

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

MENCIÓN RECURSOS HÍDRICOS Y MEDIO AMBIENTE



**“EVALUACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN, DURACIÓN Y FRECUENCIA EN LA
GENERACIÓN DE INTENSIDADES DE PRECIPITACIÓN - LA CONVENCION - CUSCO
- 2015”**

Tesis

Presentado por:

Bach: Jimmy Franz Trauco Campos

**Para optar el Grado Académico de
Maestro en Ingeniería Civil - Mención
Recursos Hídricos y Medio Ambiente.**

Asesor: Dr. Julio Ricardo Chávez Bellido

Cusco – Perú

2019

DEDICATORIA

A Kristel, por apoyar mi decisión de continuar los estudios de post grado y por la gran paciencia que me tuvo durante el desarrollo de la presente investigación, a mi madre Ketty, por forjar en mí el interés por el conocimiento; y a mi hermano Walji, para que la presente sea motivación en su camino hacia el continuo aprendizaje.

AGRADECIMIENTO

A Dios todo poderoso, por darme la fuerza de voluntad y paciencia en todo momento; al Ingeniero Zenón Huamán, director del SENAMHI - CUSCO, por proporcionarme la información necesaria para el desarrollo de la esta investigación y al Dr. Julio Chávez, por su orientación en el desarrollo de la presente.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN	xiv
INTRODUCCIÓN	xviii
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. Situación Problemática	1
1.2. Formulación del Problema	7
1.2.1. Problema General.....	7
1.2.2. Problemas Específicos.....	7
1.3. Justificación	8
1.4. Objetivos de la Investigación	9
1.4.1. Objetivo General	9
1.4.2. Objetivos Específicos	9
CAPÍTULO II.....	10
MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. Antecedentes de Investigación.....	10
2.2. Bases Teóricas.....	15
2.2.1. Estaciones Meteorológicas	15
2.2.1.1. Clasificación.....	16
2.2.1.2. Observaciones Meteorológicas	18
2.2.1.3. Toma de Datos.....	23
2.2.1.4. Estación Meteorológica del Distrito de Santa Ana	24
2.2.2. Precipitación	24
2.2.2.1. Tipos	26
2.2.2.2. Medición de la Precipitación	27
2.2.2.3. Intensidad de Precipitación	30
2.2.2.4. Importancia	31
2.2.3. Método ILLA	33
2.2.4. Teoría de Regresión	35

2.2.4.1. Análisis de Regresión	35
2.2.4.2. Regresión Lineal Simple.....	41
2.2.5. Distribuciones Teóricas de Probabilidad	43
2.2.5.1. Distribución Gumbel o Extrema Tipo I.....	46
2.2.5.2. Distribución Gamma.....	48
2.2.5.3. Distribución Log Normal de 2 Parámetros.....	49
2.2.5.4. Distribución Log Pearson Tipo III o Gamma de Tres Parámetros	51
2.2.6. Análisis de Confiabilidad	53
2.2.6.1. Plotting Position	56
2.2.6.2. Prueba Smirnov – Kolmogorov.....	57
2.2.6.3. Prueba Chi Cuadrado	58
2.2.7. Ecuación de Bell	61
2.2.7.1. Procedimiento	62
2.2.7.2. Coeficiente de Frecuencia.....	65
2.2.7.3. Coeficiente de Duración	66
2.2.7.4. Gráficos	67
2.2.8. El Distrito de Santa Ana	68
2.2.8.1. Historia	68
2.2.8.2. Ubicación y Geografía	69
2.2.8.3. Economía y Población	69
2.2.8.4. Vías de Comunicación	70
2.3. Marco Conceptual.....	71
CAPÍTULO III	73
HIPÓTESIS Y VARIABLES	73
3.1. Formulación de Hipótesis	73
3.1.1. Hipótesis General	73
3.1.2. Hipótesis Específicas	73
3.2. Matriz de Consistencia.....	74
3.3. Matriz de Operacionalización de Variables	75
CAPÍTULO IV.....	76
METODOLOGÍA.....	76
4.1. Tipo	76
4.2. Diseño.....	76

4.3. Población.....	76
4.4. Muestra.....	76
4.5. Muestreo	77
4.6. Técnicas	77
4.7. Instrumentos	77
4.8. Desarrollo de la investigación.....	77
4.8.1. Procesamiento de información para evaluar la confiabilidad del uso del método de Bell en la zona de estudio	77
4.8.2. Procesamiento de los datos para definir la ecuación característica de la zona en estudio.	80
CAPÍTULO V.....	92
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	92
5.1. Procesamiento, análisis, interpretación y discusión de resultados.....	92
5.1.1. Procesamiento, análisis e interpretación	92
5.1.2. Discusión de resultados.....	164
5.2. Pruebas de Hipótesis	171
5.3. Presentación de resultados.....	173
CONCLUSIONES	176
RECOMENDACIONES	178
BIBLIOGRAFÍA.....	179
ANEXOS.....	184

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 Valores mínimos recomendados por la OMM de densidad de estaciones.	17
Tabla N° 2 Clasificación de estaciones meteorológicas.	17
Tabla N° 3 Correlación $P_{max24horas}$ y diversos periodos de duración (D^t).	63
Tabla N° 4 Precipitación máxima en 24 horas.	78
Tabla N° 5 Selección de la distribución que mejor ajusta los datos analizados.	79
Tabla N° 6 Información meteorológica completa para realizar el análisis de datos outliers.	88
Tabla N° 7 Información meteorológica completa a procesar.	89
Tabla N° 8 Valores máximos por mes.	90
Tabla N° 9 Precipitaciones calculadas para distintos periodos de retorno y de duración, calculadas por el método de Bell.	92
Tabla N° 10 Intensidades calculadas por el método de Bell, para distintos periodos de retorno y de duración.	93
Tabla N° 11 <i>Parámetros intervinientes en la ecuación del método ILLA, para generar intensidades de precipitación en la zona de investigación.</i>	93
Tabla N° 12 <i>Intensidades calculadas para distintos periodos de retorno y de duración, calculadas por el método de ILLA.</i>	94
Tabla N° 13 <i>Comparación de intensidades generadas por el método de Bell y el método ILLA.</i>	95
Tabla N° 14 <i>Resumen estadístico de las intensidades calculadas por el método ILLA y de Bell para periodo de retorno de 2 años.</i>	96
Tabla N° 15 <i>Comparación en posición de las intensidades calculadas por el método ILLA y de Bell para periodo de retorno de 2 años.</i>	97
Tabla N° 16 <i>Comparación en forma de las intensidades calculadas por el método ILLA y de Bell para periodo de retorno de 2 años.</i>	98

Tabla N° 17 <i>Resumen estadístico de las intensidades calculadas por el método IILA y de Bell para periodo de retorno de 5 años.....</i>	99
Tabla N° 18 <i>Comparación en posición de las intensidades calculadas por el método IILA y de Bell para periodo de retorno de 5 años.....</i>	100
Tabla N° 19 <i>Comparación en forma de las intensidades calculadas por el método IILA y de Bell para periodo de retorno de 5 años.....</i>	101
Tabla N° 20 <i>Resumen estadístico de las intensidades calculadas por el método IILA y de Bell para periodo de retorno de 10 años.</i>	102
Tabla N° 21 <i>Comparación en posición de las intensidades calculadas por el método IILA y de Bell para periodo de retorno de 10 años.....</i>	103
Tabla N° 22 <i>Comparación en forma de las intensidades calculadas por el método IILA y de Bell para periodo de retorno de 10 años.</i>	104
Tabla N° 23 <i>Resumen estadístico de las intensidades calculadas por el método IILA y de Bell para periodo de retorno de 20 años.</i>	105
Tabla N° 24 <i>Comparación en posición de las intensidades calculadas por el método IILA y de Bell para periodo de retorno de 20 años.....</i>	106
Tabla N° 25 <i>Comparación en forma de las intensidades calculadas por el método IILA y de Bell para periodo de retorno de 20 años.</i>	107
Tabla N° 26 <i>Resumen estadístico de las intensidades calculadas por el método IILA y de Bell para periodo de retorno de 30 años.</i>	108
Tabla N° 27 <i>Comparación en posición de las intensidades calculadas por el método IILA y de Bell para periodo de retorno de 30 años.....</i>	109
Tabla N° 28 <i>Comparación en forma de las intensidades calculadas por el método IILA y de Bell para periodo de retorno de 30 años.</i>	110
Tabla N° 29 <i>Relación existente entre las intensidades calculadas por el método IILA y de Bell para periodo de retorno de 2 años.....</i>	111
Tabla N° 30 <i>Relación existente entre las intensidades calculadas por el método IILA y de Bell para periodo de retorno de 5 años.....</i>	112

Tabla N° 31 <i>Relación existente entre las intensidades calculadas por el método ILLA y de Bell para periodo de retorno de 10 años.</i>	113
Tabla N° 32 <i>Relación existente entre las intensidades calculadas por el método ILLA y de Bell para periodo de retorno de 20 años.</i>	114
Tabla N° 33 <i>Relación existente entre las intensidades calculadas por el método ILLA y de Bell para periodo de retorno de 30 años.</i>	115
Tabla N° 34 Precipitación máxima en una hora.....	117
Tabla N° 35 Precipitación máxima en una hora para diversos periodos de retorno y distribuciones teóricas de probabilidad.....	118
Tabla N° 36 Tabulación de valores para obtener la ecuación del coeficiente de frecuencia por el método Gumbel.....	119
Tabla N° 37 Tabulación de valores para obtener la ecuación del coeficiente de frecuencia por el método Gamma de 2 Parámetros.....	121
Tabla N° 38 Tabulación de valores para obtener la ecuación del coeficiente de frecuencia por el método Log Normal de 2 Parámetros.....	123
Tabla N° 39 Tabulación de valores para obtener la ecuación del coeficiente de frecuencia por el método Log Pearson Tipo III.....	125
Tabla N° 40 Valores de $P_{m\acute{a}x}$ para diversos D_t en minutos.	129
Tabla N° 41 Precipitaciones seleccionadas para un T_r y un D^t . Obtenidos de la interpolación de los datos de la tabla N° 40.	130
Tabla N° 42 Valores del coeficiente de duración (CD) para diversos T_r y un D^t	130
Tabla N° 43 Valores hallados para el periodo de retorno de 10 años ($T_r = 10$ años).....	131
Tabla N° 44 Tabulación de la ecuación representativa del coeficiente de duración. .	133
Tabla N° 45 Tabulación de valores para Coeficiente de Frecuencia (CF) generados por diversas distribuciones y calculado para $T_r = 10$ años.....	134
Tabla N° 46 Ecuación del coeficiente de frecuencia (CF) seleccionada y el valor obtenido para $T_r = 10$ años.	134

Tabla N° 47 Ecuación del coeficiente de duración (CD) determinada y el valor obtenido para $t = 60$ minutos.....	135
Tabla N° 48 Valor del producto del coeficiente de duración y frecuencia para $T_r = 10$ años y $t = 60$ minutos.	136
Tabla N° 49 Valores de CF^{T_r} para distintos periodos de retorno.....	137
Tabla N° 50 Valores de CD_t para distintos periodos de duración.	138
Tabla N° 51 Valores de precipitaciones unitarias para diversos D_t y T_r a base de la ecuación (67) para la estación de Quillabamba.	140
Tabla N° 52 Valores de Intensidades unitarias para diversos D_t y T_r a base de la ecuación (68) para la estación de Quillabamba.	142
Tabla N° 53 Valores de Intensidades reales para diversos D_t y T_r a base de la ecuación (69) para la estación de Quillabamba.	144
Tabla N° 54 <i>Resumen estadístico de las intensidades calculadas por el método IILA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 2 años.</i>	145
Tabla N° 55 <i>Comparación en posición de las intensidades calculadas por el método IILA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 2 años.....</i>	146
Tabla N° 56 <i>Comparación en forma de las intensidades calculadas por el método IILA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 2 años.</i>	147
Tabla N° 57 <i>Resumen estadístico de las intensidades calculadas por el método IILA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 5 años.</i>	148
Tabla N° 58 <i>Comparación en posición de las intensidades calculadas por el método IILA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 5 años.....</i>	149
Tabla N° 59 <i>Comparación en forma de las intensidades calculadas por el método IILA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 5 años.</i>	150
Tabla N° 60 <i>Resumen estadístico de las intensidades calculadas por el método IILA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 10 años.</i>	151
Tabla N° 61 <i>Comparación en posición de las intensidades calculadas por el método IILA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 10 años.....</i>	152

Tabla N° 62 <i>Comparación en forma de las intensidades calculadas por el método IILA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 10 años.</i>	153
Tabla N° 63 <i>Resumen estadístico de las intensidades calculadas por el método IILA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 20 años.</i>	154
Tabla N° 64 <i>Comparación en posición de las intensidades calculadas por el método IILA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 20 años.....</i>	155
Tabla N° 65 <i>Comparación en forma de las intensidades calculadas por el método IILA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 20 años.</i>	156
Tabla N° 66 <i>Resumen estadístico de las intensidades calculadas por el método IILA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 30 años.</i>	157
Tabla N° 67 <i>Comparación en posición de las intensidades calculadas por el método IILA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 30 años.....</i>	158
Tabla N° 68 <i>Comparación en forma de las intensidades calculadas por el método IILA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 30 años.</i>	159
Tabla N° 69 <i>Relación existente entre las intensidades calculadas por el método IILA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 2 años.</i>	160
Tabla N° 70 <i>Relación existente entre las intensidades calculadas por el método IILA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 5 años.</i>	160
Tabla N° 71 <i>Relación existente entre las intensidades calculadas por el método IILA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 10 años.</i>	161
Tabla N° 72 <i>Relación existente entre las intensidades calculadas por el método IILA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 20 años.</i>	162
Tabla N° 73 <i>Relación existente entre las intensidades calculadas por el método IILA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 30 años.</i>	163
Tabla N° 74 <i>Tabulación para determinar el promedio de variación porcentual de los coeficientes a obtener.</i>	167
Tabla N° 75 <i>Determinación de porcentaje (%) de variación de coeficientes.</i>	172
Tabla N° 76 <i>Resumen y propuesta de coeficientes logrados.....</i>	173

Tabla N° 77 Resumen de razones entre los coeficientes obtenidos con los coeficientes utilizados inicialmente.....	174
Tabla N° 78 Variación porcentual de los coeficientes obtenidos con los utilizados inicialmente.....	175

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i> Pluviómetro estándar.	28
<i>Figura 2</i> Pluviógrafo.....	30
<i>Figura 3</i> Pluviograma de registro cuando la aguja asciende y desciende.	30
<i>Figura 4</i> Proceso para la elección de una distribución teórica.	60
<i>Figura 5</i> Precipitaciones máximas entre Diciembre – Abril.	91
<i>Figura 6</i> Representación gráfica lineal de las tabulaciones mostradas en la tabla N° 36.	119
<i>Figura 7</i> Representación gráfica logarítmica de las tabulaciones mostradas en la tabla N° 36.....	120
<i>Figura 8</i> Representación gráfica lineal de las tabulaciones mostradas en la tabla N° 37.	121
<i>Figura 9</i> Representación gráfica logarítmica de las tabulaciones mostradas en la tabla N° 37.....	122
<i>Figura 10</i> Representación gráfica lineal de las tabulaciones mostradas en la tabla N° 38.....	123
<i>Figura 11</i> Representación gráfica logarítmica de las tabulaciones mostradas en la tabla N° 38.....	124
<i>Figura 12</i> Representación gráfica lineal de las tabulaciones mostradas en la tabla N° 39.....	125
<i>Figura 13</i> Representación gráfica logarítmica de las tabulaciones mostradas en la tabla N° 39.....	126
<i>Figura 14</i> Representación gráfica de las aproximaciones iniciales mostradas en la tabla N° 43.....	132
<i>Figura 15</i> Representación gráfica del Coeficiente de Frecuencia.....	137
<i>Figura 16</i> Representación gráfica del Coeficiente de Duración.	139

<i>Figura</i> 17	Representación gráfica de la precipitación unitaria de la Estación de Quillabamba.....	141
<i>Figura</i> 18	Representación gráfica de la Intensidad unitaria de la Estación de Quillabamba. Curvas IDF.	143

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I. Información meteorológica proporcionada por SENAMHI.....	184
ANEXO II. Resumen de cálculo de datos OUTLIERS.....	186
ANEXO III. Parámetros del test de datos dudosos (outliers) para 10% de nivel de significancia para distribución normal.....	187
ANEXO IV. Ejemplo de prueba de bondad de ajuste sin uso del software Hidroesta, para la distribución Gumbel.....	188
ANEXO V. Valores críticos de Delta del Estadístico Smirnov – Kolmogorov.	189
ANEXO VI. Valores de la Distribución Normal Acumulada.	191
ANEXO VII. Medida de aproximación entre las variables.	192
ANEXO VIII. Valores críticos de la prueba t.....	193
ANEXO IX. Prueba de bondad de ajuste con software Hidroesta, para la distribución Gumbel.	194
ANEXO X. Prueba de bondad de ajuste con software Hidroesta, para la distribución Gamma de 2 Parámetros.....	195
ANEXO XI. Prueba de bondad de ajuste con software Hidroesta, para la distribución Log Normal de 2 Parámetros.	196
ANEXO XII. Prueba de bondad de ajuste con software Hidroesta, para la distribución Log Pearson Tipo III.	197
ANEXO XIII. Valores de Y_N y σ_N para la distribución Gumbel.....	198
ANEXO XIV. Valores de $\Gamma(y)$ (Función Gamma) para $1 \leq y \leq 2$; para la distribución Gamma de 2 Parámetros.....	199
ANEXO XV. Factores de frecuencia K, de la distribución normal, para utilizar en la distribución Log Normal de 2 Parámetros.....	200
ANEXO XVI. Valores de K, para utilizar en la distribución Log Pearson Tipo III.	201
ANEXO XVII. Croquis de la zona de investigación.....	202

ANEXO XVIII. Información meteorológica proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI.	203
ANEXO XIX. Subdivisión del territorio en zonas y sub zonas pluviométricas y valores de los parámetros K'_g y ε_g , que definen las distribuciones de probabilidades de h_g (máxima altura de lluvia anual) en cada punto.....	204
ANEXO XX. Valores de los parámetro “a” y “n” que junto con K'_g , definen las curvas de probabilidad pluviométrica en cada punto de las subzonas.	205
ANEXO XXI. Mapa de subzonas pluviométricas del Perú, determinadas por el convenio IILA - SENAMHI - UNI.	206

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se centra en la evaluación de las precipitaciones máximas de la estación meteorológica de Quillabamba, considerando elementos de duración y frecuencia en la generación de las intensidades de precipitación; para tal efecto, se analiza la información proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI, deviniendo en una investigación cuantitativa, que se apoya en los métodos estadísticos comúnmente utilizados en el análisis de información hidrometeorológica, para de esta manera seleccionar la distribución teórica que mejor ajusta los datos procesados. Se calcularon intensidades de precipitación por medio de la metodología de Bell, para luego ser comparados en posición y forma con las intensidades generadas a partir del método IILA (Instituto Italo - Latino Americano), propuesto en la Norma OS.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones, así también, determinar el grado de relación que existe entre ellos, logrando resultados satisfactorios. Luego de probar que la metodología de Bell no presenta variaciones estadísticamente significativas, se determinan los factores que definen la ecuación de Bell representativa para la estación de Quillabamba, siendo que para definir los parámetros del primer factor de la ecuación, denominado Coeficiente de Frecuencia, se utilizó el método de regresión lineal, y para el segundo factor, denominado Coeficiente de Duración, se utilizó el método de regresión no lineal, resultando así, en ecuaciones con alto grado de correlación y determinación, permitiendo de esta manera, la generación de intensidades de precipitación, propias de la zona en estudio y que se representan de manera gráfica, para su rápida obtención. Concluyendo así, que la evaluación realizada, mediante la metodología aplicada, permite generar las

intensidades de precipitación a raíz de información pluviométrica con una alta precisión en su determinación.

Palabras clave: precipitación, intensidad, periodo de retorno, periodo de duración, ajuste.

ABSTRACT

The present work of investigation is centered in the evaluation of the maximum rainfall of the meteorological station of Quillabamba, including the elements of the duration and the frequency in the generation of the rainfall intensities; for this purpose, the information provided by the National Meteorology and Hydrology Service (SENAMHI) becoming a quantitative research, which is based on the statistical methods commonly used in the analysis of hydrometeorological information, in order to select the theoretical distribution that best adjusts the processed data. Precipitation intensities were calculated by Bell's methodology, to then be compared in position and form with the intensities generated from the IILA (Italo - Latin American Institute) method, proposed in Standard OS.060 of the National Building Regulation, also, determine the degree of relationship that exists between them, achieving satisfactory results. After proving that Bell's methodology does not show statistically significant variations, the factors that define the representative Bell equation for the Quillabamba station are determined, being that to define the parameters of the first factor of the equation, called the Frequency Coefficient, the linear regression method was used, and for the second factor, called Coefficient of Duration, used the non-linear regression method, resulting in equations with a high degree of correlation and determination, thus allowing the generation of precipitation intensities, typical of the area under study and that are represented in a graphic way, for its fast obtaining. Concluding this way, that the evaluation carried out, through the applied methodology, allows to generate the intensities of a root of the rainfall information with a high precision in its determination.

Key words: precipitation, intensity, return period, duration period, adjustment.

INTRODUCCIÓN

En los diversos proyectos de ingeniería como obras viales, hidráulicas, edificaciones, drenaje pluvial y sobre todo lo que es un tema de actualidad: el constante cambio climático, entre otros relacionados con el agua; se necesita disponer de información meteorológica, entre ellos valores de intensidad de precipitación, los cuales en la realidad del distrito de Santa Ana no son de fácil obtención, debido a que no se cuenta con aparatos registradores de lluvia continua (pluviógrafos), que faciliten la obtención de este parámetro, en particular de la Intensidad de precipitación máxima para el diseño de las estructuras en las máximas avenidas.

Es así que a partir de la dificultad para obtener este parámetro, surge el interés del investigador en utilizar información pluviométrica, disponible en el distrito de Santa Ana, para ser analizados mediante procedimientos estadísticos y probabilísticos; pues los eventos hidrológicos no son gobernados por las leyes físicas y químicas, si no por las leyes del azar, las cuales asocian un cierto evento a una probabilidad crítica de ocurrencia que represente un riesgo para los proyectos de ingeniería relacionados con el agua, determinándose un periodo de retorno y una duración para ese evento. De esta manera se busca establecer valores que puedan ser utilizados en los proyectos relacionados con el agua y que se ejecuten en el Distrito de Santa Ana, reduciendo así, la posibilidad de que la población se vea afectada por estos eventos.

Entonces, con el presente trabajo se pretende establecer un procedimiento de análisis de precipitaciones máximas para generar intensidades de precipitación, que relacionen el periodo de duración y el periodo de retorno,

que sean de fácil identificación y aplicación, para tal efecto se realizaron diversos análisis a la información proporcionada por SENAMHI, para determinar la pertinencia de su estudio, una vez establecido los valores a procesar, se desarrolla la metodología de Bell en la generación de intensidades de precipitación para distintos periodos de retorno y tiempos de duración, y de esta manera validar su aplicación en el distrito.

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

En el capítulo I; Planeamiento del Problema, se identifica la situación problemática con respecto a los eventos pluviales que no son adecuadamente analizados, exponiéndose casos a nivel global, continental y regional, además de identificar los problemas de la investigación y los objetivos del mismo.

En el capítulo II; Marco Teórico, se mencionan los antecedentes de investigación encontrados, relacionados con eventos pluviales tales como trabajos de investigación, libros, coloquios y otros de mucha relevancia en el presente trabajo, así mismo, se establecen las bases teóricas que involucran conceptos como estaciones meteorológicas, precipitación, análisis estadístico, distribuciones teóricas de probabilidad método IILA (Instituto Latino Italo-Latino Americano) y la metodología de Bell.

En el capítulo III, se formulan las hipótesis de la investigación e identifican las variables, estos conceptos más los del problema y objetivos, se presentan en la matriz de consistencia de la investigación, al finalizar este capítulo se muestra la matriz de operacionalización de variables, la cual analiza la dimensión, los indicadores, la técnica y los instrumentos de las variables de la investigación.

En el capítulo IV, describe la metodología de la investigación, aspectos como el tipo de investigación, su diseño, la población y tamaño de la muestra, son abordados en este capítulo; de otra parte también se describe el procedimiento realizado para contrastar las hipótesis planteadas. Se muestran los resultados de la investigación, en el cual se expone la confiabilidad de los datos analizados por las distintas metodologías para generar intensidades de precipitación (método ILLA vs método de Bell), mostrando la comparación en posición y forma de las intensidades calculadas, además de las correlaciones existentes para estos datos, analizados para distintos periodos de duración y un mismo periodo de retorno; de otra parte se muestran las pruebas de bondad de ajuste efectuadas a las distribuciones probabilísticas utilizadas y la determinación de los factores a utilizar en la ecuación de Bell propia de la zona en estudio. De esta manera se puede determinar la ecuación representativa de la estación meteorológica de Quillabamba, para finalmente graficar la relación entre la Intensidad de precipitación, el periodo de duración y el periodo de retorno.

En el capítulo V, se presentan y discuten los resultados obtenidos.

Por último se muestran las conclusiones y recomendaciones de la investigación, para terminar con la bibliografía y anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Situación Problemática

La precipitación que cae en un área determinada tiene vital importancia para el desarrollo de la vida que se encuentra dentro y en alrededores de esta; pues permite el desarrollo de la misma en la superficie terrestre, sin embargo, a nivel mundial el cambio climático afecta los niveles de recursos hídricos aprovechables por el ser humano, particularmente en la cantidad de precipitación.

Para Aparicio Mijares “la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones forman el punto de partida de la mayor parte de los estudios concernientes al uso y control del agua” (Aparicio Mijares, 1992).

El análisis de las precipitaciones máximas en 24 horas genera la determinación de las Intensidades de precipitación, que es la altura que alcanza la lluvia en una unidad de tiempo, cuya importancia radica en el cálculo de valores máximos o extremos de caudales para el diseño de obras hidráulicas como drenaje, puentes y obras de protección fluvial.

La Comisión Europea señala que “Las fuertes lluvias y otros fenómenos climáticos extremos son cada vez más frecuentes y pueden provocar inundaciones y el deterioro de la calidad del agua, e incluso en algunas zonas una progresiva disminución de los recursos hídricos; evidencia de esto es el norte de Europa, que se está transformando claramente en una zona más húmeda y podrían ser más frecuentes las

crecidas en invierno. Las zonas urbanas, donde viven cuatro de cada cinco europeos, están expuestas a olas de calor, inundaciones o aumentos del nivel del mar, y no suelen estar bien equipadas para adaptarse a los cambios climáticos” (Comisión Europea, 2016).

Esta situación se repite en otros continentes, llegando a superar los límites máximos que se tenían registrados anteriormente, incluso en continentes considerados tradicionalmente como secos y áridos se han presentado fenómenos extremos de precipitaciones, lo que ha provocado la pérdida de vidas humanas, así como el deterioro del patrimonio de las naciones que se encuentran en esos continentes.

Es así que la cadena de noticias Telesur informó que “en el continente asiático la situación no es muy distinta de la europea; en Indonesia, la India, China y Japón, las torrenciales lluvias del primer trimestre del año 2016, dejaron un centenar de muertos y desaparecidos, además de cuantiosos daños a estructuras y pérdidas millonarias. Las precipitaciones sobre la isla de Kyushu llegaron a superar los 150 milímetros por hora y el volumen de agua acumulada en las prefecturas de Kumamoto y Miyazaki, las más afectadas, superó los 500 milímetros, según datos de la Agencia Meteorológica de Japón” (TeleSur, 2016).

Por otra parte, la comunidad de bloggers Global Voices indica que “África ha experimentado un descenso de las lluvias en grandes regiones del Sahel y en el sur del continente, mientras que África Central ha advertido un incremento de las precipitaciones. Durante los últimos 25 años, el número de desastres relacionados con el clima, tales como inundaciones y sequías,

se ha duplicado, dando como resultado una tasa de mortalidad, a causa de sequías, mayor en África que en ninguna otra región” (Global Voices, 2015).

Incluso las naciones más desarrolladas, consideradas del primer mundo han sufrido las consecuencias de no analizar de manera correcta las precipitaciones máximas y posiblemente una inadecuada estimación de su intensidad.

Worldwildlife dio a conocer que “en Estados Unidos los eventos de fuertes precipitaciones han aumentado y se espera que estas tendencias continúen en todo el país. Del 9 al 16 de septiembre de 2013, se registraron precipitaciones sin precedentes a lo largo de la cordillera frontal de Colorado, particularmente alrededor de la ciudad de Boulder. La ciudad recibió más de 220 milímetros de lluvia el 12 de septiembre, rompiendo el récord de precipitación en un lapso de 24 horas en esta ciudad, así como el récord de precipitación mensual y anual (Worldwildlife, 2016).

En Latinoamérica la falta de análisis de las precipitaciones máximas ha generado que la intensidad de estas, intensificadas durante el fenómeno del Niño, ocasione desastres a la infraestructura pública y privada dejando desamparados a muchas personas llegando a cerrar varias instituciones por los daños sufridos.

En ese entender la cadena de noticias Telesur, “dio a conocer que en Latinoamérica los mayores efectos de las precipitaciones se manifiestan mediante un efecto climatológico llamado El fenómeno del Niño; que ha provocado intensos cambios climáticos en países de América Latina desde mediados del 2015, intensificando los niveles de precipitaciones que han causado aumento de la escorrentía superficial lo cual se manifiesta en

inundaciones y provoca que miles de familias sean desplazadas de su lugar de origen” (TelSur, 2016).

La misma cadena de noticias también menciona la realidad de alguno de los países bajo los efectos del fenómeno del Niño, de los cuales se puede citar:

Por ejemplo, Argentina se mantiene con el temporal de lluvias que ha dejado 28 mil personas damnificadas, según informaron fuentes oficiales. Las lluvias han persistido durante casi tres semanas, afectando varias provincias del centro y noreste de Argentina con puentes caídos y campos anegados, informaron las autoridades (TelSur, 2016).

Por otra parte, el país más grande de Sudamérica (Brasil) tampoco ha podido resistir los efectos de las intensas precipitaciones, lo cual debido a la intensidad de estas ha generado grandes corrientes de escorrentía superficial, afectando varios distritos del país.

Es así que TeleSur informa que “Brasil se vio afectado por las lluvias, específicamente en Sao Paulo al menos 20 personas fallecieron y más de 600 mil quedaron desplazadas. El municipio de Francisco Morato es el más afectado, en el que se encuentran 8 de las 20 personas muertas” (TelSur, 2016).

En nuestro vecino país del sur, Chile, fue afectado en la zona central durante este fin de semana, donde al menos dos fallecieron, 4.5 millones de personas sin acceso al agua potable, 20 mil hogares sin energía eléctrica y ocho desaparecidos, es el saldo de las fuertes lluvias, según informó la presidenta Michelle Bachelet en un balance de emergencia el domingo. Las regiones Metropolitanas, O'Higgins y El Maule son las más perjudicadas

hasta ahora con el corte de varias autopistas y cientos de viviendas sin energía eléctrica ni agua potable, así lo informó la Oficina Nacional de Emergencia (Onemi) en un informe emitido este domingo (TelSur, 2016).

En el Perú las fuertes precipitaciones que trae consigo el fenómeno del Niño, ha ocasionado grandes daños principalmente en la costa peruana.

Para Antonio Mabres “el Fenómeno del Niño se define como un “calentamiento anómalo en el Pacífico Ecuatorial central y oriental (desde el centro del Pacífico hasta las costas de América: Ecuador y Perú)” (Antonio Mabres, 2015).

Este fenómeno afecta el normal desarrollo de casi todas las entidades públicas y privadas del país, por lo que se deben tomar medidas del efecto de la intensidad de precipitaciones generadas en un área determinada, en ese entender varias entidades señalan que deben generarse medidas de contingencia ante estos fenómenos.

Es así que la Defensoría del Pueblo señala que “el Fenómeno del Niño origina el incremento de las precipitaciones y la temperatura, especialmente en la costa norte y central del Perú, así como sequías en otras regiones; lo cual provoca el aumento de enfermedades como el cólera, la malaria, infecciones estomacales y conjuntivitis. También la destrucción de carreteras, puentes, redes de agua y desagüe, así como la pérdida de viviendas; también provoca la pérdida de cultivos de terrenos agrícolas y la destrucción de canales de irrigación. El estado ha creado un plan nacional para enfrentar la emergencia que hoy vivimos y que debe ejecutarse prontamente. Pero es importante que, desde ya, los gobiernos regionales y las municipalidad cuenten con un Plan de Contingencia y realicen acciones

concretas frente al fenómeno El Niño; por eso, los alcaldes de las zonas en riesgo deben informar a sus vecinos sobre las medidas que han adoptado y la implementación de los planes de contingencia” (Defensoría del Pueblo, 2016).

En el sur del país también se empieza a manifestar las consecuencias de una inadecuada estimación de las intensidades de precipitación; la oficina regional Cusco del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) informó que “En la región de Cusco, el Fenómeno del Niño, desde hace más de cuatro años, se evidencia en el retraso de las épocas de lluvias” (RPP Noticias, 2015).

Es así, que en la Provincia de la Convención y de manera muy representativa el distrito de Santa Ana (Quillabamba), durante el primer trimestre del año 2016 soportó una fuerte precipitación de doce horas continuas (La República, 2016), esto generó el deslizamiento de huaicos y la obstrucción de las vías de comunicación, así como la generación de aniegos producto del aumento de la escorrentía superficial y un inadecuado sistema de drenaje, que afectan las viviendas e instituciones públicas de la ciudad capital, debido a la poca precisión con que se estiman las intensidades de precipitación a partir de la información pluviométrica, precipitaciones máximas en 24 horas, que proporciona la estación meteorológica del distrito.

De continuar con el inadecuado análisis de las precipitaciones máximas en 24 horas, el distrito de Santa Ana continuaría soportando las consecuencias de las intensidades de precipitación, aumentando el nivel de escorrentía superficial lo cual deterioraría sus viviendas, y colmatando los

escasos sistemas de drenaje pluvial con los que cuenta la ciudad de Quillabamba; además de disminuir el valor turístico que tiene.

Este problema se puede tratar “mejorando la capacidad de predicción temprana de los fenómenos meteorológicos extremos y buscando mecanismos para adaptarse a los cambios” (Grimes, 2013); esto se puede lograr si analizamos los datos de precipitaciones máximas en 24 horas, de la estación pluviométrica existente en el distrito, aplicando la metodología de Bell en la generación de intensidades de precipitación para distintos periodos de retorno y tiempos de duración; para tal efecto primero debemos comparar su confiabilidad con las calculadas por el método IILA (Instituto Italo - Latino Americano) propuesto en la norma OS.060 contemplada en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), para verificar la confiabilidad del mismo en la zona de estudio.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿Cuál es el nivel de confiabilidad del uso del método de Bell, en la generación de intensidades, con respecto a las intensidades generadas a partir del método IILA en La Convención - Cusco - 2015?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuán significativa es la variación en posición y forma de las intensidades generadas por el método de Bell, respecto de las generadas con el método IILA en La Convención - Cusco - 2015?

- ¿Cuál es el grado de relación que existe entre las intensidades generadas por el método de Bell, respecto de las generadas con el método ILLA en La Convención - Cusco - 2015?
- ¿Qué expresión permite generar las intensidades de precipitación en La Convención - Cusco - 2015?

1.3. Justificación

El presente trabajo de investigación es importante porque nos permite establecer las relaciones existentes entre las variables de intensidad (I) de precipitación, su duración (t) y su periodo de retorno (T); las cuales son necesarias conocer para realizar el proceso de transformación de lluvia a escorrentía. Procedimiento esencial cuando se debe abordar proyectos de obras de ingeniería para controlar el excedente del recurso hídrico.

La presente investigación está relacionada con los cálculos o estudios previos relacionados con el parámetro intensidad de precipitación, de mucha importancia en el diseño de obras de ingeniería como a) estudio de drenaje pluvial, b) Diseño de canales, c) diseño de vías, entre otros.

En el distrito de Santa Ana, el análisis de las precipitaciones máximas registradas en la estación pluviométrica del distrito, se vuelve significativo para determinar el caudal de escurrimiento debido a las intensidades de precipitación que estas producen; y de esta manera diseñar obras de control de exceso de escorrentía que disminuyan el dañino efecto de este exceso en el distrito.

Esta intensidad de precipitación no está disponible en la información registrada por la estación meteorológica del distrito, por lo que con el

presente estudio se pretende obtener este parámetro aplicando la metodología apropiada, validarla y generalizarla para futuros trabajos de investigación donde se tenga que procesar información meteorológica de precipitaciones máximas en 24 horas, con las que sí cuenta la estación del distrito y las de la provincia.

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivo General

Evaluar el nivel de confiabilidad del método de Bell, en la generación de intensidades, con respecto a las intensidades generadas a partir del método IILA en La Convención - Cusco - 2015.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Comparar la variación en posición y forma de las intensidades generadas por el método de Bell, respecto de las generadas con el método IILA en La Convención - Cusco - 2015.
- Determinar la correlación que existe entre las intensidades generadas por el método de Bell, respecto de las generadas con el método IILA en La Convención - Cusco - 2015.
- Definir la expresión que permite generar las intensidades de precipitación en La Convención - Cusco - 2015.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Investigación

Antecedente 1:

TESIS: *“Estudio De Las Propiedades De Invarianza De Las Precipitaciones Máximas Puntuales en el Departamento De Antioquia”*, presentado por Santiago Wilches Yepes, para optar el Título de Magíster en Aprovechamiento de Recursos Hídricos en la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Colombia, 2001.

Cuyas conclusiones son:

1. Tal vez la conclusión más importante relacionada con la información disponible tiene que ver con el efecto del tipo de aparato registrador sobre las precipitaciones máximas, particularmente para las duraciones cortas. Se ha observado que el aparato tiene una influencia grande sobre los valores reales de precipitación, así por ejemplo en el análisis de homogeneidad de las diferentes series se detectaron diferencias hasta del 50% de los valores promedios registrados con aparatos registradores diferentes para una misma estación.
2. Se observa que a pesar de la gran variabilidad espacial de las precipitaciones máximas, y de las relaciones entre las precipitaciones máximas con una hora de duración y la precipitación máxima para diferentes duraciones y la gran dispersión que presentan éstas alrededor de los valores promedio, parece adecuado utilizar las relaciones empíricas propuestas por Hershfield, para estimar las

precipitaciones máximas para duraciones pequeñas, máxime si se tienen en cuenta la gran cantidad de errores, la incertidumbre y las imprecisiones que se tiene en el registro y procesamiento de las precipitaciones máximas para duraciones pequeñas, los cuales pueden inducir en errores del mismo orden de magnitud o incluso hasta superiores que los obtenidos al utilizar dichas relaciones.

TESIS: ***“Fórmulas regionales para la estimación de curvas intensidad-frecuencia-duración basadas en las propiedades de escala de la lluvia (Región Andina Colombiana)”***, presentado por Edicson Gonzalo Pulgarín Dávila, para optar el Título de Magíster en Aprovechamiento de Recursos Hídricos en la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Colombia, 2009.

Una de sus conclusiones es:

1. Los resultados del presente trabajo confirman lo indicado por otros investigadores que indican que para la elaboración de las curvas IDF, deben procesarse los registros pluviográficos completamente y no sólo unas cuantas tormentas en el año.

Sin embargo, se deben implementar estudios que se centren en las precipitaciones de corta duración (inferiores a 1 hora) ya que, dadas las dificultades de consecución de registros, se ha optado por usar relaciones empíricas, muchas de ellas que sólo ajustan datos a funciones, pero no exploran ni dan claridad acerca de los fenómenos físicos implicados. Sin embargo, desde el punto de vista práctico se considera adecuado usar estimativos como los de Hershfield (1969), por su sencillez, o la ecuación encontrada por Bell.

TESIS: **“Drenaje Pluvial de la Cuenca de Juliaca (Sector Los Virreyes) – Puno – Perú”**, presentada por Víctor Oscar Rendón Dávila, para optar el grado de Maestro en Ingeniería Civil en la Universitat Politècnica de Catalunya, Sede Barcelona, España, 2013.

Cuyas conclusiones son:

1. Las pruebas de bondad de ajuste, son sensibles a la función no paramétrica utilizada.
2. Las distribuciones de dos parámetros fijan el valor del coeficiente de asimetría, lo que en algunos casos puede no ser recomendable. La distribución Log - Normal de dos parámetros sólo es recomendable si el coeficiente de asimetría es cercano a cero.
3. Para el ajuste a las distribuciones Log-Normal, Log-Gumbel y Log-Pearson se requiere transformar la variable al campo logarítmico para modelarla, con lo que se disminuye la varianza muestral, pero también se filtran las variaciones reales de los datos.

Antecedente 2:

ARTÍCULO: **“Una Fórmula General para Frecuencias Hidrológicas”**, Ven Te Chow, Transactions American Geophysical, Illinois, Estados Unidos de América, p 231 – 237.

Comentario:

Propone determinar la variación de una variable respecto de la media a partir de un factor de frecuencia K_T ; para determinar la magnitud de eventos extremos cuando la distribución de probabilidad no es una función fácilmente invertible y se requiere conocer la variación de la variable respecto a la media.

ARTÍCULO: **“Estimando la Precipitación Máxima Probale”**, Hershfield, D. M, Journal Hydraulic Division, American Society of Civil Egeineers, Estados Unidos de América, p 99 - 116.

Comentario:

Se basó en el análisis de frecuencia de las series de máximos anuales de precipitación en el lugar de interés, desarrolla un método para estimar la probabilidad de máxima precipitación (PMP) a raíz de la ecuación general de frecuencia propuesta por (Chow, 1951).

ARTÍCULO: **“Relaciones Generalizadas de Precipitación – Duración - Frecuencia”**, Frederich C. Bell, Journal of Hydraulic Division, American Society of Civil Egeineers, Estados Unidos de América, p 311 - 327.

Entre sus conclusiones señaló:

Las razones entre lluvias de distinta duración y/o distinto periodo de retorno, llamados coeficiente de duración y coeficiente de frecuencia respectivamente, son muy constantes para todos los puntos indicados, proponiendo su aplicación en otras zonas. También en el trabajo de Bell, se da validez a los factores de proporcionalidad o relaciones constantes obtenidos por Hershfield en 1961.

Antecedente 3:

COLOQUIO: ***“Estimación de curvas intensidad-duración-frecuencia mediante coeficientes generalizados”***, B. Espíldora, Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica, Chile, 1971.

De este estudio concluyó:

Los coeficientes de duración y frecuencia generalizados, calculados a partir de información pluviográfica de Santiago, Chillán, Talcahuano y Valdivia, presentaron una aproximada constancia dentro de las diferencias comúnmente aceptadas, considerando los errores usuales de los datos y los errores de tipo estadístico.

