



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TÍTULO:

**“DERIVACIÓN DE LAS CURVAS *INTENSIDAD -DURACIÓN -
PERIODO DE RETORNO (I.D.T.)* PARA LAS CIUDADES DE
PORTOVIEJO Y CHONE”**

AUTOR:

ANTONIO JOSÉ DORIGO BRAVO

**TRABAJO DE GRADO
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL**

TUTOR:

PLAZA VERA FERNANDO JAVIER

Guayaquil, Ecuador

2013



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por ANTONIO JOSÉ DORIGO BRAVO, como requerimiento parcial para la obtención del Título de INGENIERO CIVIL.

TUTOR:

ING. FERNANDO JAVIER PLAZA VERA

REVISOR(ES)

ING. PEDRO CASTRO VILLALBA

LCDA. RUTH MARIELA ZAMBRANO SALTOS

DIRECTOR DE LA CARRERA

ING. MARIO DUEÑAS ROSSI

Guayaquil, a los 2 días del mes de Mayo del año 2013



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Antonio José Dorigo Bravo

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación “DERIVACIÓN DE LAS CURVAS INTENSIDAD - DURACIÓN - PERIODO DE RETORNO (I.D.T.) PARA LAS CIUDADES DE PORTOVIEJO Y CHONE” previa a la obtención del Título **de Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 2 días del mes de Mayo del año 2013

EL AUTOR:

Antonio José Dorigo Bravo



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

AUTORIZACIÓN

Yo, **Antonio José Dorigo Bravo**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “DERIVACIÓN DE LAS CURVAS INTENSIDAD -DURACIÓN - PERIODO DE RETORNO (I.D.T.) PARA LAS CIUDADES DE PORTOVIEJO Y CHONE”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 2 días del mes de Mayo del año 2013

EL AUTOR:

Antonio José Dorigo Bravo



TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Fernando Javier Plaza Vera
PROFESOR GUÍA O TUTOR

Ing. Pedro Castro Villalba
PROFESOR DELEGADO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

CALIFICACIÓN

Ing. Fernando Javier Plaza Vera



ÍNDICE GENERAL

1.1.	ANTECEDENTES	2
1.2.	OBJETIVO	3
1.3.	ALCANCE	4
	MARCO TEÓRICO: CONCEPTOS BÁSICOS	5
2.1.	PRECIPITACIÓN.....	6
2.2.	DURACIÓN DE LA TORMENTA	6
2.3.	INTENSIDAD.....	6
2.4.	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.....	7
2.6.	CURVAS INTENSIDAD – DURACIÓN – PERIODO DE RETORNO (IDT).....	9
2.7.	ESTADÍSTICA HIDROLÓGICA: GENERALIDADES	10
2.8.	DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD.	11
2.9.	TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS.....	12
2.10.	ANÁLISIS DE FRECUENCIAS DE EVENTOS EXTREMOS	13
2.10.1.	PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE.....	13
	ANÁLISIS DE DATOS Y METODOLOGÍA.....	15
3.1.	METODOLOGÍA.....	16
3.2.	ESTACIONES PLUVIOGRÁFICAS SELECCIONADAS	17
3.3.	REGISTRO DE DATOS HISTÓRICOS.....	19
3.4.	SELECCIÓN DE LAS MÁXIMAS PRECIPITACIONES DE CADA AÑO.....	22
3.5.	APLICACIÓN DEL MÉTODO ESTADÍSTICO	24
3.6.	ANÁLISIS Y RESULTADOS	34
	Portoviejo, Duraciones de 10 minutos.....	34
	Portoviejo, Duraciones de 20 minutos.....	37
	Portoviejo, Duraciones de 30 minutos.....	39
	Portoviejo, Duraciones de 40 minutos.....	42
	Portoviejo, Duraciones de 50 minutos.....	44
	Portoviejo, Duraciones de 60 minutos.....	47
	Portoviejo, Duraciones de 120 minutos.....	49
	Portoviejo, Duraciones de 360 minutos.....	52
	Chone, Duraciones de 10 minutos	55
	Chone, Duraciones de 20 minutos	57



Chone, Duraciones de 30 minutos	59
Chone, Duraciones de 40 minutos	61
Chone, Duraciones de 50 minutos	63
Chone, Duraciones de 60 minutos	65
Chone, Duraciones de 120 minutos	67
Chone, Duraciones de 360 minutos	69
3.6.1. CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-PERÍODO DE RETORNO	72
3.7. COMPARACIÓN DE LAS ECUACIONES.....	79
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
ANEXOS	84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Periodos de retorno.....	8
Tabla 3.1	Precipitación.....	20
Tabla 3.2	Intensidades máximas Portoviejo.....	22
Tabla 3.3	Intensidades máximas Chone.....	23
Tabla 3.4	Funciones de distribución analizadas.....	25
Tabla 3.5	Error estándar Portoviejo, 10 min.....	34
Tabla 3.6	Error cuadrático Portoviejo, 10 min.....	34
Tabla 3.7	Extrapolación Portoviejo, 10 min.....	36
Tabla 3.8	Error estándar Portoviejo, 20 min.....	37
Tabla 3.9	Error cuadrático Portoviejo, 20 min.....	37
Tabla 3.10	Extrapolación Portoviejo, 20 min.....	38
Tabla 3.11	Error estándar Portoviejo, 30 min.....	39
Tabla 3.12	Error cuadrático Portoviejo, 30 min.....	40
Tabla 3.13	Extrapolación Portoviejo, 30 min.....	41
Tabla 3.14	Error estándar Portoviejo, 40 min.....	42
Tabla 3.15	Error cuadrático Portoviejo, 40 min.....	42
Tabla 3.16	Extrapolación Portoviejo, 40 min.....	43
Tabla 3.17	Error estándar Portoviejo, 50 min.....	44
Tabla 3.18	Error cuadrático Portoviejo, 50 min.....	44
Tabla 3.19	Extrapolación Portoviejo, 50 min.....	46
Tabla 3.20	Error estándar Portoviejo, 60 min.....	47
Tabla 3.21	Error cuadrático Portoviejo, 60 min.....	47
Tabla 3.22	Extrapolación Portoviejo, 60 min.....	48
Tabla 3.23	Error estándar Portoviejo, 120 min.....	49
Tabla 3.24	Error cuadrático Portoviejo, 120 min.....	50
Tabla 3.25	Extrapolación Portoviejo, 120 min.....	51
Tabla 3.26	Error estándar Portoviejo, 360 min.....	52
Tabla 3.27	Error cuadrático Portoviejo, 360 min.....	52



Tabla 3.28 Extrapolación Portoviejo, 360 min.....	53
Tabla 3.29 Error estándar Chone, 10 min.....	55
Tabla 3.30 Error cuadrático Chone, 10 min.....	55
Tabla 3.31 Extrapolación Chone, 10 min.....	56
Tabla 3.32 Error estándar Chone, 20 min.....	57
Tabla 3.33 Error cuadrático Chone, 20 min.....	57
Tabla 3.34 Extrapolación Chone, 20 min.....	58
Tabla 3.35 Error estándar Chone, 30 min.....	59
Tabla 3.36 Error cuadrático Chone, 30 min.....	59
Tabla 3.37 Extrapolación Chone, 30 min.....	60
Tabla 3.38 Error estándar Chone, 40 min.....	61
Tabla 3.39 Error cuadrático Chone, 40 min.....	61
Tabla 3.40 Extrapolación Chone, 40 min.....	62
Tabla 3.41 Error estándar Chone, 50 min.....	63
Tabla 3.42 Error cuadrático Chone, 50 min.....	63
Tabla 3.43 Extrapolación Chone, 50 min.....	64
Tabla 3.44 Error estándar Chone, 60 min.....	65
Tabla 3.45 Error cuadrático Chone, 60 min.....	65
Tabla 3.46 Extrapolación Chone, 60 min.....	66
Tabla 3.47 Error estándar Chone, 120 min.....	67
Tabla 3.48 Error cuadrático Chone, 120 min.....	67
Tabla 3.49 Extrapolación Chone, 120 min.....	68
Tabla 3.50 Error estándar Chone, 360 min.....	69
Tabla 3.51 Error cuadrático Chone, 360 min.....	69
Tabla 3.52 Extrapolación Chone, 360 min.....	70
Tabla 3.53 Intensidades estimadas, Portoviejo.....	71
Tabla 3.54 Intensidades estimadas, Chone.....	71
Tabla 3.55 Ecuaciones IDT, intensidades entre 10 y 60 minutos, Portoviejo.....	77
Tabla 3.56 Ecuaciones IDT, intensidades entre 60 y 360 minutos, Portoviejo.....	77
Tabla 3.57 Ecuaciones IDT, intensidades entre 10 y 60 minutos, Chone.....	78



