas en forma ascendente, siendo la posición uno el mejor ajuste. Se observa que, para esta prueba, la distribución log-normal de 3 parámetros se ajusta de mejor forma a los datos de precipitaciones máximas en 24 horas de la estación de Curahuasi, siendo seguido por la función de distribución log-Pearson III.

Además, se puede observar que en la prueba Kolmogorov -Smirnov, la función de distribución normal se rechaza debido a que el delta calculado es mayor al delta tubular. Para todos los demás casos se acepta dicha prueba de bondad de ajuste.

En la Tabla 53 se muestra el resumen de la prueba de bondad de ajuste Chi cuadrado, los resultados para cada una de las funciones teóricas se encuentran en el Anexo D.2. se observa que, para esta prueba la distribución log-Pearson se ajusta de mejor forma.

Tabla 53 — Resumen de la prueba Chi-cuadrado para la estación meteorológica de Curahuasi para $\alpha=5\%$

N°	Función de distribución	D	χ^2	$D < \chi^2$
1	Log-Pearson III	5.574966	5.991465	Se acepta

2	Log-normal3P	5.676873	5.991465	Se acepta
3	Pearson III	6.450245	5.991465	No se acepta
4	Gumbel	7.910467	7.814728	No se acepta
5	Gamma	19.59321	7.814728	No se acepta
6	Log-normal 2P	24.973332	7.814728	No se acepta
7	Normal	78.836661	7.814728	No se acepta

Como las pruebas de bondad de ajuste no coinciden con una misma función teórica, para poder seleccionar la función de distribución de probabilidad, tomaremos como referencia la investigación de ZENG, WANG Y WU (2015), quienes indican que la prueba de bondad de ajuste Chi cuadrado es la que tiene mejor desempeño en datos hidrológicos; por lo cual la función de distribución de probabilidad seleccionada para los posteriores cálculos fue la distribución log- Pearson tipo III.

Gráficamente se puede ver el ajuste de la función log-Pearson tipo III en la siguiente figura.

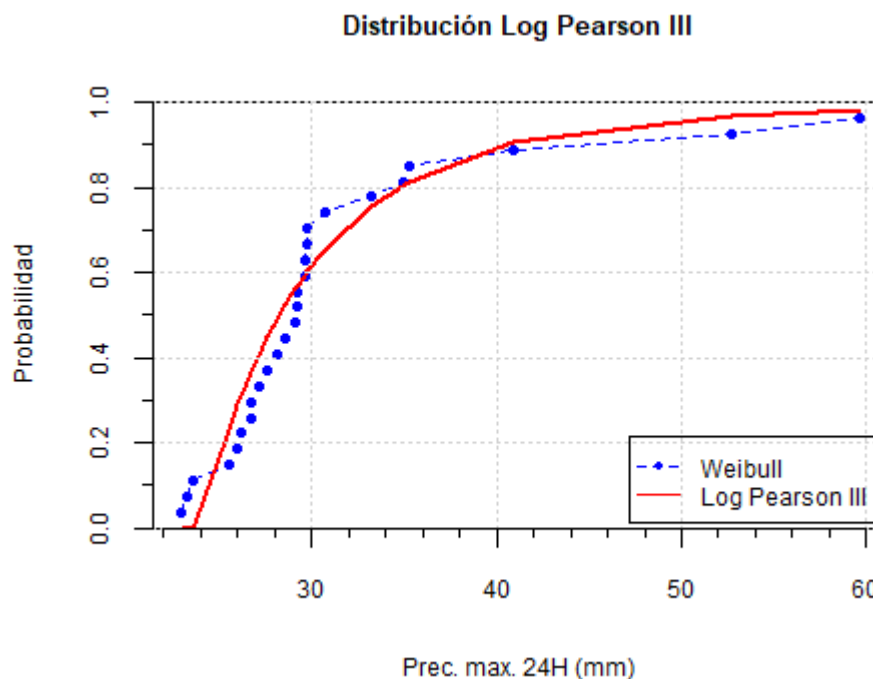


Figura 20 — Ajuste de la distribución log Pearson tipo III para la estación de Curahuasi

En la Figura 20 se observa que gráficamente la función log-Pearson III se ajusta adecuadamente a la distribución experimental Weibull, esta es corroborada por las pruebas de bondad de ajuste.

Las precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno se muestran a continuación:

Tabla 54 — Precipitación máxima en 24 horas, para diferentes periodos de retorno, para la estación de Curahuasi

T (años)	Probabilidad de excedencia	Probabilidad de no excedencia	Prec. max. 24h (mm)
2	0.500	0.500	28.23
5	0.200	0.998	34.70
10	0.100	0.900	40.45
25	0.040	0.960	49.43
50	0.020	0.980	57.49
100	0.010	0.990	66.82

5.1.2.4 Curvas intensidad duración frecuencia para la estación Curahuasi

Coefficiente de frecuencia

Tabla 55 — Deducción de precipitaciones máximas para una hora de duración, para la estación de Curahuasi

N°	Año	P24h	P1h
1	1995	25.5	9.85
2	1996	26	10.04
3	1997	33.2	12.82
4	1998	22.9	8.84
5	1999	28.1	10.85
6	2000	29.2	11.28
7	2001	26.2	10.12
8	2002	34.9	13.48
9	2003	59.6	23.02
10	2004	23.6	9.11
11	2005	29.6	11.43
12	2006	29.8	11.51
13	2007	27.6	10.66
14	2008	27.1	10.47
15	2009	30.7	11.86
16	2010	29.6	11.43
17	2011	29.2	11.28
18	2012	29.7	11.47
19	2013	26.7	10.31

20	2014	26.7	10.31
21	2015	28.6	11.05
22	2016	35.3	13.63
23	2017	29.1	11.24
24	2018	52.7	20.35
25	2019	40.9	15.8
26	2020	23.3	9.00

Se efectuó el análisis probabilístico para una hora de duración, tomando como referencia que los datos se ajustaron a la distribución log-Pearson tipo III, se obtuvo como dato $P_{d=1h}^{T'=10años} = 15.62mm$, la cual fue reemplazada en la ecuación 109:

$$f_1(T) = \frac{P_d^T}{P_{d=1h}^{T'=10años}} = \frac{P_d^T}{15.62 mm}$$

A partir de esta relación se determinará los coeficientes de frecuencia:

Tabla 56 — Tabulación de valores para obtener la ecuación del coeficiente de frecuencia, para la estación de Curahuasi

T (años)	Prec. máx. 1h (mm)	$f_1(T)$
2	10.90	0.6978
5	13.40	0.8579
10	15.62	1.0000
25	19.09	1.2222
50	22.20	1.4213
100	25.80	1.6517

Con los datos de la Tabla 56 se realizó la regresión entre el periodo de retorno y los coeficientes de frecuencia para poder determinar la ecuación correspondiente:



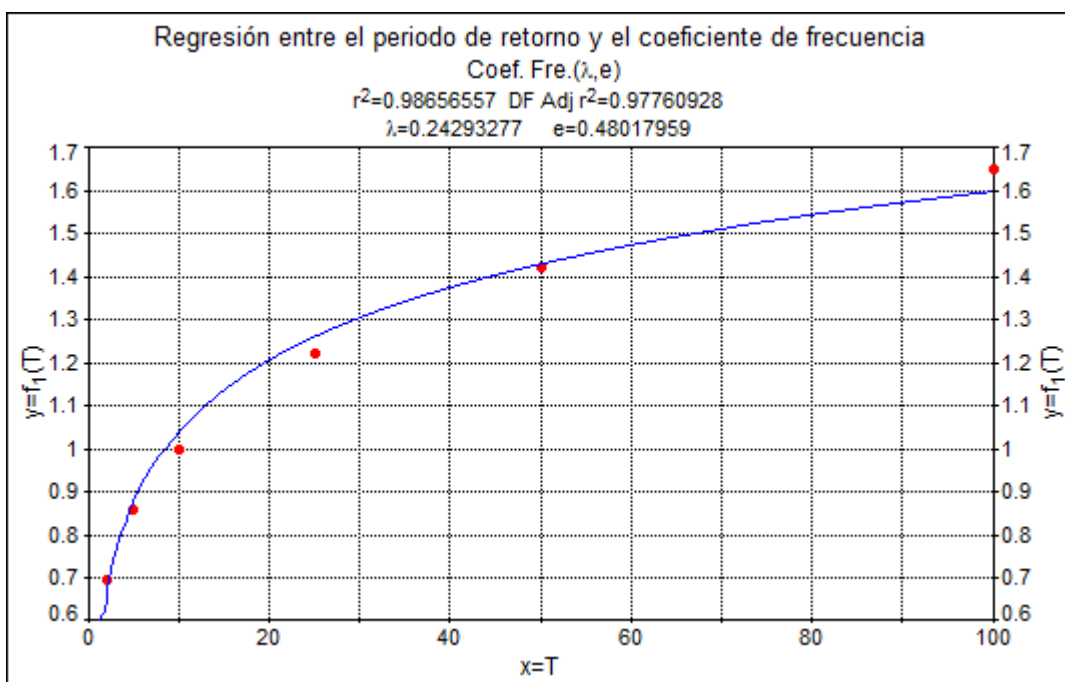


Figura 21 — Regresión entre el periodo de retorno y el coeficiente de frecuencia para la estación de Curahuasi

La ecuación generada a partir de la regresión es la siguiente:

$$f_1(T) = 0.243\ln(T) + 0.480 \tag{146}$$

$$r^2 = 0.987$$

$$r_{aj}^2 = 0.978$$

El coeficiente de determinación y el coeficiente de determinación ajustado se aproximan a la unidad, por tanto, se asumió que el ajuste de los datos es bueno a la ecuación establecida.

Coefficiente de duración

Para el coeficiente de duración el primer procedimiento será determinar las precipitaciones para diferentes duraciones utilizando los coeficientes de duración establecidos en la Tabla 10, obteniéndose:

Tabla 57 — Duración de precipitación para diferentes tiempos, para la estación de Curahuasi

N°	P _{24h}	Precipitación (mm), con duración en minutos						
		10	20	30	60	120	360	720
1	22.9	3.89	5.84	6.98	8.84	10.65	16.45	19.01
2	23.3	3.96	5.94	7.11	9	10.83	16.74	19.34
3	23.6	4.01	6.02	7.2	9.11	10.97	16.95	19.59
4	25.5	4.34	6.5	7.78	9.85	11.86	18.32	21.16



5	26	4.42	6.63	7.93	10.04	12.09	18.68	21.58
6	26.2	4.45	6.68	7.99	10.12	12.18	18.82	21.75
7	26.7	4.54	6.81	8.14	10.31	12.42	19.18	22.16
8	26.7	4.54	6.81	8.14	10.31	12.42	19.18	22.16
9	27.1	4.61	6.91	8.27	10.47	12.6	19.47	22.49
10	27.6	4.69	7.04	8.42	10.66	12.83	19.83	22.91
11	28.1	4.78	7.17	8.57	10.85	13.07	20.19	23.32
12	28.6	4.86	7.29	8.72	11.05	13.3	20.55	23.74
13	29.1	4.95	7.42	8.88	11.24	13.53	20.91	24.15
14	29.2	4.96	7.45	8.91	11.28	13.58	20.98	24.24
15	29.2	4.96	7.45	8.91	11.28	13.58	20.98	24.24
16	29.6	5.03	7.55	9.03	11.43	13.76	21.26	24.57
17	29.6	5.03	7.55	9.03	11.43	13.76	21.26	24.57
18	29.7	5.05	7.57	9.06	11.47	13.81	21.34	24.65
19	29.8	5.07	7.6	9.09	11.51	13.86	21.41	24.73
20	30.7	5.22	7.83	9.36	11.86	14.28	22.05	25.48
21	33.2	5.64	8.47	10.13	12.82	15.44	23.85	27.56
22	34.9	5.93	8.9	10.64	13.48	16.23	25.07	28.97
23	35.3	6	9	10.77	13.63	16.41	25.36	29.3
24	40.9	6.95	10.43	12.47	15.8	19.02	29.38	33.95
25	52.7	8.96	13.44	16.07	20.35	24.51	37.86	43.74
26	59.6	10.13	15.2	18.18	23.02	27.71	42.82	49.47

Luego se efectuó el respectivo análisis probabilístico teniendo en consideración la función de probabilidad que se ajustó de mejor forma a los datos, la cual fue la distribución log-Pearson tipo III, de esta forma se obtuvo la precipitación para diferentes duraciones y periodos de retorno:

Tabla 58 — Precipitaciones para diferentes periodos de retorno y duraciones a partir de la Tabla 57, para la estación de Curahuasi

Duración (min)	Precipitación (mm)				
	T=2	T=5	T=10	T=25	T=50
10	4.80	5.90	6.88	8.40	9.77
20	7.20	8.85	10.31	12.61	14.66
30	8.61	10.58	12.34	15.08	17.53
60	10.90	13.40	15.62	19.09	22.20

120	13.13	16.14	18.81	22.99	26.73
360	20.28	24.93	29.06	35.51	41.30
720	23.43	28.80	33.57	41.03	47.71

En base a los valores base considerados, se utilizará la relación del coeficiente de frecuencia:

$$f_2(d) = \frac{P_d^T}{P_{d'=1h}^{T=10años}} = \frac{P_d^T}{15.62 \text{ mm}}$$

Con esta relación se obtuvo los valores de la Tabla 59:

Tabla 59 — Valores de coeficientes de duración para diferentes periodos de retorno y duraciones, para la estación de Curahuasi

Duración (min)	$f_2(d)$				
	T=2	T=5	T=10	T=25	T=50
10	0.307	0.378	0.440	0.538	0.625
20	0.461	0.567	0.660	0.807	0.939
30	0.551	0.677	0.790	0.965	1.122
60	0.698	0.858	1.000	1.222	1.421
120	0.841	1.033	1.204	1.472	1.711
360	1.298	1.596	1.860	2.273	2.644
720	1.500	1.844	2.149	2.627	3.054

Para obtener la ecuación del coeficiente de duración, se realizó la regresión entre la duración y los coeficientes de duración para el periodo de retorno T=10 años, de la cual se obtuvo los resultados que se muestran en la Figura 22.

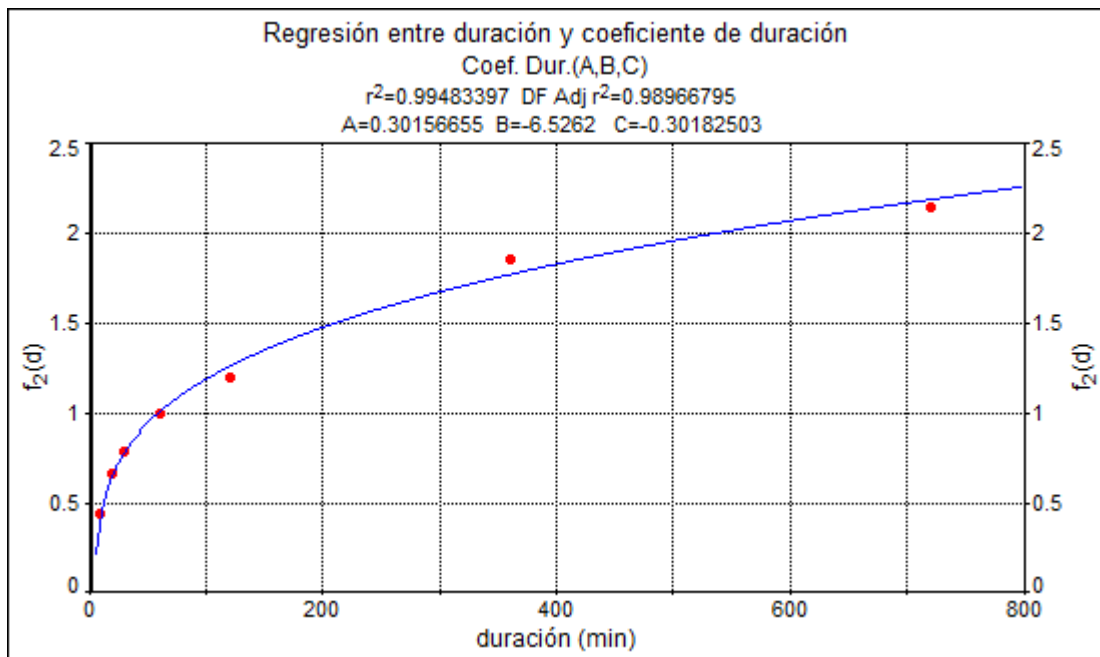


Figura 22 — Regresión entre la duración y coeficiente de duración para la estación de Curahuasi

La ecuación generada

$$f_2(d) = \frac{0.302}{(d - 6.526)^{-0.302}} \tag{147}$$

$$r^2 = 0.9948$$

$$r_{aj}^2 = 0.9897$$

El coeficiente de determinación y el coeficiente de determinación ajustado se aproximan a la unidad, por lo cual se asumió que el ajuste de los datos es bueno a la ecuación establecida.

Combinando las dos ecuaciones, coeficiente de frecuencia y coeficiente de duración, se obtiene:

$$P_d^T = P_{1h}^{10años} (0.243 \ln(T) + 0.480) \frac{0.302}{(d - 6.526)^{-0.302}} \tag{148}$$

Con la ecuación 148 se puede generar los valores de la Tabla 60, donde se encuentran los valores de precipitación para diferentes duraciones y periodos de retorno.

Tabla 60 — Precipitaciones generadas a partir de fórmula, para la estación de Curahuasi

Duración (min)	Precipitación (mm)				
	T=2	T=5	T=10	T=25	T=50
10	4.46	5.99	7.14	8.67	9.83



20	6.71	9.01	10.76	13.06	14.8
30	7.93	10.66	12.72	15.44	17.5
60	10.17	13.67	16.31	19.8	22.44
120	12.77	17.15	20.47	24.85	28.17
240	15.88	21.33	25.45	30.9	35.03
360	18	24.17	28.85	35.03	39.7

Las intensidades que se pueden generar.

Tabla 61 — Intensidad para diferentes duraciones y periodos de retorno, para la estación de Curahuasi

Duración (min)	Intensidad (mm/h)				
	T=2	T=5	T=10	T=25	T=50
10	26.73	35.91	42.86	52.03	58.98
20	20.13	27.04	32.27	39.18	44.41
30	15.87	21.32	25.44	30.89	35.01
60	10.17	13.67	16.31	19.8	22.44
120	6.38	8.58	10.23	12.43	14.09
240	3.97	5.33	6.36	7.73	8.76
360	3	4.03	4.81	5.84	6.62

Los valores de esta última tabla se pueden generar directamente utilizando la ecuación 113.

$$I_d^T = P_{1h}^{10\text{años}} * (0.243\ln(T) + 0.480) * \frac{0.302}{(d - 6.526)^{-0.302}} * \frac{60}{d}$$

O mediante la ecuación reducida

$$I_d^T = \frac{18.12P_{1h}^{10\text{años}}(0.243\ln(T) + 0.480)}{d(d - 6.526)^{-0.302}} \quad (149)$$

Donde I_d^T es la intensidad en mm/h, T es el periodo de retorno en años, d es la duración en minutos y $P_{1h}^{10\text{años}}$ es la precipitación base para una duración de una hora y un periodo de retorno de 10 años.

Las curvas IDF estimadas para la estación de Curahuasi se muestran en la Figura 23.

Curvas IDF-Ecuación 149

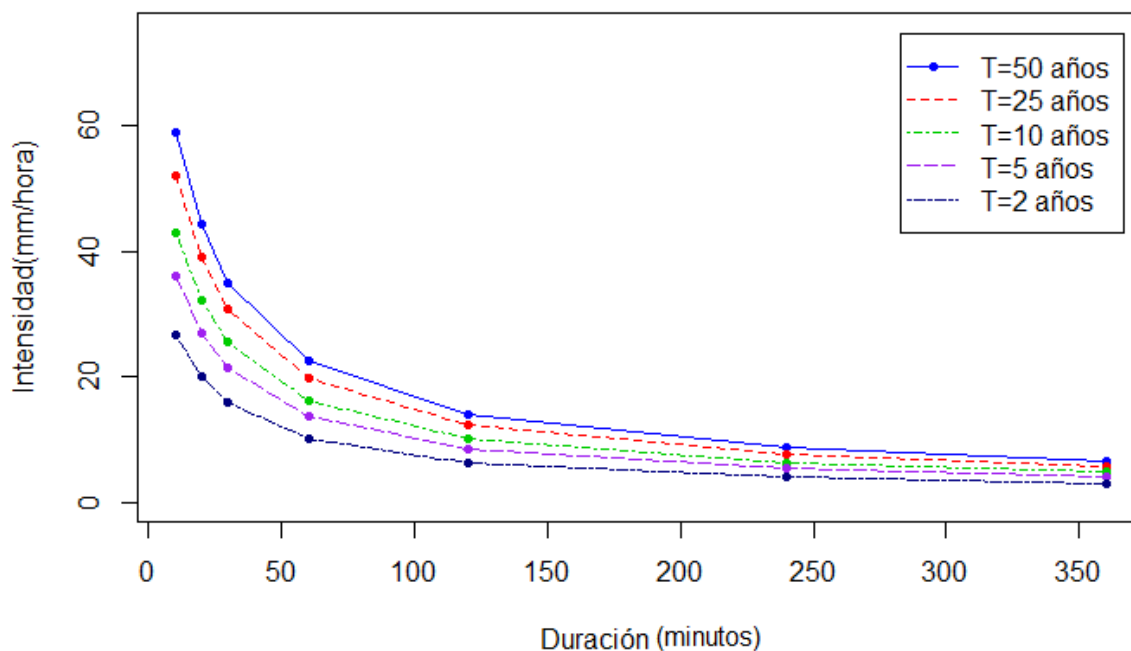


Figura 23 — Curvas IDF para la estación de Curahuasi generadas a partir de la ecuación 149

Curvas IDF mediante coeficientes de duración del MTC

Para poder generar las curvas IDF con los coeficientes de duración del MTC, se tomó como referencia los datos de la estación de Curahuasi, la misma que se ajustó a la distribución log-Pearson tipo III, en base a esta información se generó las precipitaciones para diferentes periodos de retorno.

Tabla 62 — Precipitaciones generadas para diferentes periodos de retorno y duraciones con los coeficientes de duración del MTC

Duración (min)	Precipitación (mm)				
	T=2	T=5	T=10	T=25	T=50
10	0.19	5.48	6.73	7.85	9.59
20	0.2	5.79	7.11	8.29	10.13
30	0.22	6.07	7.46	8.7	10.63
60	0.25	7.06	8.68	10.11	12.36
120	0.31	8.75	10.76	12.54	15.32
240	0.44	12.42	15.27	17.8	21.75
360	0.56	15.81	19.43	22.65	27.68

Con los datos de precipitación, mostrados en la Tabla 62, se determinaron las intensidades dividiendo cada uno de los valores por la duración respectiva.



Tabla 63 — Intensidades generadas para diferentes periodos de retorno y duraciones con los coeficientes de duración del MTC

Duración (min)	Intensidad (mm/h)				
	T=2	T=5	T=10	T=25	T=50
10	32.88	40.38	47.1	57.54	66.9
20	17.37	21.33	24.87	30.39	35.34
30	12.14	14.92	17.4	21.26	24.72
60	7.06	8.68	10.11	12.36	14.37
120	4.38	5.38	6.27	7.66	8.91
240	3.1	3.82	4.45	5.44	6.32
360	2.64	3.24	3.78	4.61	5.36

En la figura 24 se muestra las curvas IDF, generadas a partir de la Tabla 63:

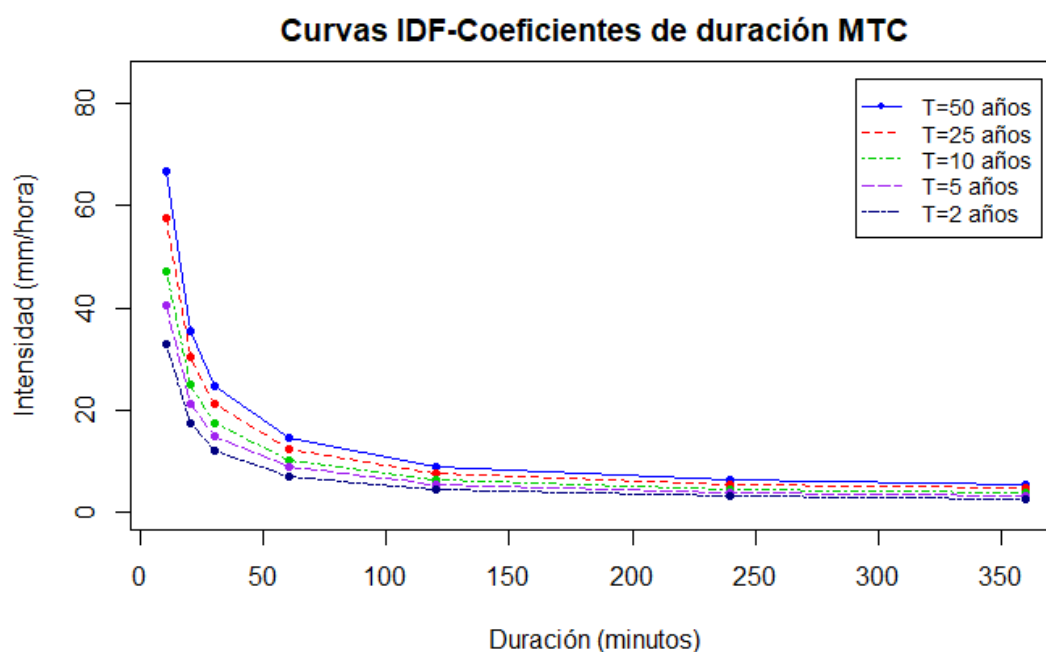


Figura 24 — Coeficientes de duración generadas a partir de los coeficientes de duración del MTC para estación de Curahuasi

En la Tabla 64 se muestran los resultados de las intensidades para la estación Curahuasi y los obtenidos por los coeficientes de duración.

Tabla 64 — Comparación de intensidades obtenidas para la estación meteorológica de Curahuasi coeficientes de duración del MTC y ecuación 149

Duración (min)	Intensidad (mm/h)									
	Coef.C	Ec.149	Coef.C	Ec.149	Coef.C	Ec.149	Coef.C	Ec.149	Coef.C	Ec.149
	T=2	T=2	T=5	T=5	T=10	T=10	T=25	T=25	T=50	T=50
10	32.88	26.73	40.38	35.91	47.1	42.86	57.54	52.03	66.9	58.98



20	17.37	20.13	21.33	27.04	24.87	32.27	30.39	39.18	35.34	44.41
30	12.14	15.87	14.92	21.32	17.4	25.44	21.26	30.89	24.72	35.01
60	7.06	10.17	8.68	13.67	10.11	16.31	12.36	19.8	14.37	22.44
120	4.38	6.38	5.38	8.58	6.27	10.23	7.66	12.43	8.91	14.09
240	3.1	3.97	3.82	5.33	4.45	6.36	5.44	7.73	6.32	8.76
360	2.64	3	3.24	4.03	3.78	4.81	4.61	5.84	5.36	6.62

5.1.2.5 Comparación en posición y forma

Comparación en forma

En la comparación en forma se analizó el sesgo y curtosis, para los resultados obtenidos en los periodos de retorno considerados.

Primero se analizará para el primer caso, luego el análisis se realizó en forma global

Tabla 65 — Resumen estadístico de las intensidades calculadas por la ecuación 149 y los coeficientes de duración del MTC, T=2 años, para la estación meteorológica de Curahuasi

	coef.C(2)	ec.149(2)
Recuento	7	7
Promedio	11.3671	12.3214
Desviación Estándar	10.8882	8.92317
Coficiente de Variación	95.7864%	72.4199%
Mínimo	2.64	3.0
Máximo	32.88	26.73
Rango	30.24	23.73
Sesgo Estandarizado	1.66394	0.673985
Curtosis Estandarizada	1.18445	-0.504942

El resumen estadístico de la Tabla 65 sirve para evaluar si las diferencias entre los estadísticos de las dos muestras son estadísticamente significativas, de los resultados mostrados son de interés el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada las cuales se usan para comparar si las muestras provienen de distribuciones normales. Si los valores de estos estadísticos están fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo cual implicaría invalidar las pruebas que comparan las desviaciones estándar. Para este caso, ambos valores del sesgo estandarizado y curtosis estandarizada se encuentran dentro del rango.