Antecedente 4:

TEXTO: ***“Hidrología para Estudiantes de Ingeniería Civil”***, Wendor Chereque Morán, Lima, Perú, 1989.

Comentario:

Proporciona métodos de medición de la precipitación, así como su descripción y tipos; por otra parte, también proporciona relaciones entre la precipitación y la escorrentía.

TEXTO: ***“Diseño Hidrológico”***, Sergio Fattorelli & Pedro C. Fernández, Zaragoza, España, 2011.

Comentario:

Establece los procedimientos para el tratamiento de datos hidrológicos, así como las distribuciones de probabilidad que mejor se ajustan a estos datos. Además, menciona metodologías para tratar datos atípicos (outliers) en una muestra de información hidrometeorológica.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Estaciones Meteorológicas

Son ambientes contruidos por el hombre, para la obtención de información meteorológica, como puede ser precipitaciones, horas de sol, velocidad del viento y toda lo concerniente al clima y tiempo, los cuales luego de ser procesados facilitan la obtención de parámetros de diseño de diversas estructuras.

De acuerdo con la Organización Meteorología Mundial, las estaciones meteorológicas son sitios donde se pueden realizar observaciones y mediciones puntuales de los diferentes elementos del tiempo y clima, utilizando instrumentos apropiados y con el fin de establecer el comportamiento atmosférico en las diferentes regiones del planeta (OMM, 1981).

La OMM, también establece que los componentes mínimos comunes y las variables que se miden en una estación meteorológica son:

- **Termómetro:** Instrumento que mide la temperatura en diversas horas del día.
- **Termómetros de subsuelo (geotermómetro):** Para medir la temperatura a 5, 10, 20, 50 y 100 cm de profundidad.
- **Termómetro de mínima junto al suelo:** Mide la temperatura mínima a una distancia de 15 cm sobre el suelo.
- **Termógrafo:** Registra automáticamente las fluctuaciones de la temperatura.

- **Barómetro:** Mide la presión atmosférica en la superficie.
- **Pluviómetro:** Mide la cantidad de agua caída sobre el suelo por metro cuadrado en forma de lluvia, nieve o granizo.
- **Psicrómetro o higrómetro:** Medida de la humedad relativa del aire y la temperatura del punto de rocío.
- **Piranómetro:** Medida de la radiación solar global (directa + difusa).
- **Heliógrafo:** Medida de las horas de luz solar.
- **Anemómetro:** Medida de la velocidad del viento.
- **Veleta:** Instrumento que indica la dirección del viento.
- **Nefobasímetro:** Medida de la altura de las nubes, pero sólo en el punto donde éste se encuentre colocado.

Es de entender que una estación meteorológica no puede abarcar un área infinita, por ello se han establecido cantidades mínimas de estaciones para distintos tipos de áreas.

La OMM, a través de su norma técnica N° 168, recomienda una densidad mínima de estaciones en función del tipo de área de influencia, estas cantidades se muestran en la Tabla N° 01 (OMM, 2011).

2.2.1.1. Clasificación

Una estación meteorológica se puede clasificar según la finalidad para la cual ha sido construida, pudiendo ser que una estación sea destinada para más de una finalidad.

De acuerdo a lo establecido por la Organización Meteorológica Mundial, las estaciones meteorológicas se clasifican de la manera mostrada en la Tabla N° 02 (OMM, 1996).

Tabla N° 1

Valores mínimos recomendados por la OMM de densidad de estaciones.

UNIDAD FISIAGRÁFICA	DENSIDAD MÍNIMA POR ESTACIÓN (Superficie en Km ² por estación)	
	Sin Registro (PM)	Con registro (PG)
Zonas costeras	900	9000
Zonas montañosas	250	2500
Planicie interior	575	5750
Montes y Ondulaciones	575	5750
Islas pequeñas	25	250
Zonas urbanas		10 a 20
Polos y tierras áridas	10000	100000

Fuente: "Guía de prácticas hidrológicas, Volumen I, Hidrología – De la medición a la información hidrológica", Organización Meteorológica Mundial N° 168, 2011.

Tabla N° 2

Clasificación de estaciones meteorológicas.

SEGÚN SU FINALIDAD	CLASIFICACIÓN
Sinóptica	Climatológicas
	Agrícolas
	Especiales
	Aeronáuticas
	Satélites
De acuerdo a la magnitud de las Observaciones	Principales
	Ordinarias
	Auxiliares o adicionales
Por el nivel de observación	Altitud
	Superficie
Según el lugar de observación	Terrestre
	Aéreas
	Marítimas

Fuente: "Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos", por Organización Meteorológica Mundial N° 8, 1996.

De acuerdo con el SENAMHI, una estación meteorológica puede tener diferentes fines, dependiendo de los propósitos para los cuales fue instalada. La información se utiliza en varias aplicaciones u observaciones adicionales que le dan sus características. Por consiguiente, en una estación meteorológica pueden conjugarse dos o más categorías simultáneamente (SENAMHI, 2016).

2.2.1.2. Observaciones Meteorológicas

Son lecturas que se realizan a los componentes de las estaciones meteorológicas; para poder cuantificar los factores meteorológicos. Estas lecturas se realizan con una frecuencia establecida para cada elemento y de acuerdo al tipo de observación que se realice.

El SENAMHI, en su página oficial, establece que la observación meteorológica consiste en la medición y determinación de todos los elementos que en su conjunto representan las condiciones del estado de la atmósfera en un momento dado y en un determinado lugar utilizando instrumental adecuado.

Estas observaciones realizadas con métodos y en forma sistemática, uniforme, ininterrumpida y a horas establecidas, permiten conocer las características y variaciones de los elementos atmosféricos, los cuales constituyen los datos básicos que utilizan los servicios meteorológicos, tanto en tiempo real como diferido (SENAMHI, 2016).

Las observaciones no deben realizarse a la ligera, pues una mala lectura de estos instrumentos pueden generar cálculos erróneos y malos diseños, por lo que el personal encargado de realizar las lecturas debe

ser consciente de que su trabajo es de mucha importancia para los investigadores y científicos.

Así también, el SENAMHI señala que las observaciones deben hacerse, invariablemente, a las horas preestablecidas y su ejecución tiene que efectuarse empleando el menor tiempo posible. Es de mucha importancia que el observador preste preferente atención a estas dos indicaciones, dado que la falta de cumplimiento de las mismas da lugar, por la continua variación de los elementos que se están midiendo u observando, a la obtención de datos que, por ser tomados a distintas horas o por haberse demorado demasiado en efectuarlos, no sean sincrónicas con observaciones tomadas en otros lugares. La veracidad y exactitud de las observaciones es imprescindible, ya que de no darse esas condiciones se lesionan los intereses, no solo de la meteorología, sino de todas las actividades humanas que se sirven de ella. En este sentido, la responsabilidad del observador es mayor de lo que generalmente él mismo supone (SENAMHI, 2016).

Las observaciones que el SENAMHI considera son:

a) Observaciones sinópticas

Son observaciones que se efectúan en forma horaria (horas fijas del día) remitiéndolas inmediatamente a un centro recolector de datos, mediante mensajes codificados, por la vía de comunicación más rápida disponible. Estas observaciones se utilizan para una multitud de fines meteorológicos, en general en tiempo real, es decir, de uso inmediato, y especialmente para la elaboración de mapas meteorológicos para

realizar el correspondiente diagnóstico y formular los pronósticos del tiempo para las diferentes actividades.

b) Observaciones climatológicas

Son observaciones que se efectúan para estudiar el clima, es decir, el conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas, caracterizados por los estados y las evaluaciones del tiempo en una porción determinada del espacio. Estas observaciones difieren muy poco de las sinópticas en su contenido y se realizan también a horas fijas, tres o cuatro veces al día (por lo menos) y se complementan con registros continuos diarios o semanales, mediante instrumentos registradores.

c) Observaciones aeronáuticas

Se trata de observaciones especiales que se efectúan en las estaciones meteorológicas instaladas en los aeródromos, esencialmente para satisfacer las necesidades de la aeronáutica, aunque comúnmente se hacen también observaciones sinópticas. Estas observaciones se comunican a otros aeródromos y, frecuentemente, a los aviones en el vuelo, pero en los momentos de despegue y aterrizaje, el piloto necesita algunos elementos esenciales de la atmósfera, como el tiempo presente, dirección y velocidad del viento, visibilidad, altura de las nubes bajas, reglaje altimétrico, etc., para seguridad de la nave, tripulación y pasajeros.

d) Observaciones marítimas

Son observaciones que se realizan sobre buques fijos, móviles, boyas ancladas y a la deriva. Estas dos últimas son del tipo automático. Estas observaciones constituyen una fuente vital de datos y son casi

únicas observaciones de superficie fiables procedentes de los océanos, que representan más de los dos tercios de la superficie total del globo. Esas observaciones se efectúan en base a un plan, según el cual se imparte una formación a determinados observadores seleccionados entre las tripulaciones de las flotas de buques, especialmente mercantes, para que puedan hacer observaciones sinópticas durante el viaje y transmitir las a las estaciones costeras de radio.

e) Observaciones agrícolas

Son observaciones que se hacen de los elementos físicos y biológicos del medio ambiente, para determinar la relación entre el tiempo y la vida de plantas y animales. Con estas observaciones, se trata de investigar la acción mutua que se ejerce entre los factores meteorológicos e hidrológicos, por una parte, y la agricultura en su más amplio sentido, por otra. Su objeto es detectar y definir dichos efectos para aplicar después los conocimientos que se tienen de la atmósfera a los aspectos prácticos de la agricultura. Al mismo tiempo se trata de disponer de datos cuantitativos, para las actividades de planificación, predicción e investigación agrometeorológicas y para satisfacer, plenamente, la función de ayuda a los agricultores, para hacer frente a la creciente demanda mundial de alimentos y de productos secundarios agrícolas.

f) Observaciones de la precipitación

Son observaciones relativas a la frecuencia, intensidad y cantidad de precipitación, ya sea en forma de lluvia, llovizna, aguanieve, nieve o granizo y constituyen elementos esenciales de diferentes tipos de

observaciones. Dada la gran variabilidad de las precipitaciones tanto desde el punto de vista espacial como temporal se debe contar con un gran número de estaciones suplementarias de observación de la precipitación.

g) Observaciones de altitud

Son observaciones de la presión atmosférica, temperatura, humedad y viento que se efectúan a varios niveles de la atmósfera, llegándose generalmente hasta altitudes de 16 a 20 km. y, muchas veces, a más de 30 km. Estas mediciones se hacen lanzando radiosondas, que son elevadas al espacio por medio de globos inflados con gas más liviano que el aire y, a medida que van subiendo, transmiten señales radioeléctricas, mediante un radiotransmisor miniaturizado, que son captadas en tierra por receptores adecuados y luego procesadas para convertirlas en unidades meteorológicas.

La observación de la dirección y velocidad del viento puede efectuarse con la misma radiosonda, haciendo uso del "Sistema de Posicionamiento Global (GPS)" y recibiendo los datos, en tierra, mediante radioteodolitos siguiendo la trayectoria de un globo inflado con gas helio o hidrógeno, mediante un teodolito óptico o, para mayor altura, radar aerológico.

h) Otras observaciones

Entre las mismas, figuran las observaciones efectuadas a partir de las aeronaves en vuelo y diversos tipos de observaciones especiales, tales como las que se refieren a la radiación, al ozono, a la contaminación, hidrológicas, evaporimétricas, temperatura y humedad

del aire a diversos niveles hasta 10 m. de altura y del suelo y subsuelo (SENAMHI, 2016).

2.2.1.3. Toma de Datos

Esta actividad se realiza con la finalidad de obtener un registro de las observaciones realizadas en la estación meteorológica.

La Organización Meteorológica Mundial, señala que la hora para realizar la toma de datos depende del tipo, finalidad y uso de cada observación. Es importante que las observaciones sean sincrónicas y continuadas durante varios años, para que puedan utilizarse en cualquier estudio o investigación. Para determinado tipo de observaciones, en especial las sinópticas, la OMM N° 544 ha establecido horas fijas, en tiempo universal coordinado (UTC) (OMM, 1981).

Dependiendo del fin con el que se requieran los datos, las lecturas se pueden realizar a distintas horas del día, siendo para nuestro caso las lecturas sinópticas para lo cual existen horas establecidas por la OMM.

Es así que la OMM propone que las horas principales, para efectuar observaciones sinópticas de superficie son: 00:00, 06:00, 12:00, 18:00 UTC a las horas sinópticas intermedias son: 03:00, 09:00, 15:00, 21:00 UTC. Las horas fijas para la observación sinóptica en altitud son: 00:00 - 12:00 UTC. Las observaciones aeronáuticas se realizan en forma horaria, las de despegue y aterrizaje en el momento mismo en que el piloto efectúa dichas operaciones; y en vuelo en cualquier momento (OMM, 1981).

2.2.1.4. Estación Meteorológica del Distrito de Santa Ana

El distrito de Santa Ana alberga la ciudad capital de la provincia de La Convención; denominada Quillabamba, es de suponer que, dada la importancia de esta ciudad en el distrito y la provincia, cuente con una estación meteorológica para esa área.

En ese entender, el SENAMHI ha considerado en el distrito de Santa Ana, una estación meteorológica denominada ESTACIÓN QUILLABAMBA, asignado con el código 000606 y del tipo Convencional - Meteorológica; es decir atendida diariamente por un observador meteorológico capacitado para realizar las lecturas a los diferentes instrumentos que miden la lluvia, la temperatura y humedad relativa del aire, evaporación; además se grafican los datos concernientes a la velocidad y dirección del viento, brillo solar (SENAMHI, 2017).

Esta se encuentra ubicada dentro del sector denominado El Arenal, donde actualmente se encuentra la Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba.

Presenta las coordenadas geográficas de 12° 51' 22" LATITUD SUR, 72° 41' 31" LONGITUD OESTE y una altura de 990 m.s.n.m.; su ubicación política es el distrito de Santa Ana, provincia de La Convención en la región Cusco (SENAMHI, 2017).

2.2.2. Precipitación

La precipitación se entiende como toda forma de humedad caída de las nubes hacia la superficie terrestre y es considerada la principal fuente de recarga de ríos, lagos y mares.

Wendor Chereque, define como 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 garúas y las nevadas son formas distintas del mismo fenómeno de la precipitación (Chereque Morán, 1989).

Las precipitaciones forman parte del ciclo hidrológico, alimentando los ríos, lagos y recargando acuíferos, importantes fuentes de agua dulce para el desarrollo de la vida humana.

Para Máximo Villón, la formación de las precipitaciones se asume principalmente a dos fenómenos:

- Unión entre sí de gotas de lluvia que contienen las nubes.
- Engrosamiento de una gota por la fusión y condensación de otras.

Y que además puede presentarse de las siguientes formas:

- **Llovizna**, pequeñas gotas de agua, cuyo diámetro varía entre 0.1 y 0.5 mm, las cuales tienen velocidades de caídas muy bajas.
- **Lluvia**, gotas de agua con diámetro superior a 0.5 mm.
- **Escarcha**, capa de hielo por lo general transparente y suave, pero que usualmente contiene bolsas de aire.
- **Nieve**, compuesta por cristales de hielo blanco translúcido, principalmente de forma compleja.
- **Granizo**, precipitación en forma de bolas o formas irregulares de hielo, que se producen por nubes convectivas, pueden ser esféricos, cónicos o de forma irregular, su diámetro varía entre 5 y 125 mm (Villón Béjar, 2002).

2.2.2.1. Tipos

La precipitación requiere la elevación de una masa de agua en la atmósfera de tal manera que se enfríe y se condense.

Para Wendor Chereque, de acuerdo al mecanismo de formación se tipifican de la siguiente manera:

a) Precipitaciones convectivas. Son causadas por el ascenso de aire cálido más liviano que el aire frío de los alrededores. Generalmente viene acompañada de rayos y truenos, es puntual y su intensidad puede variar entre aquella correspondiente a lloviznas ligeras y aguaceros.

b) Precipitaciones orográficas. Se producen por el ascenso del aire cálido empujada por el viento hacia una cadena de montañas, hasta encontrar condiciones para la condensación y precipitación.

Las regiones que quedan del otro lado de las montañas pueden sufrir la ausencia de lluvias, puesto que todas las nubes son interceptadas y precipitadas en el lado de donde ellas provienen.

Es el caso de la Selva Alta de nuestro país, la región más lluviosa, donde las nubes provienen de la Selva Baja.

c) Precipitaciones ciclónicas. Se producen cuando hay un encuentro de nubes de diferentes temperaturas y humedades: las más calientes son impulsadas a las partes más altas donde se condensan y precipitan. Están asociadas con zonas de baja presión y el paso de ciclones.

En la naturaleza los efectos de estos diversos tipos de enfriamiento del aire se interrelacionan con bastante frecuencia entre sí, y la precipitación resultante no puede ser identificada como procedente de un solo tipo, sino más bien como una interacción entre ellos (Chereque Morán, 1989).

2.2.2.2. Medición de la Precipitación

Existen básicamente dos tipos de medidores que registran la cantidad e intensidad de la lluvia, siendo ellos:

a) Medidores sin registro o pluviómetros. Wendor Chereque, dice que en principio cualquier recipiente abierto de paredes verticales puede servir de pluviómetro, porque lo que interesa es retener el agua llovida para luego medirla. En el sistema métrico se mide en milímetros y décimos de milímetro. Sin embargo, es importante que las dimensiones de estos instrumentos sean normalizadas para poder comparar las medidas tomadas en diferentes localidades (Chereque Morán, 1989).

Debido a que se debe manejar una estandarización del instrumento, solo deben ser utilizados aquellos que estén conforme a las entidades reguladoras de estos.

En ese entender, el pluviómetro estándar del U.S. National Weather Service (fig. 1) consta de un recipiente cilíndrico (a), un embudo colector (b) de diámetro 8" y un tubo medidor (c) de área igual a un décimo del área del embudo colector; de esta manera, 1 mm de lluvia llenará el tubo medidor 10 mm con el cual se mejora la precisión de la

lectura. Con una regla graduada en mm es posible estimar hasta los décimos de mm (USWRC, 1982).

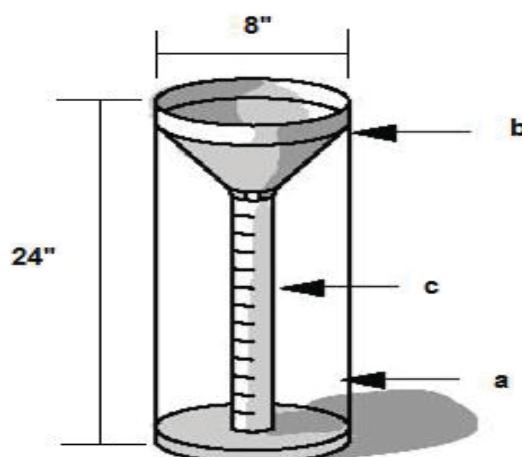


Figura 1 Pluviómetro estándar.

Fuente: "Hidrología para Estudiantes de Ingeniería Civil". Chereque Morán, W. (1989).

Cuando se espera que nieve, se retiran tanto el embudo como el tubo y se recibe la nieve en el depósito cilíndrico; después que la nieve se ha fundido se vierte en el tubo medidor.

Máximo Villón señala que, cuando hay necesidad de conocer la pluviometría mensual o estacional, de una zona de difícil acceso, donde solo se va unas pocas veces al año, se utilizan pluviómetros totalizadores. Estos acumulan el agua llovida por un periodo de tiempo más o menos largo. Para proteger el agua de la congelación se usa cloruro de calcio u otro anticongelante, y para protegerla de la evaporación, se usa una capa de aceite (Villón Béjar, 2002).

Además, Wendor Chereque añade que con respecto a su instalación, deben evitarse en los tejados y laderas con mucho viento. El mejor lugar para instalar un pluviómetro será aquel donde haya una superficie plana rodeada con arbustos o árboles que sirvan de

protectores contra el viento, pero estos no deben estar tan cerca al pluviómetro que lo obstruyan (Chereque Morán, 1989).

b) Medidores con registro o pluviógrafos. Para Máximo Villón, son instrumentos que registran 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 (Villón Béjar, 2002).

Evidentemente, el sistema de los pluviógrafos es más complejo que el de los pluviómetros, debiendo estos tener mecanismos que puedan representar gráficamente la cantidad de lluvia caída por unidad de tiempo.

En ese entender Máximo Villón señala que, los pluviógrafos más comunes son de forma cilíndrica, y el embudo receptor está ligado a un sistema de flotadores, que originan el movimiento de una aguja sobre un papel registrador, montado en un sistema de reloj (fig. 2). Como el papel registrador tiene un cierto rango en cuanto a la altura de registro, una vez que la aguja llega al borde superior, automáticamente regresa al borde inferior y sigue registrando. El gráfico resultante recibe el nombre de pluviograma (Villón Béjar, 2002).



Figura 2 Pluviógrafo.
Fuente: "El Pluviógrafo". Neil Carrero (2008).

Existen pluviógrafos que registran la altura de la precipitación, tanto cuando la aguja asciende y cuando desciende (fig. 3).

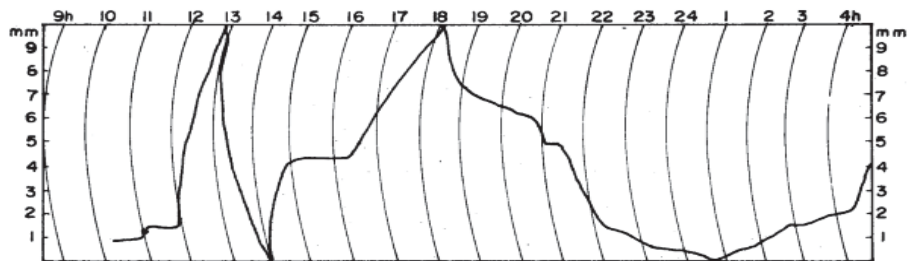


Figura 3 Pluviograma de registro cuando la aguja asciende y desciende.
Fuente: "Hidrología para Estudiantes de Ingeniería Civil". Chereque Morán, W. (1989).

2.2.2.3. Intensidad de Precipitación

Es la cantidad de agua caída por unidad de tiempo, para los cálculos hidrológicos e hidráulicos es necesario saber la intensidad de precipitación para un determinado periodo de retorno y tiempo de duración en función a la importancia de la estructura y las condiciones del medio donde se construirá.

Wendor Chereque indica que en Estados Unidos, la lluvia se identifica según su intensidad, en:

- **Ligera**, para tasas de caída de hasta 2.5 mm/h.

Las gotas se pueden identificar fácilmente unas de otras. Cuando existe una superficie expuesta seca, ésta tarda más de dos minutos en mojarse completamente.

- **Moderada**, desde 2.5 hasta 7.6 mm/h.

No se pueden identificar gotas individuales, se forman charcos con gran rapidez. Las salpicaduras de la precipitación se observan hasta cierta altura del suelo.

- **Fuerte**, por encima de 7.6 mm/h.

La visibilidad es escasa y las gotas que salpican sobre la superficie se levantan varios centímetros (Chereque Morán, 1989).

2.2.2.4. Importancia

La importancia de las precipitaciones, en primera instancia, vendría a ser en el desarrollo de las siembras de alimentos donde no se puede realizar mediante obras de riego. En segundo lugar, la importancia de su análisis radica en poder determinar parámetros de diseño para futuros cálculos de diseño hidráulico e hidrológico.

El SENAMHI indica que, muchas obras de ingeniería civil se ven profundamente influidas por los factores climáticos, por su importancia destacan las precipitaciones pluviales. En efecto, un correcto

dimensionamiento del drenaje, por ejemplo, garantizará la vida útil de una carretera, una vía férrea, un aeropuerto, etc (SENAMHI, 2014).

Las precipitaciones tienen efectos positivos y negativos en función de cantidad o escases de la misma, así como del medio donde cae.

Efectos Positivos

- Es esencial para la agricultura, riego de cultivos en forma natural.
- Recarga de acuíferos y disminución de contaminantes en el aire.
- Múltiples maneras de canalizar el agua de lluvia, para el uso en agricultura, industria, hogar, entre otros.
- Reserva natural de agua, cuando cae en forma de nieve en las partes altas de las montañas, para los meses cálidos.

Efectos Negativos

- Las precipitaciones recurrentes facilitan la presencia de humedad que puede originar enfermedades fungosas.
- El exceso de precipitación provoca inundaciones, ruptura de presas, desbordamiento de ríos y canales, daños a las viviendas y saturación de los sistemas de drenaje.
- La falta de precipitación produce sequía, perjudicando la producción de alimentos del tipo vegetal.
- La lluvia compuesta por gotas de gran diámetro provoca erosión de la primera capa del suelo.
- La nieve y el granizo provocan “heridas” en las plantas y/o frutos, provocando la pérdida de los frutos y dando paso a las bacterias y/o hongos.

2.2.3. Método IILA

La norma OS.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones (2006), vigente en el Perú, señala que puede utilizarse el estudio regional “Hidrología del Perú”, en lugares donde sólo se disponga de información pluviométrica; al respecto, este estudio surge de la cooperación técnica entre el Instituto Italo – Latino Americano (IILA), la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), dentro de su gran alcance, resalta el hecho de que permite determinar los máximos anuales de altura e intensidades de lluvia en todo el Perú; para ello propone la utilizar la siguiente ecuación:

$$i_{(t,T)} = a * (1 + K'_g * \log(T)) * t^{n-1} \quad (01)$$

Ecuación que permite calcular intensidades de precipitación para duraciones de lluvia comprendidas entre: 3 horas $\leq t \leq$ 24 horas.

Para duraciones de lluvia menores a tres horas se tiene la siguiente expresión:

$$i_{(t,T)} = a * (1 + K'_g * \log(T)) * (t + b)^{n-1} \quad (02)$$

Dónde:

$i_{(t,T)}$: Intensidad de la lluvia en “t” horas, para un determinado periodo de retorno “T”.

T: Periodo de retorno en años.

t: Duración de la lluvia en horas.

b: Factor de aumento de duración de lluvia en horas, b: 0.5 horas (costa centro y sur), b: 0.4 horas (sierra), b: 0.2 horas (costa norte y selva).

Usar este factor solo para duraciones de lluvia menores a tres horas.

K_g: Constante definida por las características de cada zona pluviométrica, asume un valor único en todos los puntos de la zona seleccionada (ver Anexo XIX).

a: Constante definida por las características de cada sub zona pluviométrica (ver Anexo XX).

n: Constante que junto con el factor “a” definen cada sub zona pluviométrica, la diferencia es que “n” toma un valor único por sub zona mientras “a” es un factor variable (ver Anexo XX).

El valor de “a”, es calculado mediante la ecuación:

$$a_{(z)} = \frac{\varepsilon_g(z)}{t_g^n} = \frac{e_g(z)}{15.2^n} \quad (03)$$

Dónde:

(z): Ley de variación propia de cada sub zona pluviométrica, varía en función de “z”: el cual puede ser: altitud, distancia al mar o distancia a la cordillera (ver Anexo XIX).

t_g: Valor “t” equivalente al día, el cual deducido para diferentes estaciones varía en torno a un valor medio de 15.2 horas

Nota: Los criterios de estimación de “n” y “a” y de la ley (z) presuponen que en la zona exista algún pluviógrafo. Lo cual no ocurre para la mayor parte de las sub zonas, por lo que se debe tener en consideración que:

- En las sub zonas donde se carece del dato “n” (ver Anexo XX), asumir para este un valor comprendido entre aquellos que caracterizan las subzonas vecinas.
- Fijado “n”, deducir la constante “a” con la relación ya mostrada en la ecuación (3).

$$a = \frac{\varepsilon_g}{t_g^n} = \frac{\varepsilon_g}{15.2^n}$$

El anexo XXI, muestra gráficamente la subdivisión realizada por el convenio de cooperación IILA - SENAMHI - UNI, de donde se puede apreciar, que la zona en estudio de la presente investigación se encuentra en la sub zona 1234.

2.2.4. Teoría de Regresión

2.2.4.1. Análisis de Regresión

Es el método estadístico más utilizado por distintas ciencias de la humanidad; buscando la mejor relación que existe entre dos o más variables, mediante ecuaciones que ajusten la dependencia entre ellas.

Para Montgomery, Peck y Vining, el análisis de regresión es una técnica estadística para investigar y modelar la relación entre variables. Son numerosas las aplicaciones de la regresión, y las hay en casi cualquier campo, incluyendo en ingeniería, ciencias físicas y químicas, economía, administración, ciencias biológicas y de la vida y en las ciencias sociales. De hecho, puede ser que el análisis de regresión sea la técnica estadística más usada (Montgomery, Peck, & Vining, 2006).

Permitiendo así, determinar la naturaleza de la relación funcional entre dos o más variables, para predecir los valores de $y = f(x)$ con un cierto grado de aproximación.

Por costumbre se dice que x es la variable independiente y “ y ” la variable dependiente. Sin embargo, eso causa confusión con el concepto de la independencia estadística, por lo que también se les suele llamar a x la variable predictora o regresora y a y la variable de respuesta (Montgomery, Peck, & Vining, 2006).

Pasos para el análisis de regresión:

- a) **Selección de una función de relación correlativa**, simple o múltiple, lineal o no lineal.

$$y = f(x), \text{ expresión general.}$$

Las funciones que se ajustan con más frecuencia y sus ecuaciones generales, son:

Recta : $y = a + bx$

Parábola : $y = a + bx + cx^2$

Polinomio de grado n : $y = a + bx + cx^2 + dx^3 + \dots + zx^n$

Hipérbola equilátera : $y = a + b/x$

Potencial : $y = ax^b$

Exponencial : $y = ab^x$

Curva logística : $y = a/(1 + be^{-cx})$

Exponencial modificada : $y = a + be^{cx}$

Si la función es una recta, la regresión se denomina lineal.

b) Estimación de los dos parámetros que miden el grado de asociación correlativa.

$$r \quad ; \quad r^2$$

Coefficiente de correlación (r)

Mide el grado de asociación entre las variables, cuando se trata únicamente de dos variables, como nuestro caso, el coeficiente de correlación toma el nombre de coeficiente de correlación de Pearson; es independiente de la escala. Su cálculo se realiza mediante la siguiente expresión:

$$r = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}} \quad (04)$$

Donde:

r: Coeficiente de correlación.

x: Variable independiente.

y: Variable dependiente.

Los valores de r varían de -1 a +1.

Entonces:

$$-1 \leq r \leq +1$$

- Si $r = 1$, existe una correlación positiva perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables

denominada *relación directa*: cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante.

- Si $0 < r < 1$, existe una correlación positiva.
- Si $r = 0$, no existe relación lineal. Pero esto no necesariamente implica que las variables son independientes: pueden existir todavía relaciones no lineales entre las dos variables.
- Si $-1 < r < 0$, existe una correlación negativa.
- Si $r = -1$, existe una correlación negativa perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables llamada *relación inversa*: cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye en proporción constante.

Una manera muy aceptada de interpretar la correlación es la siguiente:

Si, $r = \pm 1$, entonces la correlación es perfecta.

Si, $0.9 \leq r < 1$ ó $-1 < r \leq -0.9$, entonces la correlación es excelente.

Si, $0.8 \leq r < 0.9$ ó $-0.9 < r \leq -0.8$, entonces la correlación es buena.

Si, $0.5 \leq r < 0.8$ ó $-0.8 \leq r < -0.5$, entonces la correlación es regular.

Si, $-0.5 \leq r \leq 0.5$, entonces la correlación es mala.

Para fines prácticos en ingeniería se acepta que para valores de r entre 0.7 y 0.75 la correlación es regular, para valores entre 0.76 y 0.85 la correlación es buena y para valores entre 0.86 y 1.00 la correlación es muy buena.

Coeficiente de determinación (r^2)

Mide la bondad de ajuste del modelo lineal, es decir, mide el porcentaje de la variabilidad de la variable dependiente y que es explicada por la variabilidad de la variable independiente x . En términos más simples mide cuanto influye la variable independiente en la dependiente.

Su cálculo se realiza elevando al cuadrado el coeficiente de correlación: r^2 ; y toma valores entre cero y uno.

$$0 \leq r^2 \leq 1$$

Un r^2 igual a 1 significa un ajuste lineal perfecto, ya que la variación total de la variable y es explicada por el modelo de regresión. El valor cero indica la no representatividad del modelo lineal, ya que supone que el modelo no explica nada de la variación total de la variable y (Martínez Rodríguez, 2005).

En hidrología es aceptable un $r^2 = 0.85$ como mínimo, y tiene su sustento en el principio de Pareto, quien establece que el 20 % de las causas crean el 80 % de los resultados y viceversa.

c) Prueba de significación de los estadísticos que miden la asociación correlativa, para lo cual se aplica la prueba t de Student.

Esta prueba permite determinar si la hipótesis nula, de que el coeficiente de correlación valga cero; es cierto.

- **Entonces se plantea la siguiente hipótesis**

$$H_0: r = 0$$

$$H_1: r \neq 0$$

Donde: H_0 : Hipótesis nula.

H_1 : Hipótesis alternativa.

r : coeficiente de correlación ($-1 < +1$).

- **Cálculo de t calculado (t_c)**

Para esta hipótesis, el estadístico de prueba adecuado es:

$$t_c = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (05)$$

Donde: r : Coeficiente de correlación.

n : Número de pares de valores.

Que sigue la distribución t con $n-2$ grados de libertad (gl) si $H_0: r = 0$ es cierta.

- **Cálculo de t tabular (t_t)**

El t_t se obtiene de las tablas preparadas para este efecto, con un nivel de significación α o una probabilidad de $(1-\alpha)$; y con un grado de libertad ($v = n-2$), donde n es el número de pares valores.

$$t_t = t_{\alpha/2, n-2}$$

- **Criterios de decisión**

- Si $|t_c| \leq t_t$, se acepta la hipótesis nula, por lo que $r = 0$; y por lo tanto no hay correlación significativa.

- Si $|t_c| > t_c$, se rechaza la hipótesis nula, por lo que $r \neq 0$; indicándose que es significativo y por lo tanto existe correlación entre las variables.

2.2.4.2. Regresión Lineal Simple

En hidrología el modelo más simple y común está basado en la suposición de que dos variables se relacionan en forma lineal.

Como ejemplo se puede mencionar:

- Caudales y precipitaciones en la misma cuenca.
- Precipitación de una estación, con precipitación de otra estación.
- Caudal de una estación, con caudal de otra estación.
- Precipitación con la altitud de una cuenca.

Este hecho permite correlacionar estas variables para completar datos o extender un registro.

a) Ecuación de regresión lineal

La ecuación general de la regresión lineal simple es:

$$y = a + bx \quad (06)$$

Donde:

x = variable independiente, variable conocida

y = variable dependiente, variable que se trata de predecir

a = intercepto, punto donde la línea de regresión cruza el eje y , es decir valor de y cuando $x = 0$

b = pendiente de la línea recta o coeficiente de regresión, es decir, es cantidad de cambio de y asociada a un cambio unitario de x .

b) Estimación de parámetros

Dada la ecuación de regresión lineal, ecuación (06):

$$y = a + bx$$

Donde **a** y **b** son los parámetros de la ecuación.

El método más utilizado para la estimación de los parámetros **a** y **b**, es el de mínimos cuadrados.

$$a = \frac{\sum y_i}{n} - b \frac{\sum x_i}{n} \quad ; \quad b = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (07); (08)$$

c) Estimación del coeficiente de correlación

El análisis de correlación intenta medir la fuerza de las relaciones entre dos variables por medio de un solo número llamado coeficiente de correlación. El coeficiente de correlación lineal se estudia para determinar en qué medida una ecuación lineal describe o explica la relación entre las variables, de una forma adecuada.

El coeficiente de correlación lineal se expresa mediante la letra *r* y se determina aplicando la ecuación (4).

$$r = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}}$$

$$-1 \leq r \leq +1$$

d) Estimación del coeficiente de determinación

El coeficiente de determinación indica la proporción de la variación total que está siendo explicada por la regresión. Además, ofrece una idea de la calidad del ajuste del modelo a los datos.

El coeficiente de determinación es el cuadrado del coeficiente de correlación.

$$r^2 \quad ; \quad 0 \leq r^2 \leq 1$$

2.2.5. Distribuciones Teóricas de Probabilidad

Son las herramientas estadísticas que nos ayudan a resolver problemas hidrológicos de numerosa información, ya sea estas precipitaciones o caudales, permitiéndonos así determinar eventos máximos o mínimos según necesitemos.

Para Fattorelli y Fernández, existen varias distribuciones de probabilidad que se usan en el diseño hidrológico. Teniendo en cuenta que en hidrología los registros disponibles son una pequeña muestra de la población, resulta lógico probar diferentes distribuciones para obtener aquella que mejor se ajuste. Se debe tener presente que una determinada distribución de probabilidad no necesariamente se aplica por igual a diferentes ríos (en el caso de análisis de caudales) o en diferentes tipos de lluvias (en el caso de análisis de precipitaciones). Prácticamente todas las distribuciones de variables aleatorias en hidrología son de naturaleza empírica, obtenidas de un número limitado de datos. Las funciones de distribución de probabilidad, tienen parámetros que deben ser estimados a partir de la muestra. Desde

el punto de vista matemático si una función tiene más parámetros, es más flexible para ajustar a una distribución empírica (Fattorelli & Fernández, 2011).

Chereque Morán (1989), dada pues una variable aleatoria, interesará describir la probabilidad de ocurrencia de los distintos estados. Esto se consigue gracias a un modelo matemático de su comportamiento o modelo probabilístico. Esta distribución probabilística permite calcular:

1. Las probabilidades de los distintos estados o valores que puede tomar la variable aleatoria.
2. La probabilidad de tener valores mayores o menores que un determinado límite.
3. Los valores de probabilidad de ocurrencia asociados a cada valor de la variable aleatoria.

En resumen, puede decirse que el modelo probabilístico o distribución permite conocer y manejar fácilmente el comportamiento de la variable y sintetiza toda la información sobre probabilidades asociadas a cada estado.

En el presente estudio se usarán las funciones de distribución continuas, las cuales consideran que el número n de valores que puede tomar una variable aleatoria X es infinito, como es el caso de las precipitaciones máximas en 24 horas, procesadas en esta investigación.

De otra parte, se debe precisar que para la estimación de los parámetros estadísticos, de las distribuciones teóricas utilizadas en esta investigación, se utilizó el método de momentos o momentos ordinarios, que consiste en aprovechar las propiedades básicas de una distribución de datos, haciendo

que los parámetros de una población se igualen a los de una muestra y despejar el parámetro de interés,

a) Periodo de retorno (T)

Máximo Villón, define el periodo de retorno T , como el intervalo promedio de tiempo en años, dentro del cual un evento de magnitud x puede ser igualado o excedido, por lo menos una vez en promedio. Así, si un evento igual o mayor a x , ocurre una vez en T años, su probabilidad de ocurrencia P , es igual $\frac{1}{T}$ en T casos (Villón Béjar, 2002), es decir:

$$P(X \geq x) = \frac{1}{T} \quad ; \quad T = \frac{1}{P(X \geq x)} \quad (09); (10)$$

b) Análisis de frecuencia

El análisis de frecuencia es una herramienta utilizada para predecir el comportamiento futuro de las precipitaciones en un sitio de interés, a partir de la información histórica de estas. Es un método basado en procedimientos estadísticos que permite calcular la magnitud de la precipitación asociado a un período de retorno.

Para determinar la magnitud de eventos extremos cuando la distribución de probabilidades no es una función fácilmente invertible se requiere conocer la variación de la variable respecto a la media. Chow (1951), propuso determinar esta variación a partir de un factor de frecuencia K_T que puede ser expresado:

$$X_T = \mu + K_T * \sigma \quad (11)$$

Y se puede estimar a partir de los datos:

$$X_T = \bar{x} + K_T * s \quad (12)$$

Para una distribución dada, puede determinarse una relación entre el factor de frecuencia **K** y el período de retorno **T**. Esta relación puede expresarse en términos matemáticos o por medio del uso de una tabla, para cada distribución.

El análisis de frecuencia consiste en determinar los parámetros de las distribuciones de probabilidad y determinar con el factor de frecuencia la magnitud del evento para un período de retorno dado.

A continuación, se describen cuatro distribuciones que se usarán en el desarrollo del presente trabajo.

2.2.5.1. Distribución Gumbel o Extrema Tipo I

Se ha utilizado con buenos resultados para el cálculo de valores extremos de variables meteorológicas, entre ellas precipitaciones y caudales máximos. Con ella se modela la distribución del máximo (o el mínimo), por lo que se usa para calcular valores extremos. La aplicabilidad potencial de la distribución de Gumbel para representar los máximos se debe a la teoría de valores extremos que indica que es probable que sea útil si la muestra de datos tiene una distribución normal o exponencial (Aparicio Mijares, 2001).

La distribución Gumbel presenta las funciones de probabilidad (13) y probabilidad acumulada (14), siguientes:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} * e^{-\left(\frac{x-\mu}{\alpha}\right)} * e^{-e^{-\left(\frac{x-\mu}{\alpha}\right)}} \quad (13)$$

$$F(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-\mu}{\alpha}\right)}} \quad (14)$$

Si hacemos $y = \frac{x-\mu}{\alpha}$, entonces $F(x) = G(y)$

Obtenemos:

$$G(y) = e^{-e^{-y}} \quad (15)$$

Los **parámetros de ajuste** de esta distribución se determinan por el método de momentos ordinarios, y corresponden a las siguientes expresiones:

Parámetro de escala:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * S \quad (16)$$

Parámetro de posición:

$$\mu = \bar{X} - 0.45 * S \quad (17)$$

Media:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (18)$$

Desviación estándar:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (19)$$

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

$$X = \bar{X} - \frac{S}{\sigma_N} \left(\bar{Y}_N + \text{Ln} \left(\text{Ln} \left(\frac{T}{T-1} \right) \right) \right) \quad \text{o} \quad X = \bar{X} + K_T * S \quad (20); (21)$$

Donde:

Los valores de \bar{Y}_N y σ_N se pueden obtener tablas preparadas para este efecto.

K_T : Factor de frecuencia que se calcula mediante la siguiente expresión.

$$K_T = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} * \left\{ 0.5772 + \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\} \quad (22)$$

2.2.5.2. Distribución Gamma

Esta distribución ha sido una de las más usadas en hidrología. Como la mayoría de las variables hidrológicas son sesgadas, la función Gamma se utiliza para ajustar la distribución de frecuencia de variables tales como crecientes máximos anuales, caudales mínimos, volúmenes de flujos anuales y estacionales, valores de precipitaciones extremas y volúmenes de lluvia de corta duración. La función de distribución Gamma tiene dos o tres parámetros (Aparicio Mijares, 2001).

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación, usaremos la **distribución gamma de dos parámetros**.