Tabla 3.58 Ecuaciones IDT, intensidades entre 60 y 360 minutos, Chone.....	78
Tabla 3.59 Ecuaciones IDT, INAMHI (Portoviejo).....	79
Tabla 3.60 Ecuaciones IDT, INAMHI (Chone).....	79
Tabla 3.61 Coeficientes IDTR.....	79
Tabla 3.62 Comparación de nuevas curvas IDT vs curvas INAMHI, (Portoviejo).....	80
Tabla 3.63 Comparación de nuevas curvas IDT vs curvas INAMHI, (Chone).....	81



ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 2.1 Esquema curva IDT.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 2.2 Esquema de una función de distribución.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 3.1 Ubicación estación pluviográfica Portoviejo.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 3.2 Ubicación estación pluviográfica Portoviejo.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 3.3 Faja pluviográfica Portoviejo.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 3.4 Faja pluviográfica 1, Chone.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 3.5 Faja pluviográfica 2, Chone.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 3.6 Gráfica de lluvia acumulada.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 3.7 Gráfica del programa paso 1.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 3.8 Gráfica del programa paso 2.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 3.9 Gráfica del programa paso 3.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 3.10 Gráfica del programa paso 4.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 3.11 Gráfica del programa paso 5.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 3.12 Gráfica del programa paso 6.1.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 3.13 Gráfica del programa paso 6.2.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 3.14 Gráfica del programa paso 7.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 3.15 Gráfica del programa paso 8.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 3.16 Gráfica del programa paso 9.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 3.17 Gráfica del programa paso 10.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 3.18 Gráfica del programa paso 11.1.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 3.19 Gráfica del programa paso 11.2.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 3.20 Gráfica ajustada Portoviejo, 10 min.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 3.21 Gráfica ajustada Portoviejo, 20 min.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 3.22 Gráfica ajustada Portoviejo, 30 min.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 3.23 Gráfica ajustada Portoviejo, 40 min.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 3.24 Gráfica ajustada Portoviejo, 50 min.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 3.25 Gráfica ajustada Portoviejo, 60 min.....</i>	<i>49</i>



Figura 3.26 Gráfica ajustada Portoviejo, 120 min.....	51
Figura 3.27 Gráfica ajustada Portoviejo, 360 min.....	54
Figura 3.28 Gráfica ajustada Chone, 10 min.....	56
Figura 3.29 Gráfica ajustada Chone, 20 min.....	58
Figura 3.30 Gráfica ajustada Chone, 30 min.....	60
Figura 3.31 Gráfica ajustada Chone, 40 min.....	62
Figura 3.32 Gráfica ajustada Chone, 50 min.....	64
Figura 3.33 Gráfica ajustada Chone, 60 min.....	66
Figura 3.34 Gráfica ajustada Chone, 120 min.....	68
Figura 3.35 Gráfica ajustada Chone, 360 min.....	70
Figura 3.36 Gráfica logarítmica Intensidad vs Duración.....	72
Figura 3.37 Gráfica de la curva IDT entre 10 y 60 minutos, Portoviejo.....	73
Figura 3.38 Gráfica de la curva IDT entre 60 y 360 minutos, Portoviejo.....	74
Figura 3.39 Gráfica de la curva IDT entre 10 y 60 minutos, Chone.....	75
Figura 3.40 Gráfica de la curva IDT entre 60 y 360 minutos, Chone.....	76



RESUMEN

Las curvas Intensidad – Duración – Periodo de Retorno (IDT), son de gran utilidad al momento de estimar caudales de diseño de obras de drenaje pluvial, principalmente para centros poblados.

Para las ciudades de Portoviejo y Chone se dispone de estas curvas o ecuaciones desarrolladas por el INAMHI¹ con la información recopilada hasta el año de 1997.

Al momento de realizar estas curvas, se utilizaron diferentes tipos de funciones de distribución de probabilidad con el fin de reducir al máximo la incertidumbre, ya que se escogían aquellas con el menor error estándar de ajuste para cada caso por separado, lo que genera valores estimados por las funciones más ajustados a los datos reales.

Este trabajo actualiza las curvas al año 2011. A continuación se presentan las nuevas ecuaciones IDT.

Ecuaciones IDT para la ciudad de Portoviejo:

Tabla 3.55 Ecuaciones IDT, intensidades entre 10 y 60 minutos, Portoviejo

PORTOVIEJO		
Ecuaciones para intensidades entre 10 y 60 minutos		R ²
2 AÑOS	$i = 171,36 * t^{-0,449}$	0,9679
5 AÑOS	$i = 246,86 * t^{-0,455}$	0,9775
10 AÑOS	$i = 305,98 * t^{-0,469}$	0,9844
20 AÑOS	$i = 368,63 * t^{-0,485}$	0,9866
50 AÑOS	$i = 458,28 * t^{-0,507}$	0,9838
100 AÑOS	$i = 531,91 * t^{-0,523}$	0,9787

¹ Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.



Tabla 3.56 Ecuaciones IDT, intensidades entre 60 y 360 minutos, Portoviejo

PORTOVIEJO		
Ecuaciones para intensidades entre 60 y 360 minutos		R ²
2 AÑOS	$i = 856,33 * t^{-0,829}$	0,9955
5 AÑOS	$i = 955,17 * t^{-0,775}$	0,9970
10 AÑOS	$i = 927,41 * t^{-0,732}$	0,9984
20 AÑOS	$i = 874,05 * t^{-0,691}$	0,9995
50 AÑOS	$i = 795,85 * t^{-0,641}$	1,000
100 AÑOS	$i = 737,11 * t^{-0,605}$	0,9996

Ecuaciones IDT para la ciudad de Chone:

Tabla 3.57 Ecuaciones IDT, intensidades entre 10 y 60 minutos, Chone

CHONE		
Ecuaciones para intensidades entre 10 y 60 minutos		R ²
2 AÑOS	$i = 156,67 * t^{-0,468}$	0,9638
5 AÑOS	$i = 246,76 * t^{-0,473}$	0,9626
10 AÑOS	$i = 313,49 * t^{-0,472}$	0,9616
20 AÑOS	$i = 385,42 * t^{-0,475}$	0,9589
50 AÑOS	$i = 493,90 * t^{-0,484}$	0,9538
100 AÑOS	$i = 588,35 * t^{-0,493}$	0,9494

Tabla 3.58 Ecuaciones IDT, intensidades entre 60 y 360 minutos, Chone

CHONE		
Ecuaciones para intensidades entre 60 y 360 minutos		R ²
2 AÑOS	$i = 435,90 * t^{-0,724}$	0,9935
5 AÑOS	$i = 777,75 * t^{-0,755}$	0,9960
10 AÑOS	$i = 1040,10 * t^{-0,766}$	0,9968
20 AÑOS	$i = 1304,20 * t^{-0,774}$	0,9972
50 AÑOS	$i = 1657,20 * t^{-0,781}$	0,9976
100 AÑOS	$i = 1923,40 * t^{-0,784}$	0,9978



CAPÍTULO I

JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS



1.1. ANTECEDENTES

El dimensionamiento de las obras de ingeniería civil, principalmente las obras de drenaje pluvial, está profundamente influido por factores climáticos, entre los que se destaca, por su importancia, las precipitaciones pluviales. La lluvia además de ser un componente del equilibrio de los recursos hídricos, es notable que su influencia sea la más importante dentro del balance hídrico.