Teniendo en consideración lo anterior, se realizará el resúmen estadístico comparando los resultados de las intensidades para cada periodo de retorno, las cuales se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 66 — Resumen estadístico de las intensidades calculadas por la ecuación 149 y los coeficientes de duración del MTC, T=5 años, para la estación meteorológica de Curahuasi

	coef.C(5)	ec.149(5)
Recuento	7	7
Promedio	13.9643	16.5543
Desviación Estándar	13.3697	11.9865
Coficiente de Variación	95.7418%	72.4072%
Mínimo	3.24	4.03
Máximo	40.38	35.91
Rango	37.14	31.88
Sesgo Estandarizado	1.6637	0.673612
Curtosis Estandarizada	1.18451	-0.504415

Tabla 67 — Resumen estadístico de las intensidades calculadas por la ecuación 149 y los coeficientes de duración del MTC, T=10 años, para la estación meteorológica de Curahuasi

	coef.C(10)	ec.149(10)
Recuento	7	7
Promedio	16.2829	19.7543
Desviación Estándar	15.5958	14.3071
Coficiente de Variación	95.7808%	72.4253%
Mínimo	3.78	4.81
Máximo	47.1	42.86
Rango	43.32	38.05
Sesgo Estandarizado	1.66438	0.674225
Curtosis Estandarizada	1.18569	-0.50405

Tabla 68 — Resumen estadístico de las intensidades calculadas por la ecuación 149 y los coeficientes de duración del MTC, T=25 años, para la estación meteorológica de Curahuasi

	coef.C(25)	ec.149(25)
Recuento	7	7

Promedio	19.8943	23.9857
Desviación Estándar	19.0535	17.3666
Coficiente de Variación	95.7735%	72.4038%
Mínimo	4.61	5.84
Máximo	57.54	52.03
Rango	52.93	46.19
Sesgo Estandarizado	1.6637	0.673967
Curtosis Estandarizada	1.18448	-0.504395

Tabla 69 — Resumen estadístico de las intensidades calculadas por la ecuación 149 y los coeficientes de duración del MTC, T=50 años, para la estación meteorológica de Curahuasi

	coef.C(50)	ec.149(50)
Recuento	7	7
Promedio	23.1314	27.1871
Desviación Estándar	22.1537	19.6861
Coficiente de Variación	95.7732%	72.4095%
Mínimo	5.36	6.62
Máximo	66.9	58.98
Rango	61.54	52.36
Sesgo Estandarizado	1.66334	0.674325
Curtosis Estandarizada	1.18367	-0.503935

De los resúmenes estadísticos en las Tablas 66, 67, 68, 69, son de interés el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada las cuales se usan para comparar si las muestras provienen de distribuciones normales. Si los valores de estos estadísticos están fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo cual implicaría invalidar las pruebas que comparan las desviaciones estándar. Para los casos de las tablas consideradas, ambos valores del sesgo estandarizado y curtosis estandarizada se encuentran dentro del rango.

Comparación en posición

La comparación en posición se realizará mediante las medias y desviación estándar, utilizando las pruebas de t-Student y f-Fisher, respectivamente.

En las tablas 70, 71, 72, 73 y 74 se muestra la comparación de medias utilizando la prueba t-Student, para lo cual en el primer caso se especifica el criterio de análisis, posteriormente se generalizo los demás resultados.

Tabla 70 — Comparación de medias de las intensidades calculadas por la ecuación 149 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Curahuasi, para T=2 años

	Intervalos de confianza del 95.0%
Para la media de coef.C(2)	11.3671 +/- 10.0699 [1.29723, 21.4371]
Para la media de ec.149(2)	12.3214 +/- 8.25258 [4.06885, 20.574]
Para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales	-0.954286 +/- 11.593 [-12.5473, 10.6387]
<u>Prueba t para comparar medias</u>	
Hipótesis nula: media1 = media2	
Hipótesis Alt.: media1 <> media2	
suponiendo varianzas iguales: t = -0.17935 valor-P = 0.860655	
No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.	

El criterio de análisis para la Tabla 70, será el siguiente:

- Se observa que se construye los intervalos, ó cotas, de confianza para cada media y para la diferencia entre las medias. Son de interés, el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde -12.5473 hasta 10.6387. como el intervalo contiene el valor de 0, no hay diferencia significativa entre las medias de las dos muestras de datos, con un nivel de confianza del 95 %.
- Utilizando la prueba-t para evaluar hipótesis específicas acerca de la diferencia entre las medias de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. Para este caso, la prueba se ha construido para determinar si la diferencia entre las dos medias es igual a 0.0 versus la hipótesis alterna de que la diferencia no es igual a 0.0. Como el valor-P calculado no es menor que 0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula.

A continuación, se muestran los resultados para los demás periodos de retorno:

Tabla 71 — Comparación de medias de las intensidades calculadas por la ecuación 149 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Curahuasi, para T=5 años

	Intervalos de confianza del 95.0%
Para la media de coef.C(5)	13.9643 +/- 12.3649 [1.59938, 26.3292]
Para la media de ec.149(5)	16.5543 +/- 11.0857 [5.4686, 27.64]
Para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales	-2.59 +/- 14.7872 [-17.3772, 12.1972]
<u>Prueba t para comparar medias</u>	
Hipótesis nula: media1 = media2	
Hipótesis Alt.: media1 <> media2	
suponiendo varianzas iguales: t = -0.381623 valor-P = 0.709412	
No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.	

Tabla 72 — Comparación de medias de las intensidades calculadas por la ecuación 149 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Curahuasi, para T=10 años

	Intervalos de confianza del 95.0%
Para la media de coef.C(10):	16.2829 +/- 14.4238 [1.85907, 30.7066]
Para la media de ec.149(10):	19.7543 +/- 13.2319 [6.52239, 32.9862]
Para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales:	-3.47143 +/- 17.4291 [-20.9005, 13.9576]
<u>Prueba t para comparar medias</u>	
Hipótesis nula: media1 = media2	
Hipótesis Alt.: media1 <> media2	
suponiendo varianzas iguales: t = -0.433966 valor-P = 0.672013	
No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.	

Tabla 73 — Comparación de medias de las intensidades calculadas por la ecuación 149 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Curahuasi, para T=25 años

	Intervalos de confianza del 95.0%
para la media de coef.C(25):	19.8943 +/- 17.6215 [2.27274, 37.5158]
para la media de ec.149(25):	23.9857 +/- 16.0614 [7.92427, 40.0472]
para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales	-4.09143 +/- 21.2306 [-25.322, 17.1392]
<u>Prueba t para comparar medias</u>	

Hipótesis nula: $\text{media1} = \text{media2}$
 Hipótesis Alt.: $\text{media1} \neq \text{media2}$
 suponiendo varianzas iguales: $t = -0.419888$ valor-P = **0.681987**
 No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.

Tabla 74 — Comparación de medias de las intensidades calculadas por la ecuación 149 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Curahuasi, para T=50 años

	Intervalos de confianza del 95.0%
para la media de coef.C(50):	23.1314 +/- 20.4888 [2.64261, 43.6202]
para la media de ec.149(50):	27.1871 +/- 18.2066 [8.98052, 45.3938]
para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales:	-4.05571 +/- 24.4062 [-28.4619, 20.3505]
<u>Prueba t para comparar medias</u>	
Hipótesis nula: $\text{media1} = \text{media2}$	
Hipótesis Alt.: $\text{media1} \neq \text{media2}$	
suponiendo varianzas iguales: $t = -0.362066$ valor-P = 0.723598	
No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.	

Considerando los resultados de las Tablas 71, 72, 73 y 74, en base al criterio de análisis, se pueden realizar las siguientes observaciones:

- El valor 0 se encuentra contenido en todos los intervalos de confianza para la diferencia de medias, con un nivel de confianza del 95%, por tanto, no hay diferencias significativas entre las medias de las dos muestras.
- Considerando la prueba t, el valor-P en todos los casos no es menor que 0.05, por tanto, no se puede rechazar la hipótesis nula en todos los casos y se asume que la diferencia de las dos medias es igual a 0.

En las Tablas 75, 76, 77, 78 y 79 se muestra la comparación de varianzas utilizando la prueba F-Fisher, para lo cual es necesario mencionar que todos corresponden a una distribución normal, la cual se puede verificar en la comparación de forma,

En el primer caso se especifica el criterio de análisis, luego se analizará los resultados en forma global para los resultados restantes.

Tabla 75 — Comparación de desviación estándar de las intensidades calculadas por la ecuación 149 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Curahuasi, para T=2 años

	coef.C(2)	ec.149(2)
Desviación Estándar	10.8882	8.92317
Varianza	118.552	79.6229
Gl	6	6
Razón de Varianzas= 1.48892		
Intervalos de confianza del 95.0%		
Desviación Estándar de coef.C(2): [7.01627, 23.9765]		
Desviación Estándar de ec.149(2): [5.75003, 19.6494]		
Razones de Varianzas: [0.255839, 8.66518]		
Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar		
Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$		
Hipótesis Alt.: $\sigma_1 \neq \sigma_2$		
F = 1.48892 valor-P = 0.641043		
No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.		

El criterio de análisis de la Tabla 75, será el siguiente:

- En la tabla se construye intervalos ó cotas de confianza para cada desviación estándar y para la razón de varianzas. Son de interés el intervalo de confianza para la razón de varianzas, el cual se extiende desde 0.255839 hasta 8.66518. Puesto que el intervalo contiene el valor de 1, no hay diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar de las dos muestras con un nivel de confianza del 95.0% .
- Respecto a la prueba F, la prueba se ha construido para determinar si el cociente de las desviaciones estándar es igual a 1.0 versus la hipótesis alternativa de que el cociente no es igual a 1.0. Puesto que el valor-P calculado no es menor que 0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula.

Tabla 76 — Comparación de desviación estándar de las intensidades calculadas por la ecuación 149 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Curahuasi, para T=5 años

	coef.C(5)	ec.149(5)
Desviación Estándar	13.3697	11.9865
Varianza	178.748	143.676

Gl	6	6
Razón de Varianzas= 1.2441		
Intervalos de confianza del 95.0%		
Desviación Estándar de coef.C(5): [8.61532, 29.4409]		
Desviación Estándar de ec.149(5): [7.72402, 26.395]		
Razones de Varianzas: [0.213772, 7.24038]		
Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar		
Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$		
Hipótesis Alt.: $\sigma_1 \neq \sigma_2$		
F = 1.2441 valor-P = 0.797651		
No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.		

Tabla 77 — Comparación de desviación estándar de las intensidades calculadas por la ecuación 149 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Curahuasi, para T=10 años

	coef.C(10)	ec.149(10)
Desviación Estándar	15.5958	14.3071
Varianza	243.23	204.693
Gl	6	6
Razón de Varianzas= 1.18827		
Intervalos de confianza del 95.0%		
Desviación Estándar de coef.C(10): [10.0499, 34.3431]		
Desviación Estándar de ec.149(10): [9.2194, 31.5051]		
Razones de Varianzas: [0.204178, 6.91544]		
Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar		
Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$		
Hipótesis Alt.: $\sigma_1 \neq \sigma_2$		
F = 1.18827 valor-P = 0.839479		
No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.		

Tabla 78 — Comparación de desviación estándar de las intensidades calculadas por la ecuación 149 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Curahuasi, para T=25 años

	coef.C(25)	ec.149(25)
Desviación Estándar	19.0535	17.3666
Varianza	363.034	301.598
Gl	6	6

Razón de Varianzas= 1.2037

Intervalos de confianza del 95.0%

Desviación Estándar de coef.C(25): [12.2779, 41.9569]

Desviación Estándar de ec.149(25): [11.1909, 38.2423]

Razones de Varianzas: [0.20683, 7.00526]

Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar

Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$

Hipótesis Alt.: $\sigma_1 \neq \sigma_2$

F = 1.2037 valor-P = 0.827669

No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.

Tabla 79 — Comparación de desviación estándar de las intensidades calculadas por la ecuación 149 y el método de coeficientes del MTC de la estación meteorológica de Curahuasi, para T=50 años

	coef.C(50)	ec.149(50)
Desviación Estándar	22.1537	19.6861
Varianza	490.787	387.541
Gl	6	6

Razón de Varianzas= 1.26641

Intervalos de confianza del 95.0%

Desviación Estándar de coef.C(50): [14.2757, 48.7839]

Desviación Estándar de ec.149(50): [12.6856, 43.35]

Razones de Varianzas: [0.217606, 7.37021]

Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar

Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$

Hipótesis Alt.: $\sigma_1 \neq \sigma_2$

F = 1.26641 valor-P = 0.781621

No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$

Considerando los resultados de las Tablas 76, 77, 78 y 79, en base al criterio de análisis, se pueden realizar las siguientes observaciones:

- El valor 1 se encuentra contenido en todos los intervalos de confianza para la diferencia de medias, con un nivel de confianza del 95%, por tanto, no hay diferencias estadísticamente significativas entre las varianzas de las dos muestras.

- Considerando la prueba F, el valor-P en todos los casos no es menor que 0.05, por tanto, no se puede rechazar la hipótesis nula en todos los casos y se asume que el cociente de las desviaciones estándar es igual a 1.

5.2 Contrastación de hipótesis

De acuerdo a los resultados de las tablas del 33 al 47, las cuales corresponden a las comparaciones en posición y forma, para la estación de Tambobamba, de las curvas intensidad-duración –frecuencia estimadas a partir de las precipitaciones máximas en 24 horas respecto a las curvas intensidad-duración frecuencia obtenidas a partir del manual para diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito del MTC, no presentan diferencias estadísticamente significativas, por tanto no se rechaza la hipótesis de investigación.

De igual forma, para la estación de Curahuasi, los resultados de las comparaciones en posición y forma se muestran en las tablas del 65 al 79, donde los resultados muestran que no existen diferencias estadísticamente significativas, por tanto, no se rechaza la hipótesis de investigación.

De las dos observaciones anteriores se concluye que, la estimación de las curvas intensidad-duración-frecuencia de las estaciones meteorológicas de Tambobamba y Curahuasi, generados a partir del análisis de precipitaciones, proporcionan una adecuada información para el diseño de obras hidráulicas

5.3 Discusión

En esta investigación, al estimar las curvas intensidad-duración-frecuencia adecuadas para las estaciones meteorológicas de Tambobamba y Curahuasi a partir del análisis de precipitaciones para el diseño de obras hidráulicas, se pudo encontrar que no hay diferencias estadísticamente significativas en las comparaciones en forma y posición, con un nivel de confianza del 95%, respecto a las curvas IDF generadas a partir de los coeficientes de duración del MTC. Esto quiere decir que las curvas IDF estimadas, para cada una de las estaciones son adecuadas para los diseños hidráulicos. Frente a lo mencionado se rechaza la hipótesis nula, y se acepta la hipótesis de investigación, donde se refiere que la estimación de las curvas intensidad-duración-frecuencia de las estaciones meteorológicas de Tambobamba y Curahuasi, generados a partir del análisis de precipitaciones, proporcionan una adecuada información para el diseño de obras hidráulicas. Estos resultados pueden ser apoyado con lo obtenidos por UGARTE

RAMOS (2012) quien en su investigación llega obtener ecuaciones de curvas IDF para las estaciones de estudio a partir de precipitaciones máximas en 24 horas, asimismo indica que las intensidades de lluvia, de las estaciones de Huancane, Moho y Putina son consistentes y confiables; por otra parte, se coincide con lo mencionado por TWAGIRAYEZU ET AL. (2019) quien menciona la importancia de las curvas IDF en el diseño de estructuras hidráulicas.

Al realizar el análisis de precipitaciones máximas en 24 horas, de las estaciones meteorológicas de Tambobamba y Curahuasi realizando el ajuste a una función de distribución de probabilidad mediante pruebas de bondad de ajuste, se pudo encontrar que en la estación de Tambobamba la función teórica que mejor se ajustó a los datos de precipitación máxima en 24 horas es la distribución Pearson tipo III, mientras que en la estación de Curahuasi fue la distribución log-Pearson tipo III, para lograr ello se utilizaron las pruebas de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov y Chi cuadrado. De ello se puede mencionar que los comportamientos de las tormentas son distintos en ambas ubicaciones, las cuales dependen de muchos factores. Estos resultados pueden ser apoyados por los obtenidos ESQUEN LOZANO Y RODRIGUEZ VENEGAS (2016), quienes en sus investigaciones muestran que en cada estación la distribución que se ajusta no necesariamente es la misma para todas las estaciones.

Al determinar la expresión que permita estimar las curvas intensidad-duración-frecuencia para diferentes duraciones y periodos de retorno, se pudo determinar las ecuaciones que permiten estimar las curvas intensidad-duración-frecuencia, a partir de los coeficientes de duración y coeficientes de frecuencia utilizando regresión, donde los coeficientes de determinación así como los coeficientes de determinación ajustados fueron superiores a 0.95, por lo cual el ajuste de los datos a las ecuaciones son considerados como buenos. Estos resultados pueden ser apoyados en la investigación de KALITA Y TALUKDAR (2017) quienes también utilizan la regresión como herramienta para obtener las fórmulas correspondientes para determinar las ecuaciones que permitan obtener las curvas intensidad-duración-frecuencia, pero utilizaron el coeficiente de correlación para poder verificar el respectivo ajuste de la ecuación a los datos.

Al determinar la variación en posición y forma de las curvas IDF generadas respecto a las curvas IDF generadas a partir de los coeficientes de duración del MTC, se pudo encontrar que en las pruebas estadísticas las diferencias no son significativas, con un

nivel de significancia del 95%. Esto quiere decir que la metodología utilizada para estimar las curvas intensidad-duración-frecuencia, a partir de las precipitaciones máximas en 24 horas son adecuadas.



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Las curvas intensidad-duración-frecuencias (IDF) generadas para las estaciones de Tambobamba y Curahuasi son adecuadas para el diseño de obras hidráulicas ya que estadísticamente las diferencias no son significativas, en las comparaciones en forma y posición, para periodos de retorno de 2 a 50 años y duraciones entre 10 a 360 minutos.
- Al efectuar el análisis probabilístico de las precipitaciones máximas en 24 horas para cada una de las estaciones:
 - En la estación de Tambobamba, la función de distribución de probabilidad que mejor se ajustó de acuerdo a las pruebas de bondad de ajuste, es la de Pearson tipo III. Obteniéndose los valores de $\Delta = 0.0549$ en la prueba de Kolmogorov -Smirnov y $D = 3.037212$ en la prueba de Chi-cuadrado, ambos para un nivel de significancia del 5%
 - En la estación de Curahuasi, la función que mejor se ajustó es la distribución log-Pearson tipo III. Obteniéndose los valores de $\Delta = 0.1050$ en la prueba de Kolmogorov -Smirnov y $D = 5.574966$ en la prueba Chi-cuadrado, también para un nivel de significancia del 5%.
- Se logró establecer la expresión que permita generar las curvas intensidad-duración-frecuencia para cada una de las estaciones meteorológicas, su expresión matemática es la siguiente:

Para la estación Tambobamba:

$$I_d^T = \frac{18.12P_{1h}^{10\text{años}}(0.160\ln(T) + 0.617)}{d(d - 6.528)^{-0.302}}$$

Para la estación de Curahuasi:

$$I_d^T = \frac{18.12P_{1h}^{10\text{años}}(0.243\ln(T) + 0.480)}{d(d - 6.526)^{-0.302}}$$

Donde d es la duración en minutos y T es el periodo de retorno en años.

- Al efectuar las comparaciones de la variación en posición para cada una de las estaciones, las curvas IDF generadas a partir de las precipitaciones máximas en 24 horas no son estadísticamente significativas respecto a las curvas IDF generadas por los coeficientes de duración del MTC, por lo cual se asume que las estimaciones de las mismas son adecuadas.

6.2 Recomendaciones

- Evaluar la metodología empleada, para la estimación de curvas intensidad-duración –frecuencia, en otras estaciones meteorológicas de la región, de tal forma que permita validar la ecuación para las áreas de influencia de estas estaciones.
- Continuar con investigaciones dirigidas al análisis de precipitaciones diarias, obtenidas a partir de estaciones pluviométricas, ya que, en la región y el país se cuenta en su mayoría con este tipo de estaciones.
- Implementar estaciones pluviograficas en el país, para poder obtener curvas intensidad-duración-frecuencia más precisas.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMED A., D., 2017. Drawing Curves of The Rainfall Intensity Duration Frequency (IDF) and Assessment equation Intensity Rainfall for Nasiriyah City, Iraq. *Journal of Thi-Qar University* [en línea], vol. 12, no. 2. DOI 10.13140/RG.2.2.35460.42886. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/322628806_Drawing_Curves_of_The_Rainfall_Intensity_Duration_Frequency_IDF_and_Assessment_equation_Intensity_Rainfall_for_Nasiriyah_City_Iraq.
- ALHASSOUN, S.A., 2011. Developing an empirical formulae to estimate rainfall intensity in Riyadh region. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, vol. 23, no. 2, pp. 81-88. ISSN 1018-3639. DOI 10.1016/j.jksues.2011.03.003.
- APARICIO MIJARES, F.J., 1992. *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Mexico: LIMUSA. ISBN 968-18-3014-8.
- ASQUITH, W.H., 2011. *Univariate Distributional Analysis with L-moment Statistics using R* [en línea]. Texas: Texas Tech University. Disponible en: <https://ttu-ir.tdl.org/handle/2346/ETD-TTU-2011-05-1319>.
- BASUALDO, A. y HEINZENKNECHT, G., 2021. CURSO DE PRECIPITACIÓN Y PLUVIOMETRÍA. [en línea]. Disponible en: <http://basweb.acacoop.com.ar/meteorologia/pronosticos/cursos/PrecipyPluviom/2.asp>.
- BELL, F.C., 1969. Generalized Rainfall - Duration - Frequency Relationships. *Journal of the Hydraulics Division*, vol. 95, no. 1, pp. 311-328. DOI 10.1061/JYCEAJ.0001942.
- CADAVID CARTAGENA, E.A., 2007. Curvas IDF, hietogramas de diseño de obras de infraestructura e impacto económico del período de retorno. *instname:Universidad de los Andes* [en línea], Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/9583>.
- CAMPOS ARANDA, D.F., 2010. *Introducción a la hidrología urbana*. San Luis de Potosi: s.n. ISBN 970-95118-1-5.
- CASTILLO, F.E. y BELTRÁN, L.R., 1979. *Precipitaciones máximas en España: estimaciones basadas en métodos estadísticos*. España: Servicio de Publicaciones Agrarias, Ministerio de Agricultura. ISBN 978-84-7479-029-0.
- CHEN, C., 1983. Rainfall Intensity-Duration-Frequency Formulas. *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 109, no. 12, pp. 1603-1621. ISSN 0733-9429. DOI 10.1061/(ASCE)0733-9429(1983)109:12(1603).
- CHEREQUE MORAN, W., 1989. *Hidrología para Estudiantes de Ingeniería Civil*. Lima - Peru: Universidad Católica del Perú, CONCITEC.
- EQUIPO PRINCIPAL DE DESARROLLO R, 2000. Introducción a R. Notas sobre R: Un entorno de programación para Análisis de Datos y Gráficos Versión () R Development Core Team - PDF Free Download. [en línea]. Disponible en: <https://docplayer.es/67875014-Introduccion-a-r-notas-sobre-r-un-entorno-de-programacion-para-analisis-de-datos-y-graficos-version-r-development-core-team.html>.
- ESQUEN LOZANO, C.R. y RODRIGUEZ VENEGAS, H.K., 2016. *Determinación de la confiabilidad del método ítalo latino americano para el calculo de hietogramas de diseño en las estaciones pluviométricas de Salpo, Quiruwlca y Julcan - Cuenca Moche* [en línea].



Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego. Disponible en: <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/3425>.

EWEA, H., ELFEKI, A. y ALAMRI, N., 2016. Development of intensity–duration–frequency curves for the Kingdom of Saudi Arabia. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, vol. 8. ISSN 1947-5705. DOI 10.1080/19475705.2016.1250113.

FATTORELLI, S. y FERNANDEZ, P.C., 2011. *DISEÑO HIDROLÓGICO*. 2. Paris, France: Network, Water Assessment & Advisory Global. ISBN 978-987-05-2738-2.

GOSS - SAMPSON, M.A., 2018. *JASP Análisis estadístico con JASP: una guía para estudiantes*. Barcelona: Universidad de Greenwich.

GRAJALES CARDONA, D. y CARVAJAL SERNA, L.F., 2019. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia no estacionarias para la cuenca del río Medellín. *DYNA*, vol. 86, no. 208, pp. 321-328. ISSN 0012-7353. DOI 10.15446/dyna.v86n208.69300.

GUBAREVA, T. y GARTSMAN, B., 2010. Estimating distribution parameters of extreme hydrometeorological characteristics by L-moments method. *Water Resources*, vol. 37, pp. 437-445. DOI 10.1134/S0097807810040020.

GUTIÉRREZ GONZÁLEZ, E. y VLADIMIROVNA PANTELEEVA, O., 2016. *Estadística Inferencial I para ingeniería y ciencias*. Mexico: Grupo Editorial Patria, S.A. de C.V. ISBN 978-607-744-487-9.

HARRELL JR, F.E., 2021. *Hmisc: Harrell Miscellaneous* [en línea]. 28 febrero 2021. S.l.: s.n. Disponible en: <https://CRAN.R-project.org/package=Hmisc>.

HIDALGO RAVELO, A.G., 2019. Diseño hidrológico - hidráulico para pequeñas presas en cuencas no aforadas, usando el modelo de precipitación - escurrimiento de Témez, mediante geoprocésamiento SIG y modelamiento numérico. Un enfoque hacia la realidad peruana: Caso Vilcanchos, Ayacucho. [en línea], Disponible en: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/13219>.

HOSKING, J.R.M., 1990. L-Moments: Analysis and Estimation of Distributions Using Linear Combinations of Order Statistics. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, vol. 52, no. 1, pp. 105-124.

HOSKING, J.R.M., 2019. *lmom: L-Moments* [en línea]. 11 marzo 2019. S.l.: s.n. [Consulta: 9 octubre 2021]. Disponible en: <https://cran.r-project.org/web/packages/lmom/lmom.pdf>.

HOSKING, J.R.M. y WALLIS, J.R., 1997. Appendix: L-moments for some specific distributions. En: , *Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-Moments* [en línea]. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 191-209. [Consulta: 8 octubre 2022]. ISBN 978-0-521-43045-6. Disponible en: <https://www.cambridge.org/core/books/regional-frequency-analysis/appendix-lmoments-for-some-specific-distributions/272D206819254BB0F1A6806D8E920B93>.

IDEAM, I.D.H.M.Y.E.A., 2019. *GLOSARIO METEOROLOGICO* [en línea]. Bogotá: IDEAM. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/11769/72085840/Anexo+10.+Glosario+meteorol%C3%B3gico.pdf/6a90e554-6607-43cf-8845-9eb34eb0af8e>.



- INTESCO S.A.S., 2019. ¿Sabes en qué se diferencian un Pluviómetro y un Pluviógrafo? [en línea]. [Consulta: 12 octubre 2021]. Disponible en: <https://www.intesco.com.co/sabes-en-que-se-diferencian-un-pluviometro-y-un-pluviografo/>.
- KALITA, T. y TALUKDAR, B., 2017. Establishment of Intensity-Duration- Frequency Formula for Precipitation in Puthimari Basin, Assam. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, vol. 6, no. 4, pp. 9. ISSN 2319-8753.
- KHALIQ, M.N., OUARDA, T.B.M.J., ONDO, J.-C., GACHON, P. y BOBÉE, B., 2006. Frequency analysis of a sequence of dependent and/or non-stationary hydro-meteorological observations: A review. *Journal of Hydrology*, vol. 329, no. 3, pp. 534-552. ISSN 0022-1694. DOI 10.1016/j.jhydrol.2006.03.004.
- KOUTSOYIANNIS, D., KOZONIS, D. y MANETAS, A., 1998. A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships. *Journal of Hydrology*, vol. 206, pp. 118-135. DOI 10.1016/S0022-1694(98)00097-3.
- LINSEY, R.K., KOHLER, M.A. y PAULUS, J.L.H., 1977. *Hidrologia para ingenieros*. Bogota, Colombia: McGraw-Hill Latinoamerica, S.A. ISBN 0-07-090914-8.
- MCCUEN, R.H., 1989. *Hidrologic Analysis and Design*. 2. New Jersey: Pearson Education. ISBN 0-13-134958-9.
- MEJÍA ARRIETA, B.S., 2017. Estimación de curva IDF a partir de lluvias máximas en 24 horas en el Departamento del Atlántico. [en línea], Disponible en: <http://hdl.handle.net/11323/238>.
- MONSALVE SÁENZ, G., 1999. *Hidrologia en la Ingeniería*. Colombia: ALFAOMEGA. ISBN 970-15-0404-6.
- MOSQUERA GUTIÉRREZ, J. y HERNÁNDEZ, F., 2021. maxlogL: A general computational procedure for Maximum Likelihood estimation in R. *Universidad Nacional de Colombia*, pp. 16.
- MTC, M. de T. y C., 2008. *Manual para el diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito*. Lima - Peru: MTC.
- MTC, M. de T. y C., 2011. *Manual de Hidrologia, Hidraulica y Drenaje*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- NHAT, L.M., TACHIKAWA, Y. y TAKARA, K., 2006. Establishment of Intensity-Duration-Frequency Curves for Precipitation in the Monsoon Area of Vietnam. *Graduate school of Urban and Environment Engineering, Kyoto University*, vol. 49, pp. 12.
- OBEID, H. y KHOLY, M.E., 2021. Development of precipitation intensity-duration-frequency curves for litani river basin - Lebanon. *International Journal of Engineering & Technology*, vol. 10, no. 2, pp. 190-198. ISSN 2227-524X. DOI 10.14419/ijet.v10i2.31737.
- RANKIA, 2019. Volatilidad II: Volatilidad, curtosis y asimetría. *Rankia* [en línea]. [Consulta: 21 diciembre 2021]. Disponible en: <https://www.rankia.com/blog/tomas-garcia/2226562-volatilidad-ii-curtosis-asimetria>.