La distribución **Gamma de 2 Parámetros** presenta las funciones de probabilidad (23) y probabilidad acumulada (24), siguientes:

$$f(x) = \frac{x^{\gamma-1} * e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\gamma} * \Gamma(\gamma)} \quad (23)$$

$$F(x) = \int_0^x \left(\frac{x^{\gamma-1} * e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\gamma} * \Gamma(\gamma)} \right) dx \quad (24)$$

Siendo:

γ = parámetro de forma.

β = parámetro de escala.

Si hacemos $Y = \frac{x}{\beta}$, Y : Variable reducida

Obtenemos:

$$G(Y) = \int_0^Y \left(\frac{(Y)^{Y-1} * e^{-Y}}{\Gamma(Y)} \right) dY \quad (25)$$

Estimación de parámetros: Los parámetros han sido determinados por el método de momentos ordinarios y corresponden a:

Parámetro de forma:

$$\gamma = \frac{(0.5000876 + 0.1648852 * y - 0.0544274 y^2)}{y} \quad (26)$$

Donde:

$$y = \text{Ln}(\bar{X}) - \overline{\text{Ln}(\bar{X})} \quad (27)$$

Parámetro de escala:

$$\beta = \frac{\bar{X}}{\gamma} \quad (28)$$

$\Gamma(y)$ = función gamma completa, definida como:

$$\Gamma(y) = \int_0^{+\infty} (e^{-x} * X^{(y-1)}) dx \quad (29)$$

2.2.5.3. Distribución Log Normal de 2 Parámetros

La distribución Log Normal de dos parámetros presenta la función de probabilidad siguiente:

$$F(x) = \frac{1}{x \cdot \sigma_y \cdot (\sqrt{2 \cdot \pi})} * e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{\ln x - \mu_y}{\sigma_y} \right]^2} \quad (30)$$

Si hacemos: $z = \frac{\ln x - \mu_y}{\sigma_y}$

Se obtiene la distribución normal estándar:

$$F(z) = \frac{1}{(\sqrt{2 \cdot \pi})} * \int_{-\infty}^z * e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad (31)$$

Estimación de parámetros: Los parámetros han sido determinados por el método de momentos ordinarios y corresponden a:

Media o parámetro de escala:

$$\mu_y = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n (\ln x_i) \quad (32)$$

Desviación estándar o parámetro de forma:

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln x_i - \mu_y)^2}{n-1}} \quad (33)$$

Los eventos de diseño por esta distribución se obtienen mediante la expresión:

$$\ln(X) = \mu_y + K * \sigma_y \quad \rightarrow \quad X = e^{(\mu_y + K * \sigma_y)} \quad (34)$$

Donde:

K: Factor de frecuencia que puede trabajarse en el campo original o en el campo transformado.

- **Campo transformado:** Si se trabaja en el campo transformado se trabaja con la media y la desviación estándar de los logaritmos, así:

$$\ln(X) = \mu_y + K * \sigma_y \quad (35)$$

Donde:

K es la variable normal estandarizada para el **T** dado, μ_y media de los logaritmos y σ_y es la desviación estándar de los logaritmos.

Campo original: Si se trabaja con los **X** sin transformar el **K** se calcula como:

$$K_T = \frac{e^{\left\{K * \sqrt{\ln(1+C_v^2)} - \left(\frac{\ln(1+C_v^2)}{2}\right)\right\} - 1}}{C_v} \quad (36)$$

Donde:

K es la variable normal estandarizada para el **T** dado, $C_v = \frac{s}{\bar{x}}$ es el coeficiente de variación, \bar{x} es la media de los datos originales y s la desviación estándar de los datos originales.

Los valores de **K** se pueden obtener de tablas preparadas para este efecto.

2.2.5.4. Distribución Log Pearson Tipo III o Gamma de Tres Parámetros

La distribución Log Pearson Tipo III presenta la función de probabilidad (37), siguiente:

$$F(X) = \frac{1}{X * \beta * \Gamma(\gamma)} * \left(\frac{\ln(X) - X_0}{\beta}\right)^{\gamma-1} * e^{\left(-\frac{\ln(X) - X_0}{\beta}\right)} \quad (37)$$

Variable Reducida: $y = \left(\frac{\ln(X) - X_0}{\beta} \right)$

Función Acumulada Reducida:

$$G(Y) = \int_0^Y \left(\frac{(Y)^{Y-1} * e^{(-Y)}}{\Gamma(Y)} \right) dY \quad (38)$$

Estimación de parámetros: Los parámetros han sido determinados mediante el método de momentos ordinarios, y corresponden a:

Parámetro de Posición:

$$x_0 = \bar{X}_{lnx} - \frac{2 * S_{lnx}}{C_{S_{lnx}}} \quad (39)$$

Parámetro de Forma:

$$\gamma = \frac{4}{C_{S_{lnx}}^2} \quad (40)$$

Parámetro de Escala:

$$\beta = \frac{C_{S_{lnx}} * S_{lnx}}{2} \quad (41)$$

$\Gamma(\gamma)$ = función gamma completa, definida por (29) como:

$$\Gamma(\gamma) = \int_0^{+\infty} (e^{-x} * X^{(\gamma-1)}) dx$$

Media:

$$\bar{X}_{lnx} = \frac{\sum lnx}{N} \quad (42)$$

Desviación Estándar:

$$S_{lnx} = \sqrt{\frac{\sum (lnx - \bar{X}_{lnx})^2}{N-1}} \quad (43)$$

Sesgo o Coeficiente de Asimetría:

$$C_{S_{lnx}} = \frac{N * \sum (lnx - \bar{X}_{lnx})^2}{(N-1) * (N-2) * S_{lnx}^2} \quad (44)$$

Los eventos de diseño por esta distribución se obtienen mediante la expresión:

$$Ln(X) = \bar{X}_{lnx} + K * S_{lnx} \quad \rightarrow \quad X = e^{(\bar{X}_{lnx} + K * S_{lnx})} \quad (45)$$

Donde:

K: Factor de frecuencia que puede obtenerse por medio de la ecuación (46), que viene dada por la siguiente expresión:

$$K \approx z + (z^2 - 1) * \frac{C_s}{6} + \frac{1}{3} * (z^3 - 6 * z) * \left(\frac{C_s}{6}\right)^2 - (z^2 - 1) * \left(\frac{C_s}{6}\right)^3 + z * \left(\frac{C_s}{6}\right)^4 + \frac{1}{3} * \left(\frac{C_s}{6}\right)^5 \quad (46)$$

Donde:

z es la variable normal estandarizada.

El valor de **K** se encuentra tabulado de acuerdo al valor de C_s calculado con la muestra, en tablas preparadas para este efecto.

2.2.6. Análisis de Confiabilidad

Para seleccionar la distribución de probabilidades de la serie histórica se deben tener en cuenta algunas consideraciones.

- La distribución Log - Normal de dos parámetros sólo es recomendable si el coeficiente de asimetría es cercano a cero. Las distribuciones Gumbel y Log - Gumbel son recomendables si el coeficiente de asimetría de los eventos registrados es cercano a 1.13.

- Para ajustar distribuciones de tres parámetros (Log Normal III, Log Pearson) se requiere estimar el coeficiente de asimetría de la distribución; para ello es necesario disponer de una serie con longitud de registros larga, mayor de 50 años, (Kite, 1988). Las distribuciones de dos parámetros son usualmente preferidas cuando se dispone de pocos datos, porque reducen la varianza de la muestra, (Ashkar, Bobée, Rasmussen, & Rosbjerg, 1994)
- Kite (1988), afirma que no existe consistencia sobre cuál es la distribución que mejor se ajusta a los caudales máximos y recomienda seleccionar el mejor ajuste a criterio del modelador con la prueba de ajuste gráfico o basado en el comportamiento de las pruebas estadísticas de bondad del ajuste (por ejemplo, Chi Cuadrado, Smirnov-Kolmogorov, Cramer-Von Mises) en las que se calcula un estimador y se compara con un valor tabulado para determinar si el ajuste es adecuado o no. En la prueba de ajuste gráfica se dibujan los valores registrados en la serie contra la distribución teórica de probabilidades y de manera visual (subjetiva) se determina si el ajuste es adecuado o no.
- La selección inadecuada de la distribución de probabilidades de la serie histórica arrojará resultados de confiabilidad dudosa, (Ashkar, Bobée, Rasmussen, & Rosbjerg, 1994).
- El tamaño de la muestra influye directamente en la confiabilidad de los resultados, así a mayor período de retorno del estimativo mayor longitud de registros necesaria para mejor confiabilidad en los resultados.

- Cuando en la serie histórica se observan “outliers” es necesario verificar la sensibilidad del ajuste debido a la presencia de estos, (Ashkar, Bobée, Rasmussen, & Rosbjerg, 1994).

Los “outliers”, aunque no existe una definición generalmente aceptada, se puede entender como valores extremos, muy superiores a los demás registrados (Ashkar, Bobée, Rasmussen, & Rosbjerg, 1994).

Tratamiento de datos atípicos (outliers)

Al respecto Fattorelli & Fernández (2011), en su libro Diseño Hidrológico, mencionan lo siguiente:

Al analizar los datos de un evento (lluvias, caudales) para realizar curvas de frecuencia y graficar los datos, es frecuente encontrar puntos que se separan en forma más o menos sensible de la línea media de frecuencias. Estos datos pueden ser altos o bajos o ambos, consecuentemente, su inclusión sin un análisis previo puede llevar a una curva de frecuencias distorsionada con relación a la que la muestra podría indicar. El (USWRC, 1982) define outlier como “Evento extremo o dato puntual que se separa de la tendencia general de la muestra”. En realidad, el análisis es en primer lugar subjetivo, un análisis de consistencia de los datos resulta útil, por lo menos para separar datos dudosos provenientes de errores de medición. Una investigación, por ejemplo de un invierno con fuerte acumulación de nieve, seguido de altas temperaturas en primavera y verano, puede ser una causa natural, que aclare el concepto del dato registrado o lluvias antecedentes que hayan saturado el suelo, seguido de fuertes lluvias que producen altos caudales en un río de régimen pluvial o

pluvionival. Los datos dudosos altos pueden también deberse a factores naturales no meteorológicos como lo son la rotura de diques glaciarios o diques formados por derrumbes de tipo geológico que luego se rompen. En estos casos, generalmente se detecta una secuencia de caudales anormalmente bajos, durante los días anteriores al caudal alto, como consecuencia de la retención en el lago formado y la subsecuente onda al romperse el dique natural. Estos valores atípicos no se pueden considerar como pertenecientes a la misma muestra. El USWRC (1982), establece un método para detectar datos dudosos altos y bajos, respectivamente; ecuaciones 47 y 48.

$$y_a = \bar{y} + k_0 * \sigma_y \quad (47)$$

$$y_b = \bar{y} - k_0 * \sigma_y \quad (48)$$

Donde \bar{y} , es el promedio de los logaritmos de la muestra, incluyendo los dudosos (logaritmos decimales), σ_y es la desviación estándar de los logaritmos de la muestra y k_0 se obtiene de la tablas preparadas para este efecto.

El ajuste a distribuciones se puede hacer por dos técnicas, con el factor de frecuencia como se refirió en el literal b) del numeral 2.2.5. o hallando la distribución empírica de los datos muestrales, por el método de Plotting Position.

2.2.6.1. Plotting Position

Trabaja con la probabilidad de excedencia asignada a cada valor de la muestra. Se han propuesto numerosos métodos empíricos. Si n

es el total de valores y m es el rango de un valor en una lista ordenada de mayor a menor ($m=1$ para el valor máximo) la probabilidad de excedencia se puede obtener por medio de las siguientes expresiones:

$$\text{California} \quad P = \frac{m}{n} \quad (49)$$

$$\text{Weibull} \quad P = \frac{m}{n+1} \quad (50)$$

$$\text{Hazen} \quad P = \frac{2 \cdot m - 1}{2 \cdot n} \quad (51)$$

La expresión más utilizada; y la que se utilizó en el presente trabajo, es la de Weibull, con la cual se halla lo que se conoce como la distribución empírica de una muestra, esta luego se puede ajustar a una de las distribuciones teóricas presentadas anteriormente.

2.2.6.2. Prueba Smirnov – Kolmogorov

En el desarrollo de la investigación se procedió a efectuar este análisis, que consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia entre la función de distribución observada $F_0(x_i)$ y la estimada $\hat{F}_n(x_i)$, con un valor crítico “ D_α ” que depende del número de datos y el nivel de significancia seleccionado, es decir:

$$\Delta = |\hat{F}_n(x_i) - F_0(x_i)|_{\max} \quad (52)$$

Siendo:

Δ : El estadístico Smirnov Kolmogorov (calculado).

$\hat{F}_n(x_i)$: Probabilidad de la distribución de ajuste o teórica (estimada).

$F_0(x_i)$: Probabilidad experimental o empírica de los datos (observada).

Si los valores observados $F_0(x_i)$ son similares a los esperados $\hat{F}_n(x_i)$, el valor de Δ será pequeño. Cuanto mayor sea la discrepancia entre la distribución empírica y la distribución teórica, mayor será el valor de Δ .

Por tanto, el criterio para la toma de la decisión entre las dos hipótesis será de la forma:

Si, $\Delta < D_\alpha$: Aceptar que los datos observados siguen la distribución probada.

Si, $\Delta > D_\alpha$: Rechazar que los datos observados siguen la distribución probada.

Los valores de D_α del estadístico Smirnov – Kolmogorov, se obtienen de tablas preparadas para este efecto.

2.2.6.3. Prueba Chi Cuadrado

La prueba Chi Cuadrado se utiliza para determinar el grado de ajuste de una distribución de probabilidad teórica a una distribución empírica. Es un método paramétrico que se evalúa mediante la expresión:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \left(\frac{(f_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i} \right) \quad (53)$$

Siendo:

χ^2 : El estadístico Chi Cuadrado (calculado).

f_i : Frecuencia absoluta individual observada (valor registrado).

n : Sumatoria de las frecuencias absolutas individuales.

p_i : Probabilidad de ocurrencia del evento f_i .

Para la toma de decisión, el criterio será de la forma:

Si, $\chi^2 \leq \chi_p^2$: Aceptar que los datos observados siguen la distribución probada.

Si, $\chi^2 > \chi_p^2$: Rechazar que los datos observados siguen la distribución probada.

Los valores de χ_p^2 , se obtienen de tablas preparadas para este efecto.

A continuación, se muestra diagrama de flujo para la elección de una distribución teórica.

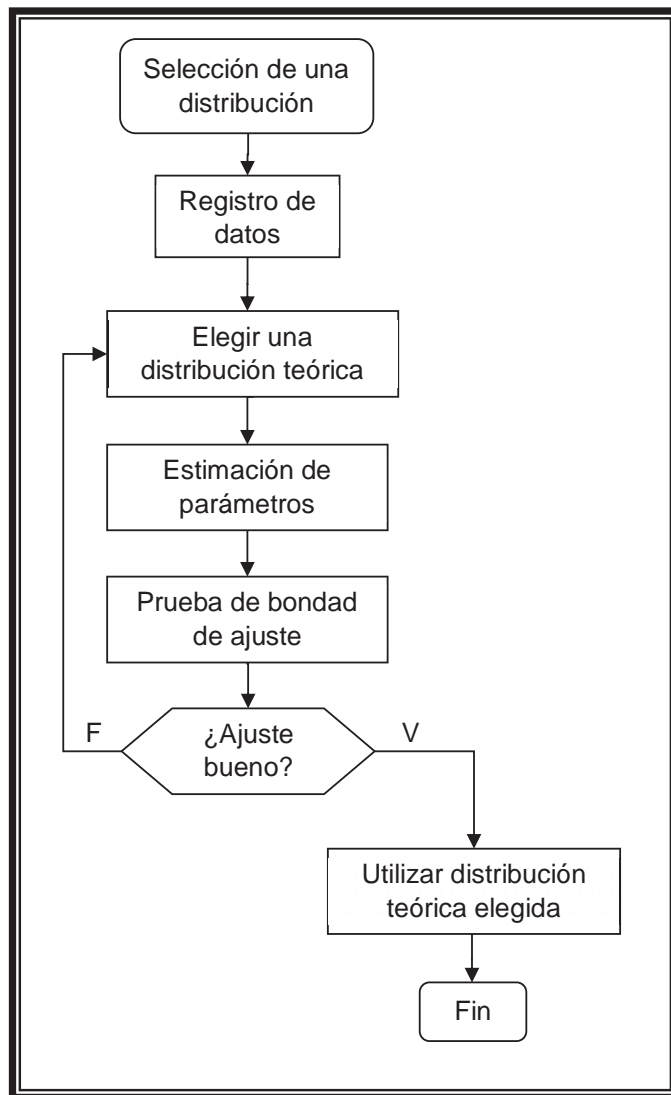


Figura 4 Proceso para la elección de una distribución teórica.
Fuente: Elaboración propia.

2.2.7. Ecuación de Bell

Bell (1969), encontró una ecuación generalizada de intensidad–duración–periodo de retorno, combinando las razones; lámina de lluvia–frecuencia (CF), con la lámina de lluvia–duración (CD), la misma que adoptó la forma de la ecuación (54).

Así también, Bell adoptó un modelo empírico precipitación - periodo de duración - periodo de retorno que tiene la forma siguiente:

$$P_T^t = (a * \ln T + b) * (a_1 * t^{b_1} + c) * P_{T_1}^{t_1} \quad (54)$$

Donde:

P_T^t : Es la lámina de precipitación para cualquier período de retorno y duración.

$P_{T_1}^{t_1}$: Es lámina de precipitación para “ T_1 ” años de período de retorno y “ t_1 ” minutos de duración.

T_1 : Es el periodo de retorno.

t_1 : Es el periodo de duración de la precipitación.

a, b, a_1, b_1, c : Son los coeficientes de la ecuación propios de cada zona en estudio.

Con la información hidrológica de diferentes zonas del mundo, Bell (1969), determinó los coeficientes a, b, a_1, b_1 y c ; que le permitió definir la ecuación (55).

$$P_T^t = (0.21 * \ln T + 0.52) * (0.54 * t^{0.25} - 0.50) * P_{10}^{60} \quad (55)$$

Válida para las condiciones de:

$$2\text{años} \leq T \leq 100\text{años}$$

$$5\text{min.} \leq t \leq 120\text{min}$$

Considerando muestra de 100 datos (Bell, 1969).

Además, Bell propone su utilización a nivel mundial, dado a que concluyó que, las variaciones de las razones empleadas son pequeñas comparadas con los errores de muestreo y otras fuentes de incertidumbre.

Donde P_{10}^{60} : Es lámina de precipitación para diez años de período de retorno y sesenta minutos de duración, cuyo valor será determinado por medio de la metodología de Dick Peschke (Guevara, 1991), que relaciona la relación de la tormenta con precipitación máxima en 24 horas (MTC, 2011).

La expresión matemática que permite calcular el P_{10}^{60} es:

$$P_d = P_{24} * \left(\frac{d}{1440}\right)^{0.25} \quad (56)$$

Donde:

P_d : Precipitación total en milímetros (mm).

d : duración en minutos (min).

P_{24} : precipitación máxima en 24 horas.

2.2.7.1. Procedimiento

En el desarrollo del presente trabajo de investigación se tuvo en cuenta lo siguiente:

- a)** Obtención de registro de precipitaciones máximas en 24 horas mensuales.

- b) Selección del mayor valor de precipitación y rango de meses donde se presentan.
- c) Obtención de valores de precipitación máxima en 1 hora.

En razón de que Bell utiliza la precipitación horaria para definir su ecuación característica.

Al respecto, Elías Castillo & Ruiz Beltrán (1979), en su libro *Precipitaciones máximas en España: estimaciones basadas en métodos estadísticos*, presentan cálculos hidrológicos para el control de la escorrentía superficial y la erosión en las restauraciones de la empresa minas y ferrocarril de Utrillas S.A., así también, presentan correlaciones entre las precipitaciones máximas en 24 horas y diversos periodos de duración, estudiadas para las zonas centro y norte de España y Sur de España, las que se muestran en la Tabla 3.

Tabla N° 3

Correlación $P_{max24horas}$ y diversos periodos de duración (D^t).

Duración (D^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)	0.7184 P ₂₄	0.7184 P ₂₄	0.7184 P ₂₄
P(720') (12h)	0.8300 P ₂₄	0.8300 P ₂₄	0.8300 P ₂₄

(*) Considerado en el desarrollo del presente trabajo.

Fuente: Precipitaciones máximas en España: Estimaciones basadas en métodos estadísticos. Elías Castillo, F., & Ruiz Beltrán, L. (1979), Madrid.

Para el desarrollo de este trabajo se utilizó, como punto de partida para establecer la ecuación de Bell característica de la estación meteorológica de Quillabamba, el promedio de los coeficientes obtenidos por Elías Castillo y Ruiz Beltrán mostrados en la tabla 3, en razón que Bell, analiza las razones de láminas de lluvia con relación al periodo de retorno y duración, independientemente de otros elementos meteorológicos como la temperatura, la humedad relativa o altitud; sin perder de vista el modelo empírico del método a emplear.

- d)** Aplicar el estadístico Smirnov- Kolmogorov y/o Chi Cuadrado, para determinar si los datos se ajustan a las distribuciones de Gumbel, Gamma de 2 Parámetros, Log Normal de 2 Parámetros y Log Pearson Tipo III, y de ser así, obtener valores de precipitaciones máximas en 1 hora para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, con la distribución seleccionada.
- e)** Calcular las razones existentes entre la lámina de lluvia para una hora de duración y los distintos periodos de retorno, con la lámina de lluvia de una hora de duración y periodo de retorno de 10 años, para posteriormente mediante el análisis de regresión lineal, definir el coeficiente de frecuencia.
- f)** Para calcular el coeficiente de duración, se realiza primero la determinación de las precipitaciones para distintas duraciones, y periodo de retorno de 10 años, se calculan las razones entre las precipitaciones para distintas duraciones y periodo de retorno de 10 años, con la precipitación de una hora de duración y periodo de

retorno de 10 años, determinado con la distribución teórica que mejor ajustó los datos analizados.

- g) Integrar los coeficientes generados y determinación de los factores que se presentan en la expresión base de la ecuación de Bell.

$$P_T^t = (a * \text{Ln}T + b) * (a_1 * t^{b_1} + c) * P_{10}^{60} \quad (57)$$

2.2.7.2. Coeficiente de Frecuencia

Es la relación lámina de lluvia-frecuencia, presentada en la ecuación (54) (primer miembro), que corresponde al tipo:

$$CF^T = \frac{P_T^t}{P_{T=10}^t} = a * \text{Ln}T + b \quad (58)$$

$$CF^T = y = a * x + b$$

$$x = \text{Ln}T$$

$\frac{P_T^t}{P_{T=10}^t}$: Es la relación de la lámina de precipitación para cualquier periodo de retorno, con la lámina de 10 años de periodo de retorno, para la misma duración (en nuestro caso duración de una hora), a y b , los coeficientes característicos de la región en estudio.

En el presente estudio, los valores de esta relación se obtuvieron dividiendo los valores de precipitación máxima en 1 hora para los tiempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años; por el que corresponde a la precipitación máxima en 1 hora y tiempo de retorno de 10 años.

Se define el valor de la precipitación máxima para tiempo de retorno de 10 años y de 1 hora de duración $P_{T=10}^{t=60}$.

Luego, se obtiene una ecuación en la que se debe calcular el valor de las constantes a y b , cuando T es el periodo de retorno para 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, en relación al valor de precipitación horaria con periodo de retorno de 10 años. Esta se desarrolla para la distribución que mostró el mejor ajuste de los datos analizados; finalmente establecer la ecuación que representa este coeficiente, por medio del análisis de regresión.

2.2.7.3. Coeficiente de Duración

Es la relación lámina de lluvia-duración, presentada en la ecuación (54) (segundo miembro), mediante la ecuación:

$$CD^t = \frac{P_T^t}{P_T^{t=60}} = a_1 * t^{b_1} + c \quad (59)$$

$$CD^t = y = a_1 * x + c$$

$$x = t^{b_1}$$

$\frac{P_T^t}{P_T^{t=60}}$: Es la relación de la lámina de precipitación para cualquier duración con la lámina de 60 minutos de duración, para el mismo periodo de retorno y a_1 , b_1 , y c , los coeficientes de la ecuación; característicos de la región en estudio.

Para determinar los coeficientes, se requiere obtener la relación $\frac{P_T^k}{P_T^{k=60}}$, entre cada una de las láminas de precipitación de las distintas duraciones (10, 20, 30, 60, 120, 360 y 720 minutos), con la lámina de duración igual a 60 minutos y un periodo de retorno de 10 años, previamente establecidos.

En el presente estudio las duraciones a utilizar fueron: 10, 20, 30, 60, 120, 360 y 720 minutos (con la finalidad de poder comparar los resultados obtenidos, con los valores tomados inicialmente para el cálculo) con el periodo de retorno de 2, 5, 10, 20 y 30 años, para finalmente relacionar las razones obtenidas para las distintas duraciones con el periodo de retorno de 10 años.

El primer miembro de la ecuación (59) que representa el coeficiente de duración se obtiene al dividir cada valor de precipitación máxima para el periodo de retorno de 10 años; por el valor de la precipitación máxima definida para periodo de retorno de 10 años y de 1 hora de duración; finalmente se obtienen los valores de los coeficientes de duración, por medio de utilizar la regresión no lineal, dado que tenemos una expresión que amerita ser resuelta por este método.

2.2.7.4. Gráficos

Los gráficos a obtener, son los del Coeficiente de Frecuencia, Coeficiente de Duración, Precipitaciones para distintos periodos de

retorno y duración; finalmente se obtiene el gráfico de intensidades de precipitación, para distintos periodos de retorno y duración.

2.2.8. El Distrito de Santa Ana

2.2.8.1. Historia

El distrito de Santa Ana fue creado el 21 de junio de 1825 mediante Decreto dado por el Libertador Simón Bolívar.

La página oficial de la Provincia de La Convención, indica que la ciudad de Quillabamba, capital del distrito de Santa Ana y capital de la provincia de La Convención, se creó oficialmente como Villa y Capital el 29 de noviembre de 1918 por Ley Nro. 2890, promulgada por el Gobierno de Manuel Pardo y Lavalle, posteriormente por Ley Nro. 12834 de fecha 13 de setiembre de 1957 se le confiere la calidad de ciudad (Municipalidad Provincial de La Convención, 2016).

En el distrito de Santa Ana, los benefactores propietarios de haciendas en aquel entonces Don Nicanor Larrea y Don Martín Pío Concha, un 20 de junio de 1881, determinaron la donación de terrenos para la formación de la actual ciudad de Quillabamba. Tal hecho, dio origen a la promulgación de la ley N° 2890 del 29 de noviembre de 1918 elevando al pueblo de Quillabamba a la categoría de Villa, declarándola capital de la provincia de La Convención (Municipalidad Provincial de La Convención, 2016).

2.2.8.2. Ubicación y Geografía

El distrito de Santa Ana se encuentra ubicada en el centro sur de la provincia de La Convención, al Norte de la ciudad de Cusco. Geohistóricamente su ubicación correspondía al Antisuyo.

Sus límites son: Por el Norte con el distrito de Echarati. Por el Este con el distrito de Echarati. Por el Sur con el distrito de Vilcabamba y Maranura. Por el Oeste con el distrito de Vilcabamba y Echarati. El distrito de Santa Ana tiene los siguientes centros poblados: Huayanay, Potrero – Idma y Pavayoc.

Posee las coordenadas geográficas de 12°52'38" Sur y 72°42'01" Oeste, su altitud oscila entre los 1100 y 1030 m.s.n.m., teniendo como promedio para Quillabamba 1050 m.s.n.m., con una extensión territorial de 359.4 km² (Municipalidad Provincial de La Convención, 2016).

Por ser una zona eminentemente tropical, su clima constituye uno de sus principales atractivos, con una Temperatura Media Mensual de 23,6°C., siendo los meses más calurosos Abril, Julio, Octubre en el que dicha temperatura llega hasta los 30,8°C (Municipalidad Provincial de La Convención, 2016).

2.2.8.3. Economía y Población

La principal actividad económica del distrito de Santa Ana es la producción de café, coca, cacao y frutales. La ciudad de Quillabamba mantiene ingresos permanentes provenientes del canon y regalías

gasíferas desde el 2004, derivadas de la operación comercial del proyecto Camisea (Municipalidad Provincial de La Convención, 2016); aunque actualmente se ve afectado por la creación del nuevo distrito de Megantoni.

El distrito de Santa Ana posee una población de 33 230 habitantes de acuerdo al INEI 2007 (INEI, 2007).

El idioma oficial es el español y co-oficial es el quechua.

2.2.8.4. Vías de Comunicación

Quillabamba está rezagada en infraestructura de transporte. Aunque cuenta con una infraestructura ferroviaria, por medio de la que se conecta con la ciudad del Cusco, ella está en desuso. Por lo tanto, la única forma de comunicación vial vigente es por medio de la carretera entre ambas ciudades (Súclupe Girio, 2014).

Las rutas por la que se puede llegar al distrito de Santa Ana son:

- Cusco - Machupicchu - Santa Teresa - Quillabamba: 172Km.
- Cusco - Chinchero - Ollantaytambo - Huayopata - Quillabamba: 236Km.
- Cusco - Písaq - Calca - Quellouno - Quillabamba: 328Km.

2.3. Marco Conceptual

Duración de la Lluvia

Es el intervalo de tiempo que media entre el principio y el final de la lluvia y se expresa en minutos (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

Frecuencia

Villón (2002), la define como el número de veces que se repite una precipitación (lluvia), de características de intensidad y duración definidas en un período de tiempo, tomado generalmente en años.

Intensidad De Precipitación

Villón Béjar, define la intensidad de precipitación como la cantidad de agua caída por unidad de tiempo. Lo que interesa particularmente de cada evento de precipitación, es la intensidad máxima que se haya presentado, la que viene a ser la altura máxima de agua caída por unidad de tiempo, y se expresa como:

$$i_{m\acute{a}x} = \frac{P}{t}$$

Donde:

$i_{m\acute{a}x}$: intensidad máxima, en mm/hora.

P : precipitación en altura de agua, en mm.

t : tiempo en horas.

Medida de la Precipitación

La precipitación se mide en términos de la altura de lámina de agua 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 (Gámez Morales, 2009).

Métodos Estadísticos

Los métodos estadísticos, se basan en considerar que los datos de precipitación son variables aleatorias que tienen una cierta distribución. Para utilizarlos se requiere tener como datos, el registro de precipitaciones, cuanto mayor sea el tamaño del registro, mayor será también la aproximación del cálculo de precipitación buscada, la que se determina para un determinado período de diseño.

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 (Villón Béjar, 2002).

Precipitación

“La precipitación, es toda forma de humedad que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie del suelo; de acuerdo a esta definición la precipitación puede ser en forma de lluvias, granizadas, garúas, nevadas” (Villón Béjar, 2002).

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Formulación de Hipótesis

3.1.1. Hipótesis General

El empleo del método Bell, en la generación de intensidades, con respecto a las intensidades generadas a partir del método IILA en La Convención - Cusco - 2015, presenta un alto nivel de confiabilidad.

3.1.2. Hipótesis Específicas

- La variación en posición y forma de las intensidades generadas por el método de Bell, respecto de las generadas por el método IILA en La Convención - Cusco - 2015, no son significativas.
- La correlación que existe entre las intensidades generadas por el método de Bell, respecto de las generadas con el método IILA en La Convención - Cusco - 2015, son altas.
- La expresión que permite generar las intensidades de precipitación en La Convención - Cusco - 2015, será determinada al combinar los factores que la ecuación característica de la zona en estudio.

3.2. Matriz de Consistencia

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE
¿Cuál es el nivel de confiabilidad del uso del método de Bell, en la generación de intensidades, con respecto a las intensidades generadas a partir del método IILA en La Convención - Cusco - 2015?	Evaluar el nivel de confiabilidad del método de Bell, en la generación de intensidades, con respecto a las intensidades generadas a partir del método IILA en La Convención - Cusco - 2015.	El empleo del método Bell, en la generación de intensidades, con respecto a las intensidades generadas a partir del método IILA en La Convención - Cusco - 2015, presenta un alto nivel de confiabilidad.	Precipitaciones máximas.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLE DEPENDIENTE
<ul style="list-style-type: none"> ¿Cuán significativa es la variación en posición y forma de las intensidades generadas por el método de Bell, respecto de las generadas con el método IILA en La Convención - Cusco - 2015? 	<ul style="list-style-type: none"> Comparar la variación en posición y forma de las intensidades generadas por el método de Bell, respecto de las generadas con el método IILA en La Convención - Cusco - 2015. 	<ul style="list-style-type: none"> La variación en posición y forma de las intensidades generadas por el método de Bell, respecto de las generadas por el método IILA en La Convención - Cusco - 2015, no son significativas. 	Intensidad de precipitación
<ul style="list-style-type: none"> ¿Cuál es el grado de relación que existe entre las intensidades generadas por el método de Bell, respecto de las generadas con el método IILA en La Convención - Cusco - 2015? 	<ul style="list-style-type: none"> Determinar la correlación que existe entre las intensidades generadas por el método de Bell, respecto de las generadas con el método IILA en La Convención - Cusco - 2015. 	<ul style="list-style-type: none"> La correlación que existe entre las intensidades generadas por el método de Bell, respecto de las generadas con el método IILA en La Convención - Cusco - 2015, son altas. 	
<ul style="list-style-type: none"> ¿Qué expresión permite generar las intensidades de precipitación en La Convención - Cusco - 2015? 	<ul style="list-style-type: none"> Definir la expresión que permite generar las intensidades de precipitación en La Convención - Cusco - 2015. 	<ul style="list-style-type: none"> La expresión que permite generar las intensidades de precipitación en La Convención - Cusco - 2015, será determinada al combinar los factores que la ecuación característica de la zona en estudio. 	

3.3. Matriz de Operacionalización de Variables

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES	TÉCNICA	INSTRUMENTOS
Precipitaciones máximas	Precipitaciones convectivas.	Altura de precipitación.	Lectura de la ficha de registro del SENAMHI.	Ficha de registro del SENAMHI.
	Periodo de observación.	de Número de registros observados.	Conteo de registros	Ficha de registro del SENAMHI.
Intensidad de precipitación	Periodo de retorno.	Frecuencia de ocurrencia de la precipitación.	Aplicación de fórmula	Fórmula para cálculo del periodo de retorno.
	Precipitación horaria	Magnitud de la precipitación para una hora de duración.	Aplicación de fórmula	Fórmula para el cálculo de la precipitación máxima horaria.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1. Tipo

El tipo de investigación es aplicativo, pues se desarrolló una metodología para evaluar la precipitación, duración y frecuencia en la generación de intensidades de precipitación. Su alcance es descriptivo, ya que en su desarrollo busca describir y explicar el comportamiento de las precipitaciones máximas durante su procesamiento para generar las intensidades de precipitación en el distrito de Santa Ana, y tiene un enfoque cuantitativo, pues se analizan datos numéricos a través de la estadística, relacionándolo con el periodo de retorno y de duración, para solucionar los problemas de la investigación.

4.2. Diseño

El diseño de la investigación es longitudinal, pues se analizó un periodo de información que comprende desde el año 1964 al año 2015.

4.3. Población

La población de la investigación lo constituye toda la información de precipitaciones máximas en 24 horas de la Estación de Quillabamba.

4.4. Muestra

La muestra de la investigación lo constituye la información de precipitaciones máximas en 24 horas, comprendidas en el periodo del año 1964 al año 2015 de la estación de Quillabamba.

4.5. Muestreo

La técnica de muestreo a utilizar es no probabilística, pues todos los datos de la información meteorológica de la estación de Quillabamba, tienen la misma posibilidad de ser seleccionados para la muestra.

4.6. Técnicas

De acuerdo con la matriz de operacionalización de variables, se utilizó la lectura de la ficha de registro del SENAMHI, el conteo de registros y la aplicación de fórmulas.

4.7. Instrumentos

De acuerdo con la matriz de operacionalización de variables, se utilizó la ficha registro del SENAMHI y fórmulas.

4.8. Desarrollo de la investigación

4.8.1. Procesamiento de información para evaluar la confiabilidad del uso del método de Bell en la zona de estudio

Para realizar este procedimiento primero se hizo un análisis previo que permitió separar los registros de datos que contemplan información, de aquellos que presentan información incompleta o sin información, además de realizar el análisis de datos “outliers” que podrían generar cálculos erróneos en su procesamiento, una vez definido los valores a procesar (ver tabla n.º 7), se procesaron los valores máximos de estos registros, comprendidos en el periodo lluvioso que abarca desde diciembre hasta abril de cada año, (ver

tabla n.º 4) esta información fue procesada para determinar la distribución teórica que mejor ajusta los datos proporcionados por el SENAMHI.

Tabla N° 4

Precipitación máxima en 24 horas.

	AÑO	Máx. 24 horas Dic-Abr.
1	1965	41.0
2	1966	35.5
3	1967	30.0
4	1968	38.7
5	1969	26.5
6	1970	40.2
7	1971	42.5
8	1972	42.7
9	1973	33.4
10	1974	30.6
11	1975	42.2
12	1976	35.0
13	1977	40.2
14	1978	44.8
15	1979	33.4
16	1980	38.1
17	1996	22.0
18	1997	40.2
19	1998	39.4
20	1999	59.0
21	2000	57.9
22	2002	57.1
23	2003	46.2
24	2005	40.6
25	2006	49.0
26	2008	53.1
27	2010	83.8
28	2011	34.6
29	2014	46.0
30	2015	32.0

Fuente: Elaboración propia.

Esta serie de datos fue analizada por medio de las distribuciones teóricas descritas en el numeral 2.2.5 de las bases teóricas de esta investigación, a partir de este análisis se logró seleccionar la distribución que mejor ajusta los datos analizados, observando la distribución Log Pearson Tipo III, es la que presenta mejor ajuste, dado que se obtiene un menor delta teórico que satisface la condición de ser menor al delta tabular (ver tabla n.º 5). Una vez seleccionada la distribución que mejor ajusta los datos, se procede a calcular la precipitación máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 10 años, para luego aplicar la expresión matemática de Dick Peschke y de esta manera obtener el P_{10}^{60} , necesario para calcular las intensidades de precipitación para distintos periodos de retorno y periodos de duración, por medio de la metodología de Bell.

Tabla N° 5

Selección de la distribución que mejor ajusta los datos analizados.

Distribución	Periodo de Retorno de 10	$D_{teórico}$	Est. Smirnov - Kolmogorov	$D_{tabular}$
Gumbel	57.34	0.07850	<	0.2483
Gamma de 2 parámetros	56.32	0.11240	<	0.2483
Log normal de 2 parámetros	56.61	0.09530	<	0.2483
Log Pearson tipo III	57.08	0.07760	<	0.2483

Para nivel de Significancia, $\alpha = 0.05$

$$57.080 = P_{10}^{24h}$$

Fuente: Elaboración propia.

Estas intensidades posteriormente fueron comparadas en posición y forma con las generadas por el método IILA, además de determinar la correlación que existe entre ellas, la comparación y correlación se realizó entre intensidades de igual periodo de retorno y distintos

periodos de duración. Para este último paso, se hizo del software Statgraphics, que nos permitió comprar los resultados obtenidos

4.8.2. Procesamiento de los datos para definir la ecuación característica de la zona en estudio.

Se determinó los valores correspondientes a $P_{\text{máx}}$ para 1 hora (Tabla N° 34); se analizaron los valores obtenidos, por medio de las distribuciones teóricas de probabilidad descritas en el numeral 2.2.5, haciendo uso del software Hidroesta 2, seleccionando la distribución que mejor ajuste los datos analizados. Los valores de $P_{\text{máx}}$ en 1 hora para las distribuciones utilizadas y distintos periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años (Tabla N° 35).

Se verificó si los datos de la tabla N° 34 se ajustan o no a las distribuciones utilizadas, mediante la aplicación de estadístico de Smirnov – Kolmogorov. Seleccionando la distribución que mejor ajuste los valores, es decir con menor $D_{\text{teórico}}$, determinándose de esta manera la ecuación representativa del Coeficiente de Frecuencia, en función al análisis de regresión lineal.

Para definir el Coeficiente de Duración se determinaron valores de $P_{\text{máx}}$ para periodos de duración de 10, 20, 30, 60, 120, 360 y 720 minutos y periodos de retorno de 2, 5, 10, 20 y 30 años, los cuales fueron divididos por el valor de P_{selec} ; obtenido para la duración de 60 minutos y periodo de retorno de 10 años, determinado al definir el coeficiente de frecuencia.

Luego con ayuda de la Extensión SOLVER del programa EXCEL (además de verificar el cálculo con el software IBM SPSS Statistics 24), se estimaron los valores numéricos para las variables a_1 , b_1 y c de la ecuación 59. Determinándose después la ecuación representativa del Coeficiente de Duración, en base al análisis de regresión no lineal realizado.

A continuación se detalla el desarrollo del presente trabajo en el cual se ha tenido en cuenta lo siguiente:

- a. Obtención de registros de precipitaciones máximas en 24 horas mensuales de la estación meteorológica de Quillabamba, en el intervalo de los años de estudio. Años 1964 - 2015 (Anexo I).

Las filas resaltadas de color rojo presentan series de datos sin registro; las filas resaltadas de color verde, representan series de datos con registros incompletos. Los mismos que no deben tomarse en cuenta en el análisis a realizar pues, conllevarían a generación de resultados erróneos en su cálculo.

- b. Seleccionar años con datos completos.

En atención al literal anterior, procederemos a retirar estas series para que no distorsionen las distribuciones a realizar. Además, porque la inclusión de series incompletas y sin información desacreditarían el estudio realizado, yendo en contra del correcto procesamiento de datos de este tipo. Obteniéndose la tabla N° 6.

- c. Se realiza la prueba de datos atípicos “outliers”.

A los datos seleccionados de la tabla N° 6, se les aplica la metodología descrita en el apartado **Tratamiento de datos atípicos (outliers)**, del numeral 2.2.6, de la presente tesis; este procedimiento se vuelve a realizar hasta encontrar series de datos que tengan valores comprendidos entre los rangos permisibles. Obteniendo como resultado la tabla N° 7. El resumen del procedimiento de cálculo se muestra en el Anexo II, tomando en cuenta los parámetros del Anexo III.

- d. Seleccionar el mayor valor de precipitación y rango de meses donde se presentan, para el presente caso se considera desde Diciembre hasta Abril (Tabla N° 8 y Figura N° 05).

Nótese que, a pesar de tener valores muy altos en los meses de Mayo, Setiembre y Octubre, estos no se toman en cuenta para establecer el rango lluvioso de la zona. Estos valores, se deben posiblemente a registros extraordinarios presentados en esos meses, pero que al hacer el análisis de datos atípicos (outliers), se encuentran dentro del rango permisible.