En la planeación y diseño de obras hidráulicas existe incertidumbre en lo que respecta a la predicción de eventos para diferentes períodos de retorno, por lo que es necesario recurrir a todas las herramientas disponibles para reducir dicha incertidumbre.

El adecuado drenaje pluvial es esencial. Los sistemas de drenaje han cambiado de las zanjas primitivas a las redes complejas de bordillos, cunetas, conductos superficiales y subterráneos. Junto con la creciente complejidad de estos sistemas ha surgido la necesidad de una comprensión más profunda de los procesos básicos hidrológicos.

Reglas simples de oro (conocimiento práctico basado en la experiencia) y crudas fórmulas empíricas son generalmente incorrectas.

Los datos registrados de las lluvias intensas de corta duración son de mucha importancia para poder dimensionar obras de drenaje urbano, y evitar inundaciones de los centros poblados. Por esta razón se hace necesario el conocimiento y determinación de la intensidad y duración de las lluvias así como de métodos estadísticos que permitan determinar estos parámetros para diversos periodos de retorno. Debido a su naturaleza aleatoria, los fenómenos hidrológicos pueden modelarse a través de un enfoque probabilístico.



El diseño hidráulico de un sistema de drenaje pluvial urbano requiere el uso de las llamadas curvas intensidad-duración-periodo de retorno. Estas relaciones representan la variación de la intensidad de la lluvia de distintas duraciones, asociadas a diferentes probabilidades de ocurrencia, y son requeridas para estimar indirectamente el escurrimiento proveniente de cuencas pequeñas en función de la lluvia caída.

Estas curvas hay que desarrollarlas para cada localidad y ajustarlas periódicamente debido a que la naturaleza está en constante cambio y las tendencias de lluvia pueden variar.

Para obtener las curvas IDT se necesita trabajar con muestras, las cuales es preponderante se tengan una buena cantidad de registros de datos históricos y que sean de buena calidad. Entre mayor cantidad de registros se tengan, más confiables serán los resultados obtenidos al momento de realizar las curvas (IDT). Aunque lamentablemente en Ecuador no se cuenta con muchas ciudades que tengan una adecuada cantidad de registros.

El INAMHI publicó en 1999 el “Estudio de Lluvias Intensas” en el cual se incluyen las curvas IDT de las principales ciudades del Ecuador, entre las que se tienen las ciudades de Portoviejo y Chone. Estas curvas fueron realizadas con registros de hasta el año 1997 por lo que se recomienda una actualización del modelo incluyendo los datos actuales hasta el año 2010 o 2011 de los que se tuviere registros. Este aumento en el tamaño de las muestras permitirá obtener resultados menos inciertos.

1.2. OBJETIVO

Derivar las curvas intensidad-duración-periodo de retorno (IDT) a partir de registros pluviográficos para las ciudades de Portoviejo y Chone para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años, de hasta 6 horas de duración de lluvia.



1.3. ALCANCE

Como se mencionó anteriormente, las curvas IDT son de importancia para el diseño de obras de drenaje pluvial urbano y vial.

Estas curvas se las realizará a partir de los registros pluviográficos de las estaciones meteorológicas manejadas por el INAMHI actualizados al 2011 para las ciudades de Portoviejo y Chone, para periodos de retorno 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años y duraciones de precipitación de hasta 6 horas.

A las fajas pluviográficas se las analizará para escoger aquellas que contengan mayores intensidades de lluvia y luego seleccionar los datos de las máximas precipitaciones de cada año de cada estación para diversas duraciones, desde 10 minutos hasta 6 horas en intervalos de 10 minutos.

Cuando haya datos faltantes se procederá a calcularlos mediante algún método adecuado para la ocasión. Luego, mediante análisis estadísticos se obtendrán las precipitaciones máximas de cada duración para los diversos periodos de retorno. Esta actividad se realizara mediante la utilización de un programa estadístico llamado "AX.EXE", desarrollado por el instituto de ingeniería de la UNAM². Repitiendo el proceso para distintas duraciones de lluvia se obtendrán los periodos de retorno de las intensidades máximas asociadas a una duración de la tormenta.

Mediante un análisis de correlación y regresión simple, los resultados obtenidos se ajustarán a una ecuación (logarítmica, potencial) que represente una curva, precisamente la IDT. Posteriormente, se realizará una comparación con las curvas existentes para establecer su variación.

² Universidad Nacional Autónoma de México



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO: CONCEPTOS BÁSICOS



2.1. PRECIPITACIÓN

Conagua (2007) define a la precipitación como aquellos procesos mediante los cuales el agua cae de la atmosfera hacia la superficie de la tierra, en forma de lluvia (precipitación pluvial), nieve o granizo. La precipitación puede manifestarse como lluvia, llovizna, nieve, granizo. Su unidad usual de medida está dada en milímetros (mm).

2.2. DURACIÓN DE LA TORMENTA

La duración de la tormenta es el tiempo que transcurre desde que se inicia la precipitación hasta que cesa. Su unidad de medida usual, dependiendo de la magnitud de la duración, puede estar dada en minutos o en horas.

2.3. INTENSIDAD

La intensidad se la define como la cantidad de lluvia que cae en un espacio determinado por unidad de tiempo y es inversamente proporcional a la duración de la tormenta. La unidad usual de medida para la intensidad está expresada en milímetros/hora (mm/hr).

Según Saldarreaga (1994, copiado de Chow) la Intensidad se define como la tasa temporal de precipitación, o sea, la profundidad por unidad de tiempo (mm/hr) y esta se expresa como:

$$i = P / T_d \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde P es la altura de lluvia en mm o pulg.

T_d es la duración de la tormenta, dada usualmente en hr.

i es la intensidad de la lluvia expresada en mm/hr.



2.4. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Es el tiempo que transcurre al viajar el agua desde el punto hidráulicamente más distante de la cuenca hasta su punto de salida.

Conagua (2011) en cuencas pequeñas o en el diseño de estructuras menores, se recomienda usar duraciones menores o iguales a 6 horas, sin embargo, también se suele considerar que la duración sea igual al tiempo de concentración.

Cuando la lluvia tiene una duración igual al tiempo de concentración es cuando se alcanza el caudal máximo debido a que toda la cuenca está aportando al punto de salida.

Existen varias fórmulas empíricas para determinar el tiempo de concentración (T_c) entre las que se encuentran:

- Kirpich
- Tiempo de Retardo del Soil Conservation Service (SCS)
- Método de la Velocidad del Soil Conservation Service (SCS)
- Federal Aviation Administration

Entre los métodos más utilizados y sencillos se tiene el de kirpich cuya fórmula se detalla a continuación:

Método de Kirpich:

$$T_c = 0.02L^{0.77}S^{-0.385}$$

Dónde:

T_c = tiempo de concentración (minutos)

L = longitud máxima a la salida (m)

S = pendiente media del lecho (m/m)

El (T_c) se lo utiliza, entre otras cosas en el cálculo de caudales para el diseño de obras de drenaje pluvial como es en el caso del método racional:

$$Q = (C * i_c * A)/K$$



Donde:

Q = caudal en m^3/s .

C = coeficiente de escorrentía.

i_c = intensidad de la precipitación en mm/h en un período igual al T_c .

A = área de la cuenca hidrográfica en Km^2 .

K = Coeficiente cuyo valor depende de las unidades en las que se mida i , Q y A (en este caso 3,6).

2.5. PERIODO DE RETORNO

Es el periodo de tiempo, en promedio, en que un evento (en este caso, un evento de tipo hidrológico) es igualado o excedido en magnitud. El periodo de retorno está expresado generalmente en años

El periodo de retorno para lo cual se debe dimensionar una obra varía en función de la importancia de la obra (interés económico, socio-económico, estratégico, turístico). En la siguiente tabla se presentan periodos de retorno tipo para diversas estructuras.

Tabla 2.1 Periodos de retorno.