SAAD AL-WAGDANY, A., 2020. Intensity-duration-frequency curve derivation from different rain gauge records. *Journal of King Saud University - Science*, vol. 32, no. 8, pp. 3421-3431. ISSN 1018-3647. DOI 10.1016/j.jksus.2020.09.028.

SANTANA, J.S. y FARFAN, E.M., 2014. *El arte de programa en R: un lenguaje para la estadística* [en línea]. Morelos, Mexico: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. ISBN 978-607-9368-15-9. Disponible en: https://cran.r-project.org/doc/contrib/Santana_El_arte_de_programar_en_R.pdf.

SAROCHAR, H.E., 2013. *Introducción a la meteorología General*. La Plata, Argentina: Universidad Nacional de la Plata.

SENAMHI, S.N. de M. e H. del P., 2021a. SENAMHI. *Datos / Datos Hidrometeorológicos* [en línea]. [Consulta: 26 septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>.

SENAMHI, S.N. de M. e H. del P., 2021b. SENAMHI. *¿Quiénes somos?* [en línea]. [Consulta: 26 septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=senamhi>.

TE CHOW, V., MAIDMENT, D.R. y MAYS, L.W., 1994. *Hidrología Apicada*. Santafé de Bogota: McGRAW-HILL. ISBN 958-600-171-7.

TESÉN ARROYO, M., 2012. *Herramientas y control estadístico de calidad* [en línea]. Chiclayo, Perú: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Disponible en: https://issuu.com/mtesen/docs/herramientas_y_control/26.

TWAGIRAYEZU, G., KUNDWA, M.J., BAKUNZIBAKE, P., BUNANI, P. y HABYARIMANA, J., 2019. Development of Rainfall Intensity Duration Frequency (IDF) Curves for Hydraulic Design Aspect. *Journal of Ecology & Natural Resources*, vol. 3. ISSN 2578-4994. DOI 10.23880/jenr-16000162.

UGARTE RAMOS, H.I., 2012. *Análisis de precipitaciones máximas diarias para la deducción de fórmulas de intensidad de lluvia, y curvas IDF para las estaciones de Huancané, Moho y Putina* [en línea]. Puno: Universidad Nacional del Altiplano. [Consulta: 7 octubre 2022]. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/5490>.

VELEZ, J., BOTERO, B., PARRA, J., MURILLO, V. y MARULANDA AGUIRRE, A., 2013. *DISEÑO HIDRÁULICO E HIDROLÓGICO DE OBRAS DE INGENIERÍA PARA PROYECTOS VIALES*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. ISBN 978-958-761-287-5.

VILLODAS, R., 2008. *Hidrología I y II* [en línea]. Mendoza, Argentina: Univrsidad Nacional de Cuyo, Argentina. Disponible en: https://www.academia.edu/36851515/Hidrologia_I_y_II_Ruben_Villodas.

VILLON BEJAR, M., 2002. *Hidrología*. Cartago, Costa Rica: Villon.

VILLÓN BÉJAR, M., 2005. *HIDROESTA Software para cálculos hidrológicos*. segunda. Lima - Peru: Villón. ISBN 9968-32-017-X.

VILLÓN BEJAR, M., 2016. *Hidrología Estadística*. 5. Lima-Perú: Ediciones Villón. ISBN 9977-66-178-8.



VIVEKANANDAN, N., 2015. Estimation of Probable Maximum Precipitation Using Statistical Methods. *World Journal of Research and Review*, vol. 1, no. 2, pp. 4. ISSN 2455-3956.

VOLPI, E., 2019. On return period and probability of failure in hydrology. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, vol. 6. DOI 10.1002/wat2.1340.

WALPOLE, R.E., MYERS, R.H., MYERS, S.L. y YE, K., 2012. *Probabilidad y estadística para ingenierías y ciencias*. 9. Mexico: PEARSON EDUCACIÓN. ISBN 978-607-32-1417-9.

WICKHAM, H., 2021. *tidyverse: Easily Install and Load the «Tidyverse»* [en línea]. 15 abril 2021. S.l.: s.n. Disponible en: <https://CRAN.R-project.org/package=tidyverse>.

WIKIPEDIA, 2021. Lluvia orográfica. En: Page Version ID: 139839100, *Wikipedia, la enciclopedia libre* [en línea]. [Consulta: 10 diciembre 2021]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Lluvia_orogr%C3%A1fica&oldid=139839100.

ZENG, X., WANG, D. y WU, J., 2015. Evaluating the Three Methods of Goodness of Fit Test for Frequency Analysis. *Journal of Risk Analysis and Crisis Response*, vol. 5, pp. 178. DOI 10.2991/jrarc.2015.5.3.5.



ANEXOS



Anexo A

Información pluviométrica

A.1 Datos de la estación Tambobamba

REGISTRO DE PRECIPITACIÓN MÁXIMAS EN 24 HORAS
 (mm)

Estacio : **Tambobamba** Latitud : 13°56'41.7 S Departamento : Apurímac
 Tipo : M-C Longitud : 72°10'30.8 W Provincia : Cotabambas
 Altitud : 3279 msnm Distrito : Tambobamba

N° REG	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1995					5.0	0.0	0.2	10.0	9.4		25.3	30.0	30.0
2	1996	31.7	19.6	14.0	13.2	4.7	0.0	0.0	33.1	8.6	35.0	17.0	19.6	35.0
3	1997	38.2	26.8	26.1	21.6	8.1	0.0	0.0	16.6	4.7	16.1	21.4	29.2	38.2
4	1998	30.6	34.5			0.0	2.4	0.0	2.6	4.0	17.0	25.3	13.4	34.5
5	1999	15.8	23.9	25.6	22.0	1.5	0.0	0.7	3.4	18.9	4.7	10.6	18.3	25.6
6	2000	22.5	39.0	26.2	13.8	10.0	3.4	3.3	4.8	14.7	18.7	13.0	42.3	42.3
7	2001	35.3	52.7	29.9	10.0	6.1	3.0	11.4	5.4	5.6	29.0	17.2	17.1	52.7
8	2002	39.0	38.9	20.3	25.0	9.1	6.4	4.4	1.1	20.0	17.3	15.6	30.7	39.0
9	2003	48.8	19.5	23.6	20.0	6.0	1.2	0.0	18.4	11.0	12.4	17.0	36.4	48.8
10	2004	35.6	36.2	19.6	18.6	10.0	1.9	8.0	8.3	15.7	15.0	24.0	21.4	36.2
11	2005	21.0	54.7	32.4		0.0	0.0	1.5	4.0	4.2	29.0	12.7	38.1	54.7
12	2006	21.4	34.3	32.0	18.4	0.0	8.8	0.0	0.0	0.5	16.0	23.4	30.5	34.3
13	2007	21.8	23.4	23.6	7.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	14.0	28.2	24.6	28.2
14	2008	30.0	20.0	10.0	10.0	4.0	1.0	0.0	2.7	7.0	13.6	20.0	25.0	30.0
15	2009	25.0	24.2	18.0	10.0	2.4	0.0	1.4		9.0	30.0	65.0	25.0	65.0
16	2010	42.6	29.8	29.8	7.6	13.8	0.0	0.0	0.0	6.4	8.7	13.8	23.0	42.6
17	2011	31.5	35.2	35.4	13.3	3.5	0.0	2.1	3.7	15.0	13.5	13.7	20.2	35.4
18	2012	27.5	27.3	26.5	22.0	3.0	2.5	1.4	0.0	10.0	20.0	27.8	42.4	42.4
19	2013	18.0	24.5	23.0	22.7	0.4	5.0	2.0	14.0	9.3	25.6	27.7	28.4	28.4
20	2014	38.8	39.5	25.5	6.2	10.0	0.0	2.1	1.3	7.6	11.7	17.2	27.5	39.5
21	2015	30.4	31.0	35.6	23.6	2.6	1.3	3.4	13.4	11.0	21.8	21.1	23.5	35.6
22	2016	25.8	30.5	19.7	17.6	3.6	2.4	7.6	3.6	11.2	26.0	20.5	25.0	30.5
23	2017	45.0	31.0	32.5	17.5	9.6	0.0	0.0	0.0	11.0	18.6	15.4	25.6	45.0
24	2018	31.4	47.4	54.0	27.4	9.4	8.2				13.0	50.4	38.4	54.0
25	2019	31.0	32.3	29.0	26.4	1.4	10.0	2.0	0.0	4.0	11.8	23.0	14.4	32.3
26	2020	21.5	37.6	20.0	17.0								22.0	37.6
														0.0
N° Datos		25	25	24	23	25	25	24	23	24	24	25	26	26
Media		30.4	32.6	26.3	17.0	5.0	2.3	2.4	6.4	9.1	18.3	22.7	26.6	39.1
Desv. Estandar		8.59	9.50	8.73	6.44	4.03	3.06	3.01	8.11	5.19	7.48	11.90	7.93	9.56
Coef. Variacion		28.26	29.18	33.15	37.89	81.12	132.96	128.06	127.35	56.92	40.92	52.54	29.81	24.41
Prec. Max.		48.8	54.7	54.0	27.4	13.8	10.0	11.4	33.1	20.0	35.0	65.0	42.4	65.0
Prec. Min.		15.8	19.5	10.0	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	10.6	13.4	25.6

Fuente: SENAMHI

A.2 Datos de la estación Curahuasi

REGISTRO DE PRECIPITACIÓN MÁXIMAS EN 24 HORAS (mm)

Estación : **Curahuasi** Latitud : 13°33'9.4" S Departamento : Apurímac
 Tipo : M-C Longitud : 72°44'5.6" W Provincia : Abancay
 Código : 113029 Altitud : 2741 msnm Distrito : Curahuasi

N° REG	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1995	25.2	14.0	25.5	12.5	6.8	0.0	0.0	0.0	2.7	4.4	19.8	24.9	25.5
2	1996	12.0	17.2	19.6	14.3	0.8	0.0	0.0	5.5	6.4	26.0	14.5	15.8	26.0
3	1997	33.2	19.8	16.3	9.8	18.2	0.0	0.0	8.7	1.8	4.8	19.2	23.9	33.2
4	1998	22.9	20.7	18.4	8.4	1.6	3.4	0.0	1.7	1.6	15.9	10.4	17.7	22.9
5	1999	23.9	25.6	20.1	15.2	8.1	3.8	1.1	0.0	7.3	28.1	18.2	19.4	28.1
6	2000	29.2	16.4	20.4	7.4	6.5	6.0	10.7	6.2	4.5	16.9	18.1	23.8	29.2
7	2001	26.2	9.5	21.3	12.2	8.8	0.0	6.3	14.3	2.6	17.6	15.9	24.6	26.2
8	2002	31.8	29.1	24.1	34.9	10.3	3.4	10.2	7.2	6.2	31.2	27.3	17.8	34.9
9	2003	31.5	33.9	25.3	13.2	3.4	1.8	0.4	5.5	6.5	15.7	49.8	59.6	59.6
10	2004	23.6	22.1	8.1	11.2	12.4	3.1	8.3	6.8	14.9	14.9	17.2	17.8	23.6
11	2005	11.2	21.9	26.5	14.8	2.1	0.0	10.9	2.1	2.2	6.7	29.6	16.2	29.6
12	2006	29.8	16.6	21.4	13.4	0.0	3.6	0.0	1.1	1.5	18.1	18.4	14.3	29.8
13	2007	14.0	17.5	22.3	5.3	3.7	0.0	4.3	1.2	0.5	17.6	27.6	26.8	27.6
14	2008	19.3	25.0	27.1	11.4	8.4	3.5	0.0	7.3	4.5	16.3	19.3	20.4	27.1
15	2009	14.5	30.7	23.7	11.2	11.3	0.0	1.0	5.8	5.5	10.5	18.6	12.0	30.7
16	2010	29.6	17.1	14.3	18.2	4.2	0.0	1.8	3.3	8.9	11.2	11.5	12.7	29.6
17	2011	19.1	29.2	27.4	17.8	2.2	1.2	5.1	12.2	14.5	7.5	22.6	13.4	29.2
18	2012	26.4	27.7	29.7	19.5	0.0	3.4	3.6	1.4	6.6	12.8	8.5	29.7	29.7
19	2013	26.7	22.6	10.5	9.4	1.7	0.5	0.9	12.3	3.0	15.5	20.8	17.1	26.7
20	2014	22.6	20.4	26.7	17.9	1.7	0.0	0.8	1.2	11.4	15.2	20.4	24.9	26.7
21	2015	23.0	16.1	19.1	17.4	3.9	1.1	0.5	12.7	1.2	14.0	28.6	17.1	28.6
22	2016	21.1	23.7	11.3	9.9	1.3	3.2	4.9	14.1	8.9	28.3	20.9	35.3	35.3
23	2017	18.3	16.1	19.3	11.0	4.4	0.0	0.0	6.5	6.4	29.1	28.0	17.2	29.1
24	2018	20.3								3.7	52.7	10.5	19.3	52.7
25	2019	19.5	13.2	40.9	8.3	6.1	0.5	2.3	9.4	2.3	5.3	22.0	27.3	40.9
26	2020	14.9	17.1	14.5	8.6	9.8	0.6	0.0	1.0	0.8	23.3	15.1	18.5	23.3
N° Datos		26	25	25	25	25	25	25	25	26	26	26	26	26
Media		22.7	20.9	21.4	13.3	5.5	1.6	2.9	5.9	5.2	17.7	20.5	21.8	31.0
Desv. Estandar		6.24	6.04	6.96	5.85	4.53	1.78	3.69	4.61	3.96	10.47	8.28	9.54	8.43
Coef. Variacion		27.52	28.88	32.61	43.93	82.29	113.61	126.09	78.13	75.53	59.23	40.40	43.72	27.21
Prec. Max.		33.2	33.9	40.9	34.9	18.2	6.0	10.9	14.3	14.9	52.7	49.8	59.6	59.6
Prec. Min.		11.2	9.5	8.1	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	4.4	8.5	12.0	22.9

Fuente: SENAMHI

Anexo B.

Análisis de datos dudosos

B.1 Análisis de datos dudosos de la estación Tambobamba

Análisis de datos dudosos por el método de Water Resources Council

Estación: Tambobamba

N° Orden	Año	Precipitación (mm)	log(P)	Resultados	
1	1996	35	1.5441	n	23
2	1997	38.2	1.5821	Kn (nivel de significancia 10%)	2.448
3	1999	25.6	1.4082	Rango de datos dudosos altos	$y_H = \bar{y} + K_n s_y$ 1.84253854
4	2000	42.3	1.6263	Precipitación máxima aceptada	$P_H = 10^{y_H}$ 69.59
5	2001	52.7	1.7218	Rango de datos dudosos bajos	$y_L = \bar{y} - K_n s_y$ 1.33316001
6	2002	39	1.5911	Precipitación mínima aceptada	$P_L = 10^{y_L}$ 21.54
7	2003	48.8	1.6884	Se concluye que los valores de la precipitación máxima en 24 horas de la estación de Tambobamba se encuentran dentro del rango permisible, por tanto, no existen datos dudosos.	
8	2004	36.2	1.5587		
9	2005	54.7	1.7380		
10	2006	34.3	1.5353		
11	2007	28.2	1.4502		
12	2008	30	1.4771		
13	2009	65	1.8129		
14	2010	42.6	1.6294		
15	2011	35.4	1.5490		
16	2012	42.4	1.6274		
17	2013	28.4	1.4533		
18	2014	39.5	1.5966		
19	2015	35.6	1.5514		
20	2016	30.5	1.4843		
21	2017	45	1.6532		
22	2018	54	1.7324		
23	2019	32.3	1.5092		
Máximo		65	1.8129		
Mínimo		25.6	1.4082		
Promedio		39.81	1.5878		
Desv. estandar		9.92	0.1040		

B.2 Análisis de datos dudosos de la estación Curahuasi

Análisis de datos dudosos por el método de Water Resources Council

Estación: Curahuasi

N° Orden	Año	Precipitación (mm)	log(P)
1	1995	25.5	1.4065
2	1996	26	1.4150
3	1997	33.2	1.5211
4	1998	22.9	1.3598
5	1999	28.1	1.4487
6	2000	29.2	1.4654
7	2001	26.2	1.4183
8	2002	34.9	1.5428
9	2003	59.6	1.7752
10	2004	23.6	1.3729
11	2005	29.6	1.4713
12	2006	29.8	1.4742
13	2007	27.6	1.4409
14	2008	27.1	1.4330
15	2009	30.7	1.4871
16	2010	29.6	1.4713
17	2011	29.2	1.4654
18	2012	29.7	1.4728
19	2013	26.7	1.4265
20	2014	26.7	1.4265
21	2015	28.6	1.4564
22	2016	35.3	1.5478
23	2017	29.1	1.4639
24	2018	52.7	1.7218
25	2019	40.9	1.6117
26	2020	23.3	1.3674

Máximo	59.6	1.7752
Mínimo	22.9	1.3598
Promedio	30.99	1.47938
Desv. estandar	8.43	0.09741

Resultados

n	26
Kn (nivel de significancia 10%)	2.502
Rango de datos dudosos altos	$y_H = \bar{y} + K_n s_y$ 1.7230961
Precipitación máxima aceptada	$P_H = 10^{y_H}$ 52.86
Rango de datos dudosos bajos	$y_L = \bar{y} - K_n s_y$ 1.2356549
Precipitación mínima aceptada	$P_L = 10^{y_L}$ 17.21
Existe un valor fuera del rango, perteneciente al años 2003	



Anexo C.

Métodos probabilísticos y prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov

C.1 Estación Tambobamba

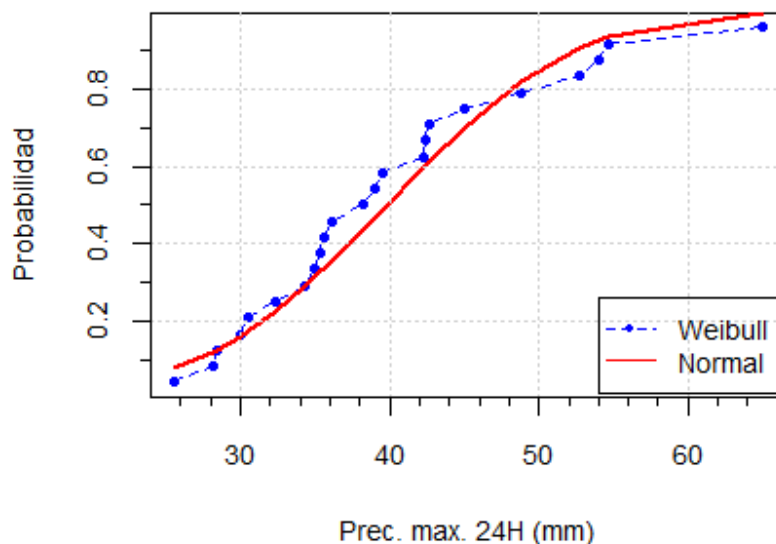
C.1.1 Distribución normal

Parámetro de localización $\mu = 39.8130$

Parámetro de escala $\sigma = 9.9278$

N°	x	P(x)	f(x)	F(x)	F(x) - P(x)
1	25.6	0.0417	0.0144	0.0761	0.0345
2	28.2	0.0833	0.0203	0.1211	0.0377
3	28.4	0.125	0.0208	0.1252	0.0002
4	30	0.1667	0.0247	0.1615	0.0052
5	30.5	0.2083	0.0259	0.1741	0.0342
6	32.3	0.25	0.0302	0.2246	0.0254
7	34.3	0.2917	0.0344	0.2893	0.0023
8	35	0.3333	0.0357	0.3139	0.0194
9	35.4	0.375	0.0364	0.3283	0.0467
10	35.6	0.4167	0.0367	0.3356	0.081
11	36.2	0.4583	0.0376	0.358	0.1004
12	38.2	0.5	0.0397	0.4355	0.0645
13	39	0.5417	0.04	0.4674	0.0743
14	39.5	0.5833	0.0402	0.4874	0.0959
15	42.3	0.625	0.0389	0.5989	0.0261
16	42.4	0.6667	0.0388	0.6028	0.0639
17	42.6	0.7083	0.0386	0.6105	0.0978
18	45	0.75	0.0351	0.6993	0.0507
19	48.8	0.7917	0.0267	0.8173	0.0257
20	52.7	0.8333	0.0173	0.9029	0.0695
21	54	0.875	0.0145	0.9235	0.0485
22	54.7	0.9167	0.0131	0.9331	0.0165
23	65	0.9583	0.0016	0.9944	0.0361

Distribución Normal



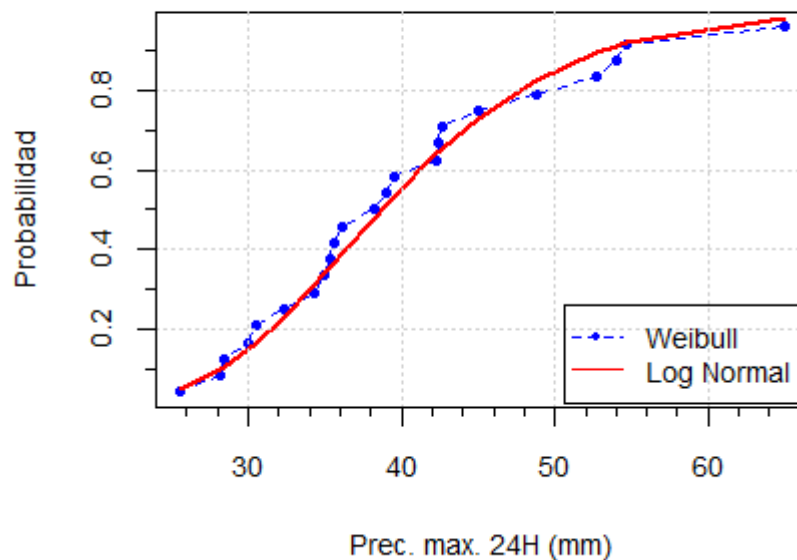
C.1.2 Distribución log-normal

Parámetro de localización $\mu = 3.6562$

Parámetro de escala $\sigma = 0.246$

N°	x	$\ln(x)$	$P(x)$	$f(x)$	$F(x)$	$ F(x) - P(x) $
1	25.6	3.2426	0.0417	0.0154	0.0464	0.0047
2	28.2	3.3393	0.0833	0.0251	0.0989	0.0155
3	28.4	3.3464	0.125	0.0258	0.104	0.021
4	30	3.4012	0.1667	0.0316	0.15	0.0167
5	30.5	3.4177	0.2083	0.0332	0.1662	0.0421
6	32.3	3.4751	0.25	0.0383	0.2308	0.0192
7	34.3	3.5351	0.2917	0.0419	0.3114	0.0197
8	35	3.5553	0.3333	0.0426	0.341	0.0076
9	35.4	3.5667	0.375	0.0429	0.3581	0.0169
10	35.6	3.5723	0.4167	0.043	0.3667	0.05
11	36.2	3.5891	0.4583	0.0432	0.3925	0.0658
12	38.2	3.6428	0.5	0.0424	0.4784	0.0216
13	39	3.6636	0.5417	0.0416	0.512	0.0297
14	39.5	3.6763	0.5833	0.0409	0.5326	0.0507
15	42.3	3.7448	0.625	0.0359	0.6407	0.0157
16	42.4	3.7471	0.6667	0.0357	0.6443	0.0224
17	42.6	3.7519	0.7083	0.0353	0.6514	0.057
18	45	3.8067	0.75	0.0299	0.7297	0.0203
19	48.8	3.8877	0.7917	0.0213	0.8267	0.0351
20	52.7	3.9646	0.8333	0.014	0.8951	0.0617
21	54	3.989	0.875	0.012	0.912	0.037
22	54.7	4.0019	0.9167	0.011	0.92	0.0034
23	65	4.1744	0.9583	0.0027	0.9824	0.0241

Distribución Log Normal



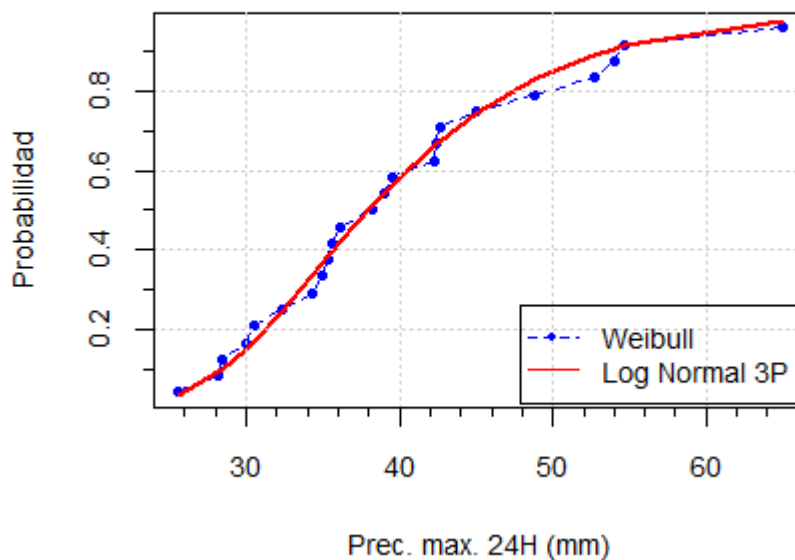
C.1.3 Distribución log-normal 3 parámetros

Parámetros:

Límite inferior (espacio real) $\zeta = 13.4613$
 Media en el espacio del logaritmo natural $\mu = 3.1988$
 Desviación estándar en el espacio del logaritmo natural $\sigma = 0.3813$

N°	x	$\ln(x)$	$P(x)$	$f(x)$	$F(x)$	$ F(x) - P(x) $
1	25.6	3.2426	0.0417	0.0158	0.0327	0.0089
2	28.2	3.3393	0.0833	0.0292	0.0912	0.0079
3	28.4	3.3464	0.125	0.0302	0.0972	0.0278
4	30	3.4012	0.1667	0.0372	0.1513	0.0154
5	30.5	3.4177	0.2083	0.039	0.1703	0.038
6	32.3	3.4751	0.25	0.0438	0.2452	0.0048
7	34.3	3.5351	0.2917	0.0459	0.3355	0.0438
8	35	3.5553	0.3333	0.0459	0.3676	0.0343
9	35.4	3.5667	0.375	0.0457	0.3859	0.0109
10	35.6	3.5723	0.4167	0.0456	0.395	0.0216
11	36.2	3.5891	0.4583	0.0451	0.4223	0.0361
12	38.2	3.6428	0.5	0.0423	0.51	0.01
13	39	3.6636	0.5417	0.0407	0.5432	0.0015
14	39.5	3.6763	0.5833	0.0397	0.5633	0.02
15	42.3	3.7448	0.625	0.0331	0.6654	0.0404
16	42.4	3.7471	0.6667	0.0329	0.6687	0.002
17	42.6	3.7519	0.7083	0.0324	0.6752	0.0331
18	45	3.8067	0.75	0.0266	0.746	0.004
19	48.8	3.8877	0.7917	0.0187	0.8315	0.0399
20	52.7	3.9646	0.8333	0.0124	0.8915	0.0582
21	54	3.989	0.875	0.0108	0.9066	0.0316
22	54.7	4.0019	0.9167	0.01	0.9139	0.0028
23	65	4.1744	0.9583	0.003	0.9744	0.0161