- e. Obtención de valores de precipitación máxima en 1 hora (Tabla 34), para lo cual se utilizó la ecuación de correlación de Elías Castillo, F. y Ruiz Beltrán, L. (1979) (Tabla 3), expresada de la forma :

$$P_1 = 0.3862 * P_{24} \quad (60)$$

Siendo:

P_1 : Precipitación máxima en 1 hora, mm.

P_{24} : Precipitación máxima en 24 horas, mm.

La data de la estación utilizada, no registra información de precipitación máxima en una hora, del mismo modo no se tiene información pluviográfica a efectos de calcular intensidades de precipitación, con el presente trabajo se obtuvieron nuevos coeficientes al intervenir la información pluviométrica de la estación en estudio.

- f. A los datos anteriores se les aplicó el estadístico Smirnov-Kolmogorov, valores registrados en la tabla N° 35 (obtenidos con el software Hidroesta, se adjunta ejemplo de prueba de bondad de ajuste sin el uso del citado software, ver anexo IV), para determinar si se ajustan a las distribuciones de Gumbell, Gamma de 2 Parámetros, Log Normal de 2 Parámetros y Log Pearson Tipo III, y de ser así, obtener valores de precipitaciones máximas en 1 hora para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años (Tabla 35).

Los valores críticos de Delta del Estadístico Smirnov – Kolmogorov se muestra en el Anexo V.

- g. Determinación de los factores que se presentan en la expresión base de la ecuación de Bell.

$$P_T^t = (a * \ln T + b) * (a_1 * t^{b_1} + c) * P_{10}^{60}$$

Para la determinación de los factores de la ecuación (coeficientes de frecuencia y de duración), se toma en consideración el grado de aproximación de las ecuaciones logradas. Así mismo, se da importancia al coeficiente de determinación (R^2) que se obtiene, pues aunque el coeficiente de correlación (R) determina la aproximación de las variables, es natural darse cuenta que el coeficiente de determinación es el coeficiente de correlación al cuadrado, y teniendo en consideración que este último resulta, por lo general menor a la unidad, su valor elevado a la segunda potencia resultará un valor mucho menor que el obtenido con potencia unitaria, por tratarse de decimales menores a la unidad. En el Anexo VII, se muestran rango de valores del coeficiente de correlación (R) y su nivel de aproximación; además de un ejemplo de obtención de parámetros de la ecuación lineal para la distribución Gumbel, donde se determinan los valores mencionados en las líneas predecesoras.

Finalmente, para dar validez a las correlaciones obtenidas se utiliza la prueba t-student, cuyos valores críticos se muestran en el Anexo VIII, además de un ejemplo de prueba para la distribución Gumbel, en el cálculo del coeficiente de frecuencia.

g.1. Coeficiente de frecuencia (CF^T): Es la relación lámina de lluvia – frecuencia, representada mediante la ecuación (58). En esta investigación se obtuvieron valores de $\frac{P_T^f}{P_{T=10}^f}$, dividiendo valores de $P_{máx}$ en 1 hora para tiempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100

años con la correspondiente $P_{máx}$ en una hora y un tiempo de retorno de 10 años, cuyos resultados se muestran en las Tablas 36, 37, 38 y 39; siendo estas correspondientes a los métodos Gumbel, Gamma de 2 parámetros, Log Normal de 2 parámetros y Log Pearson Tipo III respectivamente.

Los valores obtenidos en la tabla N° 34, permiten obtener el valor de $P_{máx}$ para periodo de retorno de 10 años y de 1 hora (60 minutos) de duración $P_{T=10}^{t=60}$.

Todo este procedimiento nos permite obtener una ecuación en que debe hallarse los valores de las constantes a y b ; de la ecuación 58, para los distintos periodos de retorno empleados y para las distintas distribuciones empleadas, mencionadas líneas arriba. Para finalmente seleccionar la ecuación representativa de este coeficiente (ec. 65).

Y el valor representativo de $P_{T=10}^{t=60}$, resulta el determinado para la distribución que mejor ajusta los datos de la estación de Quillabamba, y corresponde a la distribución de Log Pearson Tipo III.

g.2. Coeficiente de Duración (CD^t): Es la relación lámina de lluvia – Duración, representada mediante la ecuación (59). En esta investigación se obtuvieron valores de $\frac{P_T^t}{P_T^{t=60}}$, dividiendo valores de cada una de las láminas de precipitación de las distintas duraciones de 10, 20, 30, 60, 360 y 720 minutos, con la lámina de 60 minutos; para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20 y 30 años, debido a la data que se tiene.

Primero se elabora la tabla N° 40, en donde se registran los datos en orden descendente, de acuerdo al tiempo de retorno en años utilizando la expresión de Weibull de la ecuación (50). Los valores de P_{máx} en 24 horas mostrados en la tabla N° 4, son ordenados de mayor a menor de manera vertical (de arriba a abajo) y los periodos de duración son dispuestos de manera horizontal en orden ascendente (de izquierda a derecha), el registro de los datos mostrados en la tabla N° 40 se realiza utilizando las correlaciones dadas en la columna denominada Valor asumido de la tabla N° 03.

De la tabla N° 40, se determinan los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20 y 30 años; y el valor de precipitación máxima para estos periodos de retorno, los que se muestran en la tabla N° 41.

El primer miembro de la ecuación (59) $\left(\frac{P_T^t}{P_{T=60}^t}\right)$; se obtiene al dividir cada valor de precipitación de la tabla N° 41 por el valor de la precipitación máxima establecida para el periodo de retorno de 10 años y de una hora de duración, fijado en la tabla N° 35. Obteniéndose la tabla N° 42, donde se presentan los valores de los coeficientes de duración.

Se generó una ecuación en la que debe hallarse el valor de las constantes a_1 , b_1 y c , siendo t , el periodo de duración de 10, 20, 30, 60, 120, 360 y 720 minutos y T_r , el periodo de retorno de 10 años. Para tal efecto se realizó el análisis de regresión no lineal mediante el uso de la extensión SOLVER del programa Excel; además de contrastarlo con el software IBM SPSS Statistics 24,

para elaborar la tabla N° 43 y la figura N° 14, las cuales muestran las aproximaciones de los valores establecidos originalmente con los valores asumidos.

Finalmente, se obtiene la Tabla N° 44, que muestra los valores de las constantes a_1 , b_1 y c , obteniéndose la ecuación (66), que expresa matemáticamente el coeficiente de duración.

h. Ecuación lograda: Definidos los coeficientes de frecuencia, CF^T y de duración, CD^t , se integran y reemplazan en la ecuación (57), logrando la ecuación representativa de la estación de Quillabamba (ecuación 67).

i. Gráficas generadas: Se generaron gráficas para el coeficiente de frecuencia y para el coeficiente de duración, las cuales se muestran en las Figuras N° 15 y 16 respectivamente. Así mismo, en la ecuación (67) se consideró un milímetro (1mm) el valor de la precipitación para el periodo de duración de 60 minutos (D^t) y periodo de retorno de 10 años (T_r), luego se elaboró la Tabla 51 y la Figura 17, que muestran las precipitaciones unitarias para distintos periodos de retorno y de duración. Con la información de la tabla 51 se elaboró la Tabla 52, que representa los valores de intensidades en mm/hora para precipitaciones unitarias y sus correspondientes tiempos de retorno (T_r) y periodos de duración ($D^t = t$), cuya representación gráfica se muestra en la figura N° 18.

Tabla N° 6

Información meteorológica completa para realizar el análisis de datos outliers.

INFORMACIÓN METEOROLÓGICA DE LA ESTACIÓN DE QUILLABAMBA
(Con series de datos completas)

Estación: Quillabamba **Código:** 000606 **Latitud:** 12° 51' 22" SUR **Departamento:** Cusco
Categoría: Convencional **Longitud:** 72° 41' 31" OESTE **Provincia:** La Convención
Registro: Precipitación Máxima en 24 h (mm) **Altitud:** 990 m.s.n.m **Distrito:** Santa Ana

	AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	1965	19.0	31.0	41.0	36.0	2.0	1.0	21.8	10.4	37.0	24.2	15.9	28.0
2	1966	18.0	35.5	14.5	12.5	26.2	5.5	7.2	8.0	21.0	22.8	38.0	17.7
3	1967	17.0	30.0	25.0	12.2	7.2	8.0	18.0	8.9	15.0	18.2	17.5	25.3
4	1968	38.7	19.6	35.0	31.2	4.7	1.6	17.0	12.9	9.9	13.5	17.7	36.7
5	1969	19.9	20.8	26.5	22.3	11.0	30.0	6.5	5.9	7.5	12.5	35.0	22.2
6	1970	34.8	11.6	40.2	29.5	26.8	9.4	7.2	5.2	15.0	22.0	12.8	29.5
7	1971	15.0	42.5	22.0	24.3	15.5	29.7	1.5	3.7	15.0	8.8	17.7	17.2
8	1972	32.0	16.4	35.4	16.6	13.7	3.0	5.4	25.2	8.8	7.0	25.5	42.7
9	1973	28.6	33.4	19.5	26.2	12.9	8.0	20.0	24.8	14.3	34.0	35.7	30.8
10	1974	30.6	28.2	25.9	26.6	4.0	5.5	20.8	24.5	17.7	13.0	18.0	22.0
11	1975	42.2	32.5	39.8	33.0	14.5	7.5	9.0	16.5	14.2	16.5	42.4	32.6
12	1976	35.0	33.5	26.5	21.5	10.9	4.0	2.9	27.3	33.0	15.2	11.5	29.8
13	1977	31.0	40.2	21.9	9.3	35.6	1.4	18.0	1.2	21.1	8.5	19.8	28.3
14	1978	35.8	21.0	21.2	15.8	60.2	7.5	0.0	0.0	0.0	36.4	14.5	44.8
15	1979	30.6	20.7	18.8	16.2	11.4	0.0	10.5	1.3	2.8	11.2	31.2	33.4
16	1980	19.8	32.1	27.2	38.1	17.0	7.0	23.5	12.3	16.0	16.3	20.0	23.3
17	1987	132.5	62.0	48.8	89.1	11.2	28.5	4.2	0.0	21.0	30.0	100.0	60.0
18	1996	22.0	21.0	18.0	15.4	21.0	2.5	6.1	16.7	17.8	17.5	17.0	20.5
19	1997	30.7	40.2	20.2	17.2	11.0	16.8	3.0	29.5	20.0	32.4	32.0	20.9
20	1998	39.4	24.5	38.4	19.2	4.2	4.8	0.0	1.0	63.8	24.8	12.0	34.3
21	1999	27.5	59.0	46.4	49.5	26.5	6.4	6.6	0.0	13.7	26.5	20.5	25.9
22	2000	57.9	44.7	20.0	15.5	7.6	15.8	0.6	14.2	17.0	25.3	13.1	20.0
23	2002	21.8	54.5	47.1	10.3	9.2	5.5	12.9	23.1	8.0	25.3	25.2	57.1
24	2003	46.2	36.0	30.0	24.6	5.6	3.4	5.0	27.5	22.3	20.4	22.3	27.0
25	2005	29.4	28.3	28.2	26.2	24.6	6.9	20.3	5.2	15.7	18.5	8.1	40.6
26	2006	49.0	23.4	43.6	39.2	4.2	8.2	4.5	14.8	5.9	18.8	25.9	26.9
27	2008	53.1	22.8	15.6	34.0	7.9	0.6	10.8	19.2	18.5	24.2	16.2	27.8
28	2010	18.4	83.8	36.8	26.8	7.6	9.4	9.0	13.4	22.2	54.6	25.4	26.6
29	2011	24.2	34.6	30.4	28.0	15.2	12.0	12.4	26.8	7.8	49.0	34.0	31.0
30	2014	39.4	46.0	42.0	14.8	22.4	0.0	17.6	4.6	16.0	19.0	29.0	30.6
31	2015	31.8	32.0	27.8	16.0	12.8	10.5	3.0	14.5	6.5	19.8	19.2	15.2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 7

Información meteorológica completa a procesar.

INFORMACIÓN METEOROLOGICA DE LA ESTACIÓN DE QUILLABAMBA
(Con series de datos completas y sin "outliers")

Estación: Quillabamba **Código:** 000606 **Latitud:** 12° 51' 22" SUR **Departamento:** Cusco
Categoría: Convencional **Longitud:** 72° 41' 31" OESTE **Provincia:** La Convención
Registro: Precipitación Máxima en 24 h (mm) **Altitud:** 990 m.s.n.m **Distrito:** Santa Ana

	AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	1965	19.0	31.0	41.0	36.0	2.0	1.0	21.8	10.4	37.0	24.2	15.9	28.0
2	1966	18.0	35.5	14.5	12.5	26.2	5.5	7.2	8.0	21.0	22.8	38.0	17.7
3	1967	17.0	30.0	25.0	12.2	7.2	8.0	18.0	8.9	15.0	18.2	17.5	25.3
4	1968	38.7	19.6	35.0	31.2	4.7	1.6	17.0	12.9	9.9	13.5	17.7	36.7
5	1969	19.9	20.8	26.5	22.3	11.0	30.0	6.5	5.9	7.5	12.5	35.0	22.2
6	1970	34.8	11.6	40.2	29.5	26.8	9.4	7.2	5.2	15.0	22.0	12.8	29.5
7	1971	15.0	42.5	22.0	24.3	15.5	29.7	1.5	3.7	15.0	8.8	17.7	17.2
8	1972	32.0	16.4	35.4	16.6	13.7	3.0	5.4	25.2	8.8	7.0	25.5	42.7
9	1973	28.6	33.4	19.5	26.2	12.9	8.0	20.0	24.8	14.3	34.0	35.7	30.8
10	1974	30.6	28.2	25.9	26.6	4.0	5.5	20.8	24.5	17.7	13.0	18.0	22.0
11	1975	42.2	32.5	39.8	33.0	14.5	7.5	9.0	16.5	14.2	16.5	42.4	32.6
12	1976	35.0	33.5	26.5	21.5	10.9	4.0	2.9	27.3	33.0	15.2	11.5	29.8
13	1977	31.0	40.2	21.9	9.3	35.6	1.4	18.0	1.2	21.1	8.5	19.8	28.3
14	1978	35.8	21.0	21.2	15.8	60.2	7.5	0.0	0.0	0.0	36.4	14.5	44.8
15	1979	30.6	20.7	18.8	16.2	11.4	0.0	10.5	1.3	2.8	11.2	31.2	33.4
16	1980	19.8	32.1	27.2	38.1	17.0	7.0	23.5	12.3	16.0	16.3	20.0	23.3
17	1996	22.0	21.0	18.0	15.4	21.0	2.5	6.1	16.7	17.8	17.5	17.0	20.5
18	1997	30.7	40.2	20.2	17.2	11.0	16.8	3.0	29.5	20.0	32.4	32.0	20.9
19	1998	39.4	24.5	38.4	19.2	4.2	4.8	0.0	1.0	63.8	24.8	12.0	34.3
20	1999	27.5	59.0	46.4	49.5	26.5	6.4	6.6	0.0	13.7	26.5	20.5	25.9
21	2000	57.9	44.7	20.0	15.5	7.6	15.8	0.6	14.2	17.0	25.3	13.1	20.0
22	2002	21.8	54.5	47.1	10.3	9.2	5.5	12.9	23.1	8.0	25.3	25.2	57.1
23	2003	46.2	36.0	30.0	24.6	5.6	3.4	5.0	27.5	22.3	20.4	22.3	27.0
24	2005	29.4	28.3	28.2	26.2	24.6	6.9	20.3	5.2	15.7	18.5	8.1	40.6
25	2006	49.0	23.4	43.6	39.2	4.2	8.2	4.5	14.8	5.9	18.8	25.9	26.9
26	2008	53.1	22.8	15.6	34.0	7.9	0.6	10.8	19.2	18.5	24.2	16.2	27.8
27	2010	18.4	83.8	36.8	26.8	7.6	9.4	9.0	13.4	22.2	54.6	25.4	26.6
28	2011	24.2	34.6	30.4	28.0	15.2	12.0	12.4	26.8	7.8	49.0	34.0	31.0
29	2014	39.4	46.0	42.0	14.8	22.4	0.0	17.6	4.6	16.0	19.0	29.0	30.6
30	2015	31.8	32.0	27.8	16.0	12.8	10.5	3.0	14.5	6.5	19.8	19.2	15.2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 8

Valores máximos por mes.

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
MAXIMO POR MES	57.90	83.8	47.1	49.5	60.2	30	23.5	29.5	63.8	54.6	42.4	57.1

Fuente: Elaboración propia.

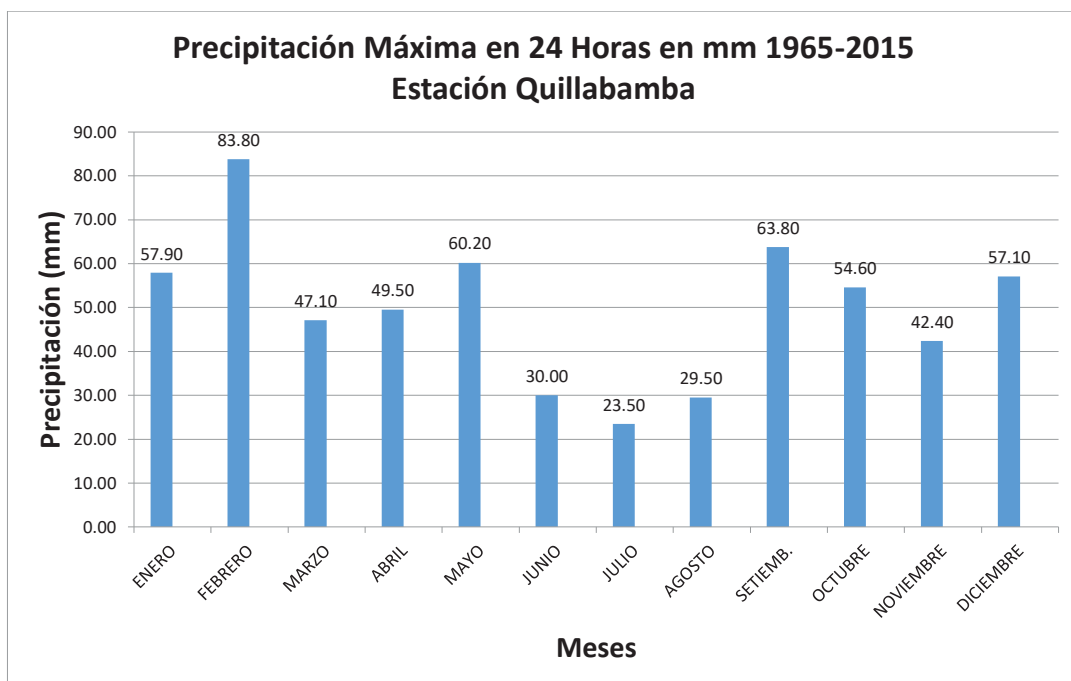


Figura 5 Precipitaciones máximas entre Diciembre – Abril.
Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Procesamiento, análisis, interpretación y discusión de resultados

5.1.1. Procesamiento, análisis e interpretación

Para evaluar la confiabilidad del uso del método de Bell en la zona en estudio, se realizó el siguiente procedimiento.

- Seleccionar la distribución teórica que mejor ajusta la serie de datos; para nuestra investigación fue la distribución Log Pearson Tipo III, por presentar menor delta teórico en comparación con el delta tabular; luego se definió el P_{10}^{24h} , como se aprecia en la tabla n.º 5, para posteriormente calcular el P_{10}^{60} a través de la ecuación propuesta por Dick y Peschke, previamente al cálculo de las intensidades, se deben conocer las precipitaciones, los cuales se muestran en la tabla n.º 9, luego de ello se calculan las intensidades correspondientes; que se muestran en la tabla n.º 10.

Tabla N° 9

Precipitaciones calculadas para distintos periodos de retorno y de duración, calculadas por el método de Bell.

Duración = t		P_{10}^{60}	Tiempo de Retorno = T_r , años				
minutos	Horas		2	5	10	20	30
5		25.789	5.278	6.804	7.958	9.112	9.787
15			9.659	12.451	14.563	16.676	17.911
30			13.110	16.900	19.767	22.634	24.311
45			15.424	19.883	23.256	26.630	28.603
60	1		17.214	22.191	25.956	29.720	31.923
120	2		22.095	28.483	33.315	38.147	40.974
240	4		27.899	35.965	42.067	48.168	51.738

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 10

Intensidades calculadas por el método de Bell, para distintos periodos de retorno y de duración.

Duración = t		Tiempo de Retorno = Tr, años				
Minutos	Horas	2	5	10	20	30
5		63.336	81.648	95.496	109.344	117.444
15		38.636	49.804	58.252	66.704	71.644
30		26.220	33.800	39.534	45.268	48.622
45		20.565	26.511	31.008	35.507	38.137
60	1	17.214	22.191	25.956	29.720	31.923
120	2	11.048	14.242	16.658	19.074	20.487
240	4	6.975	8.991	10.517	12.042	12.935

Fuente: Elaboración propia.

- Calcular las intensidades de precipitación por medio del método IILA (ecuación 02, para $t < 3$ horas), para tal efecto, se estableció la sub zona (ver anexo XXI) en la que se encuentra ubicada el área de estudio de la presente investigación, para luego determinar los demás valores intervinientes en la ecuación 2 propuesta en la norma OS.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones (ver anexos XIX y XX); los mismos que se muestran en la tabla n.º 11.

Tabla N° 11

Parámetros intervinientes en la ecuación del método IILA, para generar intensidades de precipitación en la zona de investigación.

Parámetro	Descripción	Valor
Sub zona	123-4	
a	Parámetro de intensidad (mm)	17.004
K'_g	Parámetro de frecuencia (adimensional)	0.553
b	Parámetro de tiempo (hora)	0.2
n	Parámetro de duración (adimensional)	0.405
ϵ_g	$70 - 0.019*Y$	51.19
$t_g =$	Valor "t" equivalente al día	15.2

Fuente: Datos obtenidos de la norma OS.060 del R.N.E.

Nótese que en el anexo XX, no se cuenta con un valor de “n” para la sub zona 123-4, por lo que de acuerdo con lo establecido en el numeral 2.2.3 de las bases teóricas se toma el valor de la sub zona vecina y que corresponde a la sub zona 123-3, una vez fijado el “n” se deduce la constante “a” por medio de la ecuación 3.

- Luego de establecer los parámetros que intervienen en el método IILA, se aplica la ecuación 02, del presente trabajo de investigación para determinar las intensidades de la zona en estudio, obteniendo los resultados que se muestran en la tabla n.º 12.

Tabla N° 12

Intensidades calculadas para distintos periodos de retorno y de duración, calculadas por el método de IILA.

Duración = t		Tiempo de Retorno = Tr, años				
minutos	Horas	2	5	10	20	30
5		42.006	49.930	55.925	61.920	65.426
15		31.898	37.916	42.468	47.020	49.683
30		24.524	29.151	32.650	36.150	38.198
45		20.449	24.307	27.226	30.144	31.851
60	1	17.796	21.153	23.692	26.232	27.718
120	2	12.407	14.748	16.519	18.290	19.325
240	4	8.445	10.038	11.243	12.448	13.153

Fuente: Elaboración propia.

- Estos resultados fueron comparados en pares, a través del software Statgraphics, es decir se comparó las intensidades generadas para un determinado periodo de retorno y diversos periodos de duración calculados por el método de Bell, con las intensidades generadas para ese mismo periodo de retorno y diversos periodos de duración calculados por el método IILA, como se muestra en la tabla n.º 13.

Tabla N° 13

Comparación de intensidades generadas por el método de Bell y el método IILA.

Duración = t		Tiempo de Retorno = Tr, años									
		2		5		10		20		30	
minutos	Horas	IILA	Bell	IILA	Bell	IILA	Bell	IILA	Bell	IILA	Bell
5		42.006	63.336	49.930	81.648	55.925	95.496	61.920	109.344	65.426	117.444
15		31.898	38.636	37.916	49.804	42.468	58.252	47.020	66.704	49.683	71.644
30		24.524	26.220	29.151	33.800	32.650	39.534	36.150	45.268	38.198	48.622
45		20.449	20.565	24.307	26.511	27.226	31.008	30.144	35.507	31.851	38.137
60	1	17.796	17.214	21.153	22.191	23.692	25.956	26.232	29.720	27.718	31.923
120	2	12.407	11.048	14.748	14.242	16.519	16.658	18.290	19.074	19.325	20.487
240	4	8.445	6.975	10.038	8.991	11.243	10.517	12.448	12.042	13.153	12.935

Fuente: Elaboración propia.

- Luego del agrupamiento realizado en la tabla n.º 13, se calcularon los resúmenes estadísticos correspondientes de cada par agrupado; con la finalidad de conocer, entre otros parámetros, los coeficientes de sesgo curtosis, cuyos resultados se muestran en las tablas n.ºs 14, 17, 20, 23 y 26; luego se determinó el nivel de variación en posición y forma de cada agrupamiento, obteniendo como resultado los valores que se muestran en las tablas n.ºs 15, 18, 21, 24 y 27, para la variación en posición y las tablas n.ºs 16, 19, 22, 25 y 28, para la variación en forma.

Tabla N° 14

Resumen estadístico de las intensidades calculadas por el método IILA y de Bell para periodo de retorno de 2 años.

Estadístico	2 IILA	2 Bell
Recuento	7	7
Promedio	22.5036	26.2849
Desviación Estándar	11.5372	19.345
Coefficiente de Variación	51.2685%	73.5975%
Mínimo	8.445	6.975
Máximo	42.006	63.336
Rango	33.561	56.361
Sesgo Estandarizado	0.711294	1.43001
Curtosis Estandarizada	-0.0368195	0.878284

Fuente: Elaboración propia.

Esta tabla contiene el resumen estadístico para las dos muestras de datos, y sirve para evaluar si las diferencias entre los estadísticos de las dos muestras son estadísticamente significativas. De particular interés son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada que pueden usarse para comparar si las muestras provienen de distribuciones normales. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2, indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar las

pruebas que comparan las desviaciones estándar. En este caso, ambos valores de sesgo estandarizado se encuentran dentro del rango esperado.

Así, como ambas curtosis estandarizadas se encuentran dentro del rango esperado. Por lo que se puede afirmar que no existen diferencias estadísticamente significativas.

Tabla N° 15

Comparación en posición de las intensidades calculadas por el método IILA y de Bell para periodo de retorno de 2 años.

Comparación de medias	2 IILA	2 Bell
Intervalo de confianza del 95%	22.5036 +/- 106702 [11.8334; 33.1738]	26.2849 +/- 17.8912 [8.39368; 44.176]
Intervalo de confianza del 95%. intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales	-3.78129 +/- 18.549 [-22.3303; 14.7677]	
<p>Prueba t para comparar medias</p> <p>Hipótesis nula: media1 = media2 Hipótesis Alternativa: media1 <> media2</p> <p>Suponiendo varianzas iguales: t = -0.444161; valor-P = 0.66483</p>		
Entonces	No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.	

Fuente: Elaboración propia.

Para comparar la variación en posición, se ejecuta una prueba-t para comparar las medias de las dos muestras. También construye los intervalos, o cotas, de confianza para cada media y para la diferencia entre las medias. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde -22.3303 hasta 14.7677. Puesto que 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 95.0%.

También puede usarse la prueba-t, para evaluar la diferencia entre las medias de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En 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. Puesto que el valor-P calculado no es menor que 0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula.

Tabla N° 16

Comparación en forma de las intensidades calculadas por el método IILA y de Bell para periodo de retorno de 2 años.

Estadístico	2 IILA	2 Bell
Desviación Estándar	11.5372	19.345
Varianza	133.108	374.229
Gl	6	6
Razón de Varianzas= 0.355687		
Intervalos de confianza del 95.0%		
Desviación Estándar de 2 IILA: [7.43453; 25.4058]		
Desviación Estándar de 2 Bell: [12.4658; 42.5989]		
Razones de Varianzas: [0.0611171; 2.07001]		
Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar		
Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$		
Hipótesis Alt.: $\sigma_1 < \sigma_2$		
F = 0.355687 valor-P = 0.233972		
No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.		

Fuente: Elaboración propia.

Para comparar la variación en forma, se ejecuta una prueba-F para comparar las varianzas de las dos muestras. También, se construye intervalos o cotas de confianza para cada desviación estándar y para la razón de varianzas. De particular interés es el intervalo de confianza para la razón de varianzas, el cual se extiende desde 0.0611171 hasta 2.07001. 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%.

También puede ejecutarse una prueba-F para evaluar las desviaciones estándar de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, 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 N° 17

Resumen estadístico de las intensidades calculadas por el método IILA y de Bell para periodo de retorno de 5 años.

Estadístico	5 IILA	5 Bell
Recuento	7	7
Promedio	26.749	33.8839
Desviación Estándar	13.7137	24.938
Coefficiente de Variación	51.268%	73.5983%
Mínimo	10.038	8.991
Máximo	49.93	81.648
Rango	39.892	72.657
Sesgo Estandarizado	0.711215	1.43009
Curtosis Estandarizada	-0.0369225	0.878514

Fuente: Elaboración propia.

Esta tabla contiene el resumen estadístico para las dos muestras de datos, y sirve para evaluar si las diferencias entre los estadísticos de las dos muestras son estadísticamente significativas. De particular interés son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada que pueden usarse para comparar si las muestras provienen de distribuciones normales. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2, indican desviaciones

significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar las pruebas que comparan las desviaciones estándar. En este caso, ambos valores de sesgo estandarizado se encuentran dentro del rango esperado.

Así, como ambas curtosis estandarizadas se encuentran dentro del rango esperado. Por lo que se puede afirmar que no existen diferencias estadísticamente significativas.

Tabla N° 18

Comparación en posición de las intensidades calculadas por el método IILA y de Bell para periodo de retorno de 5 años.

Comparación de medias	5 IILA	5 Bell
Intervalo de confianza del 95%	26.749 +/- 12.6831 [14.0659; 39.4321]	33.8839 +/- 23.0638 [10.82; 56.9477]
Intervalo de confianza del 95%. intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales	-7.13486 +/- 23.4372 [-30.572; 16.3023]	
Prueba t para comparar medias		
Hipótesis nula: media1 = media2 Hipótesis Alternativa: media1 <> media2		
Suponiendo varianzas iguales: t = -0.663286 valor-P = 0.519686		
Entonces	No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.	

Fuente: Elaboración propia.

Para comparar la variación en posición, se ejecuta una prueba-t para comparar las medias de las dos muestras. También construye los intervalos, o cotas, de confianza para cada media y para la diferencia entre las medias. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde -30.572 hasta 16.3023. Puesto que 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 95.0%.

También puede usarse la prueba-t, para evaluar la diferencia entre las medias de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En 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. Puesto que el valor-P calculado no es menor que 0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula.

Tabla N° 19

Comparación en forma de las intensidades calculadas por el método IILA y de Bell para periodo de retorno de 5 años.

Estadístico	5 IILA	5 Bell
Desviación Estándar	13.7137	24.938
Varianza	188.065	621.902
Gl	6	6
Razón de Varianzas= 0.302403		
Intervalos de confianza del 95.0%		
Desviación Estándar de 2 IILA[8.83701; 30.1984]		
Desviación Estándar de 2 Bell: [16.0699; 54.915]		
Razones de Varianzas: [0.0519615; 1.75991]		
Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar		
Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$		
Hipótesis Alt.: $\sigma_1 < \sigma_2$		
F = 0.302403 valor-P = 0.171258		
No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.		

Fuente: Elaboración propia.

Para comparar la variación en forma, se ejecuta una prueba-F para comparar las varianzas de las dos muestras. También, se construye intervalos o cotas de confianza para cada desviación estándar y para la razón de varianzas. De particular interés es el intervalo de confianza para la razón de varianzas, el cual se extiende desde 0.0519615 hasta 1.75991. 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%.

También puede ejecutarse una prueba-F para evaluar las desviaciones estándar de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, 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 N° 20

Resumen estadístico de las intensidades calculadas por el método IILA y de Bell para periodo de retorno de 10 años.

Estadístico	10 IILA	10 Bell
Recuento	7	7
Promedio	29.9604	39.6316
Desviación Estándar	15.3602	29.1673
Coefficiente de Variación	51.2683%	73.5962%
Mínimo	11.243	10.517
Máximo	55.925	95.496
Rango	44.682	84.979
Sesgo Estandarizado	0.711269	1.43005
Curtosis Estandarizada	-0.0368338	0.878455

Fuente: Elaboración propia.

Esta tabla contiene el resumen estadístico para las dos muestras de datos, y sirve para evaluar si las diferencias entre los estadísticos de las dos muestras son estadísticamente significativas. De particular interés son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada que pueden usarse para comparar si las muestras provienen de distribuciones normales. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2, indican desviaciones

significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar las pruebas que comparan las desviaciones estándar. En este caso, ambos valores de sesgo estandarizado se encuentran dentro del rango esperado.

Así, como ambas curtosis estandarizadas se encuentran dentro del rango esperado. Por lo que se puede afirmar que no existen diferencias estadísticamente significativas.

Tabla N° 21

Comparación en posición de las intensidades calculadas por el método ILLA y de Bell para periodo de retorno de 10 años.

Comparación de medias	10 ILLA	10 Bell
Intervalo de confianza del 95%	29.9604 +/- 14.2059 [15.7546; 44.1663]	39.6316 +/- 26.9753 [12.6562; 66.6069]
Intervalo de confianza del 95%. intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales	-9.67114 +/- 27.1469 [-36.8181; 17.4758]	
<p>Prueba t para comparar medias</p> <p>Hipótesis nula: media1 = media2 Hipótesis Alternativa: media1 <> media2</p> <p>Suponiendo varianzas iguales: t = -0.776208; valor-P = 0.452654</p>		
Entonces	No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.	

Fuente: Elaboración propia.

Para comparar la variación en posición, se ejecuta una prueba-t para comparar las medias de las dos muestras. También construye los intervalos, o cotas, de confianza para cada media y para la diferencia entre las medias. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde -36.8181 hasta 17.4758. Puesto que 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 95.0%.

También puede usarse la prueba-t, para evaluar la diferencia entre las medias de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En 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. Puesto que el valor-P calculado no es menor que 0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula.

Tabla N° 22

Comparación en forma de las intensidades calculadas por el método ILLA y de Bell para periodo de retorno de 10 años.

Estadístico	10 ILLA	10 Bell
Desviación Estándar	15.3602	29.1673
Varianza	235.936	850.732
Gl	6	6
Razón de Varianzas= 0.277333		
Intervalos de confianza del 95.0%		
Desviación Estándar de 2 ILLA: [9.89802; 33.8242]		
Desviación Estándar de 2 Bell: [18.7952; 64.2283]		
Razones de Varianzas: [0.0476537; 1.61401]		
Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar		
Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$		
Hipótesis Alt.: $\sigma_1 < \sigma_2$		
F = 0.277333 valor-P = 0.143825		
No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.		

Fuente: Elaboración propia.

Para comparar la variación en forma, se ejecuta una prueba-F para comparar las varianzas de las dos muestras. También, se construye intervalos o cotas de confianza para cada desviación estándar y para la razón de varianzas. De particular interés es el intervalo de confianza para la razón de varianzas, el cual se extiende desde 0.0476537 hasta 1.61401. 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%.

También puede ejecutarse una prueba-F para evaluar las desviaciones estándar de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, 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 N° 23

Resumen estadístico de las intensidades calculadas por el método IILA y de Bell para periodo de retorno de 20 años.

Estadístico	20 IILA	20 Bell
Recuento	7	7
Promedio	33.172	45.3799
Desviación Estándar	17.0067	33.3973
Coefficiente de Variación	51.2683%	73.5949%
Mínimo	12.448	12.042
Máximo	61.92	109.344
Rango	49.472	97.302
Sesgo Estandarizado	0.711283	1.42989
Curtosis Estandarizada	-0.0367834	0.878115

Fuente: Elaboración propia.

Esta tabla contiene el resumen estadístico para las dos muestras de datos, y sirve para evaluar si las diferencias entre los estadísticos de las dos muestras son estadísticamente significativas. De particular interés son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada que pueden usarse para comparar si las muestras provienen de distribuciones normales. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2, indican desviaciones

significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar las pruebas que comparan las desviaciones estándar. En este caso, ambos valores de sesgo estandarizado se encuentran dentro del rango esperado.

Así, como ambas curtosis estandarizadas se encuentran dentro del rango esperado. Por lo que se puede afirmar que no existen diferencias estadísticamente significativas.

Tabla N° 24

Comparación en posición de las intensidades calculadas por el método ILLA y de Bell para periodo de retorno de 20 años.

Comparación de medias	20 ILLA	20 Bell
Intervalo de confianza del 95%	33.172 +/- 15.7286 [17.4434; 48.9006]	45.3799 +/- 30.8874 [14.4925; 76.2672]
Intervalo de confianza del 95%. intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales	-12.2079 +/- 30.8638 [-43.0716; 18.6559]	
Prueba t para comparar medias		
Hipótesis nula: media1 = media2 Hipótesis Alternativa: media1 <> media2		
Suponiendo varianzas iguales: t = -0.86181; valor-P = 0.40568		
Entonces	No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.	

Fuente: Elaboración propia.

Para comparar la variación en posición, se ejecuta una prueba-t para comparar las medias de las dos muestras. También construye los intervalos, o cotas, de confianza para cada media y para la diferencia entre las medias. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde -43.0716 hasta 18.6559. Puesto que 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 95.0%.

También puede usarse la prueba-t, para evaluar la diferencia entre las medias de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En 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. Puesto que el valor-P calculado no es menor que 0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula.

Tabla N° 25

Comparación en forma de las intensidades calculadas por el método ILLA y de Bell para periodo de retorno de 20 años.

Estadístico	20 ILLA	20 Bell
Desviación Estándar	17.0067	33.3973
Varianza	289.229	1115.38
Gl	6	6
Razón de Varianzas= 0.259311		
Intervalos de confianza del 95.0%		
Desviación Estándar de 2 ILLA: [10.959; 37.4499]		
Desviación Estándar de 2 Bell: [21.521; 73.5429]		
Razones de Varianzas: [0.0445569; 1.50913]		
Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar		
Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$		
Hipótesis Alt.: $\sigma_1 < \sigma_2$		
F = 0.259311 valor-P= 0.125127		
No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.		

Fuente: Elaboración propia.

Para comparar la variación en forma, se ejecuta una prueba-F para comparar las varianzas de las dos muestras. También, se construye intervalos o cotas de confianza para cada desviación estándar y para la razón de varianzas. De particular interés es el intervalo de confianza para la razón de varianzas, el cual se extiende desde 0.0445569 hasta 1.50913. 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%.

También puede ejecutarse una prueba-F para evaluar las desviaciones estándar de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, 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 N° 26

Resumen estadístico de las intensidades calculadas por el método IILA y de Bell para periodo de retorno de 30 años.

Estadístico	30 IILA	30 Bell
Recuento	7	7
Promedio	35.0506	48.7417
Desviación Estándar	17.9698	35.8709
Coefficiente de Variación	51.2682%	73.5938%
Mínimo	13.153	12.935
Máximo	65.426	117.444
Rango	52.273	104.509
Sesgo Estandarizado	0.711203	1.42993
Curtosis Estandarizada	-0.03689	0.878211

Fuente: Elaboración propia.

Esta tabla contiene el resumen estadístico para las dos muestras de datos, y sirve para evaluar si las diferencias entre los estadísticos de las dos muestras son estadísticamente significativas. De particular interés son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada que pueden usarse para comparar si las muestras provienen de distribuciones normales. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2, indican desviaciones

significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar las pruebas que comparan las desviaciones estándar. En este caso, ambos valores de sesgo estandarizado se encuentran dentro del rango esperado.

Así, como ambas curtosis estandarizadas se encuentran dentro del rango esperado. Por lo que se puede afirmar que no existen diferencias estadísticamente significativas.

Tabla N° 27

Comparación en posición de las intensidades calculadas por el método ILLA y de Bell para periodo de retorno de 30 años.

Comparación de medias	30 ILLA	30 Bell
Intervalo de confianza del 95%	35.0506 +/- 16.6193 [18.4312; 51.6699]	48.7417 +/- 33.1751 [15.5666; 81.9168]
Intervalo de confianza del 95%. intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales	-13.6911 +/- 33.0396 [-46.7308; 19.3485]	
<p>Prueba t para comparar medias</p> <p>Hipótesis nula: media1 = media2 Hipótesis Alternativa: media1 <> media2</p> <p>Suponiendo varianzas iguales: t = -0.90287; valor-P = 0.38436</p>		
Entonces	No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.	

Fuente: Elaboración propia.

Para comparar la variación en posición, se ejecuta una prueba-t para comparar las medias de las dos muestras. También construye los intervalos, o cotas, de confianza para cada media y para la diferencia entre las medias. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde -46.7308 hasta 19.3485. Puesto que 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 95.0%.

También puede usarse la prueba-t, para evaluar la diferencia entre las medias de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En 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. Puesto que el valor-P calculado no es menor que 0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula.

Tabla N° 28

Comparación en forma de las intensidades calculadas por el método ILLA y de Bell para periodo de retorno de 30 años.

Estadístico	30 ILLA	30 Bell
Desviación Estándar	17.9698	35.8709
Varianza	322.914	1286.72
Gl	6	6
Razón de Varianzas= 0.250959		
Intervalos de confianza del 95.0%		
Desviación Estándar de 2 ILLA: [11.5796; 39.5707]		
Desviación Estándar de 2 Bell: [23.1149; 78.9899]		
Razones de Varianzas: [0.0431219; 1.46052]		
Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar		
Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$		
Hipótesis Alt.: $\sigma_1 < \sigma_2$		
F = 0.250959 valor-P = 0.116784		
No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.		

Fuente: Elaboración propia.

Para comparar la variación en forma, se ejecuta una prueba-F para comparar las varianzas de las dos muestras. También, se construye intervalos o cotas de confianza para cada desviación estándar y para la razón de varianzas. De particular interés es el intervalo de confianza para la razón de varianzas, el cual se extiende desde 0.0431219 hasta 1.46052. 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%.

También puede ejecutarse una prueba-F para evaluar las desviaciones estándar de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, 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.

- Finalmente, se determinó la relación que existe entre los valores de cada par agrupado, obteniendo los valores que se muestran en las tablas n.ºs 29, 30, 31, 32 y 33.

Tabla N° 29

Relación existente entre las intensidades calculadas por el método IILA y de Bell para periodo de retorno de 2 años.

	2 IILA	2 Bell
2 IILA		0.9844*
		(7)**
		0.0001***
2 Bell	0.9844*	
	(7)**	
	0.0001***	

*: Correlación;

** : (Tamaño de Muestra)

***: Valor-P

Fuente: Elaboración propia.