PERIODOS DE RETORNO TÍPICOS	
Drenaje pluvial en zonas urbanas	Tr (años)
Poblados pequeños con menos de 100,000 habitantes.	2 a 5
Poblados medianos entre 100,000 y 1'000,000 de habitantes.	5 a 10
Poblados grandes con más de un millón de habitantes.	10 a 25
Estructuras de cruce (Puentes)	Tr (años)
Caminos locales que comunican poblados pequeños	25 a 50
Caminos locales que comunican poblados medianos	50 a 100
Caminos locales que comunican poblados grandes (Ciudades)	500 A 1000
Presas para almacenamiento de agua	Tr (años)
Pequeña sin potencial en pérdidas de vidas humanas	500
Pequeña con potencial en pérdidas de vidas humanas	1000
Medina sin potencial en pérdidas de vidas humanas	1000
Medina con potencial en pérdidas de vidas humanas	1000 a 10000
Grande con potencial en pérdidas de vidas humanas	10000 o mas

Recopilación de información publicada por Roberto Cepeda Issais.



2.6. CURVAS INTENSIDAD – DURACIÓN – PERIODO DE RETORNO (IDT)

Las curvas intensidad-duración-periodo de retorno (IDT) son una de las herramientas más utilizadas para poder realizar la estimación de caudales de diseño de obras para el drenaje pluvial en zonas urbanas que tienen tiempos de concentración pequeños o de pequeña duración. Estas curvas también permiten proyectar o analizar el comportamiento de una obra ya construida, con un determinado periodo de retorno, si se incrementa este periodo.

Según la definición de (Témez, 1978) las curvas intensidad–duración-periodo de retorno (IDT) son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o periodo de retorno.

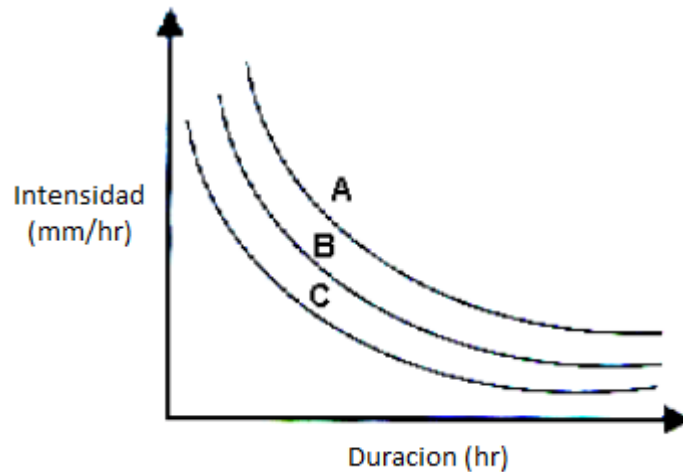
Un punto importante a considerar es que cuando sólo se dispone de un pluviómetro en una estación, solo se podrá conocer la intensidad media real en 24 horas, información que puede inducir a errores importantes, debido a que para desarrollar las curvas a partir de estos registros se tienen que utilizar coeficientes usualmente de la estación pluviográfica más cercana, la cual puede no tener las mismas condiciones meteorológicas.

Las lluvias de corta duración son, en general, las más intensas. Es por ello que generalmente las determinaciones de intensidades de lluvia se las realice a partir de los registros proporcionados por los pluviógrafos.

Para la construcción de las curvas intensidad-duración-periodo de retorno (IDT), los autores plantean distintas formas o métodos. Estas curvas no solo pueden expresarse en forma de gráficas, sino también como ecuaciones con el fin de facilitar la obtención de la intensidad.

En forma general, el esquema de la curva IDT es el siguiente:

Figura 2.1 Esquema curva IDT



Dónde:

D = Duración en horas.

I = Intensidad de precipitación en mm/hr.

A, B y C representan distintos períodos de retorno en años.

2.7. ESTADÍSTICA HIDROLÓGICA: GENERALIDADES

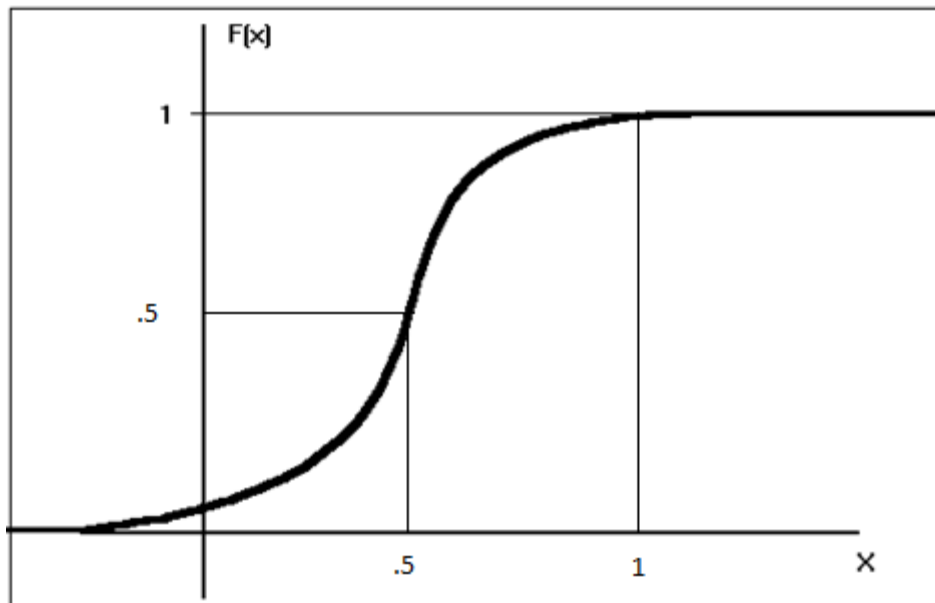
Sandoval (2008) considera que los procesos hidrológicos, como todo proceso natural, son de carácter aleatorio, es decir, que se rigen por las leyes del azar o de la probabilidad. Debido a lo anterior, es posible describir mediante modelos matemáticos la variación aleatoria de un conjunto de observaciones en proceso, en este caso, los fenómenos hidrológicos (lluvia y escurrimiento).

Sandoval *et al.* define que una distribución de probabilidad es una función que representa la probabilidad de ocurrencia de una variable aleatoria. Mediante el ajuste a una distribución de un conjunto de datos hidrológicos (en este caso precipitaciones), una gran cantidad de



información probabilística contenida en la muestra (media, varianza, desviación estándar, coeficiente de asimetría, coeficiente de variación, etc.) puede resumirse en forma compacta en la función y en sus parámetros asociados. Para el ajuste de distribuciones de probabilidad existen varias técnicas de estimación de parámetros y varios criterios de selección de la mejor distribución.

Figura 2.2 Esquema de una función de distribución.



En el gráfico precedente se muestra un esquema de una función de distribución de probabilidad o probabilidad acumulada, donde se observa que mientras más se repite el evento o variable aleatoria x , mayor es su probabilidad de ocurrencia. La probabilidad de ocurrencia de un evento o variable aleatoria va desde 0 a 1.

2.8. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD.

Una distribución de probabilidad presenta cómo se esperaría que cambien los valores que pueden representarse como resultado de un experimento si éste se llevase a cabo. Es decir, describe la probabilidad de que un evento ocurra en el futuro, constituye una herramienta fundamental, puesto que se puede diseñar un escenario de acontecimientos futuros considerando las tendencias actuales de diversos fenómenos naturales.



Entre las distintas distribuciones de probabilidad usuales para el análisis de fenómenos hidrológicos se tienen:

- Distribución Normal
- Distribución Log-Normal con 2 y 3 parámetros
- Distribución Exponencial
- Distribución Gamma con 2 parámetros
- Distribución Gamma con 3 parámetros

2.9. TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS.

Todas las funciones de probabilidad están determinadas por algunos parámetros que pueden tomar cualquier valor, es preponderante determinar de forma correcta estos valores para que de aquella manera los datos obtenidos por las distribuciones se parezcan lo mayor posible a los datos reales. Los parámetros utilizados α , β y δ se los calcula por medio de fórmulas que están en función de los estadísticos: media, desviación estándar, coeficiente de asimetría y curtosis.