Distribución Log Normal 3P



C.1.4 Distribución gamma

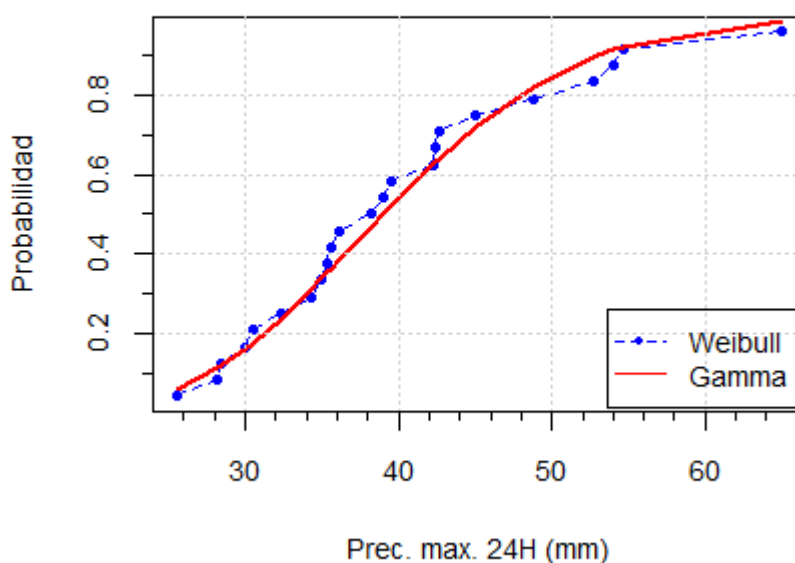
Parámetros

Parámetro de forma: $\alpha = 15.8302$

Parámetro de escala: $\beta = 2.515$

N°	x	P(x)	f(x)	F(x)	F(x) - P(x)
1	25.6	0.0417	0.0162	0.0606	0.0189
2	28.2	0.0833	0.0241	0.1129	0.0295
3	28.4	0.125	0.0247	0.1177	0.0073
4	30	0.1667	0.0295	0.1612	0.0055
5	30.5	0.2083	0.0309	0.1763	0.032
6	32.3	0.25	0.0354	0.2361	0.0139
7	34.3	0.2917	0.0389	0.3107	0.0191
8	35	0.3333	0.0398	0.3383	0.005
9	35.4	0.375	0.0402	0.3543	0.0207
10	35.6	0.4167	0.0403	0.3623	0.0543
11	36.2	0.4583	0.0407	0.3867	0.0717
12	38.2	0.5	0.0408	0.4684	0.0316
13	39	0.5417	0.0404	0.5009	0.0408
14	39.5	0.5833	0.04	0.521	0.0624
15	42.3	0.625	0.0362	0.6282	0.0032
16	42.4	0.6667	0.0361	0.6318	0.0349
17	42.6	0.7083	0.0357	0.639	0.0694
18	45	0.75	0.031	0.7192	0.0308
19	48.8	0.7917	0.0228	0.8214	0.0297
20	52.7	0.8333	0.0151	0.8948	0.0614
21	54	0.875	0.0129	0.913	0.038
22	54.7	0.9167	0.0118	0.9216	0.005
23	65	0.9583	0.0025	0.9862	0.0279

Distribución Gamma



C.1.5 Distribución Pearson III o gamma de 3 parámetros

Parámetros

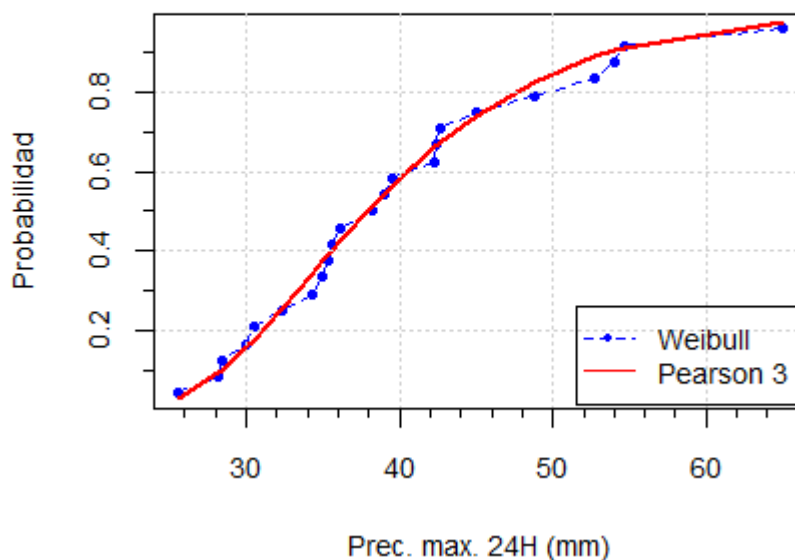
parámetro de posición: $\xi = 21.3778$

parámetro de escala: $\beta = 5.7806$

parámetro de forma: $\alpha = 3.1892$

N°	x	$P(x)$	$f(x)$	$F(x)$	$ F(x) - P(x) $
1	25.6	0.0417	0.0175	0.0278	0.0139
2	28.2	0.0833	0.0319	0.0927	0.0094
3	28.4	0.125	0.0328	0.0992	0.0258
4	30	0.1667	0.039	0.1568	0.0098
5	30.5	0.2083	0.0404	0.1767	0.0316
6	32.3	0.25	0.0439	0.253	0.003
7	34.3	0.2917	0.0449	0.3423	0.0506
8	35	0.3333	0.0446	0.3736	0.0403
9	35.4	0.375	0.0444	0.3914	0.0164
10	35.6	0.4167	0.0442	0.4003	0.0164
11	36.2	0.4583	0.0436	0.4266	0.0317
12	38.2	0.5	0.0407	0.5112	0.0112
13	39	0.5417	0.0393	0.5432	0.0016
14	39.5	0.5833	0.0383	0.5626	0.0207
15	42.3	0.625	0.0323	0.6616	0.0366
16	42.4	0.6667	0.0321	0.6648	0.0019
17	42.6	0.7083	0.0316	0.6712	0.0372
18	45	0.75	0.0264	0.7408	0.0092
19	48.8	0.7917	0.019	0.8266	0.0349
20	52.7	0.8333	0.0129	0.8882	0.0549
21	54	0.875	0.0113	0.904	0.029
22	54.7	0.9167	0.0105	0.9116	0.0051
23	65	0.9583	0.0032	0.9754	0.0171

Distribución Pearson tipo 3



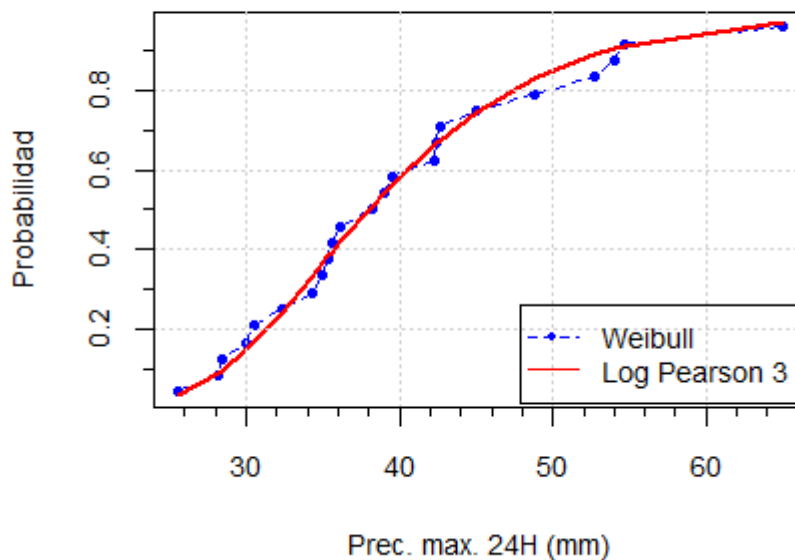
C.1.6 Distribución log-Pearson tipo III

Parámetros

Parámetro de posición: $\xi = 2.5698$
 Parámetro de escala: $\beta = 0.0564$
 parámetro de forma: $\alpha = 19.2529$

N°	x	$\ln(x)$	$P(x)$	$f(x)$	$F(x)$	$ F(x) - P(x) $
1	25.6	3.2426	0.0417	0.0152	0.0309	0.0108
2	28.2	3.3393	0.0833	0.0289	0.0881	0.0047
3	28.4	3.3464	0.125	0.0299	0.094	0.031
4	30	3.4012	0.1667	0.0372	0.1478	0.0189
5	30.5	3.4177	0.2083	0.0391	0.1669	0.0415
6	32.3	3.4751	0.25	0.0441	0.2422	0.0078
7	34.3	3.5351	0.2917	0.0463	0.3331	0.0414
8	35	3.5553	0.3333	0.0463	0.3655	0.0322
9	35.4	3.5667	0.375	0.0461	0.384	0.009
10	35.6	3.5723	0.4167	0.046	0.3932	0.0235
11	36.2	3.5891	0.4583	0.0455	0.4206	0.0377
12	38.2	3.6428	0.5	0.0425	0.5088	0.0088
13	39	3.6636	0.5417	0.0408	0.5422	0.0005
14	39.5	3.6763	0.5833	0.0397	0.5623	0.021
15	42.3	3.7448	0.625	0.033	0.6643	0.0393
16	42.4	3.7471	0.6667	0.0327	0.6676	0.0009
17	42.6	3.7519	0.7083	0.0323	0.6741	0.0342
18	45	3.8067	0.75	0.0264	0.7444	0.0056
19	48.8	3.8877	0.7917	0.0185	0.8292	0.0375
20	52.7	3.9646	0.8333	0.0123	0.8885	0.0552
21	54	3.989	0.875	0.0107	0.9035	0.0285
22	54.7	4.0019	0.9167	0.0099	0.9107	0.006
23	65	4.1744	0.9583	0.0031	0.9715	0.0132

Distribución Log Pearson 3



C.1.7 Distribución Gumbel

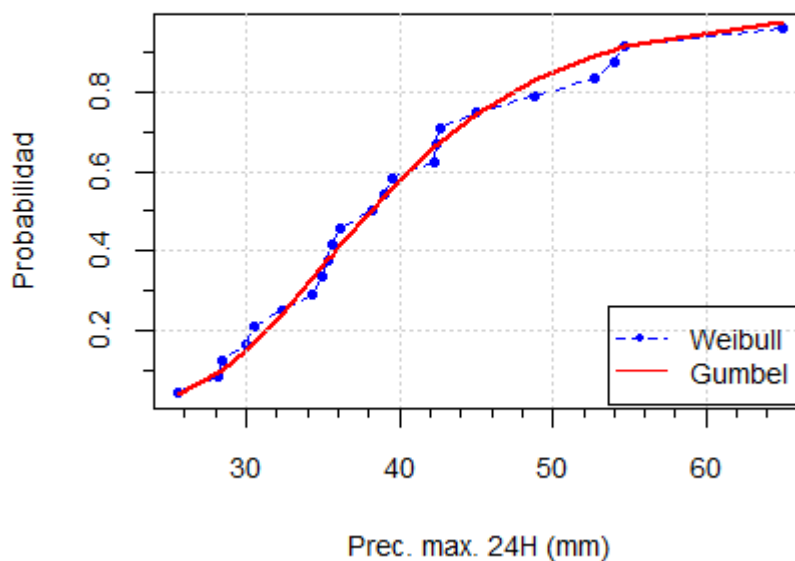
Parámetros

parámetro de localización: $\xi = 35.1487$

parámetro de escala: $\alpha = 8.0808$

N°	x	$P(x)$	$f(x)$	$F(x)$	$ F(x) - P(x) $
1	25.6	0.0417	0.0155	0.0384	0.0033
2	28.2	0.0833	0.0275	0.0941	0.0108
3	28.4	0.125	0.0285	0.0997	0.0253
4	30	0.1667	0.0353	0.1509	0.0158
5	30.5	0.2083	0.0372	0.169	0.0393
6	32.3	0.25	0.0424	0.2411	0.0089
7	34.3	0.2917	0.0453	0.3293	0.0376
8	35	0.3333	0.0455	0.3611	0.0278
9	35.4	0.375	0.0455	0.3793	0.0043
10	35.6	0.4167	0.0455	0.3884	0.0283
11	36.2	0.4583	0.0452	0.4156	0.0427
12	38.2	0.5	0.0427	0.5038	0.0038
13	39	0.5417	0.0413	0.5375	0.0042
14	39.5	0.5833	0.0403	0.5579	0.0255
15	42.3	0.625	0.0338	0.6618	0.0368
16	42.4	0.6667	0.0336	0.6652	0.0015
17	42.6	0.7083	0.0331	0.6719	0.0365
18	45	0.75	0.0272	0.7442	0.0058
19	48.8	0.7917	0.019	0.8314	0.0397
20	52.7	0.8333	0.0126	0.8923	0.059
21	54	0.875	0.0109	0.9075	0.0325
22	54.7	0.9167	0.0101	0.9149	0.0018
23	65	0.9583	0.003	0.9754	0.0171

Distribución Gumbel



C.2 Estación Curahuasi

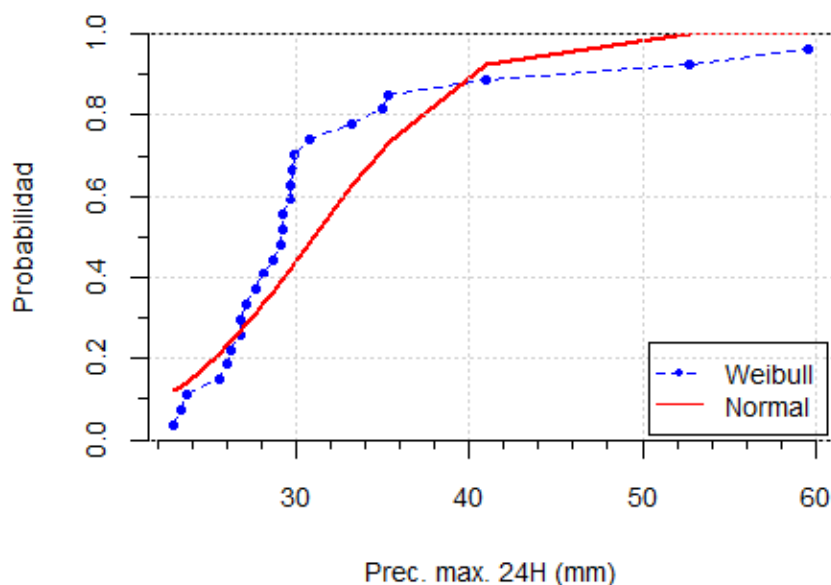
C.2.1 Distribución normal

Parámetro de localización $\mu = 30.99231$

Parámetro de escala $\sigma = 6.90548$

N°	x	P(x)	f(x)	F(x)	F(x) - P(x)
1	22.9	0.037	0.0291	0.1206	0.0836
2	23.3	0.0741	0.0311	0.1327	0.0586
3	23.6	0.1111	0.0326	0.1422	0.0311
4	25.5	0.1481	0.0421	0.2132	0.0651
5	26	0.1852	0.0445	0.2349	0.0497
6	26.2	0.2222	0.0454	0.2438	0.0216
7	26.7	0.2593	0.0476	0.2671	0.0078
8	26.7	0.2963	0.0476	0.2671	0.0292
9	27.1	0.3333	0.0493	0.2865	0.0468
10	27.6	0.3704	0.0512	0.3116	0.0587
11	28.1	0.4074	0.0529	0.3377	0.0697
12	28.6	0.4444	0.0544	0.3645	0.0799
13	29.1	0.4815	0.0556	0.392	0.0895
14	29.2	0.5185	0.0559	0.3976	0.1209
15	29.2	0.5556	0.0559	0.3976	0.1579
16	29.6	0.5926	0.0566	0.4201	0.1725
17	29.6	0.6296	0.0566	0.4201	0.2095
18	29.7	0.6667	0.0568	0.4258	0.2409
19	29.8	0.7037	0.0569	0.4315	0.2722
20	30.7	0.7407	0.0577	0.4831	0.2576
21	33.2	0.7778	0.0549	0.6254	0.1524
22	34.9	0.8148	0.0492	0.7143	0.1006
23	35.3	0.8519	0.0476	0.7336	0.1182
24	40.9	0.8889	0.0206	0.9243	0.0354
25	52.7	0.9259	0.0004	0.9992	0.0732
26	59.6	0.963	0	1	0.037

Distribución Normal



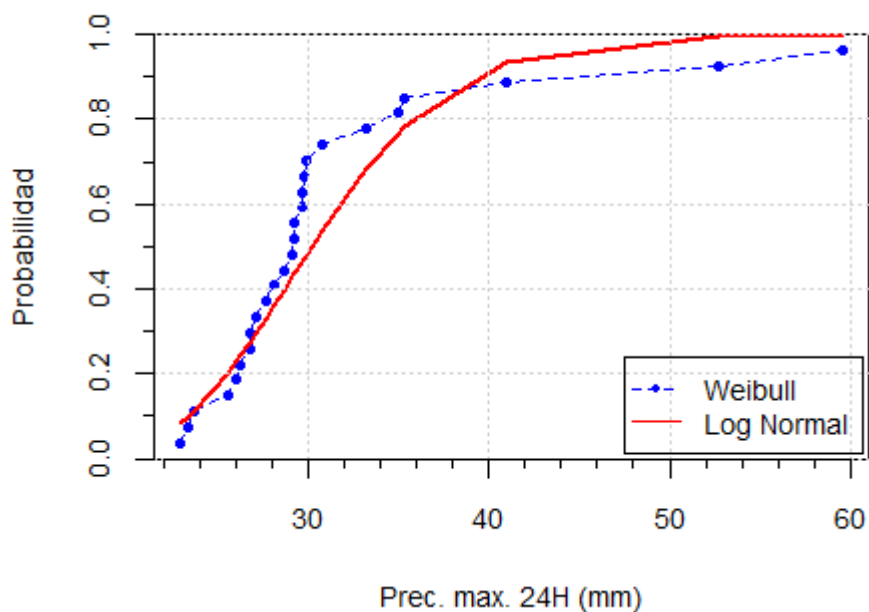
C.2.2 Distribución log-normal

Parámetro de localización $\mu = 3.406388$

Parámetro de escala $\sigma = 0.20078$

N°	x	ln(x)	P(x)	f(x)	F(x)	F(x) - P(x)
1	22.9	3.1311	0.037	0.0339	0.0852	0.0482
2	23.3	3.1485	0.0741	0.0374	0.0995	0.0254
3	23.6	3.1612	0.1111	0.04	0.1111	0.0001
4	25.5	3.2387	0.1481	0.055	0.2018	0.0536
5	26	3.2581	0.1852	0.0582	0.2301	0.0449
6	26.2	3.2658	0.2222	0.0593	0.2418	0.0196
7	26.7	3.2847	0.2593	0.0619	0.2722	0.0129
8	26.7	3.2847	0.2963	0.0619	0.2722	0.0241
9	27.1	3.2995	0.3333	0.0636	0.2973	0.036
10	27.6	3.3178	0.3704	0.0653	0.3296	0.0408
11	28.1	3.3358	0.4074	0.0665	0.3625	0.0449
12	28.6	3.3534	0.4444	0.0671	0.3959	0.0485
13	29.1	3.3707	0.4815	0.0672	0.4295	0.0519
14	29.2	3.3742	0.5185	0.0672	0.4363	0.0823
15	29.2	3.3742	0.5556	0.0672	0.4363	0.1193
16	29.6	3.3878	0.5926	0.0668	0.4631	0.1295
17	29.6	3.3878	0.6296	0.0668	0.4631	0.1666
18	29.7	3.3911	0.6667	0.0667	0.4697	0.1969
19	29.8	3.3945	0.7037	0.0666	0.4764	0.2273
20	30.7	3.4243	0.7407	0.0645	0.5355	0.2053
21	33.2	3.5025	0.7778	0.0534	0.684	0.0938
22	34.9	3.5525	0.8148	0.0437	0.7666	0.0482
23	35.3	3.5639	0.8519	0.0414	0.7836	0.0682
24	40.9	3.7111	0.8889	0.0154	0.9355	0.0466
25	52.7	3.9646	0.9259	0.0008	0.9973	0.0714
26	59.6	4.0877	0.963	0.0001	0.9997	0.0367

Distribución Log Normal



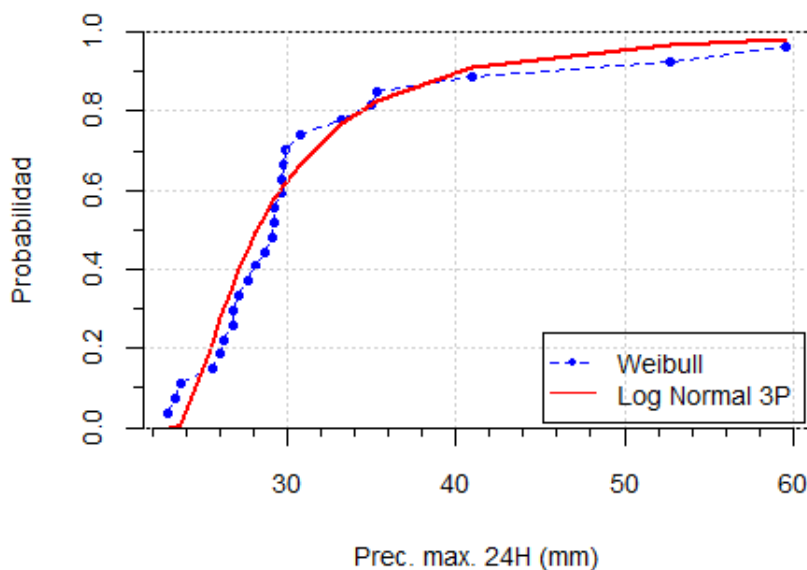
C.2.3 Distribución log-normal 3 parámetros

Parámetros:

Límite inferior (espacio real) $\zeta = 23.12511$
 Media en el espacio del logaritmo natural $\mu = 1.617828$
 Desviación estándar en el espacio del logaritmo natural $\sigma = 0.9432645$

N°	x	ln(x)	P(x)	f(x)	F(x)	F(x) - P(x)
1	22.9	3.1311	0.037	NaN	0	0.037
2	23.3	3.1485	0.0741	0.0042	0.0002	0.0739
3	23.6	3.1612	0.1111	0.0387	0.0061	0.105
4	25.5	3.2387	0.1481	0.1295	0.2124	0.0642
5	26	3.2581	0.1852	0.1232	0.2757	0.0905
6	26.2	3.2658	0.2222	0.1199	0.3	0.0778
7	26.7	3.2847	0.2593	0.1107	0.3577	0.0985
8	26.7	3.2847	0.2963	0.1107	0.3577	0.0614
9	27.1	3.2995	0.3333	0.1031	0.4005	0.0671
10	27.6	3.3178	0.3704	0.0938	0.4497	0.0793
11	28.1	3.3358	0.4074	0.085	0.4943	0.0869
12	28.6	3.3534	0.4444	0.077	0.5348	0.0903
13	29.1	3.3707	0.4815	0.0696	0.5714	0.0899
14	29.2	3.3742	0.5185	0.0683	0.5783	0.0598
15	29.2	3.3742	0.5556	0.0683	0.5783	0.0227
16	29.6	3.3878	0.5926	0.0631	0.6046	0.012
17	29.6	3.3878	0.6296	0.0631	0.6046	0.0251
18	29.7	3.3911	0.6667	0.0618	0.6108	0.0559
19	29.8	3.3945	0.7037	0.0606	0.6169	0.0868
20	30.7	3.4243	0.7407	0.0509	0.6669	0.0738
21	33.2	3.5025	0.7778	0.0321	0.7685	0.0093
22	34.9	3.5525	0.8148	0.024	0.8157	0.0009
23	35.3	3.5639	0.8519	0.0224	0.825	0.0269
24	40.9	3.7111	0.8889	0.0098	0.9092	0.0203
25	52.7	3.9646	0.9259	0.0025	0.9696	0.0437
26	59.6	4.0877	0.963	0.0013	0.982	0.0191

Distribución Log Normal 3P



C.2.4 Distribución gamma

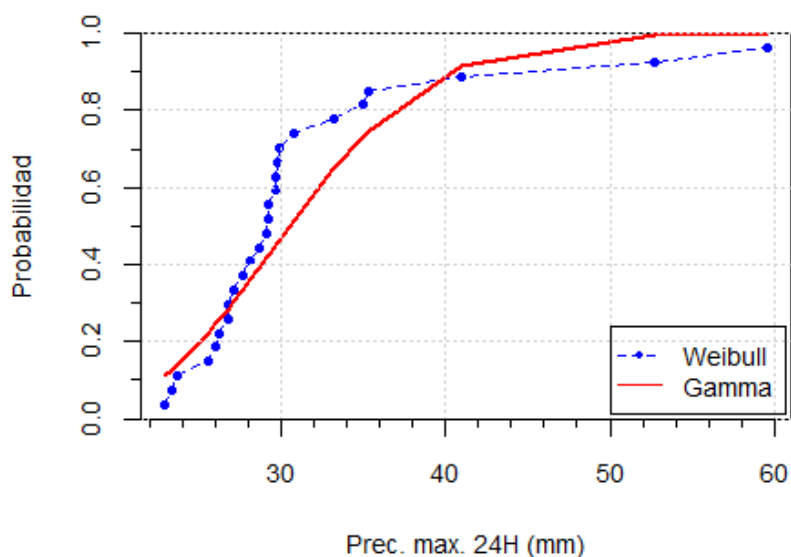
Parámetros

Parámetro de forma: $\alpha = 19.89134$

Parámetro de escala: $\beta = 1.558081$

Nº	x	$P(x)$	$f(x)$	$F(x)$	$ F(x) - P(x) $
1	22.9	0.037	0.0339	0.1135	0.0764
2	23.3	0.0741	0.0364	0.1275	0.0535
3	23.6	0.1111	0.0382	0.1387	0.0276
4	25.5	0.1481	0.0487	0.2217	0.0735
5	26	0.1852	0.051	0.2466	0.0614
6	26.2	0.2222	0.0519	0.2569	0.0347
7	26.7	0.2593	0.0538	0.2833	0.0241
8	26.7	0.2963	0.0538	0.2833	0.013
9	27.1	0.3333	0.0551	0.3051	0.0282
10	27.6	0.3704	0.0564	0.333	0.0374
11	28.1	0.4074	0.0575	0.3615	0.0459
12	28.6	0.4444	0.0582	0.3904	0.054
13	29.1	0.4815	0.0586	0.4196	0.0619
14	29.2	0.5185	0.0586	0.4255	0.093
15	29.2	0.5556	0.0586	0.4255	0.1301
16	29.6	0.5926	0.0586	0.4489	0.1436
17	29.6	0.6296	0.0586	0.4489	0.1807
18	29.7	0.6667	0.0586	0.4548	0.2119
19	29.8	0.7037	0.0586	0.4607	0.243
20	30.7	0.7407	0.0577	0.513	0.2277
21	33.2	0.7778	0.0509	0.6498	0.128
22	34.9	0.8148	0.0439	0.7305	0.0843
23	35.3	0.8519	0.0421	0.7477	0.1041
24	40.9	0.8889	0.0187	0.9147	0.0258
25	52.7	0.9259	0.0012	0.9962	0.0703
26	59.6	0.963	0.0001	0.9996	0.0366

Distribución Gamma



C.2.5 Distribución Pearson III o gamma de 3 parámetros

Parámetros

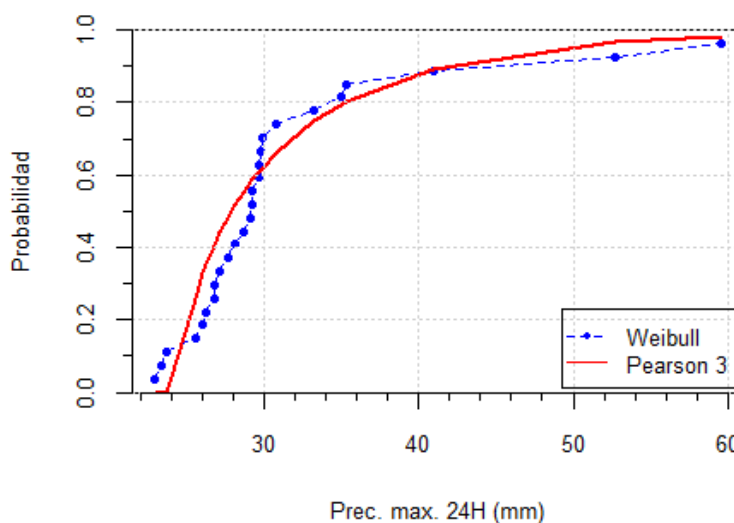
parámetro de posición: $\xi = 24.63076$

parámetro de escala: $\beta = 11.24961$

parámetro de forma: $\alpha = 0.5654908$

Nº	x	P(x)	f(x)	F(x)	F(x) - P(x)
1	22.9	0.037	0.1092	0	0.037
2	23.3	0.0741	0.1268	0	0.0741
3	23.6	0.1111	0.1456	0	0.1111
4	25.5	0.1481	0.159	0.2569	0.1087
5	26	0.1852	0.1249	0.327	0.1418
6	26.2	0.2222	0.1156	0.351	0.1288
7	26.7	0.2593	0.0981	0.4041	0.1449
8	26.7	0.2963	0.0981	0.4041	0.1079
9	27.1	0.3333	0.0876	0.4412	0.1079
10	27.6	0.3704	0.0774	0.4824	0.112
11	28.1	0.4074	0.0692	0.5189	0.1115
12	28.6	0.4444	0.0624	0.5518	0.1073
13	29.1	0.4815	0.0567	0.5815	0.1
14	29.2	0.5185	0.0557	0.5871	0.0686
15	29.2	0.5556	0.0557	0.5871	0.0316
16	29.6	0.5926	0.0518	0.6086	0.016
17	29.6	0.6296	0.0518	0.6086	0.021
18	29.7	0.6667	0.0509	0.6137	0.0529
19	29.8	0.7037	0.05	0.6188	0.0849
20	30.7	0.7407	0.0431	0.6605	0.0802
21	33.2	0.7778	0.0297	0.75	0.0278
22	34.9	0.8148	0.0236	0.795	0.0198
23	35.3	0.8519	0.0224	0.8042	0.0476
24	40.9	0.8889	0.0113	0.8945	0.0057
25	52.7	0.9259	0.0031	0.969	0.043
26	59.6	0.963	0.0015	0.9844	0.0215