Esta tabla muestra las correlaciones momento producto de Pearson, entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a +1, y miden la fuerza de la relación lineal entre las variables. También se muestra, entre

paréntesis, el número de pares de datos utilizados para calcular cada coeficiente. El tercer número en cada bloque de la tabla es un valor-P que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas. Valores-P abajo de 0.05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95.0%. Los siguientes pares de variables tienen valores-P por debajo de 0.05: 2 IILA y 2 Bell. Por lo tanto se puede concluir que existe alta correlación entre las muestras analizadas.

Tabla N° 30

Relación existente entre las intensidades calculadas por el método IILA y de Bell para periodo de retorno de 5 años.

	5 IILA	5 Bell
5 IILA		0.9844*
		(7)**
		0.0001***
5 Bell	0.9844*	
	(7)**	
	0.0001***	

*: Correlación;

** : (Tamaño de Muestra)

***: Valor-P

Fuente: Elaboración propia.

Esta tabla muestra las correlaciones momento producto de Pearson, entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a +1, y miden la fuerza de la relación lineal entre las variables. También se muestra, entre paréntesis, el número de pares de datos utilizados para calcular cada coeficiente. El tercer número en cada bloque de la tabla es un valor-P que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas. Valores-P abajo de 0.05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del

95.0%. Los siguientes pares de variables tienen valores-P por debajo de 0.05: 5 IILA y 5 Bell. Por lo tanto se puede concluir que existe alta correlación entre las muestras analizadas.

Tabla N° 31

Relación existente entre las intensidades calculadas por el método IILA y de Bell para periodo de retorno de 10 años.

	10 IILA	10 Bell
10 IILA		0.9844*
		(7)**
		0.0001***
10 Bell	0.9844*	
	(7)**	
	0.0001***	

*: Correlación;

** : (Tamaño de Muestra)

***: Valor-P

Fuente: Elaboración propia.

Esta tabla muestra las correlaciones momento producto de Pearson, entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a +1, y miden la fuerza de la relación lineal entre las variables. También se muestra, entre paréntesis, el número de pares de datos utilizados para calcular cada coeficiente. El tercer número en cada bloque de la tabla es un valor-P que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas. Valores-P abajo de 0.05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95.0%. Los siguientes pares de variables tienen valores-P por debajo de 0.05: 10 IILA y 10 Bell. Por lo tanto se puede concluir que existe alta correlación entre las muestras analizadas.

Tabla N° 32

Relación existente entre las intensidades calculadas por el método IILA y de Bell para periodo de retorno de 20 años.

	20 IILA	20 Bell
20 IILA		0.9844*
		(7)**
		0.0001***
20 Bell	0.9844*	
	(7)**	
	0.0001***	

*: Correlación;

**:(Tamaño de Muestra)

***: Valor-P

Fuente: Elaboración propia.

Esta tabla muestra las correlaciones momento producto de Pearson, entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a +1, y miden la fuerza de la relación lineal entre las variables. También se muestra, entre paréntesis, el número de pares de datos utilizados para calcular cada coeficiente. El tercer número en cada bloque de la tabla es un valor-P que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas. Valores-P abajo de 0.05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95.0%. Los siguientes pares de variables tienen valores-P por debajo de 0.05: 20 IILA y 20 Bell. Por lo tanto se puede concluir que existe alta correlación entre las muestras analizadas.

Tabla N° 33

Relación existente entre las intensidades calculadas por el método IILA y de Bell para periodo de retorno de 30 años.

	30 IILA	30 Bell
30 IILA		0.9844*
		(7)**
		0.0001***
30 Bell	0.9844*	
	(7)**	
	0.0001***	

*: Correlación;

**:(Tamaño de Muestra)

***: Valor-P

Fuente: Elaboración propia.

Esta tabla muestra las correlaciones momento producto de Pearson, entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a +1, y miden la fuerza de la relación lineal entre las variables. También se muestra, entre paréntesis, el número de pares de datos utilizados para calcular cada coeficiente. El tercer número en cada bloque de la tabla es un valor-P que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas. Valores-P abajo de 0.05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95.0%. Los siguientes pares de variables tienen valores-P por debajo de 0.05: 30 IILA y 30 Bell. Por lo tanto se puede concluir que existe alta correlación entre las muestras analizadas.

Para definir la ecuación característica de la zona en estudio, se tiene lo siguiente:

a) Determinación del Coeficiente de frecuencia.

Tal como se estableció en el literal g.1 del numeral 4.8.2. del capítulo III, se determinaron los valores correspondiente a $P_{m\acute{a}x}$ para 1 hora. Se presenta la tabulación para precipitaciones máximas en 1 hora en base a la información para precipitaciones máximas en 24 horas de la estación de Quillabamba; a las que luego se les aplicó el análisis de confiabilidad, mediante el estadístico Smirnov – Kolmogorov para cada una de las distribuciones Gumbell, Gamma de 2 Parámetros, Log Normal de 2 Parámetros y Log Pearson Tipo III, para seleccionar valores de precipitaciones para los tiempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años. Según se muestran en las siguientes tablas y figuras. Finalmente, se escoge la ecuación representativa en base a seleccionar la distribución teórica que mejor ajusta los datos de analizados, y que corresponde a la distribución de Log Pearson Tipo III.

Tabla N° 34

Precipitación máxima en una hora.

	AÑO	Máx. 24horas Dic-Abr.	P1hora = 0.3862*Pmax24h
1	1965	41.0	15.834
2	1966	35.5	13.710
3	1967	30.0	11.586
4	1968	38.7	14.946
5	1969	26.5	10.234
6	1970	40.2	15.525
7	1971	42.5	16.414
8	1972	42.7	16.491
9	1973	33.4	12.899
10	1974	30.6	11.818
11	1975	42.2	16.298
12	1976	35.0	13.517
13	1977	40.2	15.525
14	1978	44.8	17.302
15	1979	33.4	12.899
16	1980	38.1	14.714
17	1996	22.0	8.496
18	1997	40.2	15.525
19	1998	39.4	15.216
20	1999	59.0	22.786
21	2000	57.9	22.361
22	2002	57.1	22.052
23	2003	46.2	17.842
24	2005	40.6	15.680
25	2006	49.0	18.924
26	2008	53.1	20.507
27	2010	83.8	32.364
28	2011	34.6	13.363
29	2014	46.0	17.765
30	2015	32.0	12.358

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 35

Precipitación máxima en una hora para diversos periodos de retorno y distribuciones teóricas de probabilidad.

Distribución	Periodo de Retorno						Dteorico	Est. Smirnov - Kolmogorov	Dtabular
	2	5	10	25	50	100			
Gumbel	15.41	19.46	22.14	25.53	28.05	30.54	0.07840	<	0.2483
Gamma de 2 parámetros	15.80	19.57	21.75	24.25	25.95	27.55	0.11240	<	0.2483
Log Normal de 2 Parámetros	15.62	19.48	21.86	24.73	26.78	28.76	0.09530	<	0.2483
Log Pearson Tipo III	15.37	19.36	22.05	25.49	28.11	30.77	0.07760	<	0.2483

Para nivel de Significancia, $\alpha = 0.05$ Pselec = 22.05

Fuente: Elaboración propia.

A manera de observar los valores que se obtienen con la distribuciones teóricas utilizadas, se adjunta las tabulaciones para cada distribución (Tablas 36 - 39) y las ecuaciones obtenidas por regresión lineal simple (ecuaciones 61 – 64), para ello se convierte la variable logarítmica al campo natural, para posteriormente seleccionar la ecuación representativa (ecuación 65); que corresponde a la ecuación que se obtiene con los datos ajustados a la distribución Log Pearson Tipo III. Así mismo, se muestran las representaciones gráficas de las tabulaciones, tanto de manera lineal, utilizando el algoritmo de $X = \text{Ln}T$; y su representación logarítmica (Figuras 6 – 13). Finalmente, en los Anexos IX – XII, se muestran las tabulaciones de las pruebas de bondad de ajuste con uso del software Hidroesta para las distribuciones utilizadas en el procesamiento de datos, con el objetivo de calcular las ecuaciones del coeficiente de frecuencia en cada distribución teórica de probabilidad.

Tabla N° 36

Tabulación de valores para obtener la ecuación del coeficiente de frecuencia por el método Gumbel.

Tiempo de Retorno	P _{máx}	X = LnT	y = CF
2	15.41	0.6931	0.6960
5	19.46	1.6094	0.8790
10	22.14	2.3026	1.0000
25	25.53	3.2189	1.1531
50	28.05	3.9120	1.2669
100	30.54	4.6052	1.3794

Fuente: Elaboración Propia.

En el Anexo XIII, se muestran los valores de \bar{Y}_N y σ_N , para la distribución Gumbel, utilizados en la ecuación (20), para obtener los valores de la Tabla N° 36.

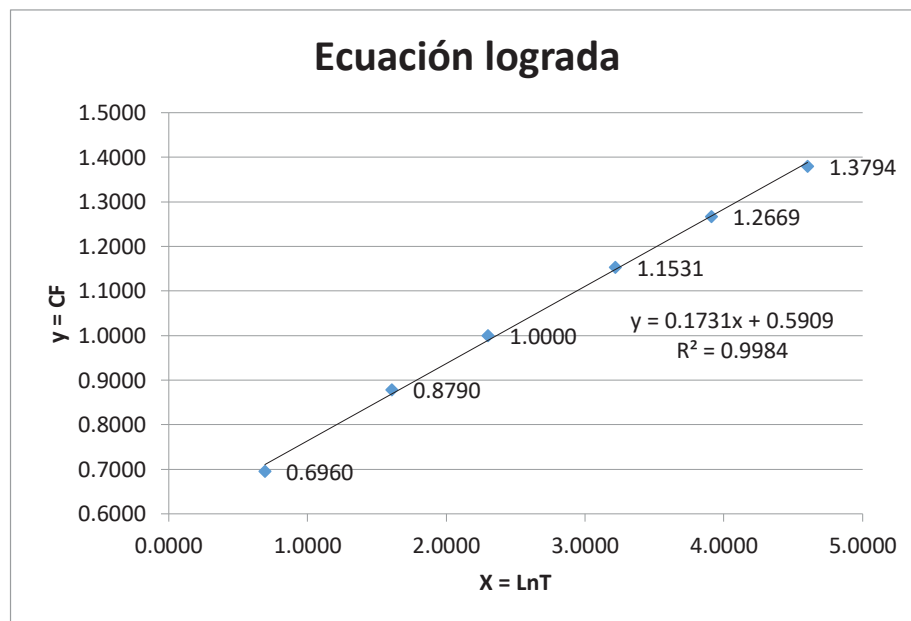


Figura 6 Representación gráfica lineal de las tabulaciones mostradas en la tabla N° 36. Fuente: Elaboración propia.

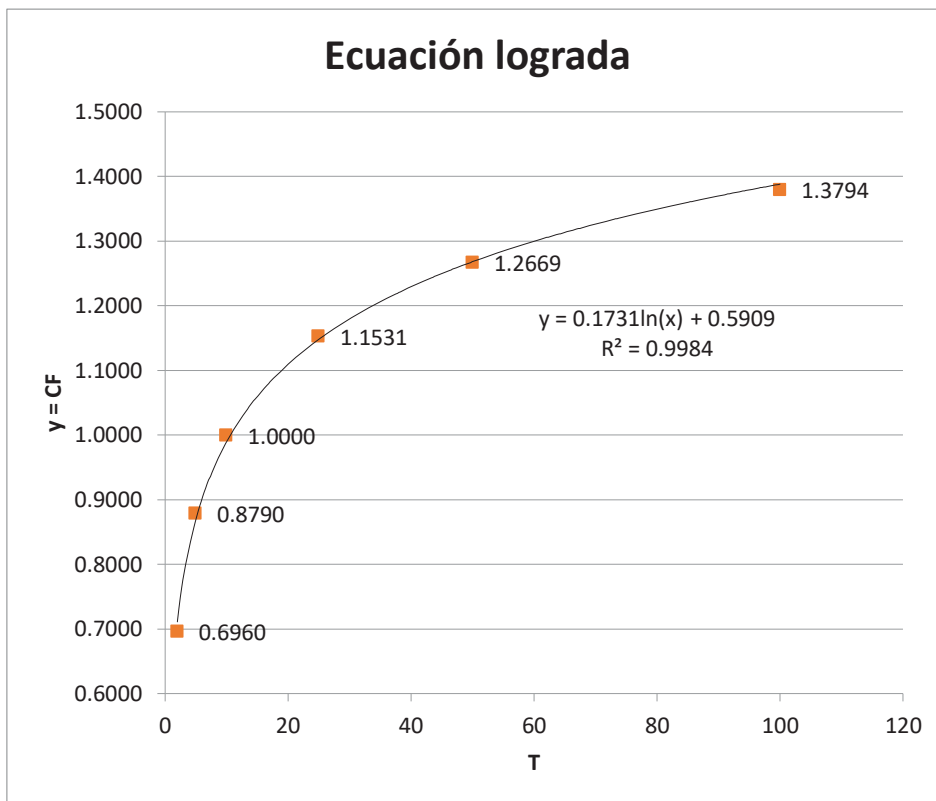


Figura 7 Representación gráfica logarítmica de las tabulaciones mostradas en la tabla N° 36. Fuente: Elaboración propia.

Ecuación lograda:

$$y = CF = 0.1731 * \ln T + 0.5909 \quad (61)$$

$$R^2 = 0.9984 \text{ (Determinación)}$$

$$R = 0.9992 \text{ (Correlación)}$$

Grado de aproximación: **Excelente.**

Tabla N° 37

Tabulación de valores para obtener la ecuación del coeficiente de frecuencia por el método Gamma de 2 Parámetros.

Tiempo de Retorno	P _{máx}	X = LnT	CF = y
2	15.80	0.6931	0.7264
5	19.57	1.6094	0.8998
10	21.75	2.3026	1.0000
25	24.25	3.2189	1.1149
50	25.95	3.9120	1.1931
100	27.55	4.6052	1.2667

Fuente: Elaboración Propia.

En el Anexo XIV, se muestran los valores de $\Gamma(y)$ (Función Gamma) para $1 \leq y \leq 2$; a utilizar en la ecuación (29), de la distribución Gamma de 2 Parámetros, para obtener los valores de la Tabla N° 37.

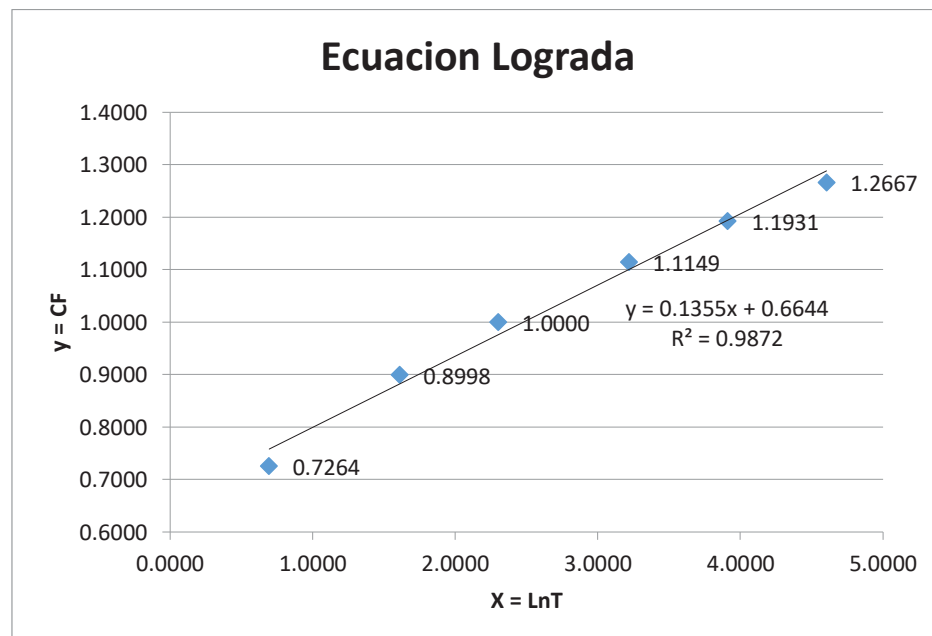


Figura 8 Representación gráfica lineal de las tabulaciones mostradas en la tabla N° 37. Fuente: Elaboración propia.

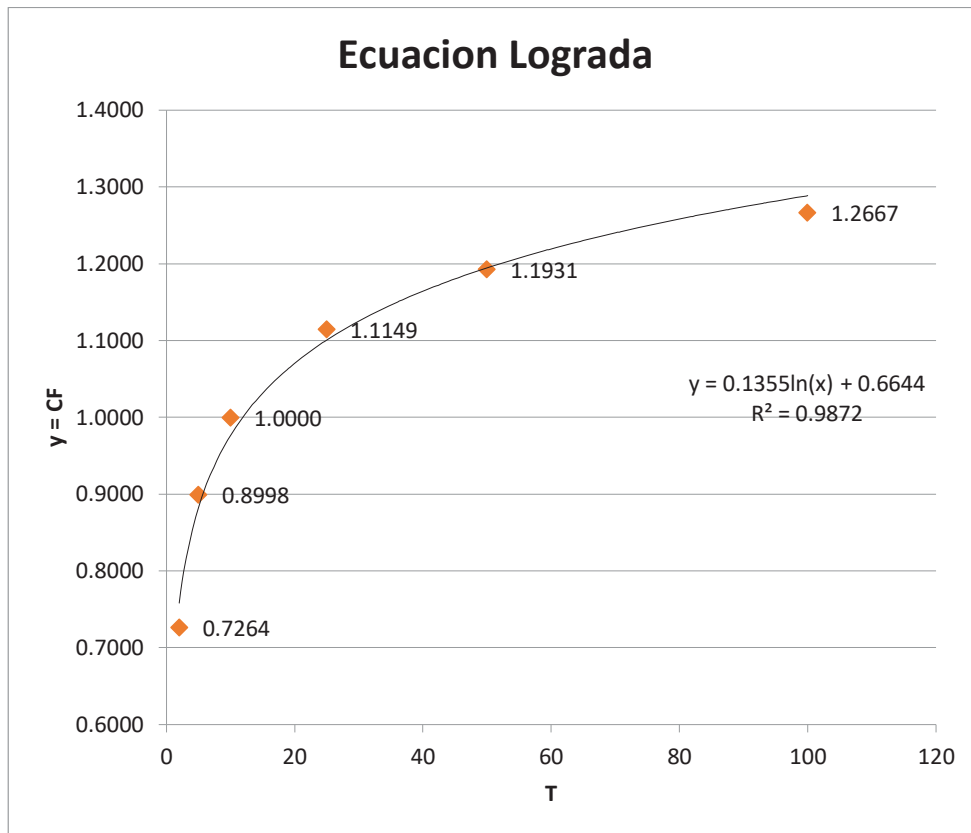


Figura 9 Representación gráfica logarítmica de las tabulaciones mostradas en la tabla N° 37. Fuente: Elaboración propia.

Ecuación lograda:

$$y = CF = 0.1355 * \ln T + 0.6644 \quad (62)$$

$$R^2 = 0.9872 \text{ (Determinación)}$$

$$R = 0.9936 \text{ (Correlación)}$$

Grado de aproximación: **Excelente.**

Tabla N° 38

Tabulación de valores para obtener la ecuación del coeficiente de frecuencia por el método Log Normal de 2 Parámetros.

Tiempo de Retorno	P _{máx}	X = LnT	CF = y
2	15.62	0.6931	0.7145
5	19.48	1.6094	0.8911
10	21.86	2.3026	1.0000
25	24.73	3.2189	1.1313
50	26.78	3.9120	1.2251
100	28.76	4.6052	1.3156

Fuente: Elaboración Propia.

En el Anexo XV, se muestran los valores de los factores de frecuencia K, a ser utilizados en la ecuación (35) de la distribución Log Normal de 2 Parámetros, para obtener los valores de la Tabla N° 38.

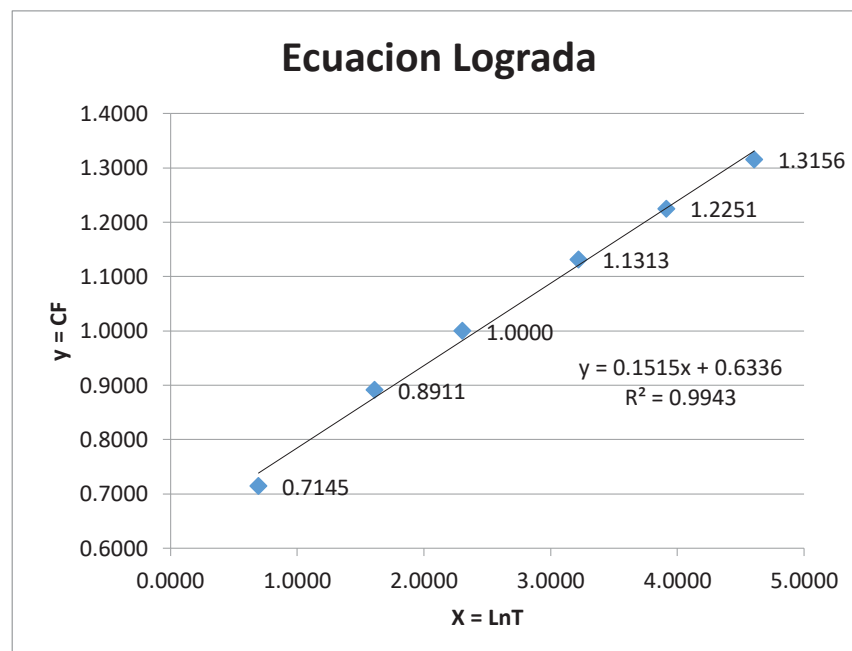


Figura 10 Representación gráfica lineal de las tabulaciones mostradas en la tabla N° 38. Fuente: Elaboración propia.

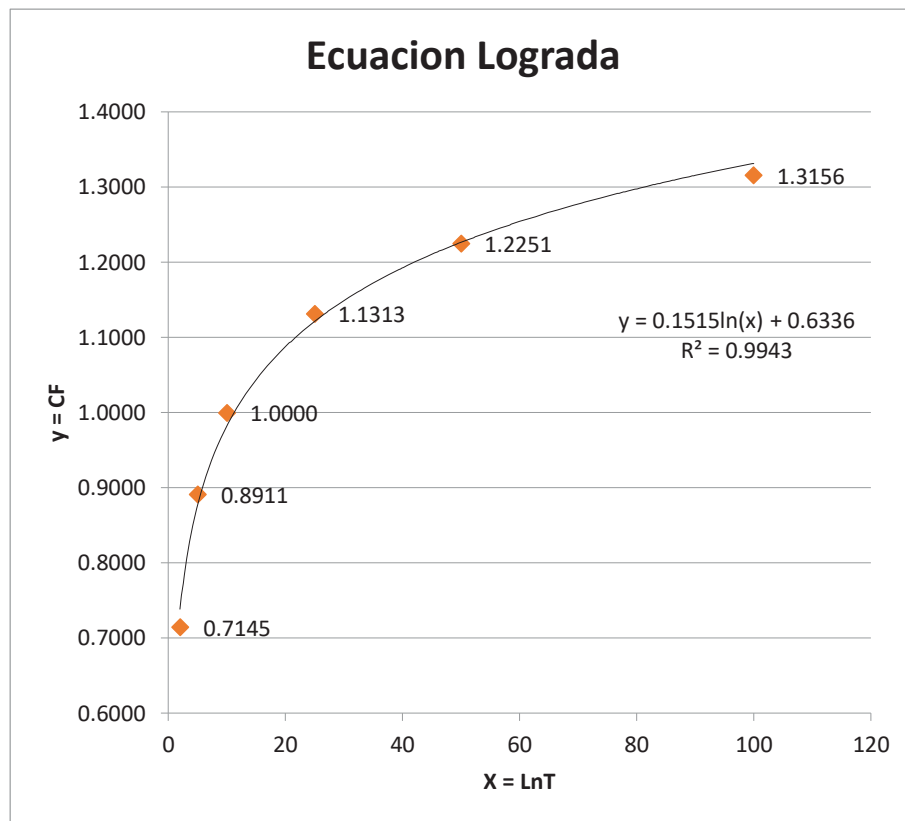


Figura 11 Representación gráfica logarítmica de las tabulaciones mostradas en la tabla N° 38.
 Fuente: Elaboración propia.

Ecuación lograda:

$$y = CF = 0.1515 * \ln T + 0.6336 \quad (63)$$

$$R^2 = 0.9943 \text{ (Determinación)}$$

$$R = 0.9971 \text{ (Correlación)}$$

Grado de aproximación: **Excelente.**

Tabla N° 39

Tabulación de valores para obtener la ecuación del coeficiente de frecuencia por el método Log Pearson Tipo III.

Tiempo de Retorno	P _{máx}	X = LnT	CF = y
2	15.37	0.6931	0.6971
5	19.36	1.6094	0.8780
10	22.05	2.3026	1.0000
25	25.49	3.2189	1.1560
50	28.11	3.9120	1.2748
100	30.77	4.6052	1.3955

Fuente: Elaboración Propia.

En el Anexo XVI, se muestran los valores de K, a ser utilizados en la ecuación (45) de la distribución Log Pearson Tipo III, para obtener los valores de la Tabla N° 39.

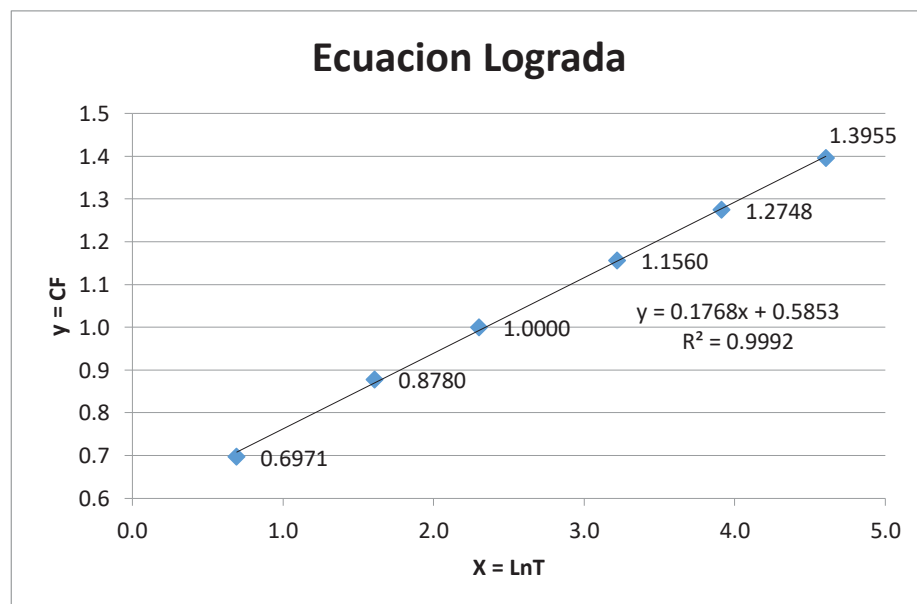


Figura 12 Representación gráfica lineal de las tabulaciones mostradas en la tabla N° 39. Fuente: Elaboración propia.

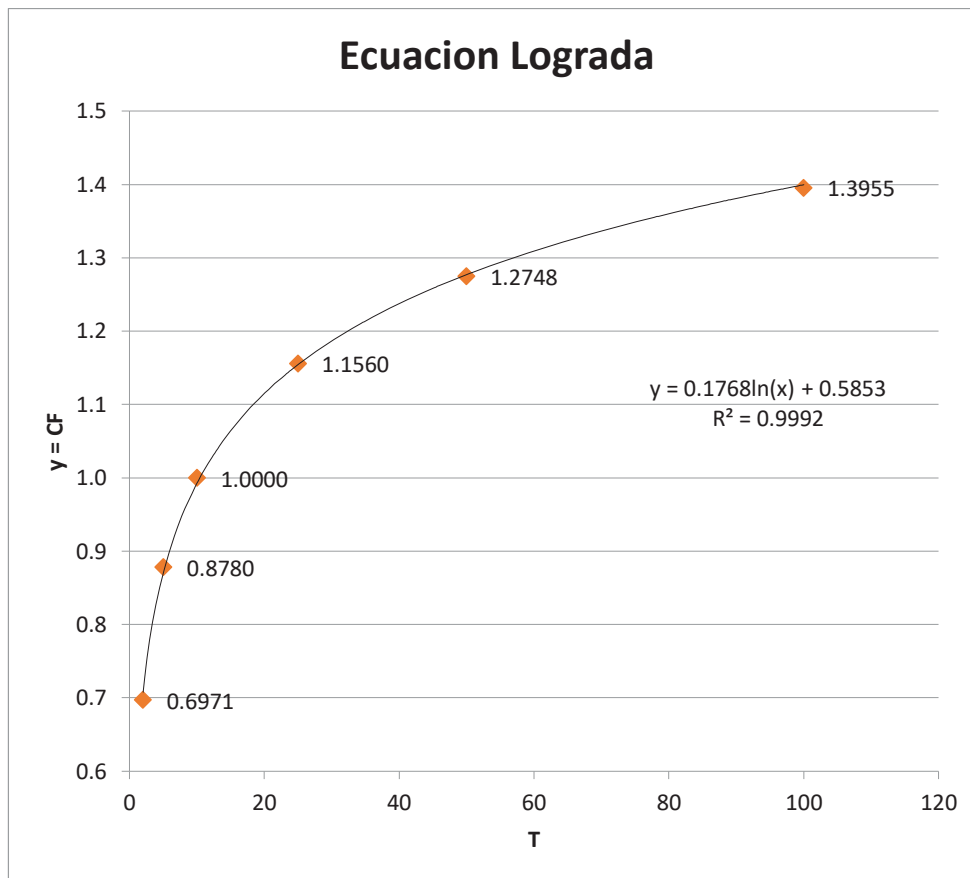


Figura 13 Representación gráfica logarítmica de las tabulaciones mostradas en la tabla N° 39.
Fuente: Elaboración propia.

Ecuación lograda:

$$y = CF = 0.1768 * \ln T + 0.5853 \quad (64)$$

$$R^2 = 0.9992 \text{ (Determinación)}$$

$$R = 0.9996 \text{ (Correlación)}$$

Grado de aproximación: **Excelente.**

Como se observa de la Tabla N° 35, la cual resume los resultados obtenidos en las tablas N° 36 – 39, el criterio de decisión que se toma es en base al Delta Teórico obtenido en cada distribución, luego de comprar con el delta tabular del estadístico Smirnov – Kolmogorov, pues esto representa que los valores analizados se ajustan mejor a la distribución que mejor delta teórico tenga y que en este caso corresponde a la distribución de Log Pearson Tipo III. Además, la ecuación lograda al seleccionar esta distribución, nos proporciona un coeficiente de determinación más cercano a la unidad, y como se ha señalado este muestra cuanto influye la variación de una variable independiente en la dependiente.

El investigador decidió analizar varias distribuciones y seleccionar la que mejor ajuste los datos de la estación de Quillabamba, para tomar como valor representativo, el obtenido de la distribución seleccionada; la misma que corresponde a la distribución de Log Pearson Tipo III; ecuación (64) respectivamente. Por lo tanto, la ecuación representativa generada para el coeficiente de frecuencia es:

$$y = CF = 0.1768 * \ln T + 0.5853 \quad (65)$$

Y el valor de $P_{T_1=10}^{t_1=60}$, útil para el cálculo del Coeficiente de Duración (CD), es el determinado por esta distribución seleccionada, la cual se muestra a continuación:

$$P_{T_1=10}^{t_1=60} = 22.05\text{mm.}$$

b. Determinación del Coeficiente de Duración:

Para el cálculo del coeficiente de duración (CD), se elaboró la Tabla N° 40, tomando como base los valores de $P_{\text{máx en 24 horas}}$ y con las expresiones de la columna Valor Asumido de la Tabla N° 03, se seleccionaron valores para periodos de duración (D^t) de 10, 20, 30, 60, 120, 360 y 720 minutos y tiempos de retorno de 2, 5, 10, 20 y 30 años (Tabla 41).

Se calculó el primer miembro de la ecuación del coeficiente de duración (Tabla 42), en función de las relaciones entre la precipitación para distintos periodos de duración y retorno, con la precipitación para periodo de duración de 60 minutos y periodo de retorno de diez años. Se planteó la ecuación donde las incógnitas fueron las constantes a_1 , b_1 y c ; en función de las razones dadas para el periodo de duración de diez años y distintos periodos de duración (Tabla 43); para darle solución a la ecuación que ajuste los valores obtenidos, se realizó el análisis de regresión no lineal, con ayuda de la extensión SOLVER del software Excel; además de utilizar también el Software IBM SPSS Statistics 24, obteniendo de esta manera los valores de a_1 , b_1 y c , los cuales nos permiten definir la ecuación característica del Coeficiente de Duración interviniente en la ecuación de Bell para la estación de Quillabamba.

Tabla N° 40

Valores de $P_{m\acute{a}x}$ para diversos D_t en minutos.

m	Tr = (N+1)/m	Pmax24h	Periodos de Duraci3n D_t^t , en minutos						
			10	20	30	60	120	360	720
1	31.00	83.8	14.246	21.369	25.559	32.364	38.967	60.202	69.554
2	15.50	59.0	10.030	15.045	17.995	22.786	27.435	42.386	48.970
3	10.33	57.9	9.843	14.765	17.660	22.361	26.924	41.595	48.057
4	7.75	57.1	9.707	14.561	17.416	22.052	26.552	41.021	47.393
5	6.20	53.1	9.027	13.541	16.196	20.507	24.692	38.147	44.073
6	5.17	49.0	8.330	12.495	14.945	18.924	22.785	35.202	40.670
7	4.43	46.2	7.854	11.781	14.091	17.842	21.483	33.190	38.346
8	3.88	46.0	7.820	11.730	14.030	17.765	21.390	33.046	38.180
9	3.44	44.8	7.616	11.424	13.664	17.302	20.832	32.184	37.184
10	3.10	42.7	7.259	10.889	13.024	16.491	19.856	30.676	35.441
11	2.82	42.5	7.225	10.838	12.963	16.414	19.763	30.532	35.275
12	2.58	42.2	7.174	10.761	12.871	16.298	19.623	30.316	35.026
13	2.38	41.0	6.970	10.455	12.505	15.834	19.065	29.454	34.030
14	2.21	40.6	6.902	10.353	12.383	15.680	18.879	29.167	33.698
15	2.07	40.2	6.834	10.251	12.261	15.525	18.693	28.880	33.366
16	1.94	40.2	6.834	10.251	12.261	15.525	18.693	28.880	33.366
17	1.82	40.2	6.834	10.251	12.261	15.525	18.693	28.880	33.366
18	1.72	39.4	6.698	10.047	12.017	15.216	18.321	28.305	32.702
19	1.63	38.7	6.579	9.869	11.804	14.946	17.996	27.802	32.121
20	1.55	38.1	6.477	9.716	11.621	14.714	17.717	27.371	31.623
21	1.48	35.5	6.035	9.053	10.828	13.710	16.508	25.503	29.465
22	1.41	35.0	5.950	8.925	10.675	13.517	16.275	25.144	29.050
23	1.35	34.6	5.882	8.823	10.553	13.363	16.089	24.857	28.718
24	1.29	33.4	5.678	8.517	10.187	12.899	15.531	23.995	27.722
25	1.24	33.4	5.678	8.517	10.187	12.899	15.531	23.995	27.722
26	1.19	32.0	5.440	8.160	9.760	12.358	14.880	22.989	26.560
27	1.15	30.6	5.202	7.803	9.333	11.818	14.229	21.983	25.398
28	1.11	30.0	5.100	7.650	9.150	11.586	13.950	21.552	24.900
29	1.07	26.5	4.505	6.758	8.083	10.234	12.323	19.038	21.995
30	1.03	22.0	3.740	5.610	6.710	8.496	10.230	15.805	18.260

Fuente: Elaboraci3n Propia.

Tabla N° 41

Precipitaciones seleccionadas para un T_r y un D^t . Obtenidos de la interpolación de los datos de la tabla N° 40.

Dt min	Periodos de Retorno T_r , en años				
	2	5	10	20	30
10	6.834	8.223	9.825	11.254	13.974
20	10.251	12.334	14.738	16.881	20.961
30	12.261	14.752	17.628	20.191	25.071
60	15.525	18.680	22.321	25.566	31.746
120	18.693	22.491	26.876	30.783	38.223
360	28.880	34.747	41.521	47.558	59.052
720	33.366	40.145	47.971	54.946	68.226

Fuente: Elaboración Propia.

De la tabla N° 08:

$$p_{T_r=10\text{años}}^{t=60\text{min}} = 22.05 \text{ mm}$$

$$\text{Si: } CD = \frac{P_{T_r}^t}{P_{10}^{60}} = \frac{P_{T_r}^t}{22.05}$$

Tabla N° 42

Valores del coeficiente de duración (CD) para diversos T_r y un D^t .

Dt min	Periodos de Retorno T_r , en años				
	2	5	10	20	30
10	0.310	0.373	0.446	0.510	0.634
20	0.465	0.559	0.668	0.766	0.951
30	0.556	0.669	0.799	0.916	1.137
60	0.704	0.847	1.012	1.159	1.440
120	0.848	1.020	1.219	1.396	1.733
360	1.310	1.576	1.883	2.157	2.678
720	1.513	1.821	2.176	2.492	3.094

Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo a los procedimientos mencionados en los capítulos II y III, se analizaron las razones de lámina de lluvia para los distintos periodos de duración, con la lámina de lluvia de periodo de duración de 60 minutos, correspondientes todos ellos al periodo de retorno de 10 años.

Con el uso de la extensión SOLVER del software EXCEL, además del software IBM SPSS Statistics 24, se obtuvo la ecuación característica del Coeficiente de Duración, la cual se desprende de correlacionar los valores obtenidos que se muestran en la tabla 43.

Tabla N° 43

Valores hallados para el periodo de retorno de 10 años ($T_r = 10$ años).

X=t	Y=CD	Yest	Y-Yest	(Y-Yest)^2
10	0.445	0.446	-0.015	0.000
20	0.667	0.668	0.018	0.000
30	0.798	0.799	0.024	0.001
60	1.010	1.012	-0.001	0.000
120	1.216	1.219	-0.069	0.005
360	1.879	1.883	0.073	0.005
720	2.171	2.176	-0.030	0.001
SUMATORIA:				0.012
Coef. Determ.			R^2=	0.995
Coef. Correl.			R=	0.998
			R=	0.998

a₁=	0.788
b₁=	0.203
c=	-0.798

Se debe obtener que la sumatoria de las diferencias cuadráticas sea mínima posible.

Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 14 muestra gráficamente como se ajustan o alejan los valores estimados mediante el análisis de regresión no lineal, de los valores originales determinados de las relaciones mencionadas anteriormente. Los valores punteados representan los valores originales, mientras que los valores unidos mediante la línea que los une, muestra los valores estimados mediante el análisis de regresión no lineal, y que han permitido determinar los valores de a_1 , b_1 y c , que definen la ecuación 66, que representa matemáticamente el Coeficiente de Duración.

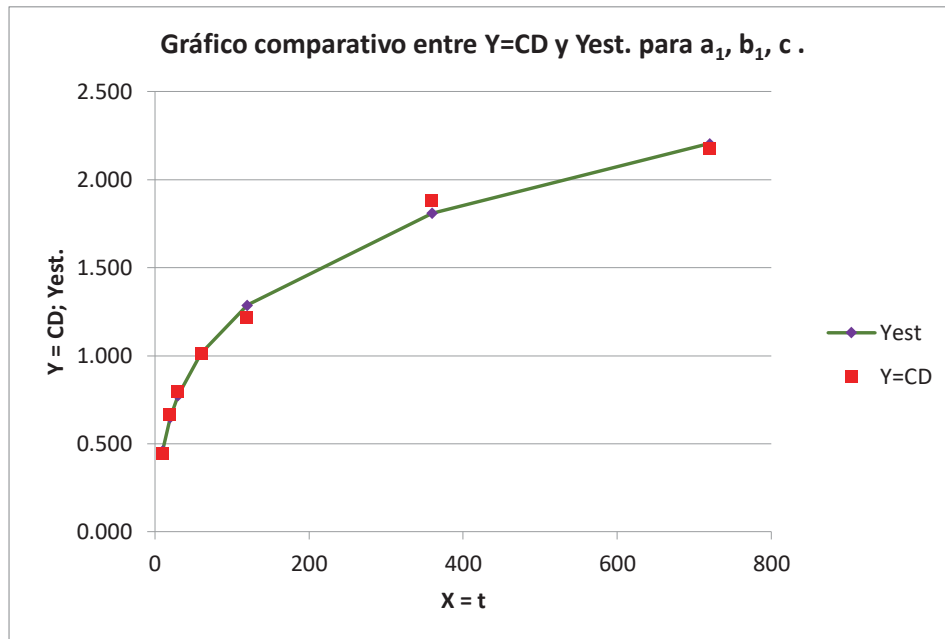


Figura 14 Representación gráfica de las aproximaciones iniciales mostradas en la tabla N° 43. Fuente: Elaboración propia.

A manera de ejemplificar la correlación de estos valores analizaremos el grado de correlación con el estadístico t de student. Para tal efecto se utilizan los valores que se muestran en el anexo VII.

$$t = \frac{r * \sqrt{n - 2}}{\sqrt{1 - r^2}}$$

$$t = 31.868 > 2.571 = t_t$$

* Utilizamos valores
de la tabla A-5 del libro
Hidrología Estadística
de Máximo Villón (p-634)

$$g = 5 = 7 - 2$$

$$P = 95\%$$

$$\alpha/2 = 0.025$$

$$t_t = \underline{\underline{2.571}}$$

Como $|t_c| > t_t$

Existe Correlación entre las variables

A continuación, se elabora la tabla N° 44, en el que se muestra la ecuación lograda para el coeficiente de duración,

Tabla N° 44

Tabulación de la ecuación representativa del coeficiente de duración.

Estación	Tr	t	Ecuación	CD ^{t=60}	R ²	R	Grado de aproximación
Quillabamba	10	60	CD = 0.788 * t ^{0.203} - 0.798	1.01	0.995	0.998	Excelente.

Fuente: Elaboración Propia.

Como se mencionó, la ecuación representativa resulta la siguiente:

$$y' = CD = 0.79 * t^{0.20} - 0.80 \quad (66)$$

Esta ecuación es la que al integrarse con la ecuación establecida para el coeficiente de frecuencia nos permite obtener la ecuación representativa de precipitaciones máximas para cada valor de "t" y "T".

c. Determinación de la ecuación P_T^t :

c.1. Análisis para el coeficiente de frecuencia:

Al aplicar las distribuciones Gumbel, Gamma de 2 parámetros, Log normal de 2 parámetros y Log Pearson Tipo III, se generó las ecuaciones (61 - 64) para el denominado coeficiente de frecuencia de la estación en estudio, presentando un coeficiente de correlación alto ($R \geq 0.99$) para cada distribución, y para un tiempo de retorno de 10 años se determinó el valor numérico del coeficiente de frecuencia, el mismo que se muestra en la tabla N° 45.