Existen varias técnicas de estimación de parámetros para una misma distribución de probabilidad; las utilizadas en este trabajo son:

- Momentos
- Máxima verosimilitud

El método de los momentos consiste en igualar los valores de los parámetros estadísticos de la muestra con los de la población, es decir, que la media, varianza y asimetría (primero, segundo y tercer momentos) de la muestra sean iguales a los de la función de distribución de probabilidad.

El método de máxima verosimilitud como su nombre lo indica, busca maximizar la función de verosimilitud para encontrar el mejor ajuste de cada función de probabilidad.



2.10. ANÁLISIS DE FRECUENCIAS DE EVENTOS EXTREMOS

El análisis de frecuencias es una herramienta utilizada para poder predecir el comportamiento futuro de los eventos hidrológicos máximos anuales (escurrimiento, precipitación, etc.) Es un método basado en procedimientos estadísticos que permite calcular la magnitud de un evento asociado a cierto período de retorno T , para el diseño de obras de drenaje pluvial urbano y otras estructuras de importancia en la planeación y manejo de recursos hidráulicos.

Su confiabilidad dependerá de la cantidad y calidad de la serie histórica. Cuando se quiere realizar extrapolaciones, periodos de retorno mayor que la longitud a la serie disponible, el error relativo asociado a la distribución de probabilidades utilizada es más importante, debido a que si se ajustan los datos a una función con mayor error estándar, esa incertidumbre al momento de extrapolar se hará mas importante, mientras que en interpolaciones la incertidumbre está asociada principalmente a la calidad de los datos a modelar.

2.10.1. PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE

La prueba de bondad de ajuste es la determinación del modelo matemático o distribución de probabilidad que mejor se asemeja a los datos reales. La mejor predicción es aquella que presenta el menor error estándar de ajuste, es decir que la desviación estándar de la diferencia entre los datos reales y las predicciones sea la menor posible.

Kite (1988) propuso un estadístico que permite seleccionar la mejor opción, entre diferentes modelos en competencia, para el ajuste de una muestra de datos Q_i^j para $i=1, 2, \dots, n_j$, de un sitio j . Este estadístico es conocido como el error estándar de ajuste, y tiene la forma:



$$EE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (\hat{Q}_T^j - Q_T^j)^2}{n_j - mp} \right]^{1/2} \quad Ec. (3)$$

Donde

- Q_T^j Son los eventos ordenados de mayor a menor con un período de retorno asignado $T = \frac{n_j+1}{m}$ y una probabilidad de no excedencia $P = 1 - \frac{1}{T}$.
- n_j Longitud en años del registro analizado.
- m Número de orden del registro.
- $m = 1$ Para el evento más grande.
- $m = n_j$ Para el evento más chico.
- \hat{Q}_T^j Eventos estimados por cierta distribución de probabilidad para cada período de Retorno T asignado a la muestra ordenada Q_i^j
- mp Número de parámetros de la distribución ajustada.

Para determinar que función se ajusta mejor, se hace referencia en el error estándar. La función cuyo valor sea menor se la considerara como de mejor ajuste.



CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE DATOS Y METODOLOGÍA



3.1. METODOLOGÍA

Para la obtención de las curvas (IDT) a partir de los registros pluviográficos se procederá con los siguientes pasos:

- ❖ Lo primero que se debe establecer es la ciudad la cual se analizará, y escoger una estación pluviográfica con una cantidad de registros considerables.
- ❖ Luego debido a la cantidad de fajas pluviográficas que se tienen en cada año de registro, se debe de escoger las fajas con las lluvias más intensas, ya que son las que van a influir al momento de realizar las curvas IDT.
- ❖ Ahora si se observa cada faja, se notara que la lluvia puede durar tan solo unos minutos como muchas horas, por lo que estableceremos la lectura de la tormenta de hasta 6 horas de máxima precipitación en intervalos de 10 minutos. Luego se escoge la mayor precipitación para cada duración en cada año.
- ❖ Teniendo para cada duración la máxima precipitación, el siguiente proceso es el de obtener los errores estándar para cada función de distribución, para luego ajustar los datos de precipitación a la función cuyo error estándar de ajuste sea el menor. Estos procesos estadísticos se lo realizara con la ayuda de un programa llamado AX.EXE desarrollado por el instituto de ingeniería de la UNAM.
- ❖ Una vez ajustada se debe de realizar una extrapolación para calcular las intensidades estimadas para cada periodo de retorno propuestas en este trabajo (2, 5, 10, 20, 50 y 100 años), de cada duración.
- ❖ Por último, con los datos del punto anterior se procede a graficar las intensidades estimadas vs los periodos de retorno propuestos para cada duración y se obtienen las curvas IDT. Luego con la ayuda del



Excel se realiza una regresión simple y se obtienen las ecuaciones para cada periodo de retorno.

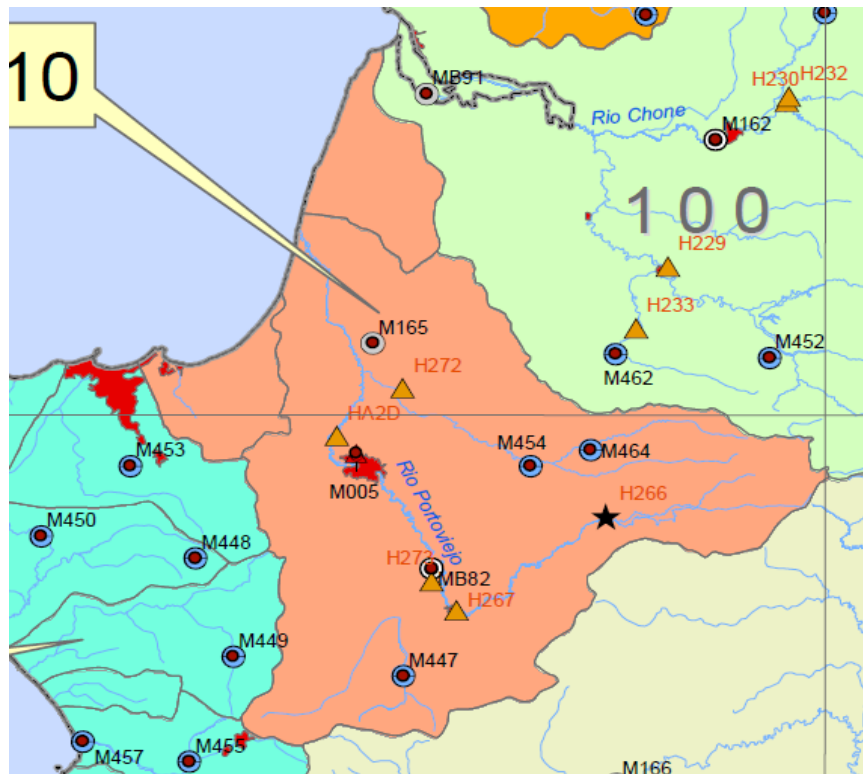
3.2. ESTACIONES PLUVIOGRÁFICAS SELECCIONADAS

Las estaciones que se escogieron para las ciudades de Portoviejo y Chone son estaciones manejadas por el (INAMHI), cuya información se encuentra concentrada en Quito, la cual fue facilitada por la institución. Los detalles de las estaciones seleccionadas son las siguientes:

1.