Distribución Pearson tipo 3



C.2.6 Distribución log-Pearson tipo III

Parámetros

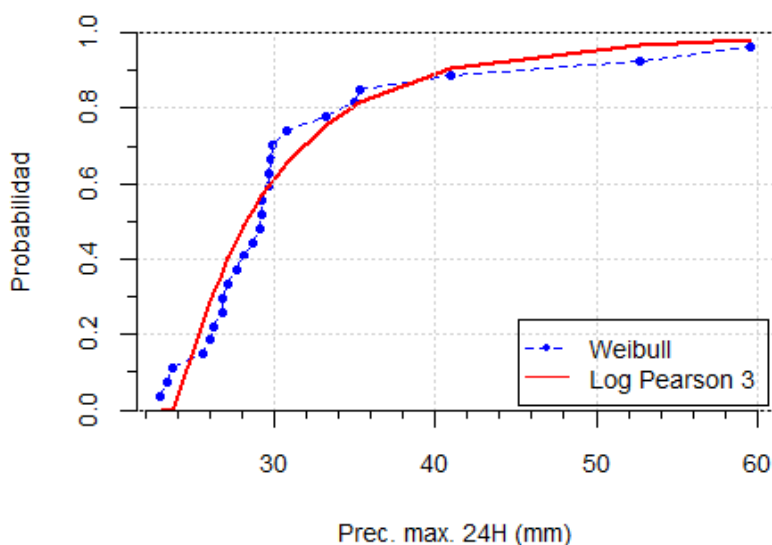
Parámetro de posición: $\xi = 3.170362$

Parámetro de escala: $\beta = 0.2125705$

parámetro de forma: $\alpha = 1.110342$

N°	x	$\ln(x)$	$P(x)$	$f(x)$	$F(x)$	$ F(x) - P(x) $
1	22.9	3.1311	0.037	0.1496	0	0.037
2	23.3	3.1485	0.0741	0.1496	0	0.0741
3	23.6	3.1612	0.1111	0.1424	0	0.1111
4	25.5	3.2387	0.1481	0.1246	0.2286	0.0804
5	26	3.2581	0.1852	0.1147	0.2884	0.1032
6	26.2	3.2658	0.2222	0.1108	0.3109	0.0887
7	26.7	3.2847	0.2593	0.1015	0.364	0.1047
8	26.7	3.2847	0.2963	0.1015	0.364	0.0677
9	27.1	3.2995	0.3333	0.0945	0.4031	0.0698
10	27.6	3.3178	0.3704	0.0864	0.4483	0.0779
11	28.1	3.3358	0.4074	0.079	0.4896	0.0822
12	28.6	3.3534	0.4444	0.0722	0.5274	0.0829
13	29.1	3.3707	0.4815	0.0661	0.5619	0.0804
14	29.2	3.3742	0.5185	0.0649	0.5685	0.0499
15	29.2	3.3742	0.5556	0.0649	0.5685	0.0129
16	29.6	3.3878	0.5926	0.0605	0.5935	0.0009
17	29.6	3.3878	0.6296	0.0605	0.5935	0.0361
18	29.7	3.3911	0.6667	0.0594	0.5995	0.0671
19	29.8	3.3945	0.7037	0.0584	0.6054	0.0983
20	30.7	3.4243	0.7407	0.05	0.6541	0.0867
21	33.2	3.5025	0.7778	0.0329	0.756	0.0218
22	34.9	3.5525	0.8148	0.0252	0.805	0.0098
23	35.3	3.5639	0.8519	0.0236	0.8148	0.0371
24	40.9	3.7111	0.8889	0.0106	0.9049	0.0161
25	52.7	3.9646	0.9259	0.0026	0.9702	0.0443
26	59.6	4.0877	0.963	0.0013	0.9831	0.0201

Distribución Log Pearson 3



C.2.7 Distribución Gumbel

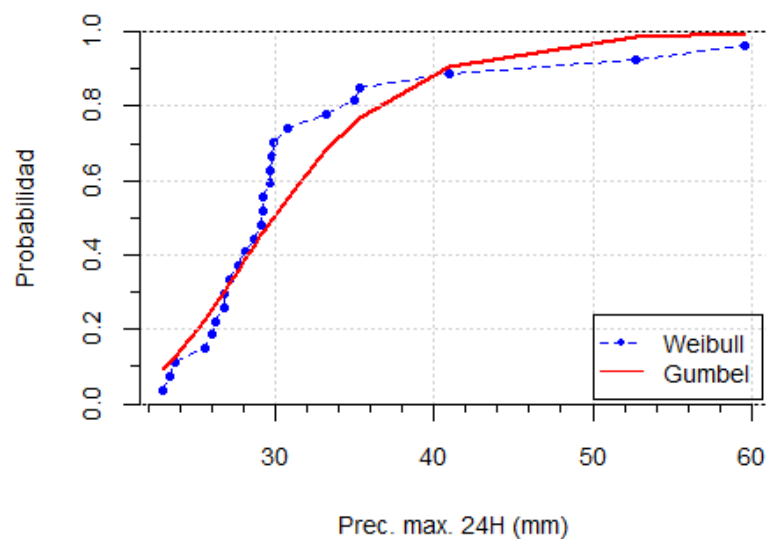
Parámetros

parámetro de localización : $\xi = 27.74793$

parámetro de escala: $\alpha = 5.62074$

N°	x	$P(x)$	$f(x)$	$F(x)$	$ F(x) - P(x) $
1	22.9	0.037	0.0394	0.0936	0.0565
2	23.3	0.0741	0.0432	0.1101	0.036
3	23.6	0.1111	0.046	0.1235	0.0124
4	25.5	0.1481	0.0597	0.225	0.0768
5	26	0.1852	0.062	0.2554	0.0703
6	26.2	0.2222	0.0628	0.2679	0.0457
7	26.7	0.2593	0.0642	0.2997	0.0404
8	26.7	0.2963	0.0642	0.2997	0.0034
9	27.1	0.3333	0.065	0.3256	0.0078
10	27.6	0.3704	0.0654	0.3582	0.0122
11	28.1	0.4074	0.0653	0.3909	0.0165
12	28.6	0.4444	0.0647	0.4234	0.021
13	29.1	0.4815	0.0637	0.4556	0.0259
14	29.2	0.5185	0.0635	0.4619	0.0566
15	29.2	0.5556	0.0635	0.4619	0.0936
16	29.6	0.5926	0.0623	0.4871	0.1055
17	29.6	0.6296	0.0623	0.4871	0.1425
18	29.7	0.6667	0.062	0.4933	0.1733
19	29.8	0.7037	0.0617	0.4995	0.2042
20	30.7	0.7407	0.0582	0.5535	0.1872
21	33.2	0.7778	0.0462	0.6845	0.0933
22	34.9	0.8148	0.0377	0.7557	0.0591
23	35.3	0.8519	0.0358	0.7704	0.0815
24	40.9	0.8889	0.0156	0.9082	0.0193
25	52.7	0.9259	0.0021	0.9883	0.0623
26	59.6	0.963	0.0006	0.9965	0.0336

Distribución Gumbel



Anexo D.

Prueba Chi cuadrado

D.1 Estación Tambobamba

C.1.1 Distribución normal

N°	Límite inferior I_i	Límite superior S_i	Número observado θ_i	Número esperado ϵ_i	$\frac{(\theta_i - \epsilon_i)^2}{\epsilon_i}$
1	25.6	32.1667	5	3.3228	0.8466
2	32.1667	38.7333	7	5.4304	0.4537
3	38.7333	45.3	6	5.8204	0.0055
4	45.3	51.8667	1	4.0915	2.3359
5	51.8667	58.4333	3	1.8858	0.6583
6	58.4333	65	1	0.5696	0.3251
D=					4.6251

Considerando $k = 6$ y $m = 2$, entonces $\nu = 3$

$$\chi_{0.95,3}^2 = 7.8147$$

Como $D < \chi^2$, se acepta

D.1.2 Distribución log-normal 2 parámetros

N°	Límite inferior I_i	Límite superior S_i	Número observado θ_i	Número esperado ϵ_i	$\frac{(\theta_i - \epsilon_i)^2}{\epsilon_i}$
1	25.6	32.1667	5	4.1255	0.1854
2	32.1667	38.7333	7	6.3284	0.0713
3	38.7333	45.3	6	5.4661	0.0521
4	45.3	51.8667	1	3.3182	1.6196
5	51.8667	58.4333	3	1.6124	1.1942
6	58.4333	65	1	0.6789	0.1519
D=					3.2745

Considerando $k = 6$ y $m = 2$, entonces $\nu = 3$

$$\chi_{0.95,3}^2 = 7.8147$$

Como $D < \chi^2$, se acepta

D.1.3 Distribución Log-normal 3 parámetros

N°	Límite inferior I_i	Límite superior S_i	Número observado θ_i	Número esperado ϵ_i	$\frac{(\theta_i - \epsilon_i)^2}{\epsilon_i}$
1	25.6	32.1667	5	4.7541	0.0127
2	32.1667	38.7333	7	6.735	0.0104
3	38.7333	45.3	6	5.097	0.16
4	45.3	51.8667	1	2.9171	1.2599
5	51.8667	58.4333	3	1.4642	1.611

6	58.4333	65	1	0.6911	0.138
D=					3.1920

Considerando $k = 6$ y $m = 3$, entonces $v = 2$

$$\chi_{0.95,2}^2 = 5.9915$$

Como $D < \chi^2$, se acepta

D.1.4 Distribución gamma

N°	Límite inferior I_i	Límite superior S_i	Número observado θ_i	Número esperado ϵ_i	$\frac{(\theta_i - \epsilon_i)^2}{\epsilon_i}$
1	25.6	32.1667	5	3.9302	0.2912
2	32.1667	38.7333	7	5.9491	0.1856
3	38.7333	45.3	6	5.4807	0.0492
4	45.3	51.8667	1	3.5225	1.8064
5	51.8667	58.4333	3	1.7247	0.943
6	58.4333	65	1	0.6829	0.1472
D=					3.4227

Considerando $k = 6$ y $m = 2$, entonces $v = 3$

$$\chi_{0.95,3}^2 = 7.8147$$

Como $D < \chi^2$, se acepta

D.1.5 Distribución Pearson III

N°	Límite inferior I_i	Límite superior S_i	Número observado θ_i	Número esperado ϵ_i	$\frac{(\theta_i - \epsilon_i)^2}{\epsilon_i}$
1	25.6	32.1667	5	5.045	0.0004
2	32.1667	38.7333	7	6.5673	0.0285
3	38.7333	45.3	6	4.9663	0.2151
4	45.3	51.8667	1	2.9527	1.2914
5	51.8667	58.4333	3	1.5336	1.4023
6	58.4333	65	1	0.7304	0.0995
D=					3.0372

Considerando $k = 6$ y $m = 3$, entonces $v = 2$

$$\chi_{0.95,2}^2 = 5.9914$$

Como $D < \chi^2$, se acepta

D.1.6 Distribución log-Pearson III

N°	Límite inferior I_i	Límite superior S_i	Número observado θ_i	Número esperado ϵ_i	$\frac{(\theta_i - \epsilon_i)^2}{\epsilon_i}$
1	25.6	32.1667	5	4.7251	0.016
2	32.1667	38.7333	7	6.7822	0.007
3	38.7333	45.3	6	5.0849	0.1647
4	45.3	51.8667	1	2.8868	1.2332
5	51.8667	58.4333	3	1.4553	1.6397
6	58.4333	65	1	0.7008	0.1277
D=					3.1883

Considerando $k = 6$ y $m = 3$, entonces $v = 2$

$$\chi_{0.95,2}^2 = 5.9914$$

Como $D < \chi^2$, se acepta

D.1.7 Distribución Gumbel

N°	Límite inferior I_i	Límite superior S_i	Número observado θ_i	Número esperado ϵ_i	$\frac{(\theta_i - \epsilon_i)^2}{\epsilon_i}$
1	25.6	32.1667	5	4.5318	0.0484
2	32.1667	38.7333	7	6.6919	0.0142
3	38.7333	45.3	6	5.1942	0.125
4	45.3	51.8667	1	2.9694	1.3061
5	51.8667	58.4333	3	1.4758	1.5741
6	58.4333	65	1	0.6888	0.1406
D=					3.2084

Considerando $k = 6$ y $m = 2$, entonces $v = 3$

$$\chi_{0.95,3}^2 = 7.8147$$

Como $D < \chi^2$, se acepta

D.2 Estación Curahuasi

D.2.1 Distribución normal

N°	Límite inferior I_i	Límite superior S_i	Número observado θ_i	Número esperado ϵ_i	$\frac{(\theta_i - \epsilon_i)^2}{\epsilon_i}$
1	22.9	29.0167	12	6.9362	3.6969
2	29.0167	35.1333	10	8.7941	0.1653
3	35.1333	41.25	2	5.3469	2.095
4	41.25	47.3667	0	1.5561	1.5561
5	47.3667	53.4833	1	0.2158	2.8487
6	53.4833	59.6	1	0.0142	68.4747
D=					78.8367

Considerando $k = 6$ y $m = 2$, entonces $v = 3$

$$\chi_{0.95,3}^2 = 7.8147$$

Como $D > \chi^2$, no se acepta

D.2.2 Distribución log-normal

N°	Límite inferior I_i	Límite superior S_i	Número observado θ_i	Número esperado ϵ_i	$\frac{(\theta_i - \epsilon_i)^2}{\epsilon_i}$
1	22.9	29.0167	12	8.807	1.1576
2	29.0167	35.1333	10	9.17	0.0751
3	35.1333	41.25	2	4.2646	1.2025
4	41.25	47.3667	0	1.2244	1.2244
5	47.3667	53.4833	1	0.2626	2.0707
6	53.4833	59.6	1	0.0472	19.2429
D=					24.9733

Considerando $k = 6$ y $m = 2$, entonces $v = 3$

$$\chi_{0.95,3}^2 = 7.8147$$

Como $D > \chi^2$, no se acepta

D.2.3 Distribución log-normal 3P

N°	Límite inferior I_i	Límite superior S_i	Número observado θ_i	Número esperado ϵ_i	$\frac{(\theta_i - \epsilon_i)^2}{\epsilon_i}$
1	22.9	29.0167	12	14.7043	0.4974
2	29.0167	35.1333	10	6.647	1.6914
3	35.1333	41.25	2	2.3742	0.059
4	41.25	47.3667	0	1.0269	1.0269
5	47.3667	53.4833	1	0.5065	0.4808
6	53.4833	59.6	1	0.2742	1.9214
D=					5.6769

Considerando $k = 6$ y $m = 3$, entonces $v = 2$

$$\chi_{0.95,2}^2 = 5.9915$$

Como $D < \chi^2$, se acepta

D.2.4 Distribución gamma

Nº	Límite inferior I_i	Límite superior S_i	Número observado θ_i	Número esperado ϵ_i	$\frac{(\theta_i - \epsilon_i)^2}{\epsilon_i}$
1	22.9	29.0167	12	7.833	2.2168
2	29.0167	35.1333	10	8.4731	0.2752
3	35.1333	41.25	2	4.6897	1.5427
4	41.25	47.3667	0	1.5979	1.5979
5	47.3667	53.4833	1	0.3778	1.0245
6	53.4833	59.6	1	0.0673	12.9362
D=					19.5932

Considerando $k = 6$ y $m = 2$, entonces $v = 3$

$$\chi_{0.95,3}^2 = 7.8147$$

Como $D > \chi^2$, no se acepta

D.2.5 Distribución Pearson III

Nº	Límite inferior I_i	Límite superior S_i	Número observado θ_i	Número esperado ϵ_i	$\frac{(\theta_i - \epsilon_i)^2}{\epsilon_i}$
1	22.9	29.0167	12	14.9951	0.5982
2	29.0167	35.1333	10	5.8165	3.0089
3	35.1333	41.25	2	2.5476	0.1177
4	41.25	47.3667	0	1.251	1.251
5	47.3667	53.4833	1	0.6441	0.1967
6	53.4833	59.6	1	0.3404	1.2778
D=					6.4502

Considerando $k = 6$ y $m = 3$, entonces $v = 2$

$$\chi_{0.95,2}^2 = 5.9914$$

Como $D > \chi^2$, no se acepta

D.2.6 Distribución log-Pearson III

Nº	Límite inferior I_i	Límite superior S_i	Número observado θ_i	Número esperado ϵ_i	$\frac{(\theta_i - \epsilon_i)^2}{\epsilon_i}$
1	22.9	29.0167	12	14.4657	0.4203
2	29.0167	35.1333	10	6.6151	1.732
3	35.1333	41.25	2	2.5419	0.1155
4	41.25	47.3667	0	1.1127	1.1127
5	47.3667	53.4833	1	0.54	0.3918
6	53.4833	59.6	1	0.2842	1.8026
D=					5.5750

Considerando $k = 6$ y $m = 3$, entonces $v = 2$

$$\chi_{0.95,2}^2 = 5.9914$$

Como $D < \chi^2$, se acepta

D.2.7 Distribución Gumbel

N°	Límite inferior I_i	Límite superior S_i	Número observado θ_i	Número esperado ϵ_i	$\frac{(\theta_i - \epsilon_i)^2}{\epsilon_i}$
1	22.9	29.0167	12	9.274	0.8013
2	29.0167	35.1333	10	8.1659	0.4119
3	35.1333	41.25	2	3.8773	0.9089
4	41.25	47.3667	0	1.4694	1.4694
5	47.3667	53.4833	1	0.5151	0.4565
6	53.4833	59.6	1	0.1759	3.8624
D=					7.9105

Considerando $k = 6$ y $m = 2$, entonces $v = 3$


$$\chi_{0.95,3}^2 = 7.8147$$

Como $D > \chi^2$, no se acepta

Anexo E.

Solicitud de datos de precipitación máxima en 24 horas

25/10/22, 20:40 Gmail - Solicitud de información pluviométrica para ejecución de proyecto de tesis

 Rogelio Quispe Paucara <roquipa307@gmail.com>






Solicitud de información pluviométrica para ejecución de proyecto de tesis
1 mensaje

Rogelio Quispe Paucara <roquipa307@gmail.com> 5 de mayo de 2021, 16:06
Para: mhuilca@senamhi.gob.pe

Buenas tardes, por favor si podría acceder a los solicitado, adjunto los respectivos archivos.
Gracias por su atención.

Atentamente,
Rogelio Quispe Paucara
DNI 45113046

5 adjuntos

-  **SOLICITUD.pdf**
532K
-  **RESOLUCION_APROB_PROY_TESIS.PDF**
290K
-  **RESUMEN PROYECTO CDE TESIS.pdf**
508K
-  **DECLARACION JURADA.pdf**
450K
-  **CARTA DE COMPROMISO.pdf**
258K

<https://mail.google.com/mail/u/1/?ik=9b17af3691&view=pt&search=all&permthid=thread-a%3Ar-7057186736380138257&siml=msg-a%3Ar-6835753...> 1/1



Señor:
ING. ZENÓN HUAMÁN GUTIÉRREZ
DIRECTOR ZONAL 12 CUSCO DEL SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E
HIDROLOGÍA DEL PERU - SENAMHI

Presente.-

Rogelio Quispe Paucara
(Nombres y Apellidos)

Calle Totorhuaylas S/N, Barrio Inqui del distrito de Tambobamba, Provincia de Cotabambas-
Apurímac
(Dirección)

con N° DNI: 45113046 Telf.: 935884296 E-mail: roquipa307@gmail.com

Universidad/ Instituto: Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac

Carrera/ Profesión: Ingeniería Civil

Ante usted me presento y expongo;

Que, teniendo la necesidad de ejecutar el proyecto de tesis, el cual consistirá en la estimación de las curvas intensidad-duración-frecuencia a partir de los registros históricos de precipitaciones en dos estaciones meteorológicas de la región de Apurímac, dicha investigación tiene como título: " ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES Y ESTIMACIÓN DE LAS CURVAS IDF PARA LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE TAMBOBAMBA Y CURAHUASI- APURÍMAC". Por tal motivo solicito la información que se consigna en e cuadro para poder contar con información válida a fin de ejecutar el proyecto de tesis y aportar en la investigación el cual también es un requisito para la obtención del título profesional.

Solicito la siguiente información:

ESTACIÓN	PARÁMETROS	ESCALA	PERÍODOS
Tambobamba	Precipitación	Max. en 24 horas	1995-2020
Curahuasi	Precipitación	Max. en 24 horas	1964-2020

Por lo expuesto, agradeceré a usted atender lo solicitado.


Cusco, 05 de mayo del 2021


Firma del Usuario



Respuesta a solicitud de datos de precipitación máxima en 24 horas

25/10/22, 20:38 Gmail - REMITE INFORMACION METEOROLOGICA

 Rogelio Quispe Paucara <roquipa307@gmail.com>

REMITE INFORMACION METEOROLOGICA
2 mensajes

Martha Huilca Condor (DZ12) <mhuilca@senamhi.gob.pe> 13 de mayo de 2021, 15:23
Para: "roquipa307@gmail.com" <roquipa307@gmail.com>

Señor Rogelio Quispe Paucara



Un saludo cordial a nombre de la Dirección Zonal 12 SENAMHI, el presente es con la finalidad de dar atención a la solicitud de expediente de recepción N° 2021-0002790, mediante el cual solicita información de datos meteorológicos de Precip. Max. en 24 horas de las estaciones Tambobamba y Curahuasi, por lo que adjunto al presente dicha información de acuerdo a la disponibilidad encontrada en el banco de información de nuestra Institución, esperando que lo alcanzado sirva para los propósitos trazados. Como también aprovecho la ocasión para recordarle el compromiso que sostuvo con el SENAMHI de emitir un ejemplar de Tesis aprobada.

NOTA: Por favor, confirmar la recepción del presente.

Atentamente

Martha Huilca Condor
Asistente Administrativo
DZ12-Cusco

2 adjuntos

-  **curahuasi.xlsx**
15K
-  **tambobamba.xlsx**
14K

Rogelio Quispe Paucara <roquipa307@gmail.com> 17 de mayo de 2021, 9:51
Para: "Martha Huilca Condor (DZ12)" <mhuilca@senamhi.gob.pe>

RECIBIDO CONFORME.
Buenos días, Gracias.

Atentamente,
Rogelio Quispe Paucara
DNI 45113046
[El texto citado está oculto]

<https://mail.google.com/mail/u/1/?ik=9b17af3691&view=pt&search=all&permthid=thread-f%3A1699676097800695463&simpl=msg-f%3A1699676097800695463> 1/1

Anexo F.

Códigos utilizados en el software R Studio

PROGRAMACIÓN EN R STUDIO

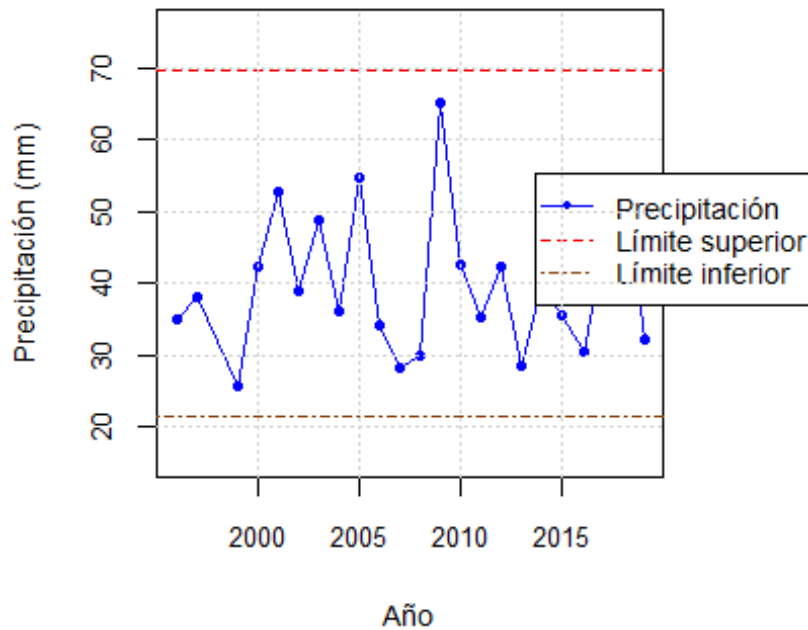
```

#Instalación de Librerías
library(lmom)
library(ggplot2)
library(tidyverse)
## -- Attaching packages ----- tidyverse 1.3.1 --
## v tibble 3.1.2      v dplyr 1.0.6
## v tidyr 1.1.3      v stringr 1.4.0
## v readr 1.4.0      v forcats 0.5.1
## v purrr 0.3.4
## -- Conflicts ----- tidyverse_conflicts() --
## x dplyr::filter() masks stats::filter()
## x dplyr::lag() masks stats::lag()
library(Hmisc)
## Warning: package 'Hmisc' was built under R version 4.1.1
## Loading required package: lattice
## Loading required package: survival
## Loading required package: Formula
##
## Attaching package: 'Hmisc'
## The following objects are masked from 'package:dplyr':
##
##   src, summarize
## The following objects are masked from 'package:base':
##
##   format.pval, units
#SERIES DE TIEMPO Y DATOS DUDOSOS
#Umbrales
DATOS<-read.csv("E:\\PARA GRADUACION\\13.- DATOS SENAMHI\\ARCHIVO CSV\\precTAMBO.csv")
x<-DATOS$Max
kn=2.448 #kn depende de n
n<-length(x)
loga<-c()
for(i in 1:n){
  loga[i]<-log10(x[i])
}
media_loga<-mean(loga)
desv_loga<-sd(loga)
Ualto<-10^(media_loga+kn*desv_loga)
Ubajo<-10^(media_loga-kn*desv_loga)

#impresión de graficos
par(mar=c(4, 4, 4, 8), xpd=TRUE)
plot(DATOS$Año,DATOS$Max,type="o", pch=20, col="blue" , lty=1,lwd=1.8, xlab="Año"
,ylab="Precipitación (mm)",cex.lab=0.9,cex.axis=0.8,cex.main=1,main="Prueba de datos
dudosos",ylim = c(Ubajo-6, Ualto+6))
abline(h=Ualto,lty=2,col="red",xpd=FALSE)
abline(h=Ubajo,lty=4,col="chocolate4",lwd=1.8,xpd=FALSE)
legend(x = "topright",
inset=c(-0.31,0.35),
legend = c("Precipitación", "Límite superior","Límite inferior"),
lty = c(1,2,4),
pch = c(20,NA,NA),
col = c("blue","red","chocolate4"),
lwd = 0.9,cex = 0.85)
par(mar=c(2, 4, 4, 6), xpd=FALSE)
grid()