Tabla N° 45

Tabulación de valores para Coeficiente de Frecuencia (CF) generados por diversas distribuciones y calculado para $T_r = 10$ años.

Estación	Distribución	Ecuación	CF, para $T_r = 10$ años	R ²	R
Quillabamba	Gumbel	$CF = 0.1731 * LnT + 0.591$	0.9895	0.9984	0.9992
	Gamma de 2 Parámetros	$CF = 0.1335 * LnT + 0.664$	0.9718	0.9872	0.9936
	Log Normal de 2 Parámetros	$CF = 0.1515 * LnT + 0.634$	0.9824	0.9943	0.9971
	Log Pearson Tipo III	$CF = 0.1768 * LnT + 0.585$	0.9924	0.9992	0.9996

Fuente: Elaboración Propia.

Se observa que los coeficientes para las distribuciones Gumbel y Log Pearson Tipo III, son próximos a la unidad y con altos coeficientes de correlación y determinación, muy cercanos a la unidad. Las demás distribuciones también dan buenos valores al respecto, pero debemos seleccionar la distribución que mejor ajuste los valores de la estación, y de acuerdo con la Tabla 35, esta corresponde a la distribución Log Pearson Tipo III, cuya ecuación lograda se muestra en la tabla 46.

Tabla N° 46

Ecuación del coeficiente de frecuencia (CF) seleccionada y el valor obtenido para $T_r = 10$ años.

Estación	$CF^T = \frac{P_T^t}{P_{T=10}^t} = a * LnT + b$	CF, para $T_r = 10$ años
Quillabamba	$CF = 0.1768 * LnT + 0.5853$	0.99

Fuente: Elaboración propia.

c.2. Análisis para el coeficiente de duración:

Utilizando la regresión no lineal, se logró definir la ecuación para el coeficiente de duración (CD), que presenta un alto coeficiente de correlación ($R \geq 0.99$); y que al reemplazar el periodo de duración $D^t = t$, por 60 minutos se logró determinar la ecuación representativa de este coeficiente, que se muestra en la tabla N° 44; la misma que se presenta en la tabla 47.

Tabla N° 47

Ecuación del coeficiente de duración (CD) determinada y el valor obtenido para $t = 60$ minutos.

Estación	Tr	t	$CD^t = \frac{P_T^t}{P_T^{t=60}} = a_1 * t^{b_1} + c$	Coeficiente de Duración(CD), para t=60
Quillabamba	10	60	$CD = 0.788 * t^{0.203} - 0.798$	1.01

Fuente: Elaboración propia.

La integración de los coeficientes de Frecuencia (CF) y Duración (CD), en la ecuación (57), permite definir la llamada ecuación de Bell para la estación en estudio, la que se presenta en la ecuación (67).

$$P_T^t = (0.1768 * \ln T + 0.5853) * (0.788 * t^{0.203} - 0.798) * P_{10\text{años}}^{60'} \quad (67)$$

En la ecuación (67)*, definida para Quillabamba, el producto del coeficiente de frecuencia (CF) y de duración (CD), para un Tiempo de retorno de 10 años y periodo de duración de 60 minutos, da como resultado la unidad, lo que permite afirmar la aceptación de la ecuación determinada; la cual se muestra en la tabla N° 48.

Tabla N° 48

Valor del producto del coeficiente de duración y frecuencia para $T_r = 10$ años y $t = 60$ minutos.

Estación	T_r	t	$CF^T = \frac{P_T^t}{P_{T=10}^t} = a * \ln T + b$	$CD^t = \frac{P_T^t}{P_T^{t=60}} = a_1 * t^{b_1} + c$	Valor
Quillabamba	10	60	0.1768 * LnT + 0.5853	0.788 * t^{0.203} - 0.798	1.00

Fuente: Elaboración propia.

* La ecuación que se ha determinado para la estación de Quillabamba, permite obtener las precipitaciones para diversos tiempos de duración en minutos y diversos periodos de retorno en años, conociendo el valor de la precipitación máxima para una hora (60 minutos) de duración y periodo de retorno de 10 años, a partir de la data de precipitaciones máximas en 24 horas de la estación de Quillabamba.

d. Generación de gráficas:

d.1. Gráfica del Coeficiente de Frecuencia:

Luego de definir la ecuación (65), que muestra la ecuación representativa del coeficiente de frecuencia para la estación de Quillabamba, se tabulan valores para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años; obteniéndose los valores que se muestran en la tabla N° 49, resaltando el valor obtenido de $CF^{Tr} = 0.99$, para $Tr = 10$ años.

Tabla N° 49

Valores de CF^{Tr} para distintos periodos de retorno.

Tr (AÑOS)	Ln(T)	CF
2	0.69	0.71
5	1.61	0.87
10	2.30	0.99
25	3.22	1.15
50	3.91	1.28
100	4.61	1.40

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores obtenidos de la tabla N° 49, se genera la Figura N° 15, que representa gráficamente la ecuación lograda.

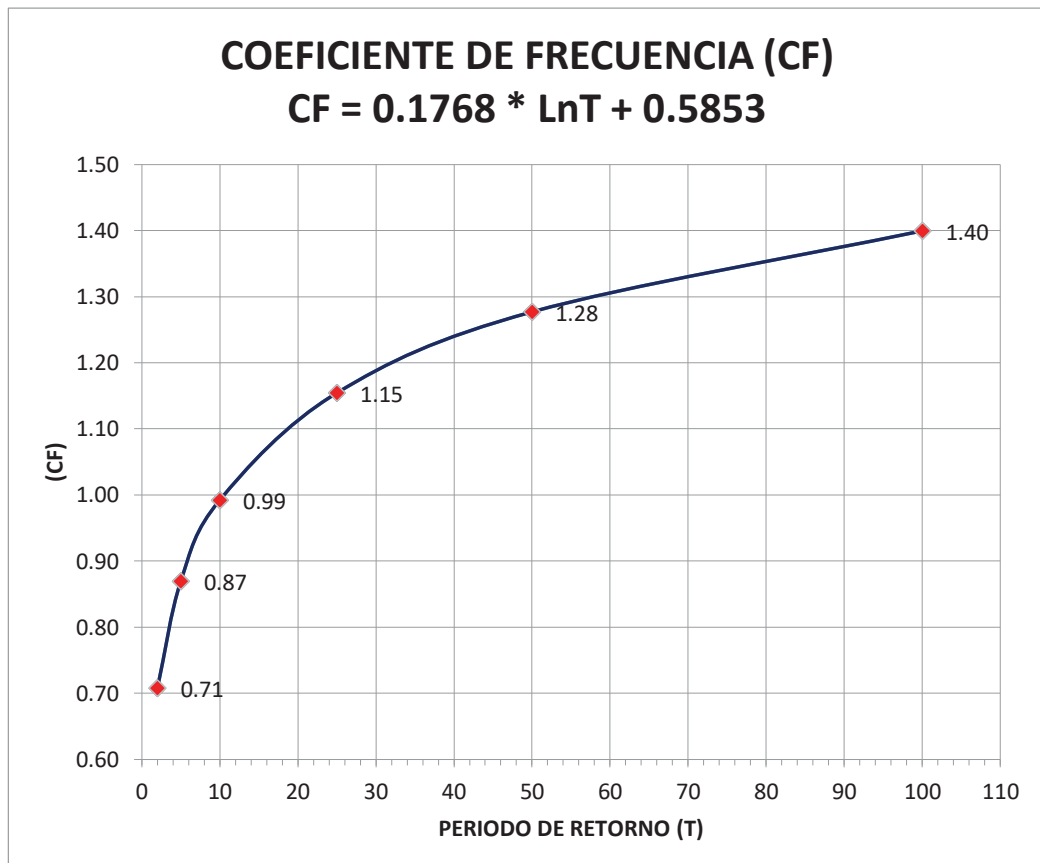


Figura 15 Representación gráfica del Coeficiente de Frecuencia.
Fuente: Elaboración propia.

d.2. Gráfica del Coeficiente de Duración:

Luego de definir la ecuación (66), que muestra la ecuación representativa del coeficiente de duración para la estación de Quillabamba, se tabulan valores para los periodos de duración de 5, 15, 30, 45, 60, 120, 360 y 720 minutos; obteniéndose los valores que se muestran en la tabla N° 50, resaltando el valor obtenido de $CD^t = 1.01$, para $t = 60$ minutos.

Tabla N° 50

Valores de CD_t para distintos periodos de duración.

t	t^b	CD
5	1.39	0.29
15	1.73	0.57
30	1.99	0.77
45	2.17	0.91
60	2.30	1.01
120	2.64	1.28
360	3.30	1.80
720	3.80	2.20

Fuente: Elaboración Propia.

Con los valores obtenidos de la tabla N° 50, se genera la Figura N° 16, que representa gráficamente la ecuación lograda.

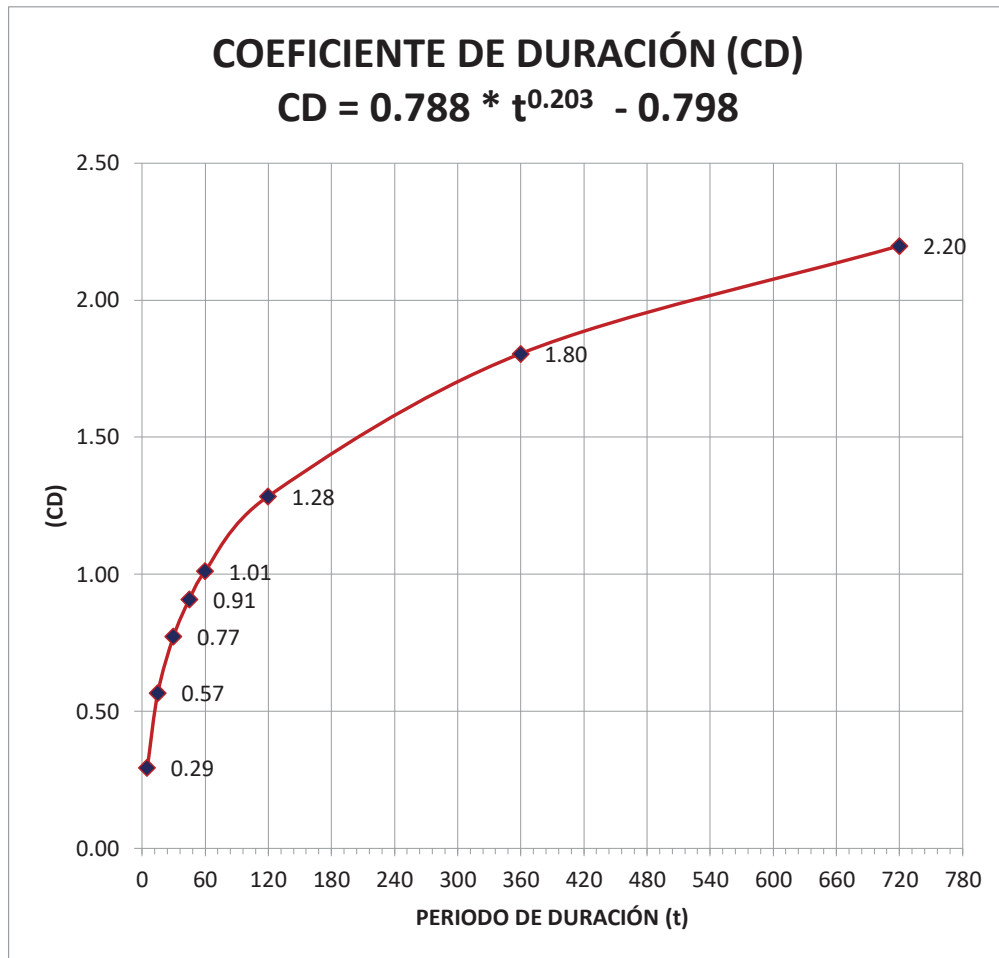


Figura 16 Representación gráfica del Coeficiente de Duración.
Fuente: Elaboración propia.

d.3. Gráfica de la ecuación de P_T^t :

Luego de definir la ecuación (67), que muestra la ecuación representativa de la estación en estudio; y con la finalidad de visualizar la tendencia de las curvas obtenidas a partir de esta ecuación, se considera la precipitación para un periodo de duración de 60 minutos y tiempo de retorno de 10 años, como un valor unitario:

$$P_T^t = (0.1768 * \ln T + 0.5853) * (0.788 * t^{0.203} - 0.798) * P_{10\text{años}}^{60'}$$

Donde hacemos: $P_{T_r=10\text{años}}^{t=60\text{min}} = 1\text{mm}$

Ahora, tabulamos periodos de retorno de 5, 10, 20 y 30 años; así como valores del periodo de duración de 5, 15, 30, 45, 60, 120 y 240 minutos, cuyos valores se muestran en la tabla N° 51.

Tabla N° 51

Valores de precipitaciones unitarias para diversos D_t y T_r a base de la ecuación (67) para la estación de Quillabamba.

Duración = t		Tiempo de Retorno = T_r , años				
minutos	Horas	2	5	10	20	30
5		0.20845	0.25616	0.29225	0.32834	0.34945
15		0.40166	0.49359	0.56313	0.63267	0.67334
30		0.54769	0.67304	0.76786	0.86268	0.91815
45		0.64314	0.79033	0.90168	1.01302	1.07816
60	1	0.71579	0.87961	1.00353	1.12745	1.19994
120	2	0.90928	1.11738	1.27481	1.43223	1.52431
240	4	1.13201	1.39109	1.58707	1.78305	1.89769

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los valores mostrados en la tabla N° 51, se obtiene la gráfica mostrada en la figura N° 17, donde se debe recordar que el valor real en mm/hora, se obtiene al multiplicar el valor seleccionado de la gráfica por el valor $P_{T_r=10\text{años}}^{t=60'}$, calculado en base a la data de precipitaciones máximas en 24 horas de la estación de Quillabamba.

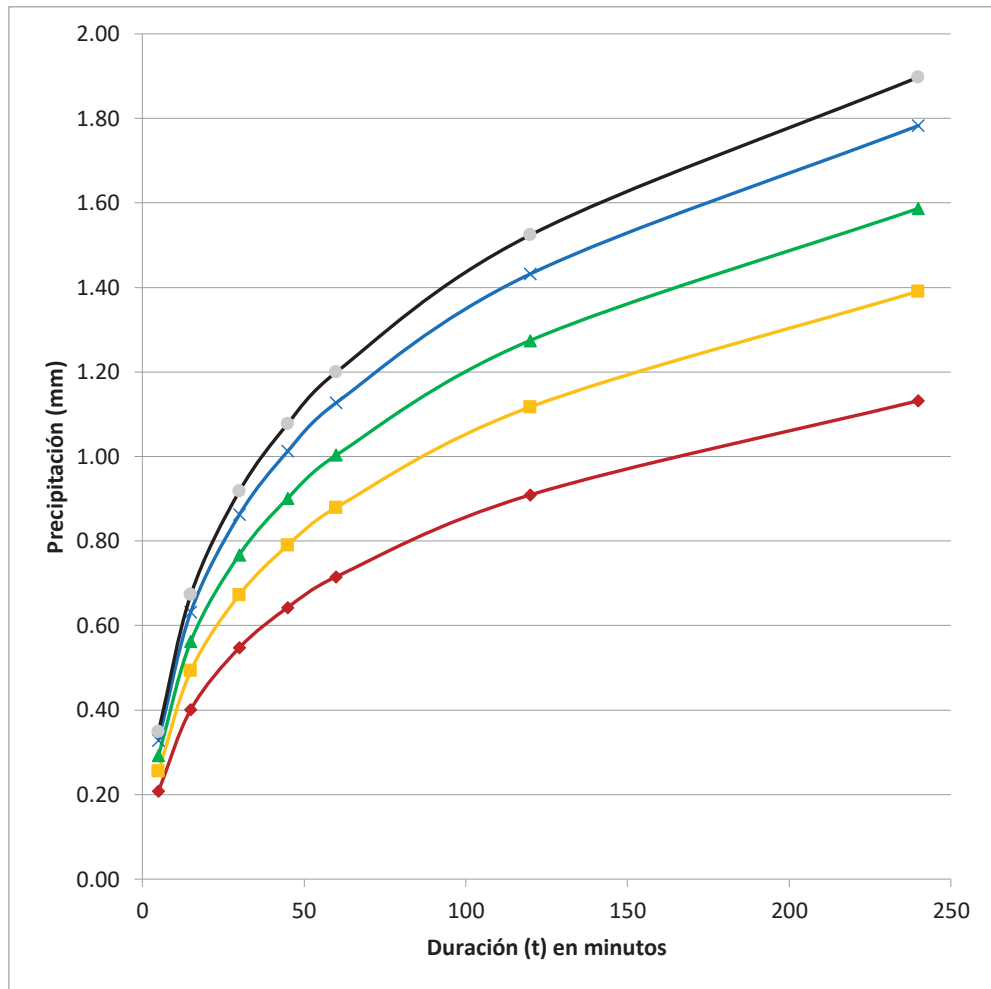


Figura 17 Representación gráfica de la precipitación unitaria de la Estación de Quillabamba. Fuente: Elaboración propia.

d.4. Gráfica de la ecuación de Intensidades (I):

Luego de definir la ecuación (68), que muestra la ecuación de intensidad unitaria, la misma que se obtuvo de multiplicar la ecuación (67) por 60 minutos y dividir este resultado por cada periodo de duración; los resultados de esta relación, se muestran en la tabla N° 52. Con la ecuación (69) se determina el valor real de la intensidad para la estación en estudio.

$$I_{uTr}^t = \frac{P_{uTr}^t}{t_{min}} * 60' \text{ mm/hora} \quad (68)$$

$$I_{real} = I_{u_{T_r}}^t * P_{T_r=10años}^{t=60'} \text{ mm/hora} \quad (69)$$

Tabla N° 52

Valores de Intensidades unitarias para diversos D_t y T_r a base de la ecuación (68) para la estación de Quillabamba.

Duración = t		Tiempo de Retorno = T_r , años				
minutos	Horas	2	5	10	20	30
5		2.50144	3.07393	3.50700	3.94007	4.19340
15		1.60665	1.97435	2.25250	2.53066	2.69337
30		1.09539	1.34608	1.53572	1.72536	1.83630
45		0.85752	1.05378	1.20224	1.35070	1.43754
60	1	0.71579	0.87961	1.00353	1.12745	1.19994
120	2	0.45464	0.55869	0.63740	0.71611	0.76216
240	4	0.28300	0.34777	0.39677	0.44576	0.47442

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los valores mostrados en la tabla N° 52, se obtiene la gráfica mostrada en la figura N° 18, donde se debe recordar que el valor real de la intensidad en mm/hora, se obtiene al multiplicar el valor seleccionado de la gráfica por el valor $P_{T_r=10años}^{t=60'}$, calculado en base a la data de precipitaciones máximas en 24 horas de la estación de Quillabamba. La gráfica lograda muestra la relación entre la intensidad unitaria de precipitación, periodo de duración y periodo de retorno ($I_u - D^t - T_r$).

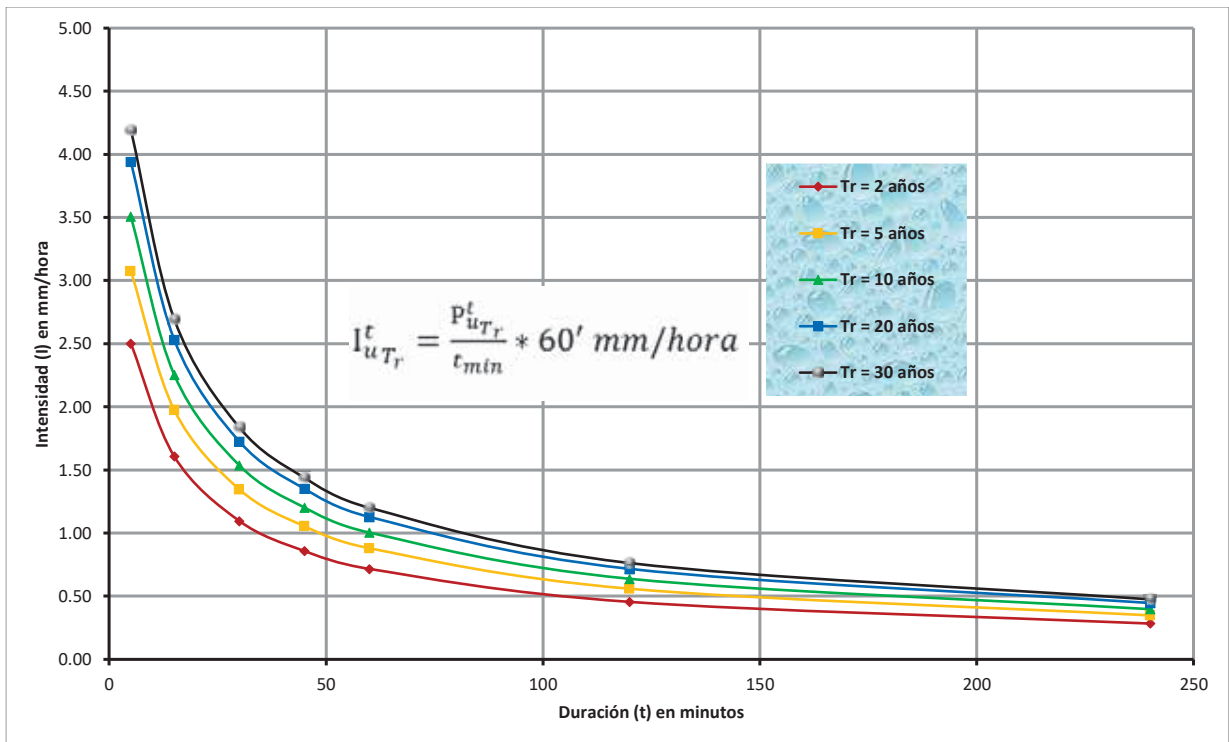


Figura 18 Representación gráfica de la Intensidad unitaria de la Estación de Quillabamba. Curvas IDF.
Fuente: Elaboración propia.

La tabla n.º 53, muestra las intensidades reales calculadas con la ecuación 69; ecuación característica determinada para zona en estudio, las mismas que se compararon con las intensidades calculadas por el método IILA, obteniendo, en todos los casos, que las muestras tanto el coeficiente de sesgo como de curtosis se encuentran dentro del rango estadísticamente permitido (-2;+2), como se puede apreciar en las tablas n.ºs 54, 57, 60, 63 y 66.

Tabla N° 53

Valores de Intensidades reales para diversos D_t y T_r a base de la ecuación (69) para la estación de Quillabamba.

Duración = t		Tiempo de Retorno = T_r , años				
minutos	Horas	2	5	10	20	30
5		55.152	67.776	77.328	86.880	92.460
15		35.428	43.536	49.668	55.800	59.388
30		24.154	29.682	33.862	38.044	40.490
45		18.908	23.236	26.509	29.783	31.697
60	1	15.783	19.395	22.128	24.860	26.459
120	2	10.025	12.319	14.055	15.791	16.806
240	4	6.240	7.668	8.749	9.829	10.461

Fuente: Elaboración propia.

De otra parte, la comparación de variación en posición no resultó ser estadísticamente significativa, pues el intervalo de confianza para la diferencia de las medias contiene el valor 0, con un nivel de significancia del 95%; la evidencia de ello se muestra en las tablas n.ºs 55, 58, 61, 64 y 67.

Con respecto a la comparación de variación en forma, esta no resultó ser estadísticamente significativa, pues el intervalo de confianza para la razón de varianzas contiene el valor de 1, con un nivel de significancia del 95%; pudiéndose verificar en las tablas n.ºs 56, 59, 62, 65 y 68.

Finalmente, en relación a la correlación que existe entre las intensidades calculadas con la ecuación característica, determinadas mediante la ecuación 69,

estas muestran un alto grado de correlación, como se parecía en las tablas n.^{os} 69, 70, 71, 72 y 73.

Tabla N° 54

Resumen estadístico de las intensidades calculadas por el método IILA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 2 años.

Estadístico	2 IILA	2 (69)
Recuento	7	7
Promedio	22.5036	23.67
Desviación Estándar	11.5372	16.8546
Coeficiente de Variación	51.2685%	71.2068%
Mínimo	8.445	6.24
Máximo	42.006	55.152
Rango	33.561	48.912
Sesgo Estandarizado	0.711294	1.28401
Curtosis Estandarizada	-0.0368195	0.621313

Fuente: Elaboración propia.

Esta tabla contiene el resumen estadístico para las dos muestras de datos, y sirve para evaluar si las diferencias entre los estadísticos de las dos muestras son estadísticamente significativas. De particular interés son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada que pueden usarse para comparar si las muestras provienen de distribuciones normales. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2, indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar las pruebas que comparan las desviaciones estándar. En este caso, ambos valores de sesgo estandarizado se encuentran dentro del rango esperado.

Así, como ambas curtosis estandarizadas se encuentran dentro del rango esperado. Por lo que se puede afirmar que no existen diferencias estadísticamente significativas.

Tabla N° 55

Comparación en posición de las intensidades calculadas por el método ILLA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 2 años.

Comparación de medias	2 ILLA	2 (69)
Intervalo de confianza del 95%	22.5036 +/- 10.6702 [11.8334; 33.1738]	23.67 +/- 15.588 [8.08202; 39.258]
Intervalo de confianza del 95%. intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales	-1.16643 +/- 16.8204 [-17.9869; 15.654]	
Prueba t para comparar medias		
Hipótesis nula: media1 = media2 Hipótesis Alternativa: media1 <> media2		
Suponiendo varianzas iguales: t = -0.151092; valor-P = 0.882413		
Entonces	No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.	

Fuente: Elaboración propia.

Para comparar la variación en posición, se ejecuta una prueba-t para comparar las medias de las dos muestras. También construye los intervalos, o cotas, de confianza para cada media y para la diferencia entre las medias. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde -17.9869 hasta 15.654. Puesto que 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 95.0%.

También puede usarse la prueba-t, para evaluar la diferencia entre las medias de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, la prueba se ha construido para determinar si la diferencia entre las dos medias es igual a 0.0 versus la hipótesis alternativa de que la diferencia no es igual a 0.0. Puesto que el valor-P calculado no es menor que 0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula.

Tabla N° 56

Comparación en forma de las intensidades calculadas por el método IILA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 2 años.

Estadístico	2 IILA	2 (69)
Desviación Estándar	11.5372	16.8546
Varianza	133.108	284.079
Gl	6	6
Razón de Varianzas= 0.46856		
Intervalos de confianza del 95.0%		
Desviación Estándar de 2 IILA: [7.43453; 25.4058]		
Desviación Estándar de 2 (69): [10.861; 37.115]		
Razones de Varianzas: [0.080512; 2.72691]		
Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar		
Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$		
Hipótesis Alt.: $\sigma_1 < \sigma_2$		
F = 0.46856 valor-P = 0.37839		
No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.		

Fuente: Elaboración propia.

Para comparar la variación en forma, se ejecuta una prueba-F para comparar las varianzas de las dos muestras. También, se construye intervalos o cotas de confianza para cada desviación estándar y para la razón de varianzas. De particular interés es el intervalo de confianza para la razón de varianzas, el cual se extiende desde 0.080512 hasta 2.72691. 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%.

También puede ejecutarse una prueba-F para evaluar las desviaciones estándar de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, 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 N° 57

Resumen estadístico de las intensidades calculadas por el método IILA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 5 años.

Estadístico	5 IILA	5 (69)
Recuento	7	7
Promedio	26.749	29.0874
Desviación Estándar	13.7137	20.7126
Coficiente de Variación	51.268%	71.2081%
Mínimo	10.038	7.668
Máximo	49.93	67.776
Rango	39.892	60.108
Sesgo Estandarizado	0.711215	1.28405
Curtosis Estandarizada	-0.0369225	0.621429

Fuente: Elaboración propia.

Esta tabla contiene el resumen estadístico para las dos muestras de datos, y sirve para evaluar si las diferencias entre los estadísticos de las dos muestras son estadísticamente significativas. De particular interés son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada que pueden usarse para comparar si las muestras provienen de distribuciones normales. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2, indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar las pruebas que comparan las desviaciones estándar. En este caso, ambos valores de sesgo estandarizado se encuentran dentro del rango esperado.

Así, como ambas curtosis estandarizadas se encuentran dentro del rango esperado. Por lo que se puede afirmar que no existen diferencias estadísticamente significativas.

Tabla N° 58

Comparación en posición de las intensidades calculadas por el método ILLA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 5 años.

Comparación de medias	5 ILLA	5 (69)
Intervalo de confianza del 95%	26.749 +/- 12.6831 [14.0659; 39.4321]	29.0874 +/- 19.156 [9.9314; 48.2435]
Intervalo de confianza del 95%. intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales	-2.33843 +/- 20.457 [-22.7954; 18.1186]	
Prueba t para comparar medias		
Hipótesis nula: media1 = media2 Hipótesis Alternativa: media1 <> media2		
Suponiendo varianzas iguales: t = -0.24906 valor-P = 0.807526		
Entonces	No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.	

Fuente: Elaboración propia.

Para comparar la variación en posición, se ejecuta una prueba-t para comparar las medias de las dos muestras. También construye los intervalos, o cotas, de confianza para cada media y para la diferencia entre las medias. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde -22.7954 hasta 18.1186. Puesto que 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 95.0%.

También puede usarse la prueba-t, para evaluar la diferencia entre las medias de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, la prueba se ha construido para determinar si la diferencia entre las dos medias es igual a 0.0 versus la hipótesis alternativa de que la diferencia no es igual a 0.0. Puesto que el valor-P calculado no es menor que 0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula.

Tabla N° 59

Comparación en forma de las intensidades calculadas por el método IILA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 5 años.

Estadístico	5 IILA	5 (69)
Desviación Estándar	13.7137	20.7126
Varianza	188.065	429.012
Gl	6	6
Razón de Varianzas= 0.438367		
Intervalos de confianza del 95.0%		
Desviación Estándar de 2 IILA[8.83701; 30.1984]		
Desviación Estándar de 2 (69): [13.3471; 45.6105]		
Razones de Varianzas: [0.075324; 2.55119]		
Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar		
Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$		
Hipótesis Alt.: $\sigma_1 < \sigma_2$		
F = 0.438367 valor-P = 0.338889		
No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.		

Fuente: Elaboración propia.

Para comparar la variación en forma, se ejecuta una prueba-F para comparar las varianzas de las dos muestras. También, se construye intervalos o cotas de confianza para cada desviación estándar y para la razón de varianzas. De particular interés es el intervalo de confianza para la razón de varianzas, el cual se extiende desde 0.075324 hasta 2.55119. 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%.

También puede ejecutarse una prueba-F para evaluar las desviaciones estándar de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, 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 N° 60

Resumen estadístico de las intensidades calculadas por el método IILA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 10 años.

Estadístico	10 IILA	10 (69)
Recuento	7	7
Promedio	29.9604	33.1856
Desviación Estándar	15.3602	23.6314
Coefficiente de Variación	51.2683%	71.2098%
Mínimo	11.243	8.749
Máximo	55.925	77.328
Rango	44.682	68.579
Sesgo Estandarizado	0.711269	1.2843
Curtosis Estandarizada	-0.0368338	0.621865

Fuente: Elaboración propia.

Esta tabla contiene el resumen estadístico para las dos muestras de datos, y sirve para evaluar si las diferencias entre los estadísticos de las dos muestras son estadísticamente significativas. De particular interés son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada que pueden usarse para comparar si las muestras provienen de distribuciones normales. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2, indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar las pruebas que comparan las desviaciones estándar. En este caso, ambos valores de sesgo estandarizado se encuentran dentro del rango esperado.

Así, como ambas curtosis estandarizadas se encuentran dentro del rango esperado. Por lo que se puede afirmar que no existen diferencias estadísticamente significativas.

Tabla N° 61

Comparación en posición de las intensidades calculadas por el método ILLA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 10 años.

Comparación de medias	10 ILLA	10 (69)
Intervalo de confianza del 95%	29.9604 +/- 14.2059 [15.7546; 44.1663]	33.1856 +/- 21.8554 [11.3301; 55.041]
Intervalo de confianza del 95%. intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales	-3.22514 +/- 23.2106 [-26.4357; 19.9854]	
Prueba t para comparar medias		
Hipótesis nula: media1 = media2 Hipótesis Alternativa: media1 <> media2		
Suponiendo varianzas iguales: t = -0.30275 ; valor-P = 0.767264		
Entonces	No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.	

Fuente: Elaboración propia.

Para comparar la variación en posición, se ejecuta una prueba-t para comparar las medias de las dos muestras. También construye los intervalos, o cotas, de confianza para cada media y para la diferencia entre las medias. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde -26.4357 hasta 19.9854. Puesto que 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 95.0%.

También puede usarse la prueba-t, para evaluar la diferencia entre las medias de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, la prueba se ha construido para determinar si la diferencia entre las dos medias es igual a 0.0 versus la hipótesis alternativa de que la diferencia no es igual a 0.0. Puesto que el valor-P calculado no es menor que 0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula.

Tabla N° 62

Comparación en forma de las intensidades calculadas por el método ILLA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 10 años.

Estadístico	10 ILLA	10 (69)
Desviación Estándar	15.3602	23.6314
Varianza	235.936	558.442
Gl	6	6
Razón de Varianzas= 0.42249		
Intervalos de confianza del 95.0%		
Desviación Estándar de 10 ILLA: [9.89802; 33.8242]		
Desviación Estándar de 10 (69): [15.2279; 52.0378]		
Razones de Varianzas: [0.0725957; 2.45879]		
Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar		
Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$		
Hipótesis Alt.: $\sigma_1 < \sigma_2$		
F = 0.42249 valor-P = 0.318287		
No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.		

Fuente: Elaboración propia.

Para comparar la variación en forma, se ejecuta una prueba-F para comparar las varianzas de las dos muestras. También, se construye intervalos o cotas de confianza para cada desviación estándar y para la razón de varianzas. De particular interés es el intervalo de confianza para la razón de varianzas, el cual se extiende desde 0.0725957 hasta 2.45879. 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%.

También puede ejecutarse una prueba-F para evaluar las desviaciones estándar de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, 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 N° 63

Resumen estadístico de las intensidades calculadas por el método IILA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 20 años.

Estadístico	20 IILA	20 (69)
Recuento	7	7
Promedio	33.172	37.2839
Desviación Estándar	17.0067	26.5504
Coefficiente de Variación	51.2683%	71.2114%
Mínimo	12.448	9.829
Máximo	61.92	86.88
Rango	49.472	77.051
Sesgo Estandarizado	0.711283	1.28441
Curtosis Estandarizada	-0.0367834	0.62211

Fuente: Elaboración propia.

Esta tabla contiene el resumen estadístico para las dos muestras de datos, y sirve para evaluar si las diferencias entre los estadísticos de las dos muestras son estadísticamente significativas. De particular interés son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada que pueden usarse para comparar si las muestras provienen de distribuciones normales. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2, indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar las pruebas que comparan las desviaciones estándar. En este caso, ambos valores de sesgo estandarizado se encuentran dentro del rango esperado.

Así, como ambas curtosis estandarizadas se encuentran dentro del rango esperado. Por lo que se puede afirmar que no existen diferencias estadísticamente significativas.

Tabla N° 64

Comparación en posición de las intensidades calculadas por el método ILLA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 20 años.

Comparación de medias	20 ILLA	20 (69)
Intervalo de confianza del 95%	33.172 +/- 15.7286 [17.4434; 48.9006]	37.2839 +/- 24.5551 [12.7288; 61.8389]
Intervalo de confianza del 95%. intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales	-4.11186 +/- 25.9656 [-30.0774; 21.8537]	
Prueba t para comparar medias		
Hipótesis nula: media1 = media2 Hipótesis Alternativa: media1 <> media2		
Suponiendo varianzas iguales: t = -0.345033; valor-P = 0.736042		
Entonces	No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.	

Fuente: Elaboración propia.

Para comparar la variación en posición, se ejecuta una prueba-t para comparar las medias de las dos muestras. También construye los intervalos, o cotas, de confianza para cada media y para la diferencia entre las medias. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde -30.0774 hasta 21.8537. Puesto que 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 95.0%.

También puede usarse la prueba-t, para evaluar la diferencia entre las medias de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, la prueba se ha construido para determinar si la diferencia entre las dos medias es igual a 0.0 versus la hipótesis alternativa de que la diferencia no es igual a 0.0. Puesto que el valor-P calculado no es menor que 0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula.

Tabla N° 65

Comparación en forma de las intensidades calculadas por el método IILA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 20 años.

Estadístico	20 IILA	20 (69)
Desviación Estándar	17.0067	26.5504
Varianza	289.229	704.922
Gl	6	6
Razón de Varianzas= 0.410299		
Intervalos de confianza del 95.0%		
Desviación Estándar de 2 IILA: [10.959; 37.4499]		
Desviación Estándar de 2 (69): [17.1089; 58.4656]		
Razones de Varianzas: [0.0705011; 2.38784]		
Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar		
Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$		
Hipótesis Alt.: $\sigma_1 < \sigma_2$		
F = 0.410299 valor-P= 0.302582		
No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.		

Fuente: Elaboración propia.

Para comparar la variación en forma, se ejecuta una prueba-F para comparar las varianzas de las dos muestras. También, se construye intervalos o cotas de confianza para cada desviación estándar y para la razón de varianzas. De particular interés es el intervalo de confianza para la razón de varianzas, el cual se extiende desde 0.0705011 hasta 2.38784. 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%.

También puede ejecutarse una prueba-F para evaluar las desviaciones estándar de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, 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 N° 66

Resumen estadístico de las intensidades calculadas por el método IILA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 30 años.

Estadístico	30 IILA	30 (69)
Recuento	7	7
Promedio	35.0506	39.6801
Desviación Estándar	17.9698	28.2556
Coefficiente de Variación	51.2682%	71.2085%
Mínimo	13.153	10.461
Máximo	65.426	92.46
Rango	52.273	81.999
Sesgo Estandarizado	0.711203	1.28424
Curtosis Estandarizada	-0.03689	0.621789

Fuente: Elaboración propia.

Esta tabla contiene el resumen estadístico para las dos muestras de datos, y sirve para evaluar si las diferencias entre los estadísticos de las dos muestras son estadísticamente significativas. De particular interés son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada que pueden usarse para comparar si las muestras provienen de distribuciones normales. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2, indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar las pruebas que comparan las desviaciones estándar. En este caso, ambos valores de sesgo estandarizado se encuentran dentro del rango esperado.

Así, como ambas curtosis estandarizadas se encuentran dentro del rango esperado. Por lo que se puede afirmar que no existen diferencias estadísticamente significativas.

Tabla N° 67

Comparación en posición de las intensidades calculadas por el método ILLA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 30 años.

Comparación de medias	30 ILLA	30 (69)
Intervalo de confianza del 95%	35.0506 +/- 16.6193 [18.4312; 51.6699]	39.6801 +/- 26.1322 [13.548; 65.8123]
Intervalo de confianza del 95%. intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales	-4.62957 +/- 27.576 [-32.2056; 22.9465]	
Prueba t para comparar medias		
Hipótesis nula: media1 = media2 Hipótesis Alternativa: media1 <> media2		
Suponiendo varianzas iguales: t = -0.365788; valor-P = 0.72089		
Entonces	No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0.05.	

Fuente: Elaboración propia.

Para comparar la variación en posición, se ejecuta una prueba-t para comparar las medias de las dos muestras. También construye los intervalos, o cotas, de confianza para cada media y para la diferencia entre las medias. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde -32.2056 hasta 22.9465. Puesto que 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 95.0%.

También puede usarse la prueba-t, para evaluar la diferencia entre las medias de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, la prueba se ha construido para determinar si la diferencia entre las dos medias es igual a 0.0 versus la hipótesis alternativa de que la diferencia no es igual a 0.0. Puesto que el valor-P calculado no es menor que 0.05, no se puede rechazar la hipótesis nula.

Tabla N° 68

Comparación en forma de las intensidades calculadas por el método ILLA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 30 años.

Estadístico	30 ILLA	30 (69)
Desviación Estándar	17.9698	28.2556
Varianza	322.914	798.38
Gl	6	6
Razón de Varianzas= 0.404461		
Intervalos de confianza del 95.0%		
Desviación Estándar de 2 ILLA: [11.5796; 39.5707]		
Desviación Estándar de 2 (69): [18.2077; 62.2207]		
Razones de Varianzas: [0.0694979; 2.35387]		
Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar		
Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$		
Hipótesis Alt.: $\sigma_1 <> \sigma_2$		
F = 0.404461 valor-P = 0.2951		
No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.		

Fuente: Elaboración propia.

Para comparar la variación en forma, se ejecuta una prueba-F para comparar las varianzas de las dos muestras. También, se construye intervalos o cotas de confianza para cada desviación estándar y para la razón de varianzas. De particular interés es el intervalo de confianza para la razón de varianzas, el cual se extiende desde 0.0694979 hasta 2.35387. 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%.

También puede ejecutarse una prueba-F para evaluar las desviaciones estándar de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, 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 N° 69

Relación existente entre las intensidades calculadas por el método IILA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 2 años.

	2 IILA	2 (69)
2 IILA		0.9901*
		(7)**
		0.0000***
2 (69)	0.9901*	
	(7)**	
	0.0000***	

*: Correlación;
 **: (Tamaño de Muestra)
 ***: Valor-P

Fuente: Elaboración propia.

Esta tabla muestra las correlaciones momento producto de Pearson, entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a +1, y miden la fuerza de la relación lineal entre las variables. También se muestra, entre paréntesis, el número de pares de datos utilizados para calcular cada coeficiente. El tercer número en cada bloque de la tabla es un valor-P que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas. Valores-P abajo de 0.05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95.0%. Los siguientes pares de variables tienen valores-P por debajo de 0.05: 2 IILA y 2 (69). Por lo tanto se puede concluir que existe alta correlación entre las muestras analizadas.

Tabla N° 70

Relación existente entre las intensidades calculadas por el método IILA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 5 años.

	5 IILA	5 (69)
5 IILA		0.9901*
		(7)**
		0.0000***
5 (69)	0.9901*	
	(7)**	
	0.0000***	

*: Correlación;
 **: (Tamaño de Muestra)
 ***: Valor-P

Fuente: Elaboración propia.

Esta tabla muestra las correlaciones momento producto de Pearson, entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a +1, y miden la fuerza de la relación lineal entre las variables. También se muestra, entre paréntesis, el número de pares de datos utilizados para calcular cada coeficiente. El tercer número en cada bloque de la tabla es un valor-P que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas. Valores-P abajo de 0.05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95.0%. Los siguientes pares de variables tienen valores-P por debajo de 0.05: 5 IILA y 5 (69). Por lo tanto se puede concluir que existe alta correlación entre las muestras analizadas.