- **Cantón:** Portoviejo (Jardín Botánico)
- **Elevación:** 46 msnm
- **Fecha de Instalación:** 01-nov-62
- **Latitud:** 010226S
- **Longitud:** 802754W
- **Código:** M005
- **Tipo:** Sistema Hellman de sifón

Figura 3.1 Ubicación estación pluviográfica Portoviejo (INAMHI)

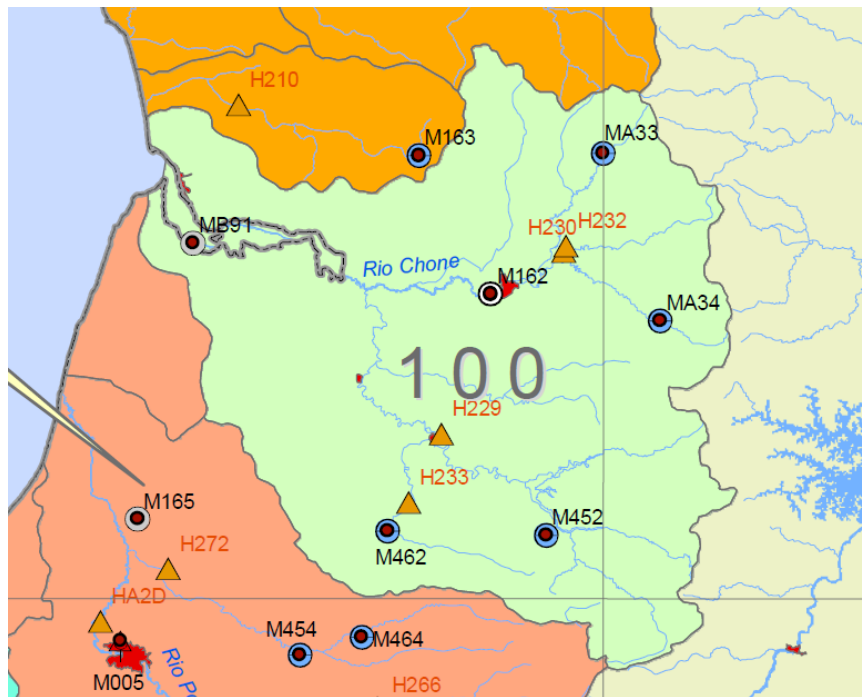




2.

- **Cantón:** Chone (Instituto Pedagógico Eugenio Espejo)
- **Elevación:** 182 msnm
- **Fecha de Instalación:** 07-jun-62
- **Latitud:** 004218S
- **Longitud:** 800631W
- **Código:** M162
- **Tipo:** Sistema Hellman de sifón

Figura 3.2 Ubicación estación pluviográfica Portoviejo (INAMHI)





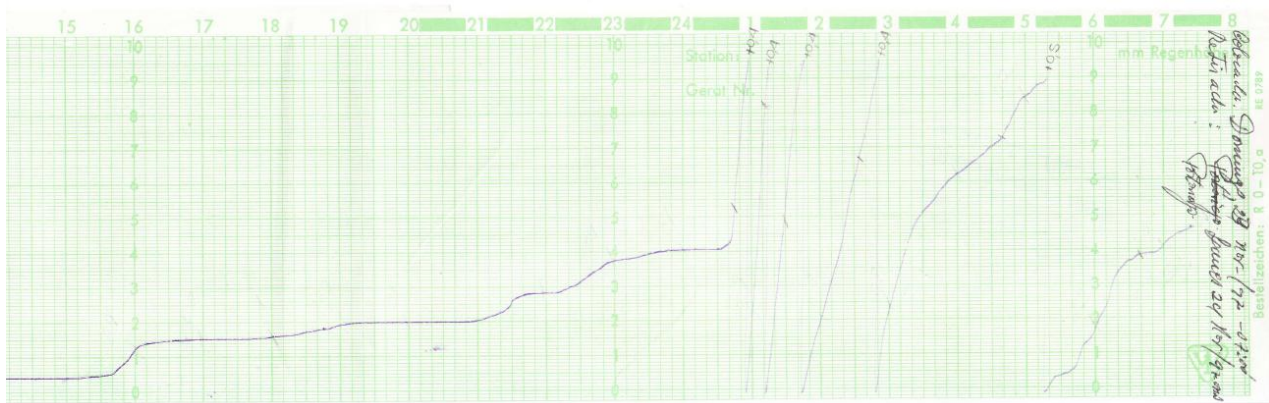
3.3. REGISTRO DE DATOS HISTÓRICOS

Como se describió anteriormente, se realizó la lectura de las fajas pluviográficas en intervalos de 10 minutos hasta una duración de 6 horas.

A continuación se mostrarán dos ejemplos gráficos de fajas pluviográficas correspondientes a las ciudades de Portoviejo y Chone del año 1997 y 2001.

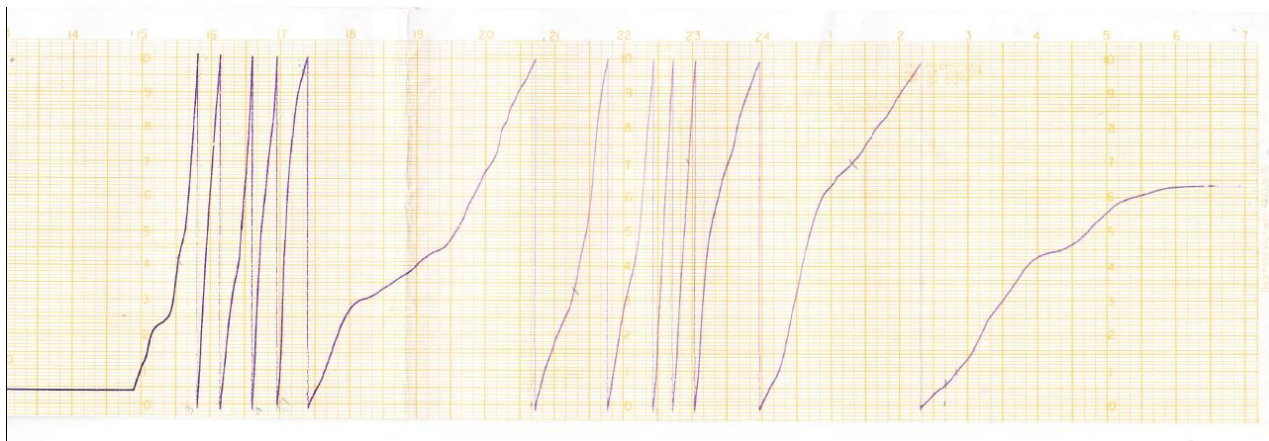
- Lluvia del 23 de Noviembre de 1997 (Portoviejo)

Figura 3.3 Faja pluviográfica Portoviejo. (INAMHI)



- Lluvia de 16 de Noviembre de 1997 (Chone)

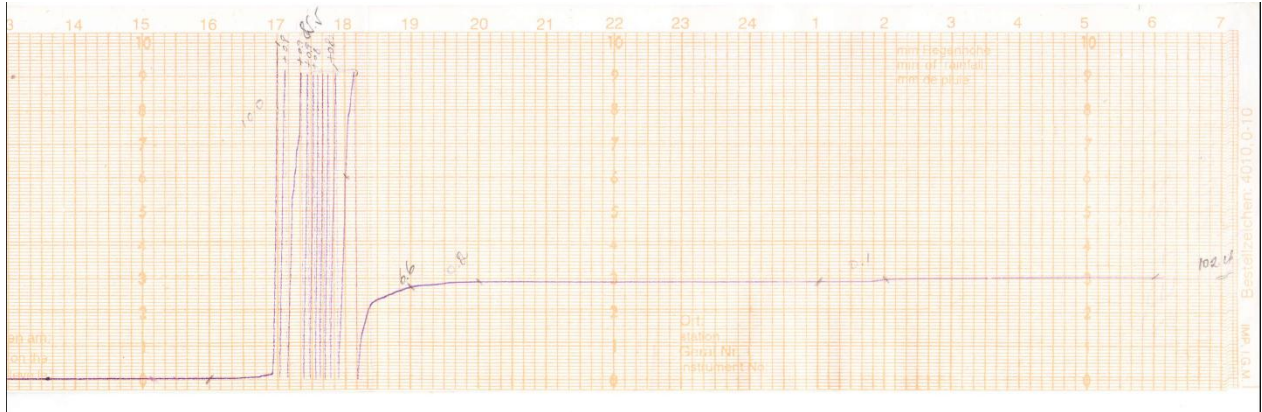
Figura 3.4 Faja pluviográfica 1, Chone. (INAMHI)