```

Prueba de datos dudosos



```
#MÉTODO DE L MOMENTOS
DATOS<-read.csv("E:\\PARA GRADUACION\\13.- DATOS SENAMHI\\ARCHIVO CSV\\precTAMBO.csv")
#Cálculos
x<-DATOS$Max
n<-length(x)
sb0<-sort(x)
sb1<-c()
sb2<-c()
sb3<-c()
for(i in 1:n){
  sb1[i]<-(i-1)/(n*(n-1))*sb0[i]
  sb2[i]<-((i-1)*(i-2))/(n*(n-1)*(n-2))*sb0[i]
  sb3[i]<-((i-1)*(i-2)*(i-3))/(n*(n-1)*(n-2)*(n-3))*sb0[i]
}
RMON<-as.data.frame(round(cbind(sb0,sb1,abs(sb2),abs(sb3)),4))
colnames(RMON)<-c("b1","b2","b3","b4")
print(RMON)
##      b1      b2      b3      b4
## 1  25.6 0.0000 0.0000 0.0000
## 2  28.2 0.0557 0.0000 0.0000
## 3  28.4 0.1123 0.0053 0.0000
## 4  30.0 0.1779 0.0169 0.0008
## 5  30.5 0.2411 0.0344 0.0034
## 6  32.3 0.3192 0.0608 0.0091
## 7  34.3 0.4067 0.0968 0.0194
## 8  35.0 0.4842 0.1383 0.0346
## 9  35.4 0.5597 0.1866 0.0560
## 10 35.6 0.6332 0.2412 0.0844
## 11 36.2 0.7154 0.3066 0.1226
## 12 38.2 0.8304 0.3954 0.1780
## 13 39.0 0.9249 0.4845 0.2422
## 14 39.5 1.0148 0.5799 0.3189
## 15 42.3 1.1704 0.7245 0.4347
## 16 42.4 1.2569 0.8379 0.5447
## 17 42.6 1.3470 0.9622 0.6735
## 18 45.0 1.5119 1.1519 0.8639
## 19 48.8 1.7360 1.4053 1.1242
## 20 52.7 1.9789 1.6962 1.4417
## 21 54.0 2.1344 1.9311 1.7380
```



```

## 22 54.7 2.2702 2.1621 2.0540
## 23 65.0 2.8261 2.8261 2.8261
#Momentos de probabilidad ponderada
b0<-round(mean(sb0),4)
b1<-round(sum(sb1),4)
b2<-round(sum(sb2),4)
b3<-round(sum(sb3),4)
bet<-as.data.frame(round(cbind(b0,b1,b2,b3),4))
colnames(bet)<-c("b1","b2","b3","b4")
print(bet)
##      b1      b2      b3      b4
## 1 39.813 22.7071 16.2441 12.7704
#Primeros momentos Lineales
L1<-b0
L2<-2*b1-b0
L3<-6*b2-6*b1+b0
L4<-20*b3-30*b2+12*b1-b0
Lm<-as.data.frame(round(cbind(L1,L2,L3,L4),4))
colnames(Lm)<-c("L1","L2","L3","L4")
print(Lm)
##      L1      L2      L3      L4
## 1 39.813 5.6012 1.035 0.7572
#Relaciones
t2<-round(L2/L1,4) #Coeficiente de variación
t3<-round(L3/L2,4) #Coeficiente de asimetría
t4<-round(L4/L2,4) #Coeficiente de curtosis
Rela<-as.data.frame(round(cbind(t2,t3,t4),4))
colnames(Rela)<-c("t2","t3","t4")
print(Rela)
##      t2      t3      t4
## 1 0.1407 0.1848 0.1352
#FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD
# DISTRIBUCIÓN NORMAL
pcd<-sam1mu(x)
Par_Normal<-as.data.frame(pelnor(pcd))
mu<-Par_Normal[1,1] #Parámetro de Localización
sigma<-Par_Normal[2,1] #Parámetro de escala
x<-sort(DATOS$Max)
Weibull<-c()
fnor<-c()
dif1<-c()
s<-c()
Fnor<-cdfnor(x,para=c(mu,sigma))
for(i in 1:n){
  Weibull[i]<-i/(n+1)
  fnor[i]<-exp(-0.5*((x[i]-mu)/sigma)**2)/(sigma*sqrt(2*pi))
  dif1[i]<-abs(Weibull[i]-Fnor[i])
  s[i]<-i
}
Tnormal<-as.data.frame(round(cbind(s,x,Weibull,fnor,Fnor,dif1),4))
colnames(Tnormal)<-c("N°","x","P(x)","f(x)","F(x)","F(x)-P(x)")
print(Tnormal)
##      N°      x      P(x)      f(x)      F(x)      F(x)-P(x)
## 1      1 25.6 0.0417 0.0144 0.0761 0.0345
## 2      2 28.2 0.0833 0.0203 0.1211 0.0377
## 3      3 28.4 0.1250 0.0208 0.1252 0.0002
## 4      4 30.0 0.1667 0.0247 0.1615 0.0052
## 5      5 30.5 0.2083 0.0259 0.1741 0.0342
## 6      6 32.3 0.2500 0.0302 0.2246 0.0254
## 7      7 34.3 0.2917 0.0344 0.2893 0.0023
## 8      8 35.0 0.3333 0.0357 0.3139 0.0194
## 9      9 35.4 0.3750 0.0364 0.3283 0.0467
## 10     10 35.6 0.4167 0.0367 0.3356 0.0810
## 11     11 36.2 0.4583 0.0376 0.3580 0.1004
## 12     12 38.2 0.5000 0.0397 0.4355 0.0645
## 13     13 39.0 0.5417 0.0400 0.4674 0.0743
## 14     14 39.5 0.5833 0.0402 0.4874 0.0959
## 15     15 42.3 0.6250 0.0389 0.5989 0.0261

```

```

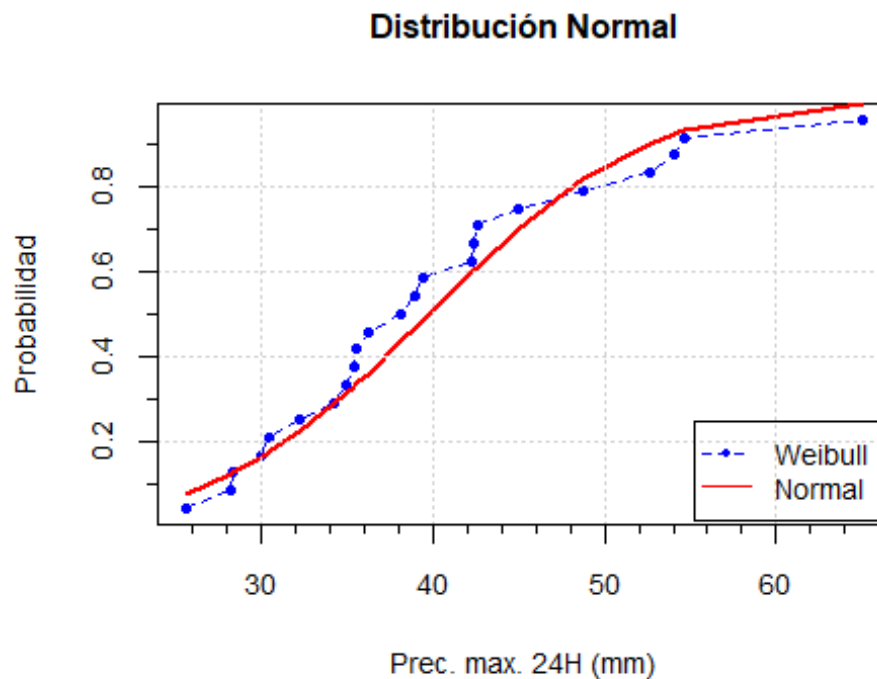
## 16 16 42.4 0.6667 0.0388 0.6028 0.0639
## 17 17 42.6 0.7083 0.0386 0.6105 0.0978
## 18 18 45.0 0.7500 0.0351 0.6993 0.0507
## 19 19 48.8 0.7917 0.0267 0.8173 0.0257
## 20 20 52.7 0.8333 0.0173 0.9029 0.0695
## 21 21 54.0 0.8750 0.0145 0.9235 0.0485
## 22 22 54.7 0.9167 0.0131 0.9331 0.0165
## 23 23 65.0 0.9583 0.0016 0.9944 0.0361
#Kolmogorov Smirnov, nivel de significancia 5%
Delta_estadistico<-max(dif1)
Delta_critico<-1.36/sqrt(n)
KSnor<-max(dif1)
KS<-as.data.frame(round(cbind(Delta_estadistico,Delta_critico),4))
colnames(KS)<-c("Delta_calculado","Delta_crítico")
print(KS)
##   Delta_calculado Delta_crítico
## 1           0.1004           0.2836
if(Delta_estadistico<Delta_critico){
  cat("Como D<Do, se acepta","\n")
}else{
  cat("Como D>Do, No se acepta","\n")
}
## Como D<Do, se acepta
#Chi cuadrado
k<-round(1+3.33*log(n,base=10),0)
R<-max(DATOS$Max)-min(DATOS$Max)
A<-R/k
TDF<-as.data.frame(table(x=cut(x,breaks = k)))
Frec<-TDF$Freq
Li<-c()
Ls<-c()
Oi<-c()
Ei<-c()
F_Li<-c()
F_Ls<-c()
Ri<-c()
for(i in 1:k ){
  if(i==1){
    Li[i]<-min(DATOS$Max)
    Ls[i]<-Li[i]+A
  }else{
    Li[i]<-Li[i-1]+A
    Ls[i]<-Ls[i-1]+A
  }
  Oi[i]<-Frec[i]
  F_Li[i]<-cdfnor(Li[i],para=c(mu,sigma))
  F_Ls[i]<-cdfnor(Ls[i],para=c(mu,sigma))
  Ei[i]<-(F_Ls[i]-F_Li[i])*n
  Ri[i]<-(Oi[i]-Ei[i])^2/Ei[i]
}
CC<-as.data.frame(round(cbind(Li,Ls,Oi,Ei,Ri),4))
colnames(CC)<-c("Li","Ls","Oi","Ei","(O-E)^2/E")
print(CC)
##      Li      Ls Oi      Ei (O-E)^2/E
## 1 25.6000 32.1667 5 3.3228 0.8466
## 2 32.1667 38.7333 7 5.4304 0.4537
## 3 38.7333 45.3000 6 5.8204 0.0055
## 4 45.3000 51.8667 1 4.0915 2.3359
## 5 51.8667 58.4333 3 1.8858 0.6583
## 6 58.4333 65.0000 1 0.5696 0.3251
Dchinor<-sum(Ri)
k<-length(Oi)
m<-2 #Número de parámetros de la función de distribución
v<-k-m-1
Dt1<-qchisq(0.95,v)
CC<-as.data.frame(round(cbind(Dchinor,Dt1),4))
colnames(CC)<-c("D_calculado","D_tabular")
cat("K=",k,"\n")

```

```

## K= 6
cat("m=",m, "\n")
## m= 2
cat("v=",v, "\n")
## v= 3
print(CC)
## D_calculado D_tabular
## 1      4.6251    7.8147
if(Dchinor<Dt1){
  cat("Como D<Dt, se acepta","\n")
}else{
  cat("Como D>Dt, No se acepta","\n")
}
## Como D<Dt, se acepta
#Grafico
plot(x,Weibull,type="o", pch=20, col="blue" , lty=2,lwd=1,main="Distribución Normal",
xlab="Prec. max. 24H (mm)",ylab="Probabilidad",cex.main=1,cex.axis=0.9,cex.lab=0.9)
lines(x,Fnor, pch=20, col="red" , lty=1,lwd=2)
grid()
legend(x = "bottomright",
  bg = rgb(0, 0, 0, alpha = 0),
  inset=c(0.01,0.01),
  legend = c("Weibull", "Normal"),
  lty = c(2,1),
  pch = c(20,NA),
  col = c("blue","red"),
  lwd = 1,cex = 0.85)
minor.tick(nx = 5)

```



```

#DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL
#Parámetros
x<-DATOS$Max
x<-log(x,base=exp(1))
pcd<-sam1mu(x)
Par_Normal<-as.data.frame(pelnor(pcd))
mu<-Par_Normal[1,1]      #Parámetro de Localización
sigma<-Par_Normal[2,1]  #Parámetro de escala
param<-as.data.frame(round(cbind(mu,sigma),4))
colnames(param)<-c("mu","sigma")
print(param)

```



```

##      mu sigma
## 1 3.6562 0.246
#Cálculos
x<-sort(x)
xo<-sort(DATOS$Max)
Weibull<-c()
flnor<-c()
dif2<-c()
s<-c()
Flnor<-cdfnor(x,para=c(mu,sigma))
  for(i in 1:n){
    Weibull[i]<-i/(n+1)
    flnor[i]<-exp(-0.5*((x[i]-mu)/sigma)**2)/(xo[i]*sigma*sqrt(2*pi))
    dif2[i]<-abs(Weibull[i]-Flnor[i])
    s[i]<-i
  }
Tlognormal<-as.data.frame(round(cbind(s,xo,x,Weibull,flnor,Flnor,dif2),4))
colnames(Tlognormal)<-c("N°", "x", "log(x)", "P(x)", "f(x)", "F(x)", "F(x)-P(x)")
print(Tlognormal)
##      N°      x log(x)  P(x)  f(x)  F(x) F(x)-P(x)
## 1      1 25.6 3.2426 0.0417 0.0154 0.0464 0.0047
## 2      2 28.2 3.3393 0.0833 0.0251 0.0989 0.0155
## 3      3 28.4 3.3464 0.1250 0.0258 0.1040 0.0210
## 4      4 30.0 3.4012 0.1667 0.0316 0.1500 0.0167
## 5      5 30.5 3.4177 0.2083 0.0332 0.1662 0.0421
## 6      6 32.3 3.4751 0.2500 0.0383 0.2308 0.0192
## 7      7 34.3 3.5351 0.2917 0.0419 0.3114 0.0197
## 8      8 35.0 3.5553 0.3333 0.0426 0.3410 0.0076
## 9      9 35.4 3.5667 0.3750 0.0429 0.3581 0.0169
## 10     10 35.6 3.5723 0.4167 0.0430 0.3667 0.0500
## 11     11 36.2 3.5891 0.4583 0.0432 0.3925 0.0658
## 12     12 38.2 3.6428 0.5000 0.0424 0.4784 0.0216
## 13     13 39.0 3.6636 0.5417 0.0416 0.5120 0.0297
## 14     14 39.5 3.6763 0.5833 0.0409 0.5326 0.0507
## 15     15 42.3 3.7448 0.6250 0.0359 0.6407 0.0157
## 16     16 42.4 3.7471 0.6667 0.0357 0.6443 0.0224
## 17     17 42.6 3.7519 0.7083 0.0353 0.6514 0.0570
## 18     18 45.0 3.8067 0.7500 0.0299 0.7297 0.0203
## 19     19 48.8 3.8877 0.7917 0.0213 0.8267 0.0351
## 20     20 52.7 3.9646 0.8333 0.0140 0.8951 0.0617
## 21     21 54.0 3.9890 0.8750 0.0120 0.9120 0.0370
## 22     22 54.7 4.0019 0.9167 0.0110 0.9200 0.0034
## 23     23 65.0 4.1744 0.9583 0.0027 0.9824 0.0241
#Kolmogorov Smirnov, nivel de significancia 5%
Delta_calculado<-max(dif2)
Delta_critico<-1.36/sqrt(n)
KSlnor<-max(dif2)
KS<-as.data.frame(round(cbind(Delta_calculado,Delta_critico),4))
colnames(KS)<-c("Delta_calculado", "Delta_crítico")
print(KS)
##      Delta_calculado Delta_crítico
## 1      0.0658      0.2836
if(Delta_calculado<Delta_critico){
  cat("Como D<Do, se acepta","\n")
}else{
  cat("Como D>Do, No se acepta","\n")
}
## Como D<Do, se acepta
#Chi cuadrado
x<-DATOS$Max
k<-round(1+3.33*log(n,base=10),0)
R<-max(x)-min(x)
A<-R/k
TDF<-as.data.frame(table(x=cut(x,breaks = k)))
Frec<-TDF$Freq
Li<-c()
Ls<-c()
Oi<-c()

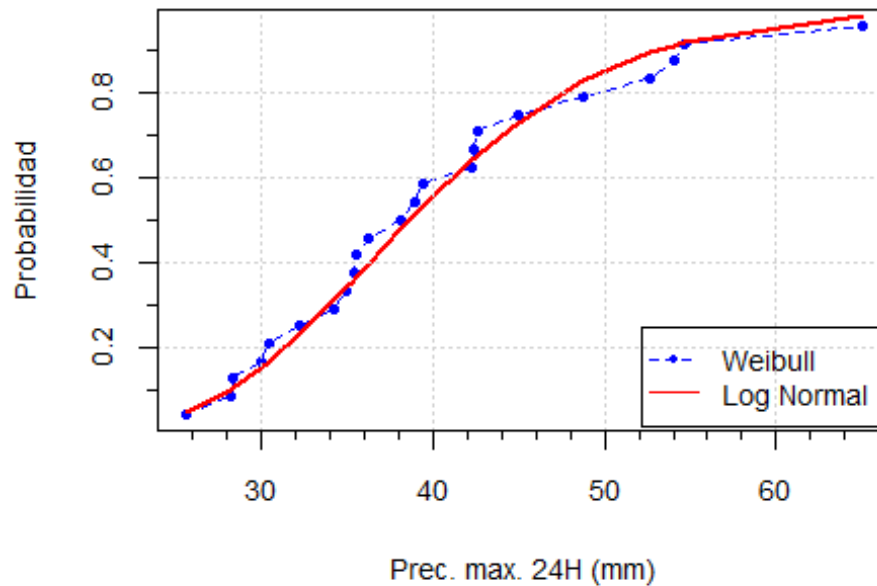
```

```

Ei<-c()
F_Li<-c()
F_Ls<-c()
Ri<-c()
for(i in 1:k ){
  if(i==1){
    Li[i]<-min(x)
    Ls[i]<-Li[i]+A
  }else{
    Li[i]<-Li[i-1]+A
    Ls[i]<-Ls[i-1]+A
  }
  Oi[i]<-Frec[i]
  F_Li[i]<-cdfnor(log(Li[i]),para=c(mu,sigma))
  F_Ls[i]<-cdfnor(log(Ls[i]),para=c(mu,sigma))
  Ei[i]<-(F_Ls[i]-F_Li[i])*n
  Ri[i]<-(Oi[i]-Ei[i])^2/Ei[i]
}
CC<-as.data.frame(round(cbind(Li,Ls,Oi,Ei,Ri),4))
colnames(CC)<-c("Li","Ls","Oi","Ei","(O-E)^2/E")
print(CC)
##      Li      Ls Oi      Ei (O-E)^2/E
## 1 25.6000 32.1667 5 4.1255 0.1854
## 2 32.1667 38.7333 7 6.3284 0.0713
## 3 38.7333 45.3000 6 5.4661 0.0521
## 4 45.3000 51.8667 1 3.3182 1.6196
## 5 51.8667 58.4333 3 1.6124 1.1942
## 6 58.4333 65.0000 1 0.6789 0.1519
Dchilnor<-sum(Ri)
k<-length(Oi)
m<-length(param)
v<-k-m-1
Dt2<-qchisq(0.95,v)
CC<-as.data.frame(round(cbind(Dchilnor,Dt2),4))
colnames(CC)<-c("D_calculado","D_tabular")
cat("K=",k,"\n")
## K= 6
cat("m=",m,"\n")
## m= 2
cat("v=",v,"\n")
## v= 3
print(CC)
##   D_calculado D_tabular
## 1      3.2745      7.8147
if(Dchilnor<Dt2){
  cat("Como D<Dt, se acepta","\n")
}else{
  cat("Como D>Dt, No se acepta","\n")
}
## Como D<Dt, se acepta
#Grafico
plot(xo,Weibull,type="o", pch=20, col="blue", lty=2,lwd=1,main="Distribución Log Normal",
xlab="Prec. max. 24H (mm)",ylab="Probabilidad",cex.main=1,cex.axis=0.9,cex.lab=0.9)
lines(xo,Flnor, pch=20, col="red", lty=1,lwd=2)
grid()
legend(x = "bottomright",
  bg = rgb(0, 0, 0, alpha = 0),
  inset=c(0.01,0.01),
  legend = c("Weibull", "Log Normal"),
  lty = c(2,1),
  pch = c(20,NA),
  col = c("blue","red"),
  lwd = 1,cex = 0.85)
minor.tick(nx = 5)

```


Distribución Log Normal



```
#DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL 3 PARÁMETROS
#Parámetros
x<-DATOS$Max
pcd<-sam1mu(x)
par_LNG<-as.data.frame(pelgno(pcd))
xii<-par_LNG[1,1]
alpha<-par_LNG[2,1]
kappa<-par_LNG[3,1]
par_LN3P<-as.data.frame(pelln3(pcd,bound=NULL))
zeta<-par_LN3P[1,1] #Limite inferior
mu<-par_LN3P[2,1] #media en el espacio del Logaritmo natural
sigma<-par_LN3P[3,1] #desviación estandar en el espacio del Logaritmo natural
param<-as.data.frame(round(cbind(zeta,mu,sigma),4))
colnames(param)<-c("zeta","mu","sigma")
print(param)
##      zeta      mu  sigma
## 1 13.4613 3.1988 0.3813
#Calculos
x<-sort(x)
Weibull<-c()
fnor3<-c()
dif3<-c()
s<-c()
y<-c()
lnx<-sort(log(DATOS$Max))
Fnor3<-cdfln3(x,para=c(zeta,mu,sigma))
for(i in 1:n){
  Weibull[i]<-i/(n+1)
  y[i]<-(log(x[i]-zeta)-mu)/sigma
  fnor3[i]<-exp(kappa*y[i]-0.5*(y[i])**2)/(alpha*sqrt(2*pi))
  dif3[i]<-abs(Weibull[i]-Fnor3[i])
  s[i]<-i
}
TlognIII<-as.data.frame(round(cbind(s,x,lnx,Weibull,fnor3,Fnor3,dif3),4))
colnames(TlognIII)<-c("N°","x","log(x)","P(x)","f(x)","F(x)","F(x)-P(x)")
print(TlognIII)
##      N°      x log(x)  P(x)  f(x)  F(x) F(x)-P(x)
## 1      1 25.6 3.2426 0.0417 0.0158 0.0327 0.0089
## 2      2 28.2 3.3393 0.0833 0.0292 0.0912 0.0079
## 3      3 28.4 3.3464 0.1250 0.0302 0.0972 0.0278
```



```

## 4 4 30.0 3.4012 0.1667 0.0372 0.1513 0.0154
## 5 5 30.5 3.4177 0.2083 0.0390 0.1703 0.0380
## 6 6 32.3 3.4751 0.2500 0.0438 0.2452 0.0048
## 7 7 34.3 3.5351 0.2917 0.0459 0.3355 0.0438
## 8 8 35.0 3.5553 0.3333 0.0459 0.3676 0.0343
## 9 9 35.4 3.5667 0.3750 0.0457 0.3859 0.0109
## 10 10 35.6 3.5723 0.4167 0.0456 0.3950 0.0216
## 11 11 36.2 3.5891 0.4583 0.0451 0.4223 0.0361
## 12 12 38.2 3.6428 0.5000 0.0423 0.5100 0.0100
## 13 13 39.0 3.6636 0.5417 0.0407 0.5432 0.0015
## 14 14 39.5 3.6763 0.5833 0.0397 0.5633 0.0200
## 15 15 42.3 3.7448 0.6250 0.0331 0.6654 0.0404
## 16 16 42.4 3.7471 0.6667 0.0329 0.6687 0.0020
## 17 17 42.6 3.7519 0.7083 0.0324 0.6752 0.0331
## 18 18 45.0 3.8067 0.7500 0.0266 0.7460 0.0040
## 19 19 48.8 3.8877 0.7917 0.0187 0.8315 0.0399
## 20 20 52.7 3.9646 0.8333 0.0124 0.8915 0.0582
## 21 21 54.0 3.9890 0.8750 0.0108 0.9066 0.0316
## 22 22 54.7 4.0019 0.9167 0.0100 0.9139 0.0028
## 23 23 65.0 4.1744 0.9583 0.0030 0.9744 0.0161
#Kolmogorov Smirnov
Delta_estadistico<-max(dif3)
Delta_critico<-1.36/sqrt(n)
KSnor3<-max(dif3)
KS<-as.data.frame(round(cbind(Delta_estadistico,Delta_critico),4))
colnames(KS)<-c("Delta_calculado","Delta_crítico")
print(KS)
## Delta_calculado Delta_crítico
## 1 0.0582 0.2836
if(Delta_estadistico<Delta_critico){
  cat("Como D<Do, se acepta","\n")
}else{
  cat("Como D>Do, No se acepta","\n")
}
## Como D<Do, se acepta
#Chi cuadrado
k<-round(1+3.33*log(n,base=10),0)
R<-max(x)-min(x)
A<-R/k
TDF<-as.data.frame(table(x=cut(x,breaks = k)))
Frec<-TDF$Freq
Li<-c()
Ls<-c()
Oi<-c()
Ei<-c()
F_Li<-c()
F_Ls<-c()
Ri<-c()
for(i in 1:k){
  if(i==1){
    Li[i]<-min(x)
    Ls[i]<-Li[i]+A
  }else{
    Li[i]<-Li[i-1]+A
    Ls[i]<-Ls[i-1]+A
  }
  Oi[i]<-Frec[i]
  F_Li[i]<-cdfln3(Li[i],para=c(zeta,mu,sigma))
  F_Ls[i]<-cdfln3(Ls[i],para=c(zeta,mu,sigma))
  Ei[i]<-(F_Ls[i]-F_Li[i])*n
  Ri[i]<-(Oi[i]-Ei[i])^2/Ei[i]
}
CC<-as.data.frame(round(cbind(Li,Ls,Oi,Ei,Ri),4))
colnames(CC)<-c("Li","Ls","Oi","Ei","(O-E)^2/E")
print(CC)
## Li Ls Oi Ei (O-E)^2/E
## 1 25.6000 32.1667 5 4.7541 0.0127
## 2 32.1667 38.7333 7 6.7350 0.0104

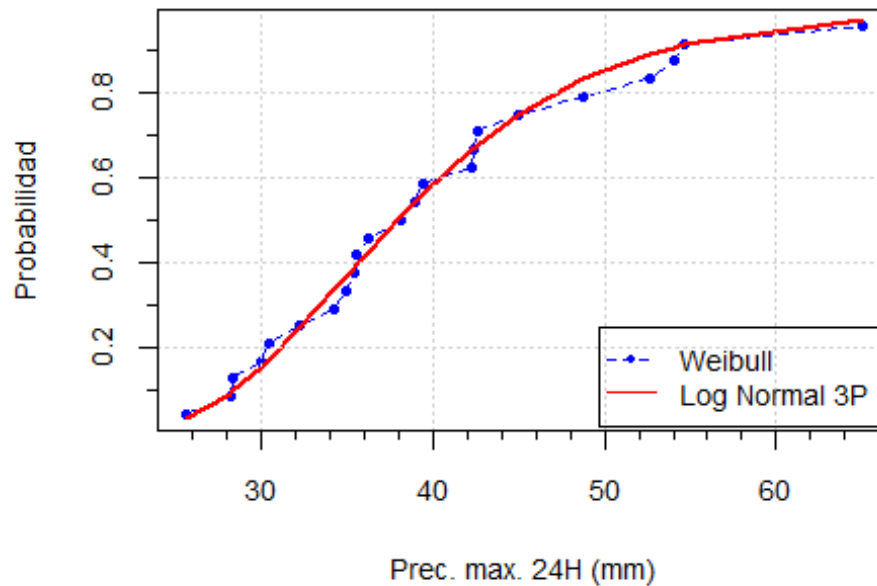
```

```

## 3 38.7333 45.3000 6 5.0970 0.1600
## 4 45.3000 51.8667 1 2.9171 1.2599
## 5 51.8667 58.4333 3 1.4642 1.6110
## 6 58.4333 65.0000 1 0.6911 0.1380
Dchilnor3<-sum(Ri)
k<-length(Oi)
m<-3
v<-k-m-1
Dt3<-qchisq(0.95,v)
CC<-as.data.frame(round(cbind(Dchilnor3,Dt3),4))
colnames(CC)<-c("D_calculado","D_tabular")
cat("K=",k,"\n")
## K= 6
cat("m=",m,"\n")
## m= 3
cat("v=",v,"\n")
## v= 2
print(CC)
## D_calculado D_tabular
## 1 3.192 5.9915
if(Dchilnor3<Dt3){
  cat("Como D<Dt, se acepta","\n")
}else{
  cat("Como D>Dt, No se acepta","\n")
}
## Como D<Dt, se acepta
#Gráfico
plot(x,Weibull,type="o", pch=20, col="blue", lty=2,lwd=1,main="Distribución Log Normal
3P", xlab="Prec. max. 24H (mm)",ylab="Probabilidad",cex.main=1,cex.axis=0.9,cex.lab=0.9)
lines(x,Fnor3, pch=20, col="red", lty=1,lwd=2)
grid()
legend(x = "bottomright",
  bg = rgb(0, 0, 0, alpha = 0),
  inset=c(0.01,0.01),
  legend = c("Weibull", "Log Normal 3P"),
  lty = c(2,1),
  pch = c(20,NA),
  col = c("blue","red"),
  lwd = 1,cex = 0.85)
minor.tick(nx = 5)