Tabla N° 71

Relación existente entre las intensidades calculadas por el método IILA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 10 años.

	10 IILA	10 (69)
10 IILA		0.9900*
		(7)**
		0.0000***
10 (69)	0.9900*	
	(7)**	
	0.0000***	

*: Correlación;
 **: (Tamaño de Muestra)
 ***: Valor-P

Fuente: Elaboración propia.

Esta tabla muestra las correlaciones momento producto de Pearson, entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a +1, y miden la fuerza de la relación lineal entre las variables. También se muestra, entre paréntesis, el número de pares de datos utilizados para calcular cada coeficiente. El tercer número en cada bloque de la tabla es un valor-P que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas. Valores-P abajo de 0.05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del

95.0%. Los siguientes pares de variables tienen valores-P por debajo de 0.05: 10 IILA y 10 (69). Por lo tanto se puede concluir que existe alta correlación entre las muestras analizadas.

Tabla N° 72

Relación existente entre las intensidades calculadas por el método IILA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 20 años.

	20 IILA	20 (69)
20 IILA		0.9900*
		(7)**
		0.0000***
20 (69)	0.9900*	
	(7)**	
	0.0000***	

*: Correlación;
 **: (Tamaño de Muestra)
 ***: Valor-P

Fuente: Elaboración propia.

Esta tabla muestra las correlaciones momento producto de Pearson, entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a +1, y miden la fuerza de la relación lineal entre las variables. También se muestra, entre paréntesis, el número de pares de datos utilizados para calcular cada coeficiente. El tercer número en cada bloque de la tabla es un valor-P que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas. Valores-P abajo de 0.05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95.0%. Los siguientes pares de variables tienen valores-P por debajo de 0.05: 20 IILA y 20 (69). Por lo tanto se puede concluir que existe alta correlación entre las muestras analizadas.

Tabla N° 73

Relación existente entre las intensidades calculadas por el método IILA y de ecuación (69) para periodo de retorno de 30 años.

	30 IILA	30 (69)
30 IILA		0.9900*
		(7)**
		0.0000***
30 (69)	0.9900*	
	(7)**	
	0.0000***	

*: Correlación;
 **: (Tamaño de Muestra)
 ***: Valor-P

Fuente: Elaboración propia.

Esta tabla muestra las correlaciones momento producto de Pearson, entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación va de -1 a +1, y miden la fuerza de la relación lineal entre las variables. También se muestra, entre paréntesis, el número de pares de datos utilizados para calcular cada coeficiente. El tercer número en cada bloque de la tabla es un valor-P que prueba la significancia estadística de las correlaciones estimadas. Valores-P abajo de 0.05 indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95.0%. Los siguientes pares de variables tienen valores-P por debajo de 0.05: 30 IILA y 30 (69). Por lo tanto se puede concluir que existe alta correlación entre las muestras analizadas.

5.1.2. Discusión de resultados.

- ✓ Luego de comparar las intensidades calculadas por el método ILLA y las generadas por el método de Bell, se observa que no existe diferencia estadísticamente significativa en cuanto a la variación en posición y forma, de acuerdo con las tablas n.ºs 15, 18, 21, 24 y 27, para la variación en posición y las tablas n.ºs 16, 19, 22, 25 y 28, para la variación en forma; probando así nuestra primera hipótesis específica y logrando nuestro primer objetivo específico.
- ✓ De otra parte, se determinó la correlación existente entre las intensidades generadas por el método ILLA y el método de Bell, cuyos resultados se muestran en las tablas n.ºs 29, 30, 31, 32 y 33; donde se puede apreciar que en todas las situaciones analizadas se obtiene una correlación muy alta, comprobando de esta manera nuestra segunda hipótesis específica, y logrando nuestro segundo objetivo específico.
- ✓ Al analizar la información pluviométrica de la Estación de Quillabamba (Anexo I), se registraron series con datos faltantes, así también luego de suprimir estas series se detectaron datos “outliers”, los cuales se analizaron mediante lo expuesto por Fattorelli & Fernández (2011), hasta obtener el resultado que se muestra en la Tabla N° 7. Esta información es la que se utiliza para realizar los cálculos siguientes.
- ✓ Con respecto al cálculo del coeficiente de frecuencia, según se muestra en la Tabla N° 35, se ha determinado las distribuciones que mejor representan a la ecuación representativa de este coeficiente, en función del grado de aproximación de sus variables involucradas. Dando como resultado satisfactorio la distribución de Log Pearson Tipo III; en función

a que representa el mejor ajuste de los datos analizados al observar la comparación del delta teórico obtenido con el delta tabular. Esto reafirma lo Expuesto por Kite (1988); al afirmar que no existe consistencia sobre cuál es la distribución que mejor se ajusta a los caudales máximos y recomienda seleccionar el mejor ajuste a criterio del modelador con la prueba de ajuste gráfico o basado en el comportamiento de las pruebas estadísticas de bondad del ajuste (por ejemplo, Chi Cuadrado, **Smirnov-Kolmogorov**, Cramer-Von Mises). De este análisis se determina la ecuación representativa del coeficiente de frecuencia estableciéndose la siguiente:

$$CF = 0.1768 * LnT + 0.5853$$

- ✓ Para la determinación del coeficiente de duración, el investigador se apoyó en la extensión Solver del software Excel y en el software IBM SPSS Statistics 24, para determinar los valores de las constantes a_1 , b_1 y c , de la ecuación representativa; utilizando el análisis de regresión no lineal a las razones de lámina de lluvia para cualquier periodo de duración con la lámina de lluvia de duración igual a 60 minutos, ambos para un periodo de retorno de 10 años, definido previamente al calcular la ecuación característica del coeficiente de frecuencia; obteniendo el resultado que se muestra en la Tabla N° 47. Quedando definida de la siguiente manera:

$$CD = 0.788 * t^{0.203} - 0.798$$

- ✓ La integración de los coeficientes determinados anteriormente ha permitido definir la ecuación representativa de la estación de Quillabamba, la cual se muestra a continuación:

$$P_T^t = (0.1768 * \ln T + 0.5853) * (0.788 * t^{0.203} - 0.798) * P_{10\text{años}}^{60'}$$

A partir de este resultado se tabulan valores para periodos de retorno de 10 años y distintas duraciones; los cuales se muestran en la Tabla N° 74; integrando el $P_{T_1=10}^{t_1=60}$ definido al calcular el coeficiente de frecuencia, se determina el valor de $P_{T_r=10}^{t=24h}$, para la estación de Quillabamba. Con la determinación de estos resultados, se determinan los coeficientes para cada periodo de duración y se comparan con los coeficientes asumidos inicialmente para el análisis realizado. Determinando su variación, observándose que son del orden del cinco por ciento.

Tabla N° 74

Tabulación para determinar el promedio de variación porcentual de los coeficientes a obtener.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
								Coeficientes Generados	Coef. Empírico Asumido	Variación (9)/(10)	Variación (%)
Estación	Ecuación	T _r	t (hr)	t (min)	P _{10años} ^{60'}	P _{T_r} ^t	P _{T_r=10años} ^{t=24h}	(7)/(8)			
Quillabamba	(63)	10		10	22.050	10.056	58.007	0.1734	0.1700	1.0198	1.98
				20		14.214		0.2450	0.2550	0.9609	-3.91
				30		16.931		0.2919	0.3050	0.9570	-4.30
			1	60		22.128		0.3815	0.3862	0.9878	-1.22
			2	120		28.109		0.4846	0.4650	1.0421	4.21
			6	360		39.495		0.6809	0.7184	0.9478	-5.22
			12	720		48.101		0.8292	0.8300	0.9991	-0.09
			24	1440		58.007		1.0000	1.0000	1.0000	0.00

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Luego de obtener los coeficientes propios de la zona en estudio se comparan con los asumidos inicialmente, determinándose el porcentaje de variación (para un determinado periodo de duración $D^t = t$, en minutos y tiempo de retorno en años) con los coeficientes de Elías Castillo, F., & Ruiz Beltrán, L. (1979), denotando una variación para un periodo de duración de 10 minutos, en el orden del 1.98% y para el periodo de duración de 60 minutos, en el orden de -1.22%; reafirmando lo descrito en el ítem anterior. Estos resultados se muestran en la Tabla N° 75.
- ✓ Se elabora la tabla N° 76, donde se presenta el resumen de los coeficientes logrados en este trabajo y los coeficientes propuestos por Elías Castillo, F., & Ruiz Beltrán, L. (1979). La variación de los coeficientes logrados con los asumidos inicialmente es del orden del 5%; por lo que se asume como representativos para estimar valores de precipitación para periodos de duración entre 10 minutos a 120 minutos, conociendo la data de precipitaciones máximas en 24 horas.
- ✓ Con respecto a los gráficos logrados, estos representan la variación de las ecuaciones logradas para:
 - Coeficiente de Frecuencia, determinándose un grado de aproximación **excelente**.
 - Coeficiente de Duración, determinándose un grado de aproximación **excelente**.
 - La ecuación representativa de la estación Quillabamba, expresa precipitaciones, por lo que no es el resultado final de la

investigación, sin embargo al realizar el artificio de $P_{T_r=10\text{años}}^{t=60\text{min}} = 1\text{mm}$, se puede graficar la precipitación unitaria, la cual servirá para determinar la intensidad unitaria y su representación gráfica, los cuales eran los objetivos de esta investigación y se muestran en la Figura N° 18, comúnmente conocido como gráficos IDT o IDF.

- Estando acorde a lo manifestado por Edicson Gonzalo Pulgarín Dávila en su tesis **“Fórmulas regionales para la estimación de curvas intensidad-frecuencia-duración basadas en las propiedades de escala de la lluvia (Región Andina Colombiana)”**, el cual dentro de sus conclusiones manifiesta que *desde un punto de vista práctico se considera adecuado usar estimativos como los de Hershfield (1969), por su sencillez, o la ecuación encontrada por Bell*; demostrando con el presente estudio las ecuaciones logradas.
- ✓ En ese sentido, podemos expresar que la forma como el análisis de las precipitaciones máximas permite generar intensidades de precipitación es mediante la determinación de la ecuación representativa de la estación Quillabamba por medio del método de Bell. La misma que puede usarse conociendo la data, el periodo de retorno para el cual se calcula y la duración de lluvia.
- ✓ Se han utilizado las funciones de distribución que mejor se ajustan a los datos para el procedimiento de análisis de precipitaciones máximas.

- ✓ Los factores que intervienen en la generación e intensidades de precipitación fueron determinados en el proceso de generación de la Ecuación representativa de la estación Quillabamba.
- ✓ También se definió la expresión que permite generar las intensidades de precipitación; además se representaron gráficamente las intensidades de precipitación generadas, para diversos periodos de retorno y periodos de duración. Las cuales son denominadas curvas IDF o IDT.
- ✓ La expresión que define la ecuación característica de la zona en estudio, generó las intensidades que se muestran en la tabla n.º 53, las cuales también fueron comparadas con las intensidades calculadas por el método IILA, obteniendo resultados satisfactorios que permiten afirmar la confiabilidad de las intensidades generadas por la ecuación característica establecido para Quillabamba.
- ✓ En cuanto al problema general de esta investigación, y en atención a los resultados mostrados en las tablas enlistadas en los párrafos precedentes y a los resultados que analizan los coeficientes de sesgo y de curtosis que se muestran en las tablas n.ºs 14, 17, 20, 23 y 26; se demuestra nuestra hipótesis general y el cumplimiento de nuestro objetivo general, comprobando que el método de Bell para una duración comprendida de 5 a 240 minutos, y un periodo de retorno de 2 a 30 años, es confiable.

5.2. Pruebas de Hipótesis

En la particularidad de esta investigación, las pruebas se realizaron en el análisis de las precipitaciones máximas, al realizar las comparaciones en posición y forma, y al evaluar la correlación de las intensidades; además de analizarlas con las distintas distribuciones probalísticas de Gumbel, Gamma de 2 Parámetros, Log Normal de 2 Parámetros y Log Pearson Tipo III; al aplicar el estadístico Smirnov - Kolmogorov. Se debe precisar que los valores analizados fueron obtenidos de registros preexistentes, los cuales fueron realizados mediante la observación de un servidor del SENAMHI, por lo que el investigador realizó el análisis de estos en función de las metodologías existentes en el medio. Además, se ha descrito y explicado el comportamiento de las precipitaciones máximas en el proceso de generar intensidades de precipitación en el distrito de Santa Ana – Ciudad de Quillabamba.

Tabla N° 75

Determinación de porcentaje (%) de variación de coeficientes.

Estación	Tr Años	t (hr)	t min	Coeficientes Generados	De Castillo	Coef. Obt.	%	% Variación	% Variación
						De Castillo			
Quillabamba	10		10	0.1734	0.1700	1.02	101.98	1.98	1.98
			20	0.2450	0.2550	0.96	96.09	-3.91	3.91
			30	0.2919	0.3050	0.96	95.70	-4.30	4.30
		1	60	0.3815	0.3862	0.99	98.78	-1.22	1.22
		2	120	0.4846	0.4650	1.04	104.21	4.21	4.21
		6	360	0.6809	0.7184	0.95	94.78	-5.22	5.22
		12	720	0.8292	0.8300	1.00	99.91	-0.09	0.09
		24	1440	1.0000	1.0000	1.00	100.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 76

Resumen y propuesta de coeficientes logrados.

t min	Coef. Elías Castillo, F., & Ruiz Beltrán, L. (1979) Asumido	Coeficiente Logrado (*)	% Variación
P(10')	0.1700 P24	0.1734 P24	1.98
P(20')	0.2550 P24	0.2450 P24	3.91
P(30')	0.3050 P24	0.2919 P24	4.30
P(1h)	0.3862 P24	0.3815 P24	1.22
P(2h)	0.4650 P24	0.4846 P24	4.21
P(6h)	0.7184 P24	0.6809 P24	5.22
P(12h)	0.8300 P24	0.8292 P24	0.09
P(24h)	1.0000 P24	1.0000 P24	0.00

(*) Propuesto para Tiempos de Concentración menores a 2 Horas

Fuente: elaboración propia.

5.3. Presentación de resultados

- Los resultados obtenidos se muestran en:
 - o Las tablas n.^{os} 15, 18, 21, 24 y 27, para la variación en posición y las tablas n.^{os} 16, 19, 22, 25 y 28, para la variación en forma, que responden a la primera pregunta específica, demuestran que no existe variación estadísticamente significativa entre ellos, para un nivel de confianza del 95%.
 - o Las tablas n.^{os} 29, 30, 31, 32 y 33, que muestran la correlación de las intensidades calculadas por el método IILA y por el método de Bell, que responde a la segunda pregunta específica de nuestra investigación.

- o La tabla N° 74, que muestra la razón de variación de los coeficientes utilizados con los de la ecuación lograda; dando como resultado los valores mostrados en la tabla N° 28.
- o La tabla N° 74, muestra la tabulación de la variación porcentual de los coeficientes obtenidos con los utilizados inicialmente; el resultado se muestra en la tabla N° 75.
- o La tabla N° 75 muestra el resumen y propuesta de los coeficientes obtenidos, para una lluvia de distintos periodos de duración y un periodo de retorno de 10 años.

Tabla N° 77

Resumen de razones entre los coeficientes obtenidos con los coeficientes utilizados inicialmente.

Estación	Ecuación Lograda	Tr	t (hr)	t (min)	Razón de Variación
Quillabamba	$P_T^t = (0.1768 * \text{Ln}T + 0.5853) * (0.788 * t^{0.203} - 0.798) * P_{10\text{años}}^{60'}$	10		10	1.02
				20	0.96
				30	0.96
			1	60	0.99
			2	120	1.04
			6	360	0.95
			12	720	1.00
			24	1440	1.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 78

Variación porcentual de los coeficientes obtenidos con los utilizados inicialmente.

Estación	Ecuación Lograda	[% Variación]
Quillabamba	$P_T^t = (0.1768 * \text{Ln}T + 0.5853) * (0.788 * t^{0.203} - 0.798) * P_{10\text{años}}^{60}$	1.98
		3.91
		4.30
		1.22
		4.21
		5.22
		0.09
		0.00

Fuente: Elaboración propia.

- Adicionalmente, se muestran las representaciones gráficas de las ecuaciones del coeficiente de frecuencia y de duración en las figuras N°s 15 y 16, las cuales tienen un grado de aproximación excelente.
- Así también, se muestra la representación gráfica de la ecuación lograda para la estación de Quillabamba, para distintos periodos de duración y periodos de retorno, la cual se muestra mediante la figura N° 17; puntualizando que se tratan de precipitaciones unitarias.
- Finalmente, se muestra la representación gráfica de las intensidades de precipitación unitaria, conocidas como curvas IDF o IDT, mediante la figura N° 18; para distintos periodos de duración y periodos de retorno.

CONCLUSIONES

Este capítulo muestra las conclusiones obtenidas en el trabajo de investigación realizado, los cuales se expresan a continuación:

- Al evaluar la confiabilidad del método de Bell en Quillabamba, contrastándolo con el método IILA, establecido en la norma OS.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones, se verificó que tiene un alto nivel de confiabilidad para los periodos de duración comprendidos de 5 a 240 minutos, y para periodos de retorno de 5 a 30 años.
- Se comparó las variaciones existentes en posición y forma para las intensidades calculadas por el método IILA y el método de Bell, comprobando que no existe variación significativa para los periodos de duración y de retorno analizados.
- AL correlacionar las intensidades calculadas por el método IILA y el método de Bell, se comprobó que existe una alta relación entre ellas, lo que además refuerza nuestra hipótesis general.
- Se estableció la expresión que permite generar las intensidades de precipitación para distintos periodos de duración y retorno; su expresión matemática es la siguiente::

$$I_{uT_r}^t = \frac{P_{uT_r}^t}{t_{min}} * 60' \text{ mm/hora}$$

Logrando representar gráficamente mediante las relaciones $I_u - D^t - T_r$ (Intensidad Unitaria – Periodo de Duración – Tiempo de Retorno). Para el cálculo de la intensidad real se usará la siguiente expresión:

$$I_T^t = \frac{P_{uT_r}^t}{t_{min}} * 60' * P_{10\text{años}}^{60'} \text{ mm/hora}$$

O directamente, a través de:

$$I_T^t = \frac{(0.1768 * \text{Ln}T + 0.5853) * (0.788 * t^{0.203} - 0.798)}{t_{min}} * 60' * P_{10\text{años}}^{60'}$$

RECOMENDACIONES

- Evaluar la metodología de Bell en otras estaciones meteorológicas de la provincia de La Convención, de tal manera que nos permita validar o ajustar la ecuación para las zonas de influencia de esas estaciones, talque se tenga ecuaciones obtenidas con información propia de la zona en estudio.
- En futuras investigaciones al respecto deben identificar la particularidad de la información y sector a analizar, pues aunque se provee de una determinada información; así como de una metodología, cada sector amerita el análisis y criterio idóneo para la obtención de resultados satisfactorios.
- Profundizar la aplicación de la metodología a otros niveles, como puede ser la generación de curvas Isoyetas o de mapas temáticos, con intervención de registro de temperatura y otros elementos.
- Continuar desarrollando investigación dirigida al análisis de precipitaciones máximas a partir de información pluviométrica, pues es la mayor cantidad de información con la que se cuenta en la región; y de manera general en el País.

BIBLIOGRAFÍA

- Antonio Mabres. (02 de Setiembre de 2015). *El Niño y sus efectos en el Perú*. Recuperado el 19 de Noviembre de 2016, de UDEP Hoy: <http://udep.edu.pe/hoy/2015/el-nino-y-sus-efectos-en-el-peru/>
- Aparicio Mijares, F. J. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. México, D. F.: Limusa.
- Aparicio Mijares, F. J. (2001). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. México, D. F.: LIMUSA.
- Ashkar, F., Bobée, B., Rasmussen, P., & Rosbjerg, D. (1994). A perspective on the annual maximum flood approach to flood frequency analysis. In *Stochastic and Statistical Methods in Hydrology and Environmental Engineering. Extreme Values: Floods and Droughts*, Vol. 1. Kluwer, Dordrecht, NL: Hipel, K. W., ed.
- Bell, F. C. (1969). Generalized Rainfall-Duration-Frequency Relationships. *Journal of Hydraulic Division, American Society of Civil Engineers*, Vol. 95(1), pp 311 - 327.
- Campos Aranda, D. F. (1998). *Procesos del Ciclo Hidrológico* (Vol. Tercera Reimpresión). San Luis Potosí, México: Universitaria Potosiana.
- Chereque Morán, W. (1989). *Hidrología para Estudiantes de Ingeniería Civil*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Fondo Editorial.
- Chow, V. T. (1951). A General Formula for Hydrologic Frequency. *Transactions American Geophysical*, Vol. 32(N° 2), pp 231 - 237.
- Comisión Europea. (19 de Noviembre de 2016). *Acción por el Clima*. Recuperado el 19 de Noviembre de 2016, de Comisión Europea: https://ec.europa.eu/clima/change/consequences/index_es.htm
- Defensoría del Pueblo. (2016). *Conoce las consecuencias del fenómeno El Niño y la responsabilidad que tienen las autoridades para afrontar los embates de la naturaleza*. Recuperado el 19 de Noviembre de 2016, de Defensoría del Pueblo: <http://www.defensoria.gob.pe/blog/conoce-las-consecuencias-del-fenomeno-el->

nino-y-la-responsabilidad-que-tienen-las-autoridades-para-afrontar-los-embates-de-la-naturaleza/

Elías Castillo, F., & Ruiz Beltrán, L. (1979). *Precipitaciones máximas en España: estimaciones basadas en métodos estadísticos* (Vol. 21). Madrid: Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza, Ministerio de Agricultura.

Espíldora, B. (1971). Estimación de curvas intensidad-duración-frecuencia mediante coeficientes generalizados. *Memorias I Coloquio Nacional Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica. Chile*, pp 274.

Fattorelli, S., & Fernández, P. C. (2011). *DISEÑO HIDROLÓGICO* (2da Edición ed.). Zaragoza, España: Edición digital, WASA-GN. Recuperado el 01 de Diciembre de 2016, de http://www.ina.gov.ar/pdf/Libro_diseno_hidrologico_edicion_digital.pdf

Gámez Morales, W. R. (2009). *Texto Básico de Hidrología*. Managua, Nicaragua: Editronic, S.A.

Global Voices. (02 de Setiembre de 2015). *Ocho efectos del cambio climático que está sufriendo África*. Recuperado el 19 de Noviembre de 2016, de Global Voices: <https://es.globalvoices.org/2015/09/02/ocho-efectos-del-cambio-climatico-que-esta-sufriendo-africa/>

Grimes, D. (2013). Organización Meteorológica Munidal. Costa Rica.

Hershfield, D. M. (1961). Estimating the probable maximum precipitation. *Journal Hydraulic Division, American Society of Civil Engineers*, pp 99 - 116.

INEI. (2007). *Censos de Población y Vivienda 2007 / Población*. Recuperado el 08 de Diciembre de 2016, de Sistema de consulta de resultados censales: <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/#>

Kite, G. (1988). *Frequency and Risk Analysis in Hydrology*. Littleton, Colorado. EEUU: Water Resources Publications.

La República. (27 de Febrero de 2016). *Todo el país sufre las consecuencias del fuerte temporal de lluvias*. Recuperado el 19 de Noviembre de 2016, de La república:

<http://larepublica.pe/impresia/en-portada/744531-todo-el-pais-sufre-las-consecuencias-del-fuerte-temporal-de-lluvias>

Martínez Rodríguez, E. (2005). Errores frecuentes en la interpretación del coeficiente de determinación lineal. *Anuario Jurídico y Económico Escurialense*, XXXVIII, 315 - 332. Recuperado el 01 de Diciembre de 2016, de http://www.rcumariacristina.com/wp-content/uploads/2010/12/11-Elena-Martinez_1.pdf

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (05 de Mayo de 2006). Reglamento Nacional de Edificaciones. Lima, Perú. Recuperado el 28 de Noviembre de 2016, de <http://www.sencico.gob.pe/publicaciones.php?id=230>

MTC. (2011). Manual de hidrología y drenaje. Aprobado mediante Resolución Directoral n.º 20-2011-MTC/14 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el 12 de setiembre de 2011. Lima.

Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2006). *Introucción al análisis de regresión lineal* (3era Edición ed.). México: Compañía Editorial Continental.

Municipalidad Provincial de La Convención. (12 de Julio de 2016). *Historia de La Provincia de La Convención*. Recuperado el 08 de Diciembre de 2016, de La Convención: http://www.munidelaconvencion.gob.pe/historia_convencion

OMM. (1981). Manual del Sistema Mundial de Observación, Volumen I, OMM N° 544. Ginebra, Suiza.

OMM. (1996). Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos, OMM N° 8. Ginebra, Suiza.

OMM. (2011). Guía de prácticas hidrológicas, Volumen I, Hidrología – De la medición a la información hidrológica, OMM N° 168, Sexta Edición. Ginebra, Suiza.

Pulgarín Dávila, E. G. (2009). Fórmulas regionales para la estimación de curvas intensidad-frecuencia-duración basadas en las propiedades de escala de la lluvia (Región Andina Colombiana). *Tesis de Maestría, Aprovechamiento de*

Recursos Hídricos. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Colombia.

Rendón Dávila, V. O. (Febrero de 2013). *Drenaje Pluvial de la Ciudad de Juliaca (Sector Los Virreyes) - Puno - Perú*. Tesis de Maestría, Máster en Ingeniería Civil, Universitat Politècnica de Catalunya. España.

RNE. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones. OS.060 Drenaje pluvial urbano*. Lima.

RPP Noticias. (01 de Setiembre de 2015). *Efectos de fenómeno El Niño ya se sienten en Cusco*. Recuperado el 19 de Noviembre de 2016, de Actualidad: <http://rpp.pe/peru/actualidad/efectos-de-fenomeno-el-nino-ya-se-sienten-en-cusco-noticia-831925>

SENAMHI. (Enero de 2014). *RIESGO CLIMATICO EN LA CUENCA DE LOS RIOS ICA Y ALTO PAMPAS*. Recuperado el 19 de Enero de 2017, de PROYECTO IMPLEMENTACION DE UN CENTRO DE PRONOSTICO HIDROMETEORÓLOGICO EN LA REGION ICA: http://ica.senamhi.gob.pe/estudios/DOC_RIESGO_ICA_FINAL.pdf

SENAMHI. (2016). *GUIA BÁSICA DE METEOROLOGÍA GENERAL, Capítulo 2*. Recuperado el 24 de Noviembre de 2016, de Aprendiendo: http://www.senamhi.gob.pe/main_down.php?ub=mmt&id=cpa?

SENAMHI. (2017). *Mapa de Estaciones*. Recuperado el 14 de Enero de 2017, de Estación Quillabamba: http://www.senamhi.gob.pe/include_mapas/_map_data_tesis.php?drEsta=08

Súclupe Girio, A. (2014). *Rankings Quillabamba, Cusco*. Obtenido de Perú Económico: <http://perueconomico.com/ediciones/88-2014-oct/articulos/1656-quillabamba-cusco>

TeleSur. (22 de Junio de 2016). *Lluvias en Asia dejan más de un centenar de muertos*. Recuperado el 19 de Noviembre de 2016, de TeleSur:

<http://www.telesurtv.net/news/Lluvias-en-Asia-dejan-mas-de-un-centenar-de-muertos--20160622-0007.html>

TelSur. (20 de Abril de 2016). *Inundaciones en América*. Recuperado el 19 de Noviembre de 2016, de Telesur en Profundidad: <http://www.telesurtv.net/telesuragenda/Repercusiones-de-El-Nino-en-Latinoamerica-20160420-0029.html>

USWRC. (1982). U.S. Water Resources Council. *Guidelines for Determining Flood Flow Frequency*, Bulletin nº 17 B.

Villón Béjar, M. (2002). *Hidrología*. Lima: Villón.

Villón Béjar, M. (s.f.). *Manual de Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos en Cuencas Hidrográficas*.

Wilches Yepes, S. (2001). Estudio de las Propiedades de Invarianza de las Precipitaciones Máximas Puntuales en el Departamento de Antioquía. *Tesis de Maestría, Aprovechamiento de Recursos Hídricos*. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Colombia.

Worldwildlife. (2016). *Impactos del cambio climático en Estados Unidos*. Recuperado el 19 de Noviembre de 2016, de Climático: <https://www.worldwildlife.org/climatico/impactos-del-cambio-climatico-en-estados-unidos>

ANEXOS

ANEXO I. Información meteorológica proporcionada por SENAMHI.

INFORMACIÓN METEOROLOGICA DE LA ESTACIÓN DE QUILLABAMBA

Estación: Quillabamba Código: 000606 Latitud: 12° 51' 22" SUR Departamento: Cusco
 Categoría: Convencional Longitud: 72° 41' 31" OESTE Provincia: La Convención
 Registro: Precipitación Máxima en 24 h (mm) Altitud: 990 m.s.n.m. Distrito: Santa Ana

	AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	1964						0.0	0.0	8.0	15.5	20.5		36.0
2	1965	19.0	31.0	41.0	36.0	2.0	1.0	21.8	10.4	37.0	24.2	15.9	28.0
3	1966	18.0	35.5	14.5	12.5	26.2	5.5	7.2	8.0	21.0	22.8	38.0	17.7
4	1967	17.0	30.0	25.0	12.2	7.2	8.0	18.0	8.9	15.0	18.2	17.5	25.3
5	1968	38.7	19.6	35.0	31.2	4.7	1.6	17.0	12.9	9.9	13.5	17.7	36.7
6	1969	19.9	20.8	26.5	22.3	11.0	30.0	6.5	5.9	7.5	12.5	35.0	22.2
7	1970	34.8	11.6	40.2	29.5	26.8	9.4	7.2	5.2	15.0	22.0	12.8	29.5
8	1971	15.0	42.5	22.0	24.3	15.5	29.7	1.5	3.7	15.0	8.8	17.7	17.2
9	1972	32.0	16.4	35.4	16.6	13.7	3.0	5.4	25.2	8.8	7.0	25.5	42.7
10	1973	28.6	33.4	19.5	26.2	12.9	8.0	20.0	24.8	14.3	34.0	35.7	30.8
11	1974	30.6	28.2	25.9	26.6	4.0	5.5	20.8	24.5	17.7	13.0	18.0	22.0
12	1975	42.2	32.5	39.8	33.0	14.5	7.5	9.0	16.5	14.2	16.5	42.4	32.6
13	1976	35.0	33.5	26.5	21.5	10.9	4.0	2.9	27.3	33.0	15.2	11.5	29.8
14	1977	31.0	40.2	21.9	9.3	35.6	1.4	18.0	1.2	21.1	8.5	19.8	28.3
15	1978	35.8	21.0	21.2	15.8	60.2	7.5	0.0	0.0	0.0	36.4	14.5	44.8
16	1979	30.6	20.7	18.8	16.2	11.4	0.0	10.5	1.3	2.8	11.2	31.2	33.4
17	1980	19.8	32.1	27.2	38.1	17.0	7.0	23.5	12.3	16.0	16.3	20.0	23.3
18	1981	27.2	39.5	39.5	27.5	10.5							
19	1982												
20	1983												
21	1984												
22	1985												
23	1986							0.0	0.0	0.0	0.0	58.0	41.8
24	1987	132.5	62.0	48.8	89.1	11.2	28.5	4.2	0.0	21.0	30.0	100.0	60.0
25	1988	46.0	82.2	77.0	41.2	25.0	0.0	0.0	0.0		22.4	29.2	37.4

26	1989			30.4	21.0	18.0	0.0	21.5	24.8	27.8	18.4	20.8	50.7
27	1990	78.4	63.1	45.2		60.7	68.0	8.2	25.3	32.5	56.8	39.8	40.8
28	1991	48.1	52.5	47.2	48.9								21.3
29	1992	23.3	22.1	28.1	31.1								
30	1993												
31	1994												
32	1995												
33	1996	22.0	21.0	18.0	15.4	21.0	2.5	6.1	16.7	17.8	17.5	17.0	20.5
34	1997	30.7	40.2	20.2	17.2	11.0	16.8	3.0	29.5	20.0	32.4	32.0	20.9
35	1998	39.4	24.5	38.4	19.2	4.2	4.8	0.0	1.0	63.8	24.8	12.0	34.3
36	1999	27.5	59.0	46.4	49.5	26.5	6.4	6.6	0.0	13.7	26.5	20.5	25.9
37	2000	57.9	44.7	20.0	15.5	7.6	15.8	0.6	14.2	17.0	25.3	13.1	20.0
38	2001	44.7	44.3	30.3	14.0	10.6	2.2	15.0	9.5	11.2		33.2	16.5
39	2002	21.8	54.5	47.1	10.3	9.2	5.5	12.9	23.1	8.0	25.3	25.2	57.1
40	2003	46.2	36.0	30.0	24.6	5.6	3.4	5.0	27.5	22.3	20.4	22.3	27.0
41	2004	21.2	31.0	21.8		18.4	6.6	38.1	14.5	14.0	19.2	28.9	20.0
42	2005	29.4	28.3	28.2	26.2	24.6	6.9	20.3	5.2	15.7	18.5	8.1	40.6
43	2006	49.0	23.4	43.6	39.2	4.2	8.2	4.5	14.8	5.9	18.8	25.9	26.9
44	2007	52.6	18.9	20.3	31.5	17.3	10.2	7.1		5.5	38.0	32.3	19.7
45	2008	53.1	22.8	15.6	34.0	7.9	0.6	10.8	19.2	18.5	24.2	16.2	27.8
46	2009		38.2	28.0	9.8	6.5	2.3	7.8	4.0	5.0	33.2	54.0	25.2
47	2010	18.4	83.8	36.8	26.8	7.6	9.4	9.0	13.4	22.2	54.6	25.4	26.6
48	2011	24.2	34.6	30.4	28.0	15.2	12.0	12.4	26.8	7.8	49.0	34.0	31.0
49	2012	30.4		21.4	26.8	10.4		10.2	16.2		12.4	12.4	38.8
50	2013	20.6	34.6	30.2	38.0	7.6	10.0		34.0	26.4	31.4	31.2	34.2
51	2014	39.4	46.0	42.0	14.8	22.4	0.0	17.6	4.6	16.0	19.0	29.0	30.6
52	2015	31.8	32.0	27.8	16.0	12.8	10.5	3.0	14.5	6.5	19.8	19.2	15.2

Fuente: SENAMHI.

ANEXO II. Resumen de cálculo de datos OUTLIERS.

	MÁXIMO VALOR DE LA SERIE	LOG(MÁXIMO VALOR DE LA SERIE)	Máximo Dato - Máximo Permissible.	Máximo Dato - Mínimo Permissible.
1	41.0	1.613	63.4	22.3
2	38.0	1.580	66.4	19.3
3	30.0	1.477	74.4	11.3
4	38.7	1.588	65.7	20.0
5	35.0	1.544	69.4	16.3
6	40.2	1.604	64.2	21.5
7	42.5	1.628	61.9	23.8
8	42.7	1.630	61.7	24.0
9	35.7	1.553	68.7	17.0
10	30.6	1.486	73.8	11.9
11	42.4	1.627	62.0	23.7
12	35.0	1.544	69.4	16.3
13	40.2	1.604	64.2	21.5
14	60.2	1.780	44.2	41.5
15	33.4	1.524	71.0	14.7
16	38.1	1.581	66.3	19.4
17	132.5	2.122	-28.1	113.8
18	22.0	1.342	82.4	3.3
19	40.2	1.604	64.2	21.5
20	63.8	1.805	40.6	45.1
21	59.0	1.771	45.4	40.3
22	57.9	1.763	46.5	39.2
23	57.1	1.757	47.3	38.4
24	46.2	1.665	58.2	27.5
25	40.6	1.609	63.8	21.9
26	49.0	1.690	55.4	30.3
27	53.1	1.725	51.3	34.4
28	83.8	1.923	20.6	65.1
29	49.0	1.690	55.4	30.3
30	46.0	1.663	58.4	27.3
31	32.0	1.505	72.4	13.3

n=	31
Ypromedio	1.65
Desviación Estándar	0.145
Ko	2.577
Ya	2.019
Yb	1.272
Máximo dato permisible	104.366
Mínimo dato permisible	18.687

El valor sombreado de rojo, **supera el máximo permisible.**
Retiramos este valor de la serie.

Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO III. Parámetros del test de datos dudosos (outliers) para 10% de nivel de significancia para distribución normal.

Tamaño de muestra, n	K _o	Tamaño de muestra, n	K _o	Tamaño de muestra, n	K _o	Tamaño de muestra, n	K _o
10	2.036	45	2.727	80	2.940	115	3.064
11	2.088	46	2.736	81	2.945	116	3.067
12	2.134	47	2.744	82	2.949	117	3.070
13	2.165	48	2.753	83	2.953	118	3.073
14	2.213	49	2.760	84	2.957	119	3.075
15	2.247	50	2.768	85	2.961	120	3.078
16	2.279	51	2.775	86	2.966	121	3.081
17	2.309	52	2.783	87	2.970	122	3.083
18	2.335	53	2.790	88	2.973	123	3.086
19	2.361	54	2.798	89	2.977	124	3.089
20	2.385	55	2.804	90	2.981	125	3.092
21	2.408	56	2.811	91	2.984	126	3.095
22	2.429	57	2.818	92	2.989	127	3.097
23	2.448	58	2.824	93	2.993	128	3.100
24	2.467	59	2.831	94	2.996	129	3.102
25	2.487	60	2.837	95	3.000	130	3.104
26	2.502	61	2.842	96	3.003	131	3.107
27	2.510	62	2.849	97	3.006	132	3.109
28	2.534	63	2.854	98	3.011	133	3.112
29	2.549	64	2.860	99	3.014	134	3.114
30	2.563	65	2.866	100	3.017	135	3.116
31	2.577	66	2.871	101	3.021	136	3.119
32	2.591	67	2.877	102	3.024	137	3.122
33	2.604	68	2.883	103	3.027	138	3.124
34	2.616	69	2.888	104	3.030	139	3.126
35	2.628	70	2.893	105	3.033	140	3.129
36	2.639	71	2.897	106	3.037	141	3.131
37	2.650	72	2.903	107	3.040	142	3.133
38	2.661	73	2.908	108	3.043	143	3.135
39	2.671	74	2.912	109	3.046	144	3.138
40	2.682	75	2.917	110	3.049	145	3.140
41	2.692	76	2.922	111	3.052	146	3.142
41	2.700	77	2.927	112	3.055	147	3.144
43	2.710	78	2.931	113	3.058	148	3.146
44	2.720	79	2.935	114	3.061	149	3.148

Fuente: DISEÑO HIDROLÓGICO - Fattorelli, S., & Fernández, P. C. (2011).

ANEXO IV. Ejemplo de prueba de bondad de ajuste sin uso del software

Hidroesta, para la distribución Gumbel.

	AÑO	Máx. Dic-Abr.	P1hora= 0.3862*P max24h	DE MENOR A MAYOR	P(x)	(Xi- Xprom) ²	y	G(Y)	DELTA TEORICO G(Y)-P(x)
1	1965	41.0	15.834	8.4964	0.0323	58.8081	-1.5687	0.0082	0.0240
2	1966	35.5	13.710	10.2343	0.0645	35.1737	-1.0824	0.0522	0.0123
3	1967	30.0	11.586	11.5860	0.0968	20.9677	-0.7042	0.1324	0.0356
4	1968	38.7	14.946	11.8177	0.1290	18.8992	-0.6393	0.1503	0.0213
5	1969	26.5	10.234	12.3584	0.1613	14.4905	-0.4880	0.1961	0.0348
6	1970	40.2	15.525	12.8991	0.1935	10.6665	-0.3368	0.2465	0.0530
7	1971	42.5	16.414	12.8991	0.2258	10.6665	-0.3368	0.2465	0.0207
8	1972	42.7	16.491	13.3625	0.2581	7.8541	-0.2071	0.2923	0.0342
9	1973	33.4	12.899	13.5170	0.2903	7.0121	-0.1638	0.3079	0.0176
10	1974	30.6	11.818	13.7101	0.3226	6.0268	-0.1098	0.3276	0.0050
11	1975	42.2	16.298	14.7142	0.3548	2.1049	0.1712	0.4306	0.0757
12	1976	35.0	13.517	14.9459	0.3871	1.4862	0.2360	0.4539	0.0669
13	1977	40.2	15.525	15.2163	0.4194	0.9002	0.3117	0.4808	0.0615
14	1978	44.8	17.302	15.5252	0.4516	0.4094	0.3981	0.5109	0.0593
15	1979	33.4	12.899	15.5252	0.4839	0.4094	0.3981	0.5109	0.0270
16	1980	38.1	14.714	15.5252	0.5161	0.4094	0.3981	0.5109	0.0052
17	1996	22.0	8.496	15.6797	0.5484	0.2355	0.4413	0.5256	0.0228
18	1997	40.2	15.525	15.8342	0.5806	0.1095	0.4846	0.5401	0.0405
19	1998	39.4	15.216	16.2976	0.6129	0.0176	0.6143	0.5821	0.0308
20	1999	59.0	22.786	16.4135	0.6452	0.0617	0.6467	0.5923	0.0529
21	2000	57.9	22.361	16.4907	0.6774	0.1061	0.6683	0.5989	0.0785
22	2002	57.1	22.052	17.3018	0.7097	1.2921	0.8952	0.6646	0.0450
23	2003	46.2	17.842	17.7652	0.7419	2.5605	1.0249	0.6985	0.0434
24	2005	40.6	15.680	17.8424	0.7742	2.8137	1.0465	0.7039	0.0703
25	2006	49.0	18.924	18.9238	0.8065	7.6107	1.3491	0.7715	0.0350
26	2008	53.1	20.507	20.5072	0.8387	18.8545	1.7922	0.8465	0.0078
27	2010	83.8	32.364	22.0520	0.8710	34.6565	2.2245	0.8975	0.0265
28	2011	34.6	13.363	22.3610	0.9032	38.3896	2.3109	0.9056	0.0024
29	2014	46.0	17.765	22.7858	0.9355	43.8344	2.4298	0.9157	0.0198
30	2015	32.0	12.358	32.3636	0.9677	262.3919	5.1099	0.9940	0.0262
	Media = Xprom:			16.1650	Suma:	609.2189		Máximo:	0.0785

Fuente: Elaboración Propia.

Como el delta teórico 0.0785, es menor que el delta tabular 0.2400. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%.

ANEXO V. Valores críticos de Delta del Estadístico Smirnov – Kolmogorov.