- Lluvia de 30 de Marzo del 2001 (Chone)

Figura 3.5 Faja pluviográfica 2, Chone. (INAMHI)



De cada faja pluviográfica se realizó las lecturas de lluvia y se las colocó en el cuadro abajo descrito, obteniendo los siguientes resultados por cada una de ellas:

Tabla 3.1 Precipitación

T (min)	Lluvia acumulada	Δ hp Incremento de lluvia	Intervalos de lluvia en minutos								
			Δ 10	Δ 20	Δ 30	Δ 40	Δ 50	Δ 60	Δ 120	Δ 360	
0											
10	0,10	0,10	0,10	9,80	19,00	27,80	36,60	57,90	85,60	86,20	
20	9,80	9,70	9,70	18,90	27,70	36,50	57,80	71,00	85,70		
30	19,00	9,20	9,20	18,00	26,80	48,10	61,30	70,30	76,20		
40	27,80	8,80	8,80	17,60	38,90	52,10	61,10	64,10	67,10		
50	36,60	8,80	8,80	30,10	43,30	52,30	55,30	57,30	58,40		
60	57,90	21,30	21,30	34,50	43,50	46,50	48,50	48,80	49,60		
70	71,10	13,20	13,20	22,20	25,20	27,20	27,50	27,70	28,30		
80	80,10	9,00	9,00	12,00	14,00	14,30	14,50	14,70	15,10		
90	83,10	3,00	3,00	5,00	5,30	5,50	5,70	5,90	6,10		
100	85,10	2,00	2,00	2,30	2,50	2,70	2,90	3,00	3,10		
110	85,40	0,30	0,30	0,50	0,70	0,90	1,00	1,10	1,10		
120	85,60	0,20	0,20	0,40	0,60	0,70	0,80	0,80	0,80		
130	85,80	0,20	0,20	0,40	0,50	0,60	0,60	0,60	0,60		
140	86,00	0,20	0,20	0,30	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40		
150	86,10	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20		
160	86,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10		
170	86,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
180	86,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
190	86,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		

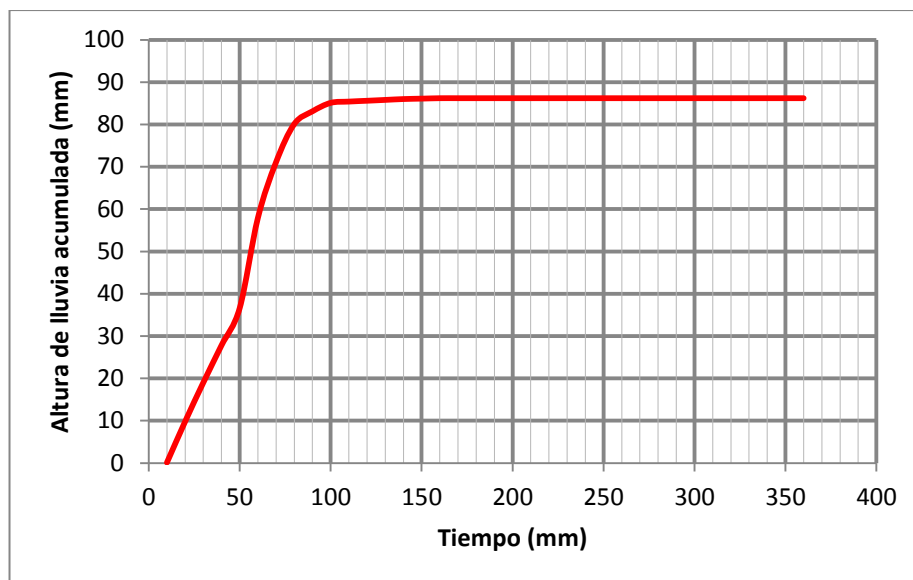


200	86,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
210	86,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
220	86,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
230	86,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
240	86,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
250	86,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
260	86,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
270	86,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
280	86,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
290	86,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
300	86,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
310	86,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
320	86,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
330	86,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
340	86,20	0,00	0,00	0,00	0,00					
350	86,20	0,00	0,00	0,00						
360	86,20	0,00	0,00							
Lectura máxima			21,30	34,50	43,50	52,30	61,30	71,00	85,70	86,20

Autor: Antonio Dorigo Bravo

En el siguiente grafico se registra la altura de lluvia a lo largo de 6 horas continuas.

Figura 3.6 Gráfica de lluvia acumulada.



Autor: Antonio Dorigo Bravo

❖ Cabe indicar que todas las fajas pluviográficas con el análisis similar al del ejemplo se incluyen en los anexos



3.4. SELECCIÓN DE LAS MÁXIMAS PRECIPITACIONES DE CADA AÑO

Luego de hacer el levantamiento de los datos en intervalos de 10 minutos, se realiza una tabla resumiendo en ella las máximas precipitaciones para cada duración (10, 20, 30, 40, 50, 60, 120 y 360 min) de cada año de registro.

Tabla 3.2 Intensidades máximas Portoviejo

INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN (mm/h)

ESTACIÓN: PORTOVIEJO
M005

MINUTOS	INTENSIDADES MÁXIMAS PARA DISTINTAS DURACIONES (mm/h)							
	10	20	30	40	50	60	120	360
AÑO								
1957	59,40	45,00	36,00	29,24	25,85	23,80	14,50	8,90
1961	96,00	78,00	78,00	52,49	46,02	44,00	30,80	12,00
1962	48,00	43,20	36,00	23,89	20,48	21,40	9,00	5,10
1963	64,80	59,70	49,20	41,95	38,09	39,10	30,50	13,60
1964	69,00	47,40	37,20	30,02	26,07	22,00	17,00	7,00
1965	58,80	42,00	31,00	25,27	21,78	19,70	12,80	5,50
1966	30,00	27,00	22,00	18,92	17,21	15,50	15,00	6,30
1967	42,00	28,80	23,60	20,14	17,73	18,00	11,80	5,10
1968	32,40	18,90	14,40	16,47	15,12	16,60	12,90	6,40
1969	126,00	99,00	70,60	52,44	43,98	45,70	22,20	8,10
1970	60,00	52,50	52,00	35,97	31,79	34,30	21,40	8,60
1971	60,00	49,80	42,20	31,44	27,54	25,60	18,20	7,40
1972	144,00	102,00	78,60	65,24	56,57	54,00	38,30	13,70
1973	129,60	107,70	80,60	60,27	51,43	49,30	31,50	10,50
1974	51,00	29,10	19,60	15,07	12,44	9,90	5,00	2,60
1975	72,00	54,90	47,60	43,86	40,46	39,60	31,00	18,80
1976	92,40	65,40	50,60	35,29	29,50	27,10	13,80	5,80
1977	72,00	60,00	46,00	36,80	31,72	37,00	21,90	6,30
1978	48,00	29,40	22,20	17,14	14,43	13,40	7,00	3,10
1979	69,00	44,10	32,20	24,47	20,45	17,40	11,00	3,90
1980	24,00	14,10	12,00	10,07	8,84	7,20	6,00	2,70
1981	26,40	14,10	14,00	11,33	10,03	9,60	5,80	3,50
1982	96,00	61,80	50,20	39,78	33,54	38,80	24,00	5,20
1983	114,00	81,00	66,00	55,41	48,44	53,00	32,50	12,20
1984	54,00	45,00	36,00	28,88	25,11	31,60	16,30	5,60
1985	60,00	46,50	32,00	26,64	22,84	24,00	12,50	5,30