```

Distribución Log Normal 3P



```
#DISTRIBUCIÓN GAMMA 2P
#Cálculo de parámetros
x<-DATOS$Max
l_r<-sam1mu(x)
par_GAMMA<-as.data.frame(pelgam(l_r))
alpha<-par_GAMMA[1,1]
beta<-par_GAMMA[2,1]
param<-as.data.frame(round(cbind(alpha,beta),4))
colnames(param)<-c("alpha", "beta")
print(param)
##      alpha beta
## 1 15.8302 2.515
x<-sort(x)
Weibull<-c()
fgm<-c()
dif4<-c()
y<-c()
s<-c()
Fgm<-cdfgam(x,para=c(alpha,beta))
for(i in 1:n){
  Weibull[i]<-i/(n+1)
  fgm[i]<-(x[i]**(alpha-1)*exp(-x[i]/beta)/((beta**alpha)*gamma(alpha))
  dif4[i]<-abs(Weibull[i]-Fgm[i])
  s[i]<-i
}
Tgm<-as.data.frame(round(cbind(s,x,Weibull,fgm,Fgm,dif4),4))
colnames(Tgm)<-c("N°", "x", "P(x)", "f(x)", "F(x)", "F(x)-P(x)")
print(Tgm)
##      N°      x      P(x)      f(x)      F(x)      F(x)-P(x)
## 1      1 25.6 0.0417 0.0162 0.0606      0.0189
## 2      2 28.2 0.0833 0.0241 0.1129      0.0295
## 3      3 28.4 0.1250 0.0247 0.1177      0.0073
## 4      4 30.0 0.1667 0.0295 0.1612      0.0055
## 5      5 30.5 0.2083 0.0309 0.1763      0.0320
## 6      6 32.3 0.2500 0.0354 0.2361      0.0139
## 7      7 34.3 0.2917 0.0389 0.3107      0.0191
## 8      8 35.0 0.3333 0.0398 0.3383      0.0050
## 9      9 35.4 0.3750 0.0402 0.3543      0.0207
## 10     10 35.6 0.4167 0.0403 0.3623      0.0543
## 11     11 36.2 0.4583 0.0407 0.3867      0.0717
```



```

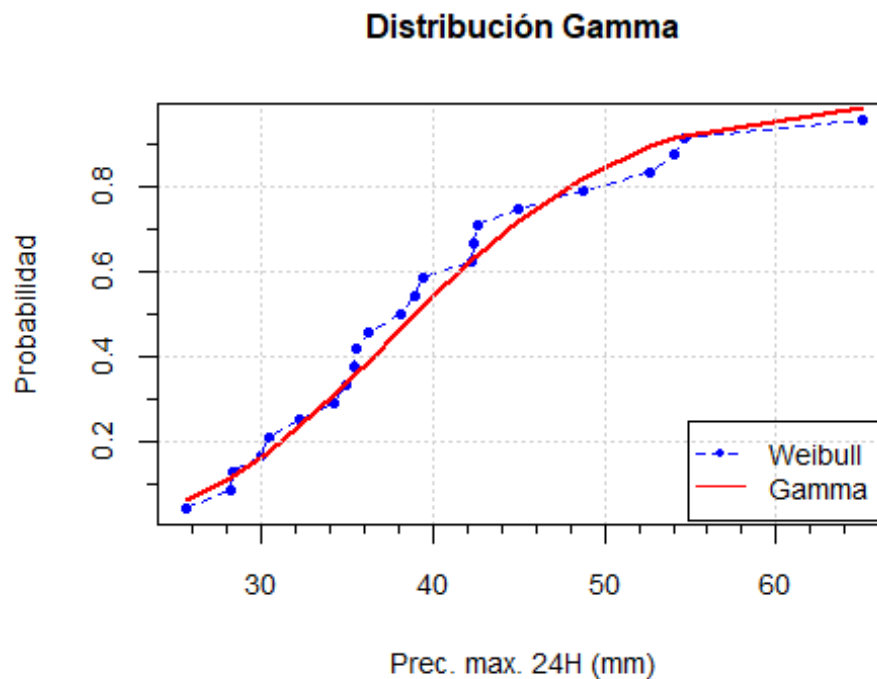
## 12 12 38.2 0.5000 0.0408 0.4684 0.0316
## 13 13 39.0 0.5417 0.0404 0.5009 0.0408
## 14 14 39.5 0.5833 0.0400 0.5210 0.0624
## 15 15 42.3 0.6250 0.0362 0.6282 0.0032
## 16 16 42.4 0.6667 0.0361 0.6318 0.0349
## 17 17 42.6 0.7083 0.0357 0.6390 0.0694
## 18 18 45.0 0.7500 0.0310 0.7192 0.0308
## 19 19 48.8 0.7917 0.0228 0.8214 0.0297
## 20 20 52.7 0.8333 0.0151 0.8948 0.0614
## 21 21 54.0 0.8750 0.0129 0.9130 0.0380
## 22 22 54.7 0.9167 0.0118 0.9216 0.0050
## 23 23 65.0 0.9583 0.0025 0.9862 0.0279
#Kolmogorov Smirnov
Delta_estadistico<-max(dif4)
Delta_critico<-1.36/sqrt(n)
KSgm<-max(dif4)
KS<-as.data.frame(round(cbind(Delta_estadistico,Delta_critico),4))
colnames(KS)<-c("Delta_calculado","Delta_crítico")
print(KS)
##   Delta_calculado Delta_critico
## 1          0.0717          0.2836
if(Delta_estadistico<Delta_critico){
  cat("Como D<Do, se acepta","\n")
}else{
  cat("Como D>Do, No se acepta","\n")
}
## Como D<Do, se acepta
#Número de intervalos
k<-round(1+3.33*log(n,base=10),0)
R<-max(x)-min(x)
A<-R/k
TDF<-as.data.frame(table(x=cut(x,breaks = k)))
Frec<-TDF$Freq
Li<-c()
Ls<-c()
Oi<-c()
Ei<-c()
F_Li<-c()
F_Ls<-c()
Ri<-c()
for(i in 1:k ){
  if(i==1){
    Li[i]<-min(x)
    Ls[i]<-Li[i]+A
  }else{
    Li[i]<-Li[i-1]+A
    Ls[i]<-Ls[i-1]+A
  }
  Oi[i]<-Frec[i]
  F_Li[i]<-cdfgam(Li[i],para=c(alpha,beta))
  F_Ls[i]<-cdfgam(Ls[i],para=c(alpha,beta))
  Ei[i]<-(F_Ls[i]-F_Li[i])*n
  Ri[i]<-(Oi[i]-Ei[i])^2/Ei[i]
}
CC<-as.data.frame(round(cbind(Li,Ls,Oi,Ei,Ri),4))
colnames(CC)<-c("Li","Ls","Oi","Ei","(O-E)^2/E")
print(CC)
##      Li      Ls Oi      Ei (O-E)^2/E
## 1 25.6000 32.1667 5 3.9302 0.2912
## 2 32.1667 38.7333 7 5.9491 0.1856
## 3 38.7333 45.3000 6 5.4807 0.0492
## 4 45.3000 51.8667 1 3.5225 1.8064
## 5 51.8667 58.4333 3 1.7247 0.9430
## 6 58.4333 65.0000 1 0.6829 0.1472
Dchigm<-sum(Ri)
k<-length(Oi)
m<-2
v<-k-m-1

```

```

Dt4<-qchisq(0.95,v)
CC<-as.data.frame(round(cbind(Dchigm,Dt4),4))
colnames(CC)<-c("D_calculado","D_tabular")
print(CC)
## D_calculado D_tabular
## 1 3.4227 7.8147
if(Dchigm<Dt4){
  cat("Como D<Dt, se acepta","\n")
}else{
  cat("Como D>Dt, No se acepta","\n")
}
## Como D<Dt, se acepta
#Grafico
plot(x,Weibull,type="o", pch=20, col="blue", lty=2,lwd=1,main="Distribución Gamma",
xlab="Prec. max. 24H (mm)",ylab="Probabilidad",cex.main=1,cex.axis=0.9,cex.lab=0.9)
lines(x,Fgm, pch=20, col="red", lty=1,lwd=2)
grid()
legend(x = "bottomright",
  bg = rgb(0, 0, 0, alpha = 0),
  inset=c(0.01,0.01),
  legend = c("Weibull", "Gamma"),
  lty = c(2,1),
  pch = c(20,NA),
  col = c("blue","red"),
  lwd = 1,cex = 0.85)
minor.tick(nx = 5)

```



```

#DISTRIBUCIÓN PEARSON O GAMMA DE 3 PARÁMETROS
#Cálculo de parámetros
x<-DATOS$Max
l_r<-sam1mu(x)
par_PEARSON<-as.data.frame(pe1pe3(l_r))
mu<-par_PEARSON[1,1]
sigma<-par_PEARSON[2,1]
gamma<-par_PEARSON[3,1]
xii<-mu-2*sigma/gamma      # Parámetro de posición
beta<-0.5*sigma*abs(gamma) # Parámetro de escala
alfa<-4/gamma**2          # Parámetro de forma
param<-as.data.frame(round(cbind(xii,beta,alfa),4))

```

```

colnames(param)<-c("xii","beta","alfa")
print(param)
##      xii  beta  alfa
## 1 21.3778 5.7806 3.1892
x<-sort(x)
Weibull<-c()
fpe<-c()
dif5<-c()
y<-c()
s<-c()
Fpe<-cdfpe3(x,para=c(mu,sigma,gamma))
  for(i in 1:n){
    Weibull[i]<-i/(n+1)
    fpe[i]<-abs(x[i]-xii)**(alfa-1)*exp(-abs(x[i]-xii)/beta)/(gamma(alfa)*beta**alfa)
    dif5[i]<-abs(Weibull[i]-Fpe[i])
    s[i]<-i
  }
TPea<-as.data.frame(round(cbind(s,x,Weibull,fpe,Fpe,dif5),4))
colnames(TPea)<-c("N°","x","P(x)","f(x)","F(x)","F(x)-P(x)")
print(TPea)
##      N°    x  P(x)  f(x)  F(x)  F(x)-P(x)
## 1     1 25.6 0.0417 0.0175 0.0278  0.0139
## 2     2 28.2 0.0833 0.0319 0.0927  0.0094
## 3     3 28.4 0.1250 0.0328 0.0992  0.0258
## 4     4 30.0 0.1667 0.0390 0.1568  0.0098
## 5     5 30.5 0.2083 0.0404 0.1767  0.0316
## 6     6 32.3 0.2500 0.0439 0.2530  0.0030
## 7     7 34.3 0.2917 0.0449 0.3423  0.0506
## 8     8 35.0 0.3333 0.0446 0.3736  0.0403
## 9     9 35.4 0.3750 0.0444 0.3914  0.0164
## 10    10 35.6 0.4167 0.0442 0.4003  0.0164
## 11    11 36.2 0.4583 0.0436 0.4266  0.0317
## 12    12 38.2 0.5000 0.0407 0.5112  0.0112
## 13    13 39.0 0.5417 0.0393 0.5432  0.0016
## 14    14 39.5 0.5833 0.0383 0.5626  0.0207
## 15    15 42.3 0.6250 0.0323 0.6616  0.0366
## 16    16 42.4 0.6667 0.0321 0.6648  0.0019
## 17    17 42.6 0.7083 0.0316 0.6712  0.0372
## 18    18 45.0 0.7500 0.0264 0.7408  0.0092
## 19    19 48.8 0.7917 0.0190 0.8266  0.0349
## 20    20 52.7 0.8333 0.0129 0.8882  0.0549
## 21    21 54.0 0.8750 0.0113 0.9040  0.0290
## 22    22 54.7 0.9167 0.0105 0.9116  0.0051
## 23    23 65.0 0.9583 0.0032 0.9754  0.0171
#Kolmogorov Smirnov
Delta_estadistico<-max(dif5)
Delta_critico<-1.36/sqrt(n)
KSpe<-max(dif5)
KS<-as.data.frame(round(cbind(Delta_estadistico,Delta_critico),4))
colnames(KS)<-c("Delta_calculado","Delta_crítico")
print(KS)
##      Delta_calculado Delta_crítico
## 1                0.0549         0.2836
if(Delta_estadistico<Delta_critico){
  cat("Como D<Do, se acepta","\n")
}else{
  cat("Como D>Do, No se acepta","\n")
}
## Como D<Do, se acepta
#Chi cuadrado
k<-round(1+3.33*log(n,base=10),0)
R<-max(x)-min(x)
A<-R/k
TDF<-as.data.frame(table(x=cut(x,breaks = k)))
Frec<-TDF$Freq
Li<-c()
Ls<-c()
Oi<-c()

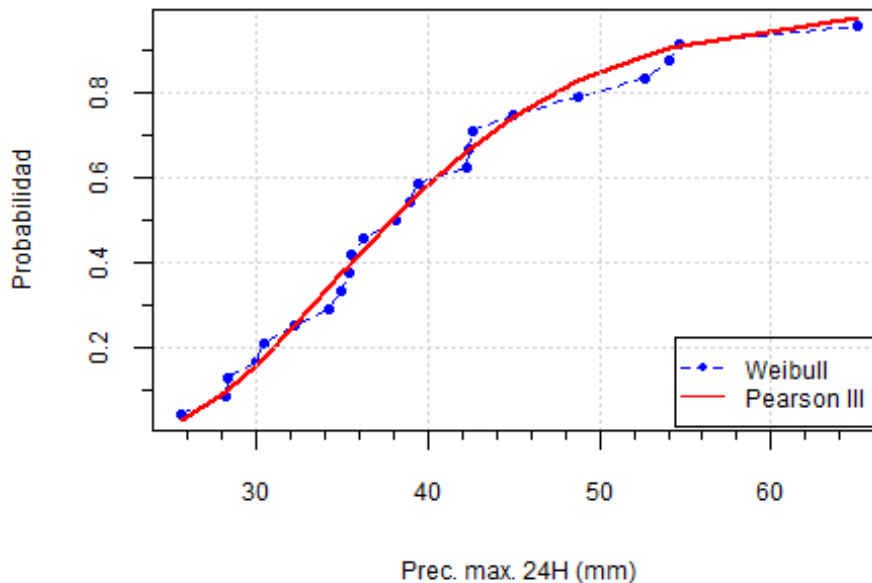
```

```

Ei<-c()
F_Li<-c()
F_Ls<-c()
Ri<-c()
for(i in 1:k ){
  if(i==1){
    Li[i]<-min(x)
    Ls[i]<-Li[i]+A
  }else{
    Li[i]<-Li[i-1]+A
    Ls[i]<-Ls[i-1]+A
  }
  Oi[i]<-Frec[i]
  F_Li[i]<-cdfpe3(Li[i],para=c(mu,sigma,gamma))
  F_Ls[i]<-cdfpe3(Ls[i],para=c(mu,sigma,gamma))
  Ei[i]<-(F_Ls[i]-F_Li[i])*n
  Ri[i]<-(Oi[i]-Ei[i])^2/Ei[i]
}
CC<-as.data.frame(round(cbind(Li,Ls,Oi,Ei,Ri),4))
colnames(CC)<-c("Li","Ls","Oi","Ei","(O-E)^2/E")
print(CC)
##      Li      Ls Oi      Ei (O-E)^2/E
## 1 25.6000 32.1667 5 5.0450 0.0004
## 2 32.1667 38.7333 7 6.5673 0.0285
## 3 38.7333 45.3000 6 4.9663 0.2151
## 4 45.3000 51.8667 1 2.9527 1.2914
## 5 51.8667 58.4333 3 1.5336 1.4023
## 6 58.4333 65.0000 1 0.7304 0.0995
Dchipe<-sum(Ri)
k<-length(Oi)
m<-3
v<-k-m-1
Dt5<-qchisq(0.95,v)
cat("K=",k,"\n")
## K= 6
cat("m=",m,"\n")
## m= 3
cat("v=",v,"\n")
## v= 2
CC<-as.data.frame(round(cbind(Dchipe,Dt5),4))
colnames(CC)<-c("D_calculado","D_tabular")
print(CC)
##   D_calculado D_tabular
## 1      3.0372      5.9915
if(Dchipe<Dt5){
  cat("Como D<Dt, se acepta","\n")
}else{
  cat("Como D>Dt, No se acepta","\n")
}
## Como D<Dt, se acepta
#Grafico
plot(x,Weibull,type="o", pch=20, col="blue", lty=2,lwd=1,main="Distribución Pearson tipo
III", xlab="Prec. max. 24H
(mm)",ylab="Probabilidad",cex.main=0.8,cex.axis=0.75,cex.lab=0.75)
lines(x,Fpe, pch=20, col="red", lty=1,lwd=2)
grid()
legend(x = "bottomright",
  bg = rgb(0, 0, 0, alpha = 0),
  inset=c(0.01,0.01),
  legend = c("Weibull", "Pearson III"),
  lty = c(2,1),
  pch = c(20,NA),
  col = c("blue","red"),
  lwd = 1,cex = 0.75)
minor.tick(nx = 5)

```


Distribución Pearson tipo III



```
#DISTRIBUCIÓN LOG PEARSON TIPO III
#Parámetros
x<-DATOS$Max
x<-log(x,base=exp(1))
l_r<-sam1mu(x)
par_PEARSON<-as.data.frame(pe1pe3(l_r))
mu<-par_PEARSON[1,1]
sigma<-par_PEARSON[2,1]
gamma<-par_PEARSON[3,1]
xii<-mu-2*sigma/gamma
beta<-0.5*sigma*abs(gamma)
alfa<-4/gamma**2
param<-as.data.frame(round(cbind(xii,beta,alfa),4))
colnames(param)<-c("xii","beta","alfa")
print(param)
##      xii  beta  alfa
## 1 2.5698 0.0564 19.2529
x<-sort(x)
xo<-sort(DATOS$Max)
Weibull<-c()
flpe<-c()
dif6<-c()
y<-c()
s<-c()
Flpe<-cdfpe3(x,para=c(mu,sigma,gamma))
for(i in 1:n){
  Weibull[i]<-i/(n+1)
  flpe[i]<-abs(x[i]-xii)**(alfa-1)*exp(-abs(x[i]-
xii)/beta)/(xo[i]*gamma(alfa)*beta**alfa)
  dif6[i]<-abs(Weibull[i]-Flpe[i])
  s[i]<-i
}
TlPea<-as.data.frame(round(cbind(s,xo,x,Weibull,flpe,Flpe,dif6),4))
colnames(TlPea)<-c("N°","x","log(x)","P(x)","f(x)","F(x)","F(x)-P(x)")
print(TlPea)
##      N°    x log(x)  P(x)  f(x)  F(x) F(x)-P(x)
## 1     1  25.6 3.2426 0.0417 0.0152 0.0309  0.0108
## 2     2  28.2 3.3393 0.0833 0.0289 0.0881  0.0047
## 3     3  28.4 3.3464 0.1250 0.0299 0.0940  0.0310
## 4     4  30.0 3.4012 0.1667 0.0372 0.1478  0.0189
```

```

## 5 5 30.5 3.4177 0.2083 0.0391 0.1669 0.0415
## 6 6 32.3 3.4751 0.2500 0.0441 0.2422 0.0078
## 7 7 34.3 3.5351 0.2917 0.0463 0.3331 0.0414
## 8 8 35.0 3.5553 0.3333 0.0463 0.3655 0.0322
## 9 9 35.4 3.5667 0.3750 0.0461 0.3840 0.0090
## 10 10 35.6 3.5723 0.4167 0.0460 0.3932 0.0235
## 11 11 36.2 3.5891 0.4583 0.0455 0.4206 0.0377
## 12 12 38.2 3.6428 0.5000 0.0425 0.5088 0.0088
## 13 13 39.0 3.6636 0.5417 0.0408 0.5422 0.0005
## 14 14 39.5 3.6763 0.5833 0.0397 0.5623 0.0210
## 15 15 42.3 3.7448 0.6250 0.0330 0.6643 0.0393
## 16 16 42.4 3.7471 0.6667 0.0327 0.6676 0.0009
## 17 17 42.6 3.7519 0.7083 0.0323 0.6741 0.0342
## 18 18 45.0 3.8067 0.7500 0.0264 0.7444 0.0056
## 19 19 48.8 3.8877 0.7917 0.0185 0.8292 0.0375
## 20 20 52.7 3.9646 0.8333 0.0123 0.8885 0.0552
## 21 21 54.0 3.9890 0.8750 0.0107 0.9035 0.0285
## 22 22 54.7 4.0019 0.9167 0.0099 0.9107 0.0060
## 23 23 65.0 4.1744 0.9583 0.0031 0.9715 0.0132
#Kolmogorov Smirnov
Delta_estadistico<-max(dif6)
Delta_critico<-1.36/sqrt(n)
KS1pe<-max(dif6)
KS<-as.data.frame(round(cbind(Delta_estadistico,Delta_critico),4))
colnames(KS)<-c("Delta_calculado","Delta_crítico")
print(KS)
## Delta_calculado Delta_crítico
## 1 0.0552 0.2836
if(Delta_estadistico<Delta_critico){
  cat("Como D<Do, se acepta","\n")
}else{
  cat("Como D>Do, No se acepta","\n")
}
## Como D<Do, se acepta
# Chi cuadrado
x<-DATOS$Max
k<-round(1+3.33*log(n,base=10),0)
R<-max(x)-min(x)
A<-R/k
TDF<-as.data.frame(table(x=cut(x,breaks = k)))
Frec<-TDF$Freq
Li<-c()
Ls<-c()
Oi<-c()
Ei<-c()
F_Li<-c()
F_Ls<-c()
Ri<-c()
for(i in 1:k ){
  if(i==1){
    Li[i]<-min(x)
    Ls[i]<-Li[i]+A
  }else{
    Li[i]<-Li[i-1]+A
    Ls[i]<-Ls[i-1]+A
  }
  Oi[i]<-Frec[i]
  F_Li[i]<-cdfpe3(log(Li[i]),para=c(mu,sigma,gamma))
  F_Ls[i]<-cdfpe3(log(Ls[i]),para=c(mu,sigma,gamma))
  Ei[i]<-(F_Ls[i]-F_Li[i])*n
  Ri[i]<-(Oi[i]-Ei[i])^2/Ei[i]
}
CC<-as.data.frame(round(cbind(Li,Ls,Oi,Ei,Ri),4))
colnames(CC)<-c("Li","Ls","Oi","Ei","(O-E)^2/E")
print(CC)
## Li Ls Oi Ei (O-E)^2/E
## 1 25.6000 32.1667 5 4.7251 0.0160
## 2 32.1667 38.7333 7 6.7822 0.0070

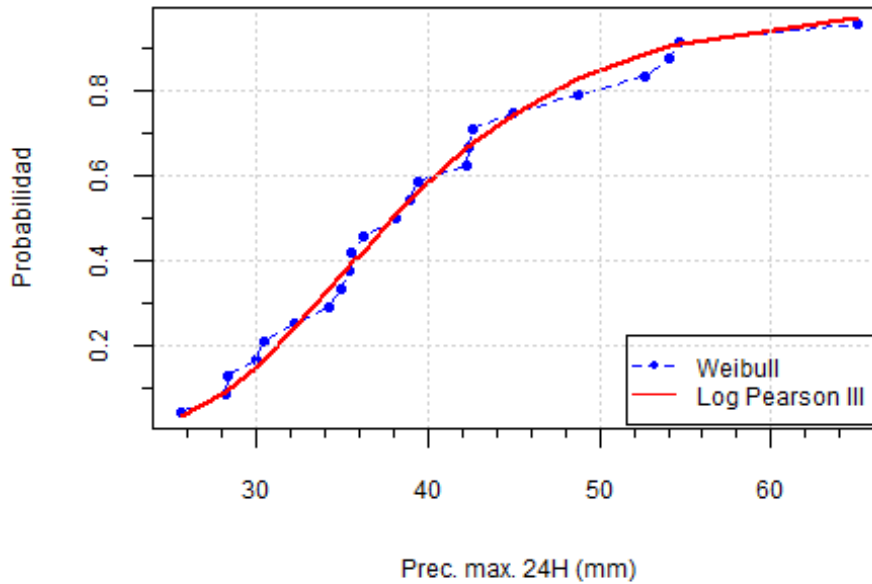
```

```

## 3 38.7333 45.3000 6 5.0849 0.1647
## 4 45.3000 51.8667 1 2.8868 1.2332
## 5 51.8667 58.4333 3 1.4553 1.6397
## 6 58.4333 65.0000 1 0.7008 0.1277
Dchilpe<-sum(Ri)
k<-length(Oi)
m<-3
v<-k-m-1
Dt6<-qchisq(0.95,v)
cat("K=",k,"\n")
## K= 6
cat("m=",m,"\n")
## m= 3
cat("v=",v,"\n")
## v= 2
CC<-as.data.frame(round(cbind(Dchilpe,Dt6),4))
colnames(CC)<-c("D_calculado","D_tabular")
print(CC)
## D_calculado D_tabular
## 1 3.1883 5.9915
if(Dchilpe<Dt6){
  cat("Como D<Dt, se acepta","\n")
}else{
  cat("Como D>Dt, No se acepta","\n")
}
## Como D<Dt, se acepta
#Grafico
plot(xo,Weibull,type="o", pch=20, col="blue", lty=2,lwd=1,main="Distribución Log Pearson
III", xlab="Prec. max. 24H
(mm)",ylab="Probabilidad",cex.main=0.8,cex.axis=0.75,cex.lab=0.75)
lines(xo,Flpe, pch=20, col="red", lty=1,lwd=2)
grid()
legend(x = "bottomright",
      bg = rgb(0, 0, 0, alpha = 0),
      inset=c(0.01,0.01),
      legend = c("Weibull", "Log Pearson III"),
      lty = c(2,1),
      pch = c(20,NA),
      col = c("blue","red"),
      lwd = 1,cex = 0.75)
minor.tick(nx = 5)