Tamaño Muestral (n)	Nivel de significación, alfa				
	0.2	0.15	0.1	0.05	0.01
1	0.900	0.925	0.950	0.975	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	0.510	0.565	0.669
6	0.410	0.436	0.470	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	0.360	0.388	0.432	0.514
10	0.322	0.342	0.368	0.410	0.490
11	0.307	0.326	0.352	0.391	0.468
12	0.295	0.313	0.338	0.375	0.450
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	0.250	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	0.210	0.220	0.240	0.270	0.320
28	0.198	0.208	0.228	0.252	0.302
30	0.190	0.200	0.220	0.240	0.290
35	0.180	0.190	0.210	0.230	0.270
40	0.170	0.180	0.190	0.210	0.250
45	0.160	0.170	0.180	0.200	0.240
50	0.150	0.161	0.170	0.190	0.230
>50	$1.07/(N)^{1/2}$	$1.14/(N)^{1/2}$	$1.22/(N)^{1/2}$	$1.36/(N)^{1/2}$	$1.63/(N)^{1/2}$

Fuente: Hidrología Estadística - Máximo Villón, (2002).

El estadístico Δ , tiene su función de distribución de probabilidades.

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

$$P(\Delta \geq \Delta_0) = \alpha$$

$$P(\Delta < \Delta_0) = 1 - \alpha$$

Al utilizar este estadístico, se sugiere tener en cuenta lo siguiente:

- Realizar el cálculo de la probabilidad empírica o experimental, $P(x)$, de los datos. Útil la expresión de Weibull.

$$P(x) = \frac{M}{N + 1}$$

- Determinar la probabilidad teórica, $F(z)$, en función de la variable Estandarizada "Z":

$$Z = \frac{x - \bar{x}}{s}$$

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

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

Para seleccionar el valor de $F(z)$, puede utilizarse la tabulación de la Distribución Normal Acumulada, dado en Anexo VI.

- Calcular: $F(z) - P(x)$.
- Seleccionar la máxima diferencia :

$$\Delta = |F(z) - P(x)|_{max}$$

- Hallar el valor crítico del estadístico Δ , es decir Δ_0 para el nivel de significancia α , y el número de datos, N .
- Realizar la comparación Δ con Δ_0 ; si:

$\Delta < \Delta_0$, el ajuste es bueno, por tanto los datos se ajustan a la distribución normal.

$\Delta \geq \Delta_0$, el ajuste no es bueno, por lo tanto los datos no se ajustan a la distribución normal.

ANEXO VI. Valores de la Distribución Normal Acumulada.

$$F(Z) = \int_{-\infty}^Z \frac{1}{\sqrt{2*\pi}} * e^{-\frac{u^2}{2}} du \quad \text{Para "Z", positivo.}$$

$$F(z) = 1 - F(Z) \quad \text{Para "Z", negativo.}$$

Normal (Z)	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0	0.50000	0.50399	0.50798	0.51197	0.51595	0.51994	0.52392	0.5279	0.53188	0.53586
0.1	0.53983	0.54380	0.54776	0.55172	0.55567	0.55962	0.56356	0.56749	0.57142	0.57535
0.2	0.57926	0.58317	0.58706	0.59095	0.59483	0.59871	0.60257	0.60642	0.61026	0.61409
0.3	0.61791	0.62172	0.62552	0.62930	0.63307	0.63683	0.64058	0.64431	0.64803	0.65173
0.4	0.65542	0.65910	0.66276	0.66640	0.67003	0.67364	0.67724	0.68082	0.68439	0.68793
0.5	0.69146	0.69497	0.69847	0.70194	0.7054	0.70884	0.71226	0.71566	0.71904	0.72240
0.6	0.72575	0.72907	0.73237	0.73565	0.73891	0.74215	0.74537	0.74857	0.75175	0.75490
0.7	0.75804	0.76115	0.76424	0.76730	0.77035	0.77337	0.77637	0.77935	0.7823	0.78524
0.8	0.78814	0.79103	0.79389	0.79673	0.79955	0.80234	0.80511	0.80785	0.81057	0.81327
0.9	0.81594	0.81859	0.82121	0.82381	0.82639	0.82894	0.83147	0.83398	0.83646	0.83891
1	0.84134	0.84375	0.84614	0.84849	0.85083	0.85314	0.85543	0.85769	0.85993	0.86214
1.1	0.86433	0.86650	0.86864	0.87076	0.87286	0.87493	0.87698	0.87900	0.88100	0.88298
1.2	0.88493	0.88686	0.88877	0.89065	0.89251	0.89435	0.89617	0.89796	0.89973	0.90147
1.3	0.90320	0.90490	0.90658	0.90824	0.90988	0.91149	0.91308	0.91466	0.91621	0.91774
1.4	0.91924	0.92073	0.92220	0.92364	0.92507	0.92647	0.92785	0.92922	0.93056	0.93189
1.5	0.93319	0.93448	0.93574	0.93699	0.93822	0.93943	0.94062	0.94179	0.94295	0.94408
1.6	0.94520	0.94630	0.94738	0.94845	0.9495	0.95053	0.95154	0.95254	0.95352	0.95449
1.7	0.95543	0.95637	0.95728	0.95818	0.95907	0.95994	0.96080	0.96164	0.96246	0.96327
1.8	0.96407	0.96485	0.96562	0.96638	0.96712	0.96784	0.96856	0.96926	0.96995	0.97062
1.9	0.97128	0.97193	0.97257	0.97320	0.97381	0.97441	0.97500	0.97558	0.97615	0.9767
2	0.97725	0.97778	0.97831	0.97882	0.97932	0.97982	0.9803	0.98077	0.98124	0.98169
2.1	0.98214	0.98257	0.98300	0.98341	0.98382	0.98422	0.98461	0.98500	0.98537	0.98574
2.2	0.98610	0.98645	0.98679	0.98713	0.98745	0.98778	0.98809	0.98840	0.98870	0.98899
2.3	0.98928	0.98956	0.98983	0.99010	0.99036	0.99061	0.99086	0.99111	0.99134	0.99158
2.4	0.99180	0.99202	0.99224	0.99245	0.99266	0.99286	0.99305	0.99324	0.99343	0.99361
2.5	0.99379	0.99396	0.99413	0.99430	0.99446	0.99461	0.99477	0.99492	0.99506	0.99520
2.6	0.99534	0.99547	0.99560	0.99573	0.99585	0.99598	0.99609	0.99621	0.99632	0.99643
2.7	0.99653	0.99664	0.99674	0.99683	0.99693	0.99702	0.99711	0.99720	0.99728	0.99736
2.8	0.99744	0.99752	0.9976	0.99767	0.99774	0.99781	0.99788	0.99795	0.99801	0.99807
2.9	0.99813	0.99819	0.99825	0.99831	0.99836	0.99841	0.99846	0.99851	0.99856	0.99861
3	0.99865	0.99869	0.99874	0.99878	0.99882	0.99886	0.99889	0.99893	0.99896	0.99900
3.1	0.99903	0.99906	0.99910	0.99913	0.99916	0.99918	0.99921	0.99924	0.99926	0.99929
3.2	0.99931	0.99934	0.99936	0.99938	0.99940	0.99942	0.99944	0.99946	0.99948	0.99950
3.3	0.99952	0.99953	0.99955	0.99957	0.99958	0.99960	0.99961	0.99962	0.99964	0.99965
3.4	0.99966	0.99968	0.99969	0.99970	0.99971	0.99972	0.99973	0.99974	0.99975	0.99976
3.5	0.99977	0.99978	0.99978	0.99979	0.99980	0.99981	0.99981	0.99982	0.99983	0.99983
3.6	0.99984	0.99985	0.99985	0.99986	0.99986	0.99987	0.99987	0.99988	0.99988	0.99989
3.7	0.99989	0.9999	0.9999	0.9999	0.99991	0.99991	0.99992	0.99992	0.99992	0.99992
3.8	0.99993	0.99993	0.99993	0.99994	0.99994	0.99994	0.99994	0.99995	0.99995	0.99995
3.9	0.99995	0.99995	0.99996	0.99996	0.99996	0.99996	0.99996	0.99996	0.99997	0.99997
4	0.99997	0.99997	0.99997	0.99997	0.99997	0.99997	0.99998	0.99998	0.99998	0.99998

Fuente: Hald, A., 1952, Statistical Tables and Formulas.

ANEXO VII. Medida de aproximación entre las variables.

Correlación	Valor o Rango
Perfecta	$R = 1$
Excelente	$0.9 \leq R < 1$
Buena	$0.8 \leq R < 0.9$
Regular	$0.5 \leq R < 0.8$
Mala	$R < 0.5$

- Ejemplo de obtener los parámetros de la ecuación de regresión lineal y el coeficiente de correlación y de determinación; para la distribución Gumbel.

	x	y	x*y	x ²	y ²
	0.6931	0.6960	0.4824	0.4805	0.4845
	1.6094	0.8790	1.4146	2.5903	0.7726
n= 6	2.3026	1	2.3026	5.3019	1
	3.2189	1.1531	3.7117	10.3612	1.3297
	3.9120	1.2669	4.9563	15.3039	1.6051
	4.6052	1.3794	6.3524	21.2076	1.9028
suma	16.3412	6.3744	19.2201	55.2453	7.0946
promedio	2.7235	1.0624	3.2033		

Parámetros			
a=	0.5509	b=	0.1731

Valores que se muestran en la ecuación (61)

Coeficiente de correlación; $r = 0.9992$; grado de aproximación: **Excelente**.

Coeficiente de determinación; $r^2 = 0.9984$

ANEXO VIII. Valores críticos de la prueba t.

gl (n-2)	Tabla de valores críticos de la prueba t						
	α/2						
	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0005
2	0.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.596
3	0.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.924
4	0.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
5	0.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.869
6	0.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.408
8	0.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041
9	0.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
10	0.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
11	0.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437
12	0.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
13	0.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221
14	0.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140
15	0.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	0.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
17	0.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
18	0.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922
19	0.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
20	0.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850
25	0.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725
26	0.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.706
27	0.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.690
28	0.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674
29	0.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.659
30	0.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646
40	0.681	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551
60	0.679	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.460
120	0.677	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.373
Infinito	0.674	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.291

Fuente: Hidrología estadística – Máximo Villón 2002.

- Ejemplo de prueba t, para el grado de asociación de las variables para el método Gumbel.

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

$$t_c = 49.642 > 2.776 = t_t$$

* Utilizamos valores
de la tabla A-5 del libro
Hidrología Estadística

$$g = 4 = 6 - 2$$

$$P = 95\%$$

$$\alpha/2 = 0.025$$

de Máximo Villón (p-634)

$$t_t = 2.776$$

Como $|t_c| > t_t$ **Existe Correlación entre las variables**

ANEXO IX. Prueba de bondad de ajuste con software Hidroesta, para la distribución Gumbel.

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	Delta
1	8.4960	0.0323	0.0082	0.0240
2	10.2340	0.0645	0.0522	0.0123
3	11.5860	0.0968	0.1324	0.0356
4	11.8180	0.1290	0.1503	0.0213
5	12.3580	0.1613	0.1961	0.0348
6	12.8990	0.1935	0.2465	0.0530
7	12.8990	0.2258	0.2465	0.0207
8	13.3630	0.2581	0.2924	0.0343
9	13.5170	0.2903	0.3079	0.0176
10	13.7100	0.3226	0.3276	0.0050
11	14.7140	0.3548	0.4306	0.0757
12	14.9460	0.3871	0.4540	0.0669
13	15.2160	0.4194	0.4808	0.0615
14	15.5250	0.4516	0.5109	0.0593
15	15.5250	0.4839	0.5109	0.0270
16	15.5250	0.5161	0.5109	0.0052
17	15.6800	0.5484	0.5257	0.0227
18	15.8340	0.5806	0.5401	0.0405
19	16.2980	0.6129	0.5822	0.0307
20	16.4140	0.6452	0.5923	0.0528
21	16.4910	0.6774	0.599	0.0784
22	17.3020	0.7097	0.6647	0.0450
23	17.7650	0.7419	0.6985	0.0434
24	17.8420	0.7742	0.7039	0.0703
25	18.9240	0.8065	0.7715	0.0350
26	20.5070	0.8387	0.8465	0.0078
27	22.0520	0.871	0.8975	0.0266
28	22.3610	0.9032	0.9056	0.0024
29	22.7860	0.9355	0.9157	0.0198
30	32.3640	0.9677	0.994	0.0262
Media = X_{prom}:		16.1650	Máximo:	0.0784

Fuente: Elaboración Propia.

Coeficiente de Escala: α (alfa) = 3.57370.

Coeficiente de Posición: μ = 14.1022.

Como el delta teórico 0.0784, es menor que el delta tabular 0.2483. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%.

ANEXO X. Prueba de bondad de ajuste con software Hidroesta, para la distribución Gamma de 2 Parámetros.

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	Delta
1	8.49600	0.03230	0.01640	0.01590
2	10.23400	0.06450	0.06210	0.00240
3	11.58600	0.09680	0.13140	0.03470
4	11.81800	0.12900	0.14650	0.01750
5	12.35800	0.16130	0.18510	0.02390
6	12.89900	0.19350	0.22820	0.03470
7	12.89900	0.22580	0.22820	0.00240
8	13.36300	0.25810	0.26810	0.01010
9	13.51700	0.29030	0.28190	0.00840
10	13.71000	0.32260	0.29940	0.02310
11	14.71400	0.35480	0.39470	0.03990
12	14.94600	0.38710	0.41730	0.03020
13	15.21600	0.41940	0.44360	0.02420
14	15.52500	0.45160	0.47360	0.02190
15	15.52500	0.48390	0.47360	0.01030
16	15.52500	0.51610	0.47360	0.04260
17	15.68000	0.54840	0.48850	0.05990
18	15.83400	0.58060	0.50330	0.07730
19	16.29800	0.61290	0.54720	0.06570
20	16.41400	0.64520	0.55790	0.08720
21	16.49100	0.67740	0.56500	0.11240
22	17.30200	0.70970	0.63690	0.07280
23	17.76500	0.74190	0.67500	0.06690
24	17.84200	0.77420	0.68120	0.09300
25	18.92400	0.80650	0.75990	0.04650
26	20.50700	0.83870	0.84960	0.01090
27	22.05200	0.87100	0.90980	0.03880
28	22.36100	0.90320	0.91910	0.01590
29	22.78600	0.93550	0.93050	0.00500
30	32.36400	0.96770	0.99900	0.03130
MÁXIMO:				0.11240

Fuente: Elaboración Propia.

Parámetro de Escala: $\beta = 1.1011.$

Parámetro de Forma: $\gamma = 14.6806.$

Como el delta teórico 0.11240, es menor que el delta tabular 0.2483. Los datos se ajustan a la distribución Gamma de 2 Parámetros, con un nivel de significación del 5%.

ANEXO XI. Prueba de bondad de ajuste con software Hidroesta, para la distribución Log Normal de 2 Parámetros.

m	X	P(X)	F(Z) Ordinario	Delta
1	8.49600	0.03230	0.01020	0.02210
2	10.23400	0.06450	0.05360	0.01090
3	11.58600	0.09680	0.12760	0.03080
4	11.81800	0.12900	0.14410	0.01500
5	12.35800	0.16130	0.18620	0.02490
6	12.89900	0.19350	0.23310	0.03950
7	12.89900	0.22580	0.23310	0.00730
8	13.36300	0.25810	0.27620	0.01820
9	13.51700	0.29030	0.29100	0.00070
10	13.71000	0.32260	0.30980	0.01280
11	14.71400	0.35480	0.41020	0.05530
12	14.94600	0.38710	0.43350	0.04640
13	15.21600	0.41940	0.46050	0.04110
14	15.52500	0.45160	0.49100	0.03930
15	15.52500	0.48390	0.49100	0.00710
16	15.52500	0.51610	0.49100	0.02520
17	15.68000	0.54840	0.50610	0.04230
18	15.83400	0.58060	0.52090	0.05970
19	16.29800	0.61290	0.56450	0.04840
20	16.41400	0.64520	0.57510	0.07000
21	16.49100	0.67740	0.58210	0.09530
22	17.30200	0.70970	0.65180	0.05790
23	17.76500	0.74190	0.68820	0.05370
24	17.84200	0.77420	0.69400	0.08010
25	18.92400	0.80650	0.76780	0.03860
26	20.50700	0.83870	0.85030	0.01160
27	22.05200	0.87100	0.90570	0.03470
28	22.36100	0.90320	0.91430	0.01110
29	22.78600	0.93550	0.92500	0.01050
30	32.36400	0.96770	0.99730	0.02950
Máximo:				0.09530

Fuente: Elaboración Propia.

Parámetro de Escala: $\mu_y = 2.74840$.

Parámetro de Forma: $\sigma_y = 0.26240$.

Como el delta teórico 0.9530, es menor que el delta tabular 0.2483. Los datos se ajustan a la distribución Log Normal de 2 Parámetros, con un nivel de significación del 5%.

ANEXO XII. Prueba de bondad de ajuste con software Hidroesta, para la distribución Log Pearson Tipo III.

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	Delta
1	8.49600	0.03230	0.00360	0.02870
2	10.23400	0.06450	0.04120	0.02340
3	11.58600	0.09680	0.12200	0.02520
4	11.81800	0.12900	0.14060	0.01160
5	12.35800	0.16130	0.18840	0.02710
6	12.89900	0.19350	0.24110	0.04760
7	12.89900	0.22580	0.24110	0.01530
8	13.36300	0.25810	0.28900	0.03100
9	13.51700	0.29030	0.30530	0.01500
10	13.71000	0.32260	0.32580	0.00320
11	14.71400	0.35480	0.43240	0.07760
12	14.94600	0.38710	0.45650	0.06940
13	15.21600	0.41940	0.48410	0.06470
14	15.52500	0.45160	0.51480	0.06320
15	15.52500	0.48390	0.51480	0.03100
16	15.52500	0.51610	0.51480	0.00130
17	15.68000	0.54840	0.52990	0.01850
18	15.83400	0.58060	0.54460	0.03600
19	16.29800	0.61290	0.58730	0.02560
20	16.41400	0.64520	0.59760	0.04760
21	16.49100	0.67740	0.60430	0.07310
22	17.30200	0.70970	0.67040	0.03930
23	17.76500	0.74190	0.70420	0.03770
24	17.84200	0.77420	0.70960	0.06460
25	18.92400	0.80650	0.77670	0.02970
26	20.50700	0.83870	0.85050	0.01180
27	22.05200	0.87100	0.90010	0.02910
28	22.36100	0.90320	0.90790	0.00470
29	22.78600	0.93550	0.91770	0.01780
30	32.36400	0.96770	0.99330	0.02560
Máximo:				0.07760

Fuente: Elaboración Propia.

Parámetro de Posición: $X_0 = 1.28650$

Parámetro de Forma: $\gamma = 31.0287$

Parámetro de Escala: $\beta = 0.04710$

Como el delta teórico 0.09530, es menor que el delta tabular 0.2483. Los datos se ajustan a la distribución Log Normal de 2 Parámetros, con un nivel de significación del 5%.

ANEXO XIII. Valores de \bar{Y}_N y σ_N para la distribución Gumbel.

Tabla de valores \bar{Y}_N y σ_N en función de N								
N	\bar{Y}_N	σ_N	N	\bar{Y}_N	σ_N	N	\bar{Y}_N	σ_N
8	0.48430	0.90430	29	0.53530	1.10860	50	0.54854	1.16066
9	0.49020	0.92880	30	0.53622	1.11238	51	0.54890	1.16230
10	0.49520	0.94970	31	0.53710	1.11590	52	0.54930	1.16380
11	0.49960	0.96760	32	0.53800	1.11930	53	0.54970	1.16530
12	0.50530	0.98330	33	0.53880	1.12260	54	0.55010	1.16670
13	0.50700	0.99720	34	0.53960	1.12550	55	0.55040	1.16810
14	0.51000	1.00950	35	0.54034	1.12847	56	0.55080	1.16960
15	0.51280	1.02057	36	0.54100	1.13130	57	0.55110	1.17080
16	0.51570	1.03160	37	0.54180	1.13390	58	0.55150	1.17210
17	0.51810	1.04110	38	0.54240	1.13630	59	0.55180	1.17340
18	0.52020	0.10493	39	0.54300	1.13880	60	0.55208	1.17467
19	0.52200	1.05660	40	0.54362	1.14132	65	0.55350	1.18030
20	0.52355	1.06283	41	0.54420	1.14360	70	0.55477	1.18536
21	0.52520	1.06960	42	0.54480	1.14580	75	0.55590	1.18980
22	0.52680	1.07540	43	0.54530	1.14800	80	0.55688	1.19382
23	0.52830	1.08110	44	0.54580	1.14990	85	0.55780	1.19730
24	0.52960	1.08640	45	0.54630	1.15185	90	0.55860	1.20073
25	0.53086	1.09145	46	0.54680	1.15380	95	0.55930	1.20380
26	0.53200	1.09610	47	0.54730	1.15570	100	0.56002	1.20649
27	0.53320	1.10040	48	0.54770	1.15740			
28	0.53430	1.10470	49	0.54810	1.15900			

Fuente: Hidrología - Máximo Villón.

ANEXO XIV. Valores de $\Gamma(y)$ (Función Gamma) para $1 \leq y \leq 2$; para la distribución Gamma de 2 Parámetros.

X	$\Gamma(X)$	X	$\Gamma(X)$	X	$\Gamma(X)$	X	$\Gamma(X)$
1	1.00000	1.25	0.90640	1.5	0.88623	1.75	0.91906
1.01	0.99433	1.26	0.90440	1.51	0.88659	1.76	0.92137
1.02	0.98884	1.27	0.90250	1.52	0.88704	1.77	0.92376
1.03	0.98355	1.28	0.90072	1.53	0.88757	1.78	0.92623
1.04	0.97844	1.29	0.89904	1.54	0.88818	1.79	0.92877
1.05	0.97350	1.3	0.89747	1.55	0.88887	1.8	0.93138
1.06	0.96874	1.31	0.89600	1.56	0.88964	1.81	0.93408
1.07	0.96415	1.32	0.89464	1.57	0.89049	1.82	0.93685
1.08	0.95973	1.33	0.89338	1.58	0.89142	1.83	0.93969
1.09	0.95546	1.34	0.89222	1.59	0.89243	1.84	0.94261
1.1	0.95135	1.35	0.89115	1.6	0.89352	1.85	0.94561
1.11	0.94740	1.36	0.89018	1.61	0.89468	1.86	0.94869
1.12	0.94359	1.37	0.88931	1.62	0.89592	1.87	0.95184
1.13	0.93993	1.38	0.88854	1.63	0.89724	1.88	0.95507
1.14	0.93642	1.39	0.88785	1.64	0.89864	1.89	0.95838
1.15	0.93304	1.4	0.88726	1.65	0.90012	1.9	0.96177
1.16	0.92980	1.41	0.88676	1.66	0.90167	1.91	0.96523
1.17	0.92670	1.42	0.88636	1.67	0.90330	1.92	0.96877
1.18	0.92373	1.43	0.88604	1.68	0.90500	1.93	0.97240
1.19	0.92089	1.44	0.88581	1.69	0.90678	1.94	0.97610
1.2	0.91817	1.45	0.88566	1.7	0.90864	1.95	0.97988
1.21	0.91558	1.46	0.88560	1.71	0.91057	1.96	0.98374
1.22	0.91311	1.47	0.88563	1.72	0.91258	1.97	0.98768
1.23	0.91075	1.48	0.88575	1.73	0.91467	1.98	0.99171
1.24	0.90852	1.49	0.88595	1.74	0.91683	1.99	0.99581
						2	1.00000

Fuente: Valores obtenidos de la hoja de cálculo Excel, mediante la expresión

=EXP(GAMMA.LN("Celda Valor"))

ANEXO XV. Factores de frecuencia K, de la distribución normal, para utilizar en la distribución Log Normal de 2 Parámetros.

P(X≤x) (%)	Tr (años)	K
0.1	1.001	-3.0902
1.0	1.01	-2.3264
2.0	1.02	-2.0538
5.0	1.053	-1.6449
10.0	1.111	-1.2816
20.0	1.25	-0.8416
50.0	2	0
80.0	5	0.8416
90.0	10	1.2816
95.0	20	1.6449
96.0	25	1.71305
98.0	50	2.0538
99.0	100	2.3264
99.8	500	2.8782
99.9	1000	3.0902

Fuente: Procesos del Ciclo Hidrológico - Daniel Francisco Campos Aranda.

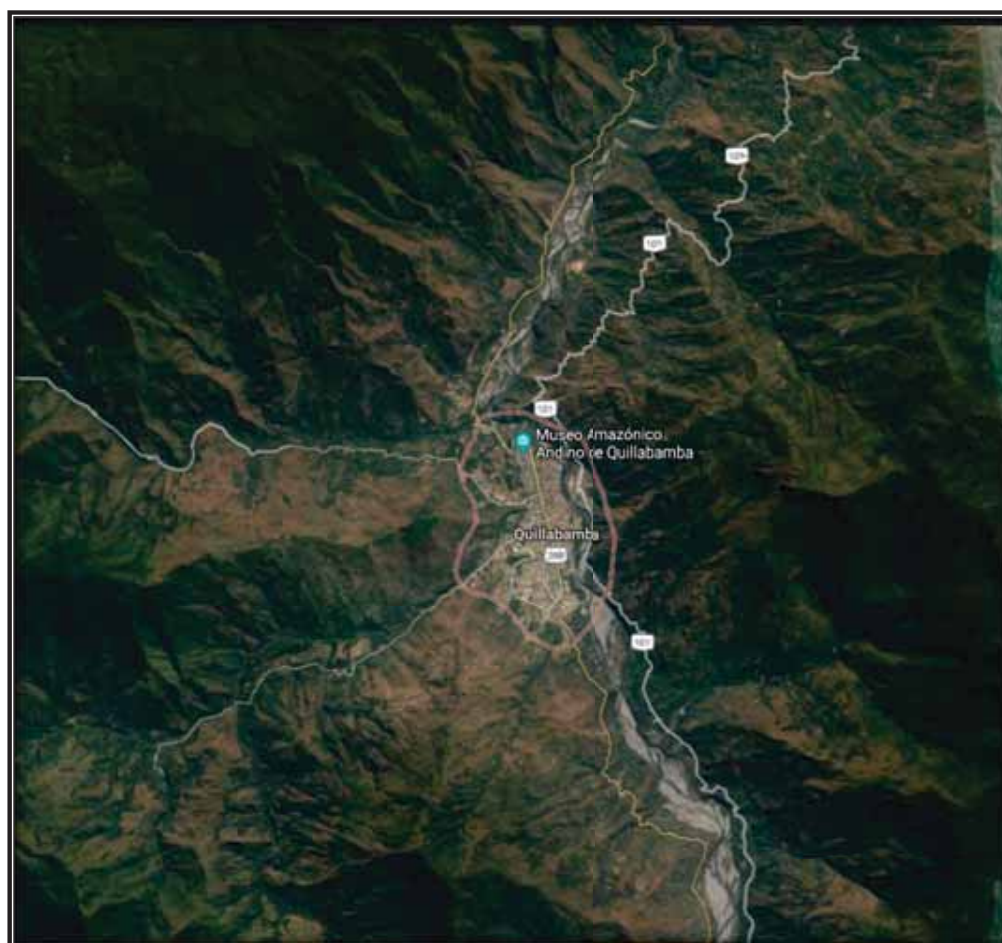
ANEXO XVI. Valores de K, para utilizar en la distribución Log Pearson

Tipo III.

Coeficiente de Asimetría o Sesgo (Cs)	Periodo de Retorno en Años							
	1.0101	1.25	2	5	10	25	50	100
	Nivel de Probabilidad, Porcentaje							
	99	80	50	20	10	4	2	1
3	-0.667	-0.636	-0.396	0.420	1.180	2.278	3.152	4.051
2.8	-0.714	-0.666	-0.384	0.460	1.210	2.275	3.114	3.973
2.6	-0.769	-0.696	-0.368	0.499	1.238	2.267	3.071	3.889
2.4	-0.832	-0.725	-0.351	0.537	1.262	2.256	3.023	3.800
2.2	-0.905	-0.752	-0.330	0.574	1.284	2.240	2.970	3.705
2.0	-0.990	-0.777	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605
1.8	-1.087	-0.799	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499
1.6	-1.197	-0.817	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.780	3.388
1.4	-1.318	-0.832	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271
1.2	-1.449	-0.844	-0.195	0.732	1.340	2.087	2.626	3.149
1.0	-1.588	-0.852	-0.164	0.758	1.340	2.043	2.542	3.022
0.8	-1.733	-0.856	-0.132	0.780	1.336	1.993	2.453	2.891
0.6	-1.880	-0.857	-0.099	0.800	1.328	1.939	2.359	2.755
0.4	-2.029	-0.855	-0.066	0.816	1.317	1.880	2.261	2.615
0.3591	-2.059	-0.854	-0.059	0.819	1.314	1.867	2.240	2.586
0.2	-2.178	-0.850	-0.033	0.830	1.301	1.818	2.159	2.472
0	-2.326	-0.842	0.000	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326

Fuente: HIDROLOGIA para Estudiantes de Ingeniería Civil - Wendor Chereque Morán.

ANEXO XVII. Croquis de la zona de investigación.



Fuente: Imagen satelital de la ciudad de Quillabamba – Distrito de Santa Ana.

ANEXO XVIII. Información meteorológica proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ
PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS EN (mm)

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1964						0.0	0.0	8.0	15.5	20.5		36.0
1965	19.0	31.0	41.0	36.0	2.0	1.0	21.8	10.4	37.0	24.2	15.9	28.0
1966	18.0	35.5	14.5	12.5	26.2	5.5	7.2	8.0	21.0	22.8	38.0	17.7
1967	17.0	30.0	25.0	12.2	7.2	8.0	18.0	8.9	15.0	18.2	17.5	25.3
1968	38.7	19.6	35.0	31.2	4.7	1.6	17.0	12.9	9.9	13.5	17.7	36.7
1969	19.9	20.8	26.5	22.3	11.0	30.0	6.5	5.9	7.5	12.5	35.0	22.2
1970	34.8	11.6	40.2	29.5	26.8	9.4	7.2	5.2	15.0	22.0	12.8	29.5
1971	15.0	42.5	22.0	24.3	15.5	29.7	1.5	3.7	15.0	8.8	17.7	17.2
1972	32.0	16.4	35.4	16.6	13.7	3.0	5.4	25.2	8.8	7.0	25.5	42.7
1973	28.6	33.4	19.5	26.2	12.9	8.0	20.0	24.8	14.3	34.0	35.7	30.8
1974	30.6	28.2	25.9	26.6	4.0	5.5	20.8	24.5	17.7	13.0	18.0	22.0
1975	42.2	32.5	39.8	33.0	14.5	7.5	9.0	16.5	14.2	16.5	42.4	32.6
1976	35.0	33.5	26.5	21.5	10.9	4.0	2.9	27.3	33.0	15.2	11.5	29.8
1977	31.0	40.2	21.9	9.3	35.6	1.4	18.0	1.2	21.1	8.5	19.8	28.3
1978	35.8	21.0	21.2	15.8	60.2	7.5	0.0	0.0	0.0	36.4	14.5	44.8
1979	30.6	20.7	18.8	16.2	11.4	0.0	10.5	1.3	2.8	11.2	31.2	33.4
1980	19.8	32.1	27.2	38.1	17.0	7.0	23.5	12.3	16.0	16.3	20.0	23.3
1981	27.2	39.5	39.5	27.5	10.5							
1986							0.0	0.0	0.0		58.0	41.8
1987	132.5	62.0	48.8	89.1	11.2	28.5	4.2	0.0	21.0	30.0	100.0	60.0
1988	46.0	82.2	77.0	41.2	25.0	0.0	0.0	0.0		22.4	29.2	37.4
1989			30.4	21.0	18.0	0.0	21.5	24.8	27.8	18.4	20.8	50.7
1990	78.4	63.1	45.2		60.7	68.0	8.2	25.3	32.5	56.8	39.8	40.8
1991	48.1	52.5	47.2	48.9								11.3
1992	23.3	22.1	28.1	31.1								
1996	22.0	21.0	18.0	15.4	21.0	2.5	6.1	16.7	17.8	17.5	17.0	20.5
1997	30.7	40.2	20.2	17.2	11.0	16.8	3.0	29.5	20.0	32.4	32.0	20.9
1998	39.4	24.5	38.4	19.2	4.2	4.8	0.0	1.0	63.8	24.8	12.0	34.3
1999	27.5	59.0	46.4	49.5	26.5	6.4	6.6	0.0	13.7	26.5	20.5	25.9
2000	57.9	44.7	20.0	15.5	7.6	15.8	0.6	14.2	17.0	25.3	13.1	20.0
2001	44.7	44.3	30.3	14.0	10.6	2.2	15.0	9.5	11.2		33.2	16.5
2002	21.8	54.5	47.1	10.3	9.2	5.5	12.9	23.1	8.0	25.3	25.2	57.1
2003	46.2	36.0	30.0	24.6	5.6	3.4	5.0	27.5	22.3	20.4	22.3	27.0
2004	21.2	31.0	21.8		18.4	6.6	38.1	14.5	14.0	19.2	28.9	20.0
2005	29.4	28.3	28.2	26.2	24.6	6.9	20.3	5.2	15.7	18.5	8.1	40.6
2006	49.0	23.4	43.6	39.2	4.2	8.2	4.5	14.8	5.9	18.8	25.9	26.9
2007	52.6	18.9	20.3	31.5	17.3	10.2	7.1		5.5	38.0	32.3	19.7
2008	53.1	22.8	15.6	34.0	7.9	0.6	10.8	19.2	18.5	24.2	16.2	27.8
2009		38.2	28.0	9.8	6.5	2.3	7.8	4.0	5.0	33.2	54.0	25.2
2010	18.4	83.8	36.8	26.8	7.6	9.4	9.0	13.4	22.2	54.6	25.4	26.6
2011	24.2	34.6	30.4	28.0	15.2	12.0	12.4	26.8	7.8	49.0	34.0	31.0
2012	30.4		21.4	26.8	10.4		10.2	16.2		12.4	12.4	38.8
2013	20.6	34.6	30.2	38.0	7.6	10.0		34.0	26.4	31.4	31.2	34.2
2014	39.4	46.0	42.0	14.8	22.4	0.0	17.6	4.6	16.0	19.0	29.0	30.6
2015	31.8	32.0	27.8	16.0	12.8	10.5	3.0	14.5	6.5	19.8	19.2	15.2
2016	29.1	15.8	7.4	11.9	7.5	2.2	14.4	17.0	25.2	12.2		
2017	22.8	47.8	61.0	17.6	14.4	9.6	2.2		11.2	18.2		

VÁLIDO SOLO EN ORIGINAL

Fuente: SENAMHI.

ANEXO XIX. Subdivisión del territorio en zonas y sub zonas pluviométricas y valores de los parámetros K'_g y ϵ_g , que definen las distribuciones de probabilidades de h_g (máxima altura de lluvia anual) en cada punto.

ZONA	K'_g	Subzona	ϵ_g
123	$K'_g = 0,553$	123 ₁	$\epsilon_g = 85,0$
		123 ₂	$\epsilon_g = 75,0$
		123 ₃	$\epsilon_g = 100-0,022Y$
		123 ₄	$\epsilon_g = 70-0,019Y$
		123 ₅	$\epsilon_g = 24,0$
		123 ₆	$\epsilon_g = 30,5$
		123 ₇	$\epsilon_g = -2+0,006Y$
		123 ₈	$\epsilon_g = 26,6$
		123 ₉	$\epsilon_g = 23,3$
		123 ₁₀	$\epsilon_g = 6+0,005Y$
		123 ₁₁	$\epsilon_g = 1+0,005Y$
		123 ₁₂	$\epsilon_g = 75,0$
		123 ₁₃	$\epsilon_g = 70$
4	$K'_g = 0,861$	4 ₁	$\epsilon_g = 20$
5a	$K'_g = 11. \epsilon_g^{-0,85}$	5a ₁	$\epsilon_g = -7,6+0,006Y (Y>2300)$
		5a ₂	$\epsilon_g = 32-0,177D_c$
		5a ₃	$\epsilon_g = -13+0,010Y (Y>2300)$
		5a ₄	$\epsilon_g = 3,8+0,0053Y (Y>1500)$
		5a ₅	$\epsilon_g = -6+0,007Y (Y>2300)$
		5a ₆	$\epsilon_g = 1,4+0,0067$
		5a ₇	$\epsilon_g = -2+0,007 (Y>2000)$
		5a ₈	$\epsilon_g = 24+0,0025Y$
		5a ₉	$\epsilon_g = 9,4+0,0067Y$
		5a ₁₀	$\epsilon_g = 18,8+0,0028Y$
		5a ₁₁	$\epsilon_g = 32,4+0,004Y$
		5a ₁₂	$\epsilon_g = 19,0+0,005Y$
		5a ₁₃	$\epsilon_g = 23,0+0,0143Y$
		5a ₁₄	$\epsilon_g = 4,0+0,010Y$
5b	$K'_g = 130. \epsilon_g^{-1,4}$	5b ₁	$\epsilon_g = 4+0,010 (Y>1000)$
		5b ₂	$\epsilon_g = 41,0$
		5b ₃	$\epsilon_g = 23,0+0,143Y$
		5b ₄	$\epsilon_g = 32,4+0,004Y$
		5b ₅	$\epsilon_g = 9,4 + 0,0067Y$
6	$K'_g = 5,4. \epsilon_g^{-0,6}$	6 ₁	$\epsilon_g = 30-0,50D_c$
9	$K'_g = 22,5. \epsilon_g^{-0,85}$	9 ₁	$\epsilon_g = 61,5$
		9 ₂	$\epsilon_g = -4,5+0,323D_m (30 \leq D_m \leq 110)$
		9 ₃	$\epsilon_g = 31+0,475(D_m-110) (D_m \leq 110)$
10	$K'_g = 1,45$	10 ₁	$\epsilon_g = 12,5+0,95D_m$

Nota: Y: Altitud en m.s.n.m.; D_c: Distancia a la cordillera en km; D_m: Distancia al mar en km.

Fuente: Norma OS.060 Drenaje pluvial urbano – Reglamento Nacional de Edificaciones.

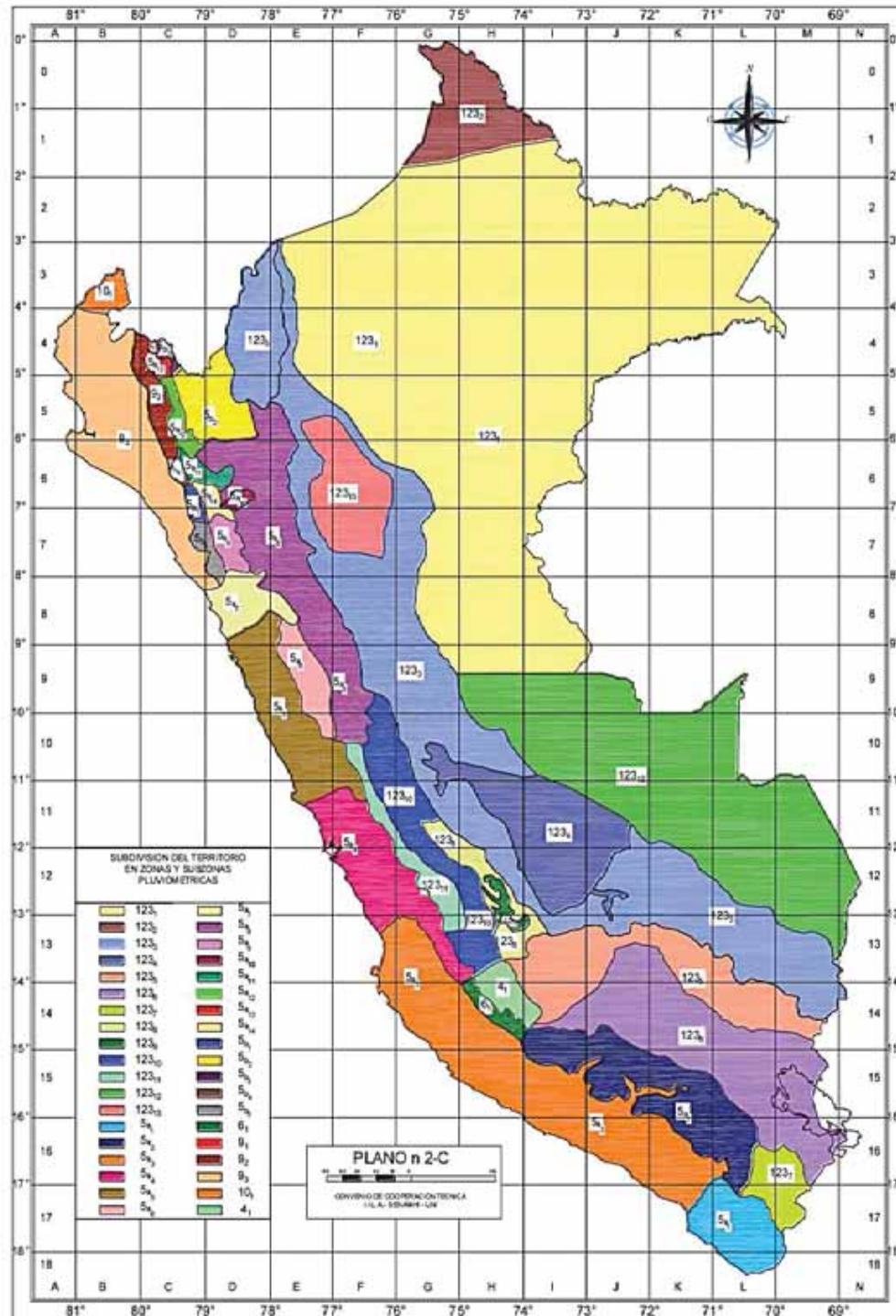
ANEXO XX. Valores de los parámetro “a” y “n” que junto con K'_g , definen las curvas de probabilidad pluviométrica en cada punto de las subzonas.

Sub zona	número total de estaciones	valor de n	valor de a
123-1	2	0.357	32.2
123-3	3	0.405	$a = 37.85 - 0.0083 Y$
123-13	2	0.432	
123-5	2	0.353	9.2
123-6	4	0.380	11
123-8	9	0.232	14
123-9	1	0.242	12.1
123-10	14	0.254	$a = 3.01 + 0.0025 Y$
123-11	5	0.286	$a = 0.46 + 0.0023 Y$
5 - a2	2	0.301	$a = 14.1 - 0.078 D_c$
5 - a5	1	0.303	$a = -2.6 + 0.0031 Y$
5 - a10	1	0.434	$a = 5.8 + 0.0009 Y$

Nota: Y: Altitud en m.s.n.m.; D_c: Distancia a la cordillera en km.

Fuente: Norma OS.060 Drenaje pluvial urbano – Reglamento Nacional de Edificaciones.

ANEXO XXI. Mapa de subzonas pluviométricas del Perú, determinadas por el convenio IILA - SENAMHI - UNI.



Fuente: Norma OS.060 Drenaje pluvial urbano – Reglamento Nacional de Edificaciones.