```

Distribución Log Pearson III



```
#DISTRIBUCIÓN GUMBEL
x<-DATOS$Max
l_r<-sam1mu(x)
par_GUMBEL<-as.data.frame(pelgum(l_r))
xii<-par_GUMBEL[1,1] #Parámetro de localización
alpha<-par_GUMBEL[2,1] #Parámetro de escala
param<-as.data.frame(round(cbind(xii,alpha),4))
colnames(param)<-c("xii","alpha")
print(param)
##      xii alpha
## 1 35.1487 8.0808
x<-sort(x)
Weibull<-c()
fgum<-c()
dif7<-c()
y<-c()
m<-c()
Fgum<-cdfgum(x,para=c(xii,alpha))
for(i in 1:n){
  Weibull[i]<-i/(n+1)
  fgum[i]<-exp(-(x[i]-xii)/alpha)*exp(-exp(-(x[i]-xii)/alpha))/alpha
  dif7[i]<-abs(Weibull[i]-Fgum[i])
  m[i]<-i
}
Tgum<-as.data.frame(round(cbind(m,x,Weibull,fgum,Fgum,dif7),4))
colnames(Tgum)<-c("N°","x","P(x)","f(x)","F(x)","F(x)-P(x)")
print(Tgum)
##      N°      x      P(x)      f(x)      F(x)      F(x)-P(x)
## 1      1 25.6 0.0417 0.0155 0.0384 0.0033
## 2      2 28.2 0.0833 0.0275 0.0941 0.0108
## 3      3 28.4 0.1250 0.0285 0.0997 0.0253
## 4      4 30.0 0.1667 0.0353 0.1509 0.0158
## 5      5 30.5 0.2083 0.0372 0.1690 0.0393
## 6      6 32.3 0.2500 0.0424 0.2411 0.0089
## 7      7 34.3 0.2917 0.0453 0.3293 0.0376
## 8      8 35.0 0.3333 0.0455 0.3611 0.0278
## 9      9 35.4 0.3750 0.0455 0.3793 0.0043
## 10     10 35.6 0.4167 0.0455 0.3884 0.0283
## 11     11 36.2 0.4583 0.0452 0.4156 0.0427
## 12     12 38.2 0.5000 0.0427 0.5038 0.0038
```



```

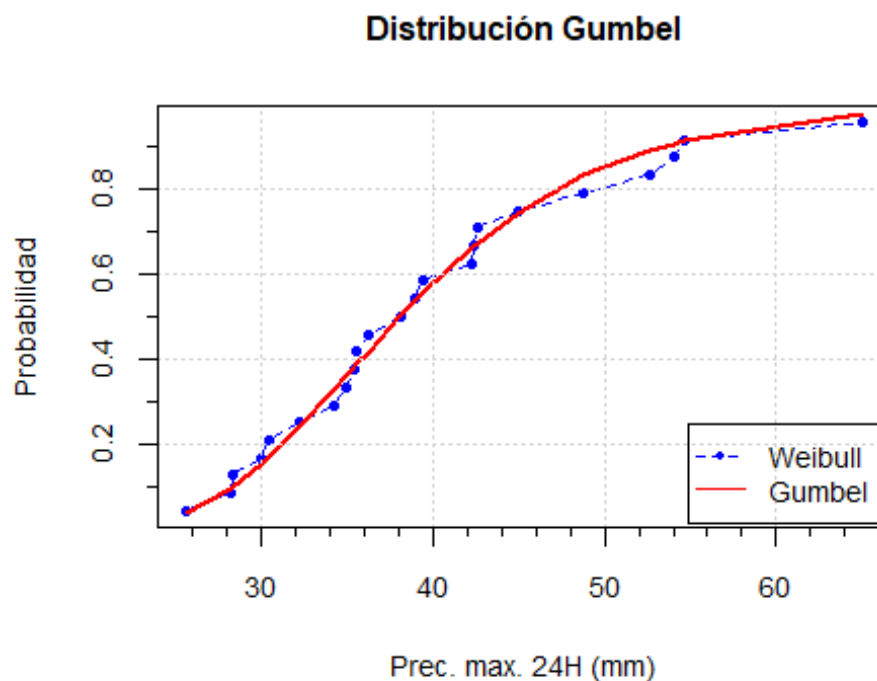
## 13 13 39.0 0.5417 0.0413 0.5375 0.0042
## 14 14 39.5 0.5833 0.0403 0.5579 0.0255
## 15 15 42.3 0.6250 0.0338 0.6618 0.0368
## 16 16 42.4 0.6667 0.0336 0.6652 0.0015
## 17 17 42.6 0.7083 0.0331 0.6719 0.0365
## 18 18 45.0 0.7500 0.0272 0.7442 0.0058
## 19 19 48.8 0.7917 0.0190 0.8314 0.0397
## 20 20 52.7 0.8333 0.0126 0.8923 0.0590
## 21 21 54.0 0.8750 0.0109 0.9075 0.0325
## 22 22 54.7 0.9167 0.0101 0.9149 0.0018
## 23 23 65.0 0.9583 0.0030 0.9754 0.0171
#Kolmogorov Smirnov
Delta_estadistico<-max(dif7)
Delta_critico<-1.36/sqrt(n)
KSgum<-max(dif7)
KS<-as.data.frame(round(cbind(Delta_estadistico,Delta_critico),4))
colnames(KS)<-c("Delta_calculado","Delta_crítico")
print(KS)
##   Delta_calculado Delta_crítico
## 1           0.059           0.2836
if(Delta_estadistico<Delta_critico){
  cat("Como D<Do, se acepta","\n")
}else{
  cat("Como D>Do, No se acepta","\n")
}
## Como D<Do, se acepta
#Chi cuadrado
k<-round(1+3.33*log(n,base=10),0)
R<-max(x)-min(x)
A<-R/k
TDF<-as.data.frame(table(x=cut(x,breaks = k)))
Frec<-TDF$Freq
Li<-c()
Ls<-c()
Oi<-c()
Ei<-c()
F_Li<-c()
F_Ls<-c()
Ri<-c()
for(i in 1:k ){
  if(i==1){
    Li[i]<-min(x)
    Ls[i]<-Li[i]+A
  }else{
    Li[i]<-Li[i-1]+A
    Ls[i]<-Ls[i-1]+A
  }
  Oi[i]<-Frec[i]
  F_Li[i]<-cdfgum(Li[i],para=c(xii,alpha))
  F_Ls[i]<-cdfgum(Ls[i],para=c(xii,alpha))
  Ei[i]<-(F_Ls[i]-F_Li[i])*n
  Ri[i]<-(Oi[i]-Ei[i])^2/Ei[i]
}
CC<-as.data.frame(round(cbind(Li,Ls,Oi,Ei,Ri),4))
colnames(CC)<-c("Li","Ls","Oi","Ei","(O-E)^2/E")
print(CC)
##      Li      Ls Oi      Ei (O-E)^2/E
## 1 25.6000 32.1667 5 4.5318 0.0484
## 2 32.1667 38.7333 7 6.6919 0.0142
## 3 38.7333 45.3000 6 5.1942 0.1250
## 4 45.3000 51.8667 1 2.9694 1.3061
## 5 51.8667 58.4333 3 1.4758 1.5741
## 6 58.4333 65.0000 1 0.6888 0.1406
Dchigum<-sum(Ri)
k<-length(Oi)
m<-2
v<-k-m-1

```

```

Dt7<-qchisq(0.95,v)
cat("K=",k,"\n")
## K= 6
cat("m=",m,"\n")
## m= 2
cat("v=",v,"\n")
## v= 3
CC<-as.data.frame(round(cbind(Dchigum,Dt7),4))
colnames(CC)<-c("D_calculado","D_tabular")
print(CC)
## D_calculado D_tabular
## 1 3.2084 7.8147
if(Dchigum<Dt7){
  cat("Como D<Dt, se acepta","\n")
}else{
  cat("Como D>Dt, No se acepta","\n")
}
## Como D<Dt, se acepta
#Grafico
plot(x,Weibull,type="o", pch=20, col="blue", lty=2,lwd=1,main="Distribución Gumbel",
xlab="Prec. max. 24H (mm)",ylab="Probabilidad",cex.main=1,cex.axis=0.9,cex.lab=0.9)
lines(x,Fgum, pch=20, col="red", lty=1,lwd=2)
grid()
legend(x = "bottomright",
  bg = rgb(0, 0, 0, alpha = 0),
  inset=c(0.01,0.01),
  legend = c("Weibull", "Gumbel"),
  lty = c(2,1),
  pch = c(20,NA),
  col = c("blue","red"),
  lwd = 1,cex = 0.85)
minor.tick(nx = 5)

```



```
#RESUMEN DE RESULTADOS
```

```
x<-sort(DATOS$Max)
```

```
#Kolmogorov-Smirnov
```

```
RESUMEN<-
```

```
round(cbind.data.frame(m,x,Weibull,Fnor,dif1,Flnor,dif2,Fnor3,dif3,Fgm,dif4,Fpe,dif5,Flpe,d
```

```

if6,Fgum,dif7),4)
print(RESUMEN)
##      m      x Weibull   Fnor   dif1  Flnor   dif2  Fnor3   dif3   Fgm   dif4
## 1  2 25.6  0.0417 0.0761 0.0345 0.0464 0.0047 0.0327 0.0089 0.0606 0.0189
## 2  2 28.2  0.0833 0.1211 0.0377 0.0989 0.0155 0.0912 0.0079 0.1129 0.0295
## 3  2 28.4  0.1250 0.1252 0.0002 0.1040 0.0210 0.0972 0.0278 0.1177 0.0073
## 4  2 30.0  0.1667 0.1615 0.0052 0.1500 0.0167 0.1513 0.0154 0.1612 0.0055
## 5  2 30.5  0.2083 0.1741 0.0342 0.1662 0.0421 0.1703 0.0380 0.1763 0.0320
## 6  2 32.3  0.2500 0.2246 0.0254 0.2308 0.0192 0.2452 0.0048 0.2361 0.0139
## 7  2 34.3  0.2917 0.2893 0.0023 0.3114 0.0197 0.3355 0.0438 0.3107 0.0191
## 8  2 35.0  0.3333 0.3139 0.0194 0.3410 0.0076 0.3676 0.0343 0.3383 0.0050
## 9  2 35.4  0.3750 0.3283 0.0467 0.3581 0.0169 0.3859 0.0109 0.3543 0.0207
## 10 2 35.6  0.4167 0.3356 0.0810 0.3667 0.0500 0.3950 0.0216 0.3623 0.0543
## 11 2 36.2  0.4583 0.3580 0.1004 0.3925 0.0658 0.4223 0.0361 0.3867 0.0717
## 12 2 38.2  0.5000 0.4355 0.0645 0.4784 0.0216 0.5100 0.0100 0.4684 0.0316
## 13 2 39.0  0.5417 0.4674 0.0743 0.5120 0.0297 0.5432 0.0015 0.5009 0.0408
## 14 2 39.5  0.5833 0.4874 0.0959 0.5326 0.0507 0.5633 0.0200 0.5210 0.0624
## 15 2 42.3  0.6250 0.5989 0.0261 0.6407 0.0157 0.6654 0.0404 0.6282 0.0032
## 16 2 42.4  0.6667 0.6028 0.0639 0.6443 0.0224 0.6687 0.0020 0.6318 0.0349
## 17 2 42.6  0.7083 0.6105 0.0978 0.6514 0.0570 0.6752 0.0331 0.6390 0.0694
## 18 2 45.0  0.7500 0.6993 0.0507 0.7297 0.0203 0.7460 0.0040 0.7192 0.0308
## 19 2 48.8  0.7917 0.8173 0.0257 0.8267 0.0351 0.8315 0.0399 0.8214 0.0297
## 20 2 52.7  0.8333 0.9029 0.0695 0.8951 0.0617 0.8915 0.0582 0.8948 0.0614
## 21 2 54.0  0.8750 0.9235 0.0485 0.9120 0.0370 0.9066 0.0316 0.9130 0.0380
## 22 2 54.7  0.9167 0.9331 0.0165 0.9200 0.0034 0.9139 0.0028 0.9216 0.0050
## 23 2 65.0  0.9583 0.9944 0.0361 0.9824 0.0241 0.9744 0.0161 0.9862 0.0279
##      Fpe   dif5   Flpe   dif6   Fgum   dif7
## 1  0.0278 0.0139 0.0309 0.0108 0.0384 0.0033
## 2  0.0927 0.0094 0.0881 0.0047 0.0941 0.0108
## 3  0.0992 0.0258 0.0940 0.0310 0.0997 0.0253
## 4  0.1568 0.0098 0.1478 0.0189 0.1509 0.0158
## 5  0.1767 0.0316 0.1669 0.0415 0.1690 0.0393
## 6  0.2530 0.0030 0.2422 0.0078 0.2411 0.0089
## 7  0.3423 0.0506 0.3331 0.0414 0.3293 0.0376
## 8  0.3736 0.0403 0.3655 0.0322 0.3611 0.0278
## 9  0.3914 0.0164 0.3840 0.0090 0.3793 0.0043
## 10 0.4003 0.0164 0.3932 0.0235 0.3884 0.0283
## 11 0.4266 0.0317 0.4206 0.0377 0.4156 0.0427
## 12 0.5112 0.0112 0.5088 0.0088 0.5038 0.0038
## 13 0.5432 0.0016 0.5422 0.0005 0.5375 0.0042
## 14 0.5626 0.0207 0.5623 0.0210 0.5579 0.0255
## 15 0.6616 0.0366 0.6643 0.0393 0.6618 0.0368
## 16 0.6648 0.0019 0.6676 0.0009 0.6652 0.0015
## 17 0.6712 0.0372 0.6741 0.0342 0.6719 0.0365
## 18 0.7408 0.0092 0.7444 0.0056 0.7442 0.0058
## 19 0.8266 0.0349 0.8292 0.0375 0.8314 0.0397
## 20 0.8882 0.0549 0.8885 0.0552 0.8923 0.0590
## 21 0.9040 0.0290 0.9035 0.0285 0.9075 0.0325
## 22 0.9116 0.0051 0.9107 0.0060 0.9149 0.0018
## 23 0.9754 0.0171 0.9715 0.0132 0.9754 0.0171
resKS<-
data.frame(FUNCIÓN=c("Normal","LogNormal","LogNormal3P","Gamma","Pearson","LogPearson","Gumbel"),
DELTA=c(KSnor,KSlnor,KSnor3,KSgm,KSpe,KS1pe,KSgum),DELTAt=c(Delta_critico))
print(resKS)
##      FUNCIÓN      DELTA      DELTAt
## 1      Normal 0.10037832 0.2835796
## 2  LogNormal 0.06581802 0.2835796
## 3 LogNormal3P 0.05820592 0.2835796
## 4      Gamma 0.07168252 0.2835796
## 5      Pearson 0.05490844 0.2835796
## 6  LogPearson 0.05518332 0.2835796
## 7      Gumbel 0.05896741 0.2835796
#Chi cuadrado
resCHI<-
data.frame(FUNCIÓN=c("Normal","LogNormal","LogNormal3P","Gamma","Pearson","LogPearson","Gumbel"),

```

```

                                DELTA=c(Dchinor,Dchilnor,Dchilnor3,Dchigm,Dchipe,Dchilpe,Dchigum),
                                DELTAt=c(Dt1,Dt2,Dt3,Dt4,Dt5,Dt6,Dt7))
print(resCHI)
##      FUNCIÓN      DELTA      DELTAt
## 1      Normal  4.625066  7.814728
## 2     LogNormal 3.274488  7.814728
## 3 LogNormal3P  3.192010  5.991465
## 4         Gamma 3.422665  7.814728
## 5         Pearson 3.037212  5.991465
## 6    LogPearson 3.188345  5.991465
## 7          Gumbel 3.208410  7.814728
#CURVAS INTENSIDAD DURACIÓN FRECUENCIA (IDF)
DATOS<-read.csv("E:\\PARA GRADUACION\\13.- DATOS SENAMHI\\ARCHIVO CSV\\precTAMBO.csv")
x<-DATOS$Max
l_r<-samllmu(x)
par_PEARSON<-as.data.frame(pei3(l_r))
mu<-par_PEARSON[1,1]
sigma<-par_PEARSON[2,1]
gamma<-par_PEARSON[3,1]
T<-c(2,5,10,25,50,100)
Tinv<-1-1/T
PT<-round(quape3(Tinv,para=c(mu,sigma,gamma)),2)
P24T<-as.data.frame(cbind(T,PT))
colnames(P24T)<-c("T","Precipitación")
print(P24T)
##      T Precipitación
## 1     2          37.93
## 2     5          47.48
## 3    10          53.66
## 4    25          61.18
## 5    50          66.58
## 6   100          71.81
P1h<-round(0.3862*DATOS$Max,2)
P24h1h<-cbind(DATOS$Año,DATOS$Max,P1h)
colnames(P24h1h)<-c("Año","P24h","P1h")
x<-P1h
l_r<-samllmu(x)
par_PEARSON<-as.data.frame(pei3(l_r))
mu<-par_PEARSON[1,1]
sigma<-par_PEARSON[2,1]
gamma<-par_PEARSON[3,1]
T<-c(2,5,10,25,50,100)
LN<-round(log(T),4)
Tinv<-1-1/T
P1h<-round(quape3(Tinv,para=c(mu,sigma,gamma)),2)
pp<-round(quape3(0.9,para=c(mu,sigma,gamma)),2)
CF<-round(P1h/pp,4)
TT<-as.data.frame(cbind(T,P1h,LN,CF))
print(P24h1h)
##      Año P24h  P1h
## [1,] 1996 35.0 13.52
## [2,] 1997 38.2 14.75
## [3,] 1999 25.6  9.89
## [4,] 2000 42.3 16.34
## [5,] 2001 52.7 20.35
## [6,] 2002 39.0 15.06
## [7,] 2003 48.8 18.85
## [8,] 2004 36.2 13.98
## [9,] 2005 54.7 21.13
## [10,] 2006 34.3 13.25
## [11,] 2007 28.2 10.89
## [12,] 2008 30.0 11.59
## [13,] 2009 65.0 25.10
## [14,] 2010 42.6 16.45
## [15,] 2011 35.4 13.67
## [16,] 2012 42.4 16.37
## [17,] 2013 28.4 10.97
## [18,] 2014 39.5 15.25

```



```

## [19,] 2015 35.6 13.75
## [20,] 2016 30.5 11.78
## [21,] 2017 45.0 17.38
## [22,] 2018 54.0 20.85
## [23,] 2019 32.3 12.47
print(TT)
##      T      P1h      LN      CF
## 1     2 14.65 0.6931 0.7070
## 2     5 18.34 1.6094 0.8851
## 3    10 20.72 2.3026 1.0000
## 4    25 23.63 3.2189 1.1404
## 5    50 25.71 3.9120 1.2408
## 6   100 27.73 4.6052 1.3383
print(pp)
## [1] 20.72
fac<-c(0.17,0.255,0.305,0.3862,0.465,0.7184,0.83)
D<-sort(DATOS$Max)
ver<-cbind(D,D*fac[1],D*fac[2],D*fac[3],D*fac[4],D*fac[5],D*fac[6],D*fac[7])
ver<-round(ver,2)
colnames(ver)<-c("P24H","P(10')","P(20')","P(30')","P(60')","P(120')","P(360')","P(720')")
print(ver)
##      P24H P(10') P(20') P(30') P(60') P(120') P(360') P(720')
## [1,] 25.6  4.35  6.53  7.81  9.89  11.90  18.39  21.25
## [2,] 28.2  4.79  7.19  8.60 10.89  13.11  20.26  23.41
## [3,] 28.4  4.83  7.24  8.66 10.97  13.21  20.40  23.57
## [4,] 30.0  5.10  7.65  9.15 11.59  13.95  21.55  24.90
## [5,] 30.5  5.19  7.78  9.30 11.78  14.18  21.91  25.31
## [6,] 32.3  5.49  8.24  9.85 12.47  15.02  23.20  26.81
## [7,] 34.3  5.83  8.75 10.46 13.25  15.95  24.64  28.47
## [8,] 35.0  5.95  8.93 10.67 13.52  16.28  25.14  29.05
## [9,] 35.4  6.02  9.03 10.80 13.67  16.46  25.43  29.38
## [10,] 35.6  6.05  9.08 10.86 13.75  16.55  25.58  29.55
## [11,] 36.2  6.15  9.23 11.04 13.98  16.83  26.01  30.05
## [12,] 38.2  6.49  9.74 11.65 14.75  17.76  27.44  31.71
## [13,] 39.0  6.63  9.95 11.89 15.06  18.14  28.02  32.37
## [14,] 39.5  6.72 10.07 12.05 15.25  18.37  28.38  32.78
## [15,] 42.3  7.19 10.79 12.90 16.34  19.67  30.39  35.11
## [16,] 42.4  7.21 10.81 12.93 16.37  19.72  30.46  35.19
## [17,] 42.6  7.24 10.86 12.99 16.45  19.81  30.60  35.36
## [18,] 45.0  7.65 11.47 13.72 17.38  20.92  32.33  37.35
## [19,] 48.8  8.30 12.44 14.88 18.85  22.69  35.06  40.50
## [20,] 52.7  8.96 13.44 16.07 20.35  24.51  37.86  43.74
## [21,] 54.0  9.18 13.77 16.47 20.85  25.11  38.79  44.82
## [22,] 54.7  9.30 13.95 16.68 21.13  25.44  39.30  45.40
## [23,] 65.0 11.05 16.58 19.82 25.10  30.23  46.70  53.95
verdu<-cbind(D*fac[1],D*fac[2],D*fac[3],D*fac[4],D*fac[5],D*fac[6],D*fac[7])
DURACIONES<-as.data.frame(verdu)
T<-c(2,5,10,25,50)
Tinv<-1-1/T
ZZ<-matrix(0,nrow = 7,ncol = 5)
DR<-c()
for(i in 1:length(fac)){
  DAT<-DURACIONES[,i]
  #pegar función de distribución seleccionada
  x<-DAT
  l_r<-sam1mu(x)
  par_PEARSON<-as.data.frame(pelpe3(l_r))
  mu<-par_PEARSON[1,1]
  sigma<-par_PEARSON[2,1]
  gamma<-par_PEARSON[3,1]

  #cuantiles
  for(j in 1:length(T)){
    DR[j]<-quape3(Tinv[j],para=c(mu,sigma,gamma))
    ZZ[i,j]<-round(DR[j],2)
  }
}

```

```

colnames(ZZ)<-c("T=2","T=5","T=10","T=25","T=50")
rownames(ZZ)<-c("10min","20min","30min","60min","120min","360min","720min")
xx<-as.data.frame(ZZ)
print(xx)
##          T=2   T=5   T=10  T=25  T=50
## 10min   6.45  8.07  9.12 10.40 11.32
## 20min   9.67 12.11 13.68 15.60 16.98
## 30min  11.57 14.48 16.36 18.66 20.31
## 60min  14.65 18.34 20.72 23.63 25.71
## 120min 17.64 22.08 24.95 28.45 30.96
## 360min 27.25 34.11 38.55 43.95 47.83
## 720min 31.48 39.41 44.53 50.78 55.26
CD<-round(xx/pp,3)
print(CD)
##          T=2   T=5   T=10  T=25  T=50
## 10min  0.311 0.389 0.440 0.502 0.546
## 20min  0.467 0.584 0.660 0.753 0.819
## 30min  0.558 0.699 0.790 0.901 0.980
## 60min  0.707 0.885 1.000 1.140 1.241
## 120min 0.851 1.066 1.204 1.373 1.494
## 360min 1.315 1.646 1.861 2.121 2.308
## 720min 1.519 1.902 2.149 2.451 2.667
#Grafica por ecuación generada
P1hT10<-pp
lamda<-0.160
e<-0.617
A<-0.302
B<--6.528
C<--0.302
T<-c(2,5,10,25,50)
t<-c(10,20,30,60,120,240,360)

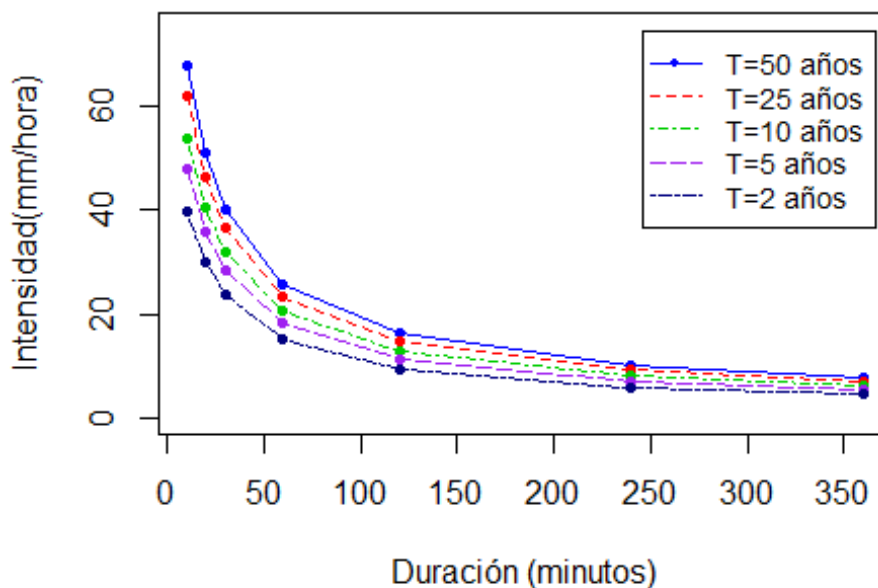
P<-matrix(0,nrow = 7,ncol = 5)
  for (j in 1:length(T)){
    for (m in 1:length(t)) {
      P[m,j]<-round(P1hT10*(lamda*log(T[j])+e)*A/(t[m]+B)^C,2)
    }
  }
colnames(P)<-c("T=2","T=5","T=10","T=25","T=50")
rownames(P)<-c("10min","20min","30min","60min","120min","360min","720min")
I<-matrix(0,nrow = 7,ncol = 5)
  for (j in 1:length(T)){
    for (m in 1:length(t)) {
      I[m,j]<-round(((P1hT10*(lamda*log(T[j])+e)*A/(t[m]+B)^C)/(t[m]/60)),2)
    }
  }
colnames(I)<-c("T=2","T=5","T=10","T=25","T=50")
rownames(I)<-c("10min","20min","30min","60min","120min","360min","720min")
print(P)
##          T=2   T=5   T=10  T=25  T=50
## 10min   6.63  7.97  8.98 10.32 11.33
## 20min   9.99 12.00 13.52 15.54 17.06
## 30min  11.81 14.19 15.99 18.37 20.17
## 60min  15.15 18.20 20.51 23.56 25.87
## 120min 19.01 22.84 25.74 29.57 32.47
## 360min 23.64 28.40 32.01 36.77 40.37
## 720min 26.80 32.19 36.28 41.67 45.76
print(I)
##          T=2   T=5   T=10  T=25  T=50
## 10min  39.80 47.82 53.88 61.90 67.96
## 20min  29.97 36.01 40.57 46.61 51.17
## 30min  23.63 28.39 31.99 36.74 40.34
## 60min  15.15 18.20 20.51 23.56 25.87
## 120min  9.51 11.42 12.87 14.78 16.23
## 360min  5.91  7.10  8.00  9.19 10.09
## 720min  4.47  5.37  6.05  6.95  7.63

```

```
plot(t,I[,5],type="o", pch=20, col="blue" , lty=1,lwd=1.8, xlab="Duración (minutos)"
,ylab="Intensidad(mm/hora)", ylim = c(0,75),main="Curvas IDF-Ecuación 145")
lines(t,I[,4],type="o", pch=20, col="red" , lty=2,lwd=1.8)
lines(t,I[,3],type="o", pch=20, col="green3" , lty=4,lwd=1.8)
lines(t,I[,2],type="o", pch=20, col="purple" , lty=5,lwd=1.8)
lines(t,I[,1],type="o", pch=20, col="navy" , lty=6,lwd=1.8)

legend(x = "topright",
inset=c(0.02,0.04),
legend = c("T=50 años", "T=25 años","T=10 años","T=5 años", "T=2 años"),
lty = c(1,2,4,5,6),
pch = c(20,NA,NA,NA,NA),
col = c("blue","red","green3","purple","navy"),
lwd = 1,cex = 0.85)
```

Curvas IDF-Ecuación 145



```
#Curvas IDF-MTC
fac<-c(0.194,0.205,0.215,0.25,0.31,0.44,0.56)
dur<-c(10,20,30,60,120,240,360)
T<-c(2,5,10,25,50,100)
Tinv<-1-1/T
x<-round(DATOS$Max,2)
l_r<-sam1mu(x)
par_PEARSON<-as.data.frame(pe1pe3(l_r))
mu<-par_PEARSON[1,1]
sigma<-par_PEARSON[2,1]
gamma<-par_PEARSON[3,1]
P24H<-quape3(Tinv,para=c(mu,sigma,gamma))
Cu<-
round(cbind(fac, fac*P24H[1], fac*P24H[2], fac*P24H[3], fac*P24H[4], fac*P24H[5], fac*P24H[6]),2)
colnames(Cu)<-c("Coef.", "T=2", "T=5", "T=10", "T=25", "T=50", "T=100")
rownames(Cu)<-c("10min", "20min", "30min", "60min", "120min", "240min", "360min")
print(Cu)
##      Coef.   T=2   T=5   T=10   T=25   T=50   T=100
## 10min  0.19  7.36  9.21 10.41 11.87 12.92 13.93
## 20min  0.20  7.77  9.73 11.00 12.54 13.65 14.72
## 30min  0.22  8.15 10.21 11.54 13.15 14.32 15.44
## 60min  0.25  9.48 11.87 13.41 15.30 16.65 17.95
## 120min 0.31 11.76 14.72 16.63 18.97 20.64 22.26
## 240min 0.44 16.69 20.89 23.61 26.92 29.30 31.59
## 360min 0.56 21.24 26.59 30.05 34.26 37.29 40.21
```



```

llu<-
round(cbind(fac*P24H[1], fac*P24H[2], fac*P24H[3], fac*P24H[4], fac*P24H[5], fac*P24H[6]),2)
IDF<-round(llu/(dur/60),2)
colnames(IDF)<-c("T=2", "T=5", "T=10", "T=25", "T=50", "T=100")
rownames(IDF)<-c("10min", "20min", "30min", "60min", "120min", "240min", "360min")
print(IDF)
##          T=2   T=5   T=10  T=25  T=50  T=100
## 10min  44.16  55.26  62.46  71.22  77.52  83.58
## 20min  23.31  29.19  33.00  37.62  40.95  44.16
## 30min  16.30  20.42  23.08  26.30  28.64  30.88
## 60min   9.48  11.87  13.41  15.30  16.65  17.95
## 120min  5.88   7.36   8.31   9.48  10.32  11.13
## 240min  4.17   5.22   5.90   6.73   7.32   7.90
## 360min  3.54   4.43   5.01   5.71   6.22   6.70
plot(dur,IDF[,5],type="o", pch=20, col="blue" , lty=1,lwd=1.8, xlab="Duración (minutos)"
,ylab="Intensidad (mm/hora)", ylim = c(0, 85),main="Curvas IDF-Coeficientes de duración
MTC")
lines(dur,IDF[,4],type="o", pch=20, col="red" , lty=2,lwd=1.8)
lines(dur,IDF[,3],type="o", pch=20, col="green3" , lty=4,lwd=1.8)
lines(dur,IDF[,2],type="o", pch=20, col="purple" , lty=5,lwd=1.8)
lines(dur,IDF[,1],type="o", pch=20, col="navy" , lty=6,lwd=1.8)

legend(x = "topright",
inset=c(0.02,0.04),
legend = c("T=50 años", "T=25 años","T=10 años","T=5 años", "T=2 años"),
lty = c(1,2,4,5,6),
pch = c(20,NA,NA,NA,NA),
col = c("blue", "red", "green3", "purple", "navy"),
lwd = 1,cex = 0.85)

```

Curvas IDF-Coeficientes de duración MTC