1986	47,60	34,50	25,00	22,98	20,30	19,00	15,00	6,00
1987	114,00	90,00	72,00	57,71	50,19	56,50	32,50	11,90
1988	64,80	49,78	41,73	32,67	28,60	29,10	18,32	7,69
1989	60,00	58,20	38,80	30,98	27,06	20,00	19,70	7,30
1990	57,00	37,20	38,00	24,71	20,94	22,90	11,60	4,00
1991	45,00	31,50	28,00	18,68	15,72	15,90	8,00	3,00
1992	60,00	51,30	40,00	31,38	27,54	28,50	15,00	8,30
1993	64,80	49,78	41,73	32,67	28,60	29,10	18,32	7,69
1994	30,00	27,00	26,00	23,42	22,03	24,50	22,00	10,10
1995	60,00	36,00	26,60	23,84	20,46	22,30	12,50	4,60
1996	77,40	54,00	43,60	35,35	30,85	29,50	18,50	8,75
1997	72,00	63,60	58,40	52,80	43,44	39,00	27,55	16,13
1998	76,20	66,00	64,00	55,50	52,80	47,00	32,65	13,80
1999	60,00	46,50	41,00	35,25	28,80	24,30	13,90	5,23
2000	57,00	55,50	53,00	49,50	46,20	41,50	21,75	12,55
2001	57,00	55,50	53,00	49,50	46,20	41,50	21,75	12,55
2002	57,00	51,00	46,00	37,50	31,68	28,90	16,55	5,78
2003	21,00	19,50	16,60	15,90	14,88	13,60	8,95	3,57
2004	102,00	78,00	70,00	65,25	62,40	52,80	26,40	8,80
2005	60,00	54,00	53,00	46,35	41,88	38,90	27,55	11,67
2006	36,00	33,00	31,00	28,05	25,68	23,30	13,50	4,50
2007	48,00	34,80	34,20	33,90	29,76	27,20	18,40	7,57
2008	54,00	39,00	42,00	33,45	33,96	29,30	15,85	5,80
2009	36,00	27,00	22,00	17,55	14,64	13,40	8,60	4,23
2010	54,00	49,50	43,00	37,50	32,40	28,50	16,85	7,55

Autor: Antonio Dorigo Bravo

Tabla 3.3 Intensidades máximas Chone

**INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN
(mm/h)**

ESTACIÓN: Chone
M162

MINUTOS	INTENSIDADES MÁXIMAS PARA DISTINTAS DURACIONES (mm/h)							
	10	20	30	40	50	60	120	360
AÑO								
1968	22,20	16,80	15,20	13,24	12,24	10,00	9,60	6,20
1969	60,00	53,70	39,20	28,45	24,42	21,30	13,20	6,00
1970	90,00	79,80	60,00	41,18	34,91	30,00	19,70	7,20
1971	66,00	60,00	49,60	30,94	26,02	25,50	12,80	4,90
1994	43,20	43,50	30,00	28,30	25,69	28,00	20,00	9,20
1996	75,00	42,00	32,00	31,17	27,27	29,30	19,40	7,22
1997	60,00	51,00	40,00	35,10	30,60	28,50	24,15	10,20
1998	87,00	77,40	70,60	63,45	53,76	46,80	32,90	13,05
1999	94,80	83,40	65,40	56,10	45,12	37,70	18,85	6,40
2000	39,00	28,50	24,00	21,00	19,80	19,50	15,60	7,12



2001	127,80	103,50	87,00	78,45	73,56	71,00	42,85	17,58
2002	51,00	50,40	45,60	38,10	32,88	29,00	17,20	7,97
2003	27,00	24,00	21,00	18,75	16,80	17,40	13,40	6,05
2004	18,00	16,50	12,60	11,10	9,48	8,40	6,10	3,40
2005	15,60	15,30	15,20	15,15	15,12	14,60	10,35	4,50
2006	55,20	42,60	37,60	29,70	26,16	23,60	17,65	8,72
2007	40,20	27,60	23,40	22,05	21,24	20,20	13,25	5,98
2008	33,00	20,70	15,60	13,20	11,76	10,50	7,55	4,35
2009	48,00	33,00	32,00	26,55	23,40	21,20	12,65	4,33
2010	69,00	61,50	49,00	40,50	35,40	31,00	20,55	8,25
2011	57,00	55,50	48,00	39,00	32,88	27,90	19,00	6,68

Autor: Antonio Dorigo Bravo

3.5. APLICACIÓN DEL MÉTODO ESTADÍSTICO

Para poder obtener las curvas IDT se necesita aplicar las estadísticas, para lo cual se hará uso de un programa llamado “AX.EXE” el cual fue desarrollado por Jiménez (1997) quien indica que es un programa amigable, confiable, de fácil uso y aprendizaje. Este software es utilizado por la Coordinación de Investigación de Riesgos Hidrometeorológicos del Instituto Nacional Autónomo de México.

Este programa sirve para ajustar una función de distribución de probabilidad a una muestra y obtener el error estándar. Asimismo, tiene la capacidad de calcular distintas funciones de distribución de probabilidad y para el cálculo utiliza 2 métodos de solución por los momentos y por máxima verosimilitud.

Las funciones que calcula el programa se detallan en el siguiente cuadro, el cual explica el método que utiliza para el análisis y cuántos parámetros utiliza, es decir las diferentes combinaciones de cálculo.



Tabla 3.4 Funciones de distribución analizadas

Funciones de distribución de probabilidad analizadas y métodos de solución

Función	Métodos		Máx. veros.	
	Momentos			
	3 par.	2 par.	3 par.	2 par.
Normal	----	√	----	√
Log-normal	√	√	√	√
Gumbel	----	√	----	√
Exponencial	----	√	----	√
Gamma	√	√	√	√
Doble Gumbel	√			

Grafica descriptiva del programa AX.EXE

*Par = parámetros

El programa permite realizar los cálculos de forma global, y los resultados del error estándar de las distintas funciones de distribución de probabilidad los presenta en un cuadro como el arriba mostrado para así escoger la de menor incertidumbre, en otras palabras la de menor error estándar.

Una vez escogida la función de distribución, el programa también permite realizar su ajuste, arrojando los correspondientes resultados, también la opción para extrapolar datos para los años que se deseen y otra opción para representar los mismos datos en una gráfica doble logarítmica.

A continuación se detallará paso a paso lo que se realizó con el programa AXE.EXE para obtener las intensidades estimadas para cada período de retorno.

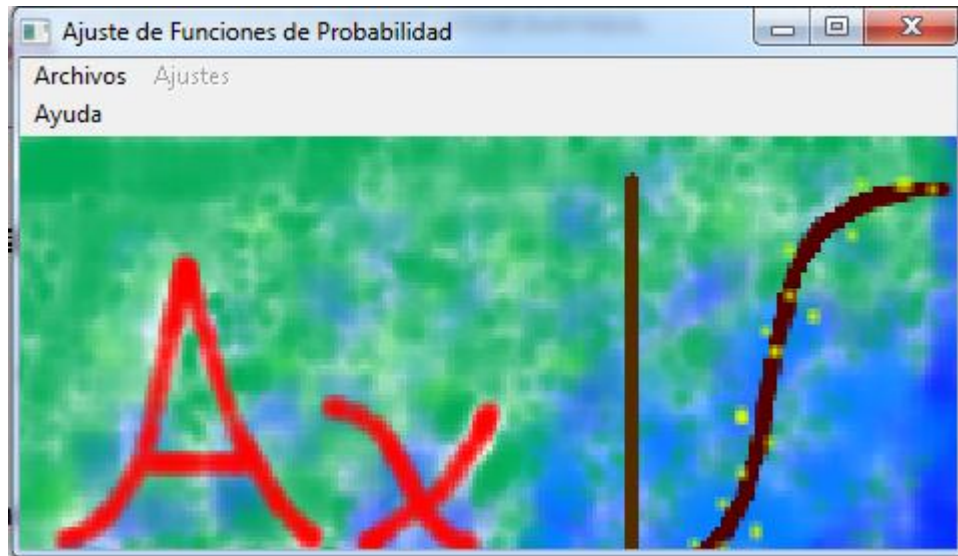


Paso 1

Instalar el programa AX.EXE

Una vez que se abre el programa ya instalado se podrá observar la siguiente ventana de inicio:

Figura 3.7 Gráfica del programa AX.EXE paso 1.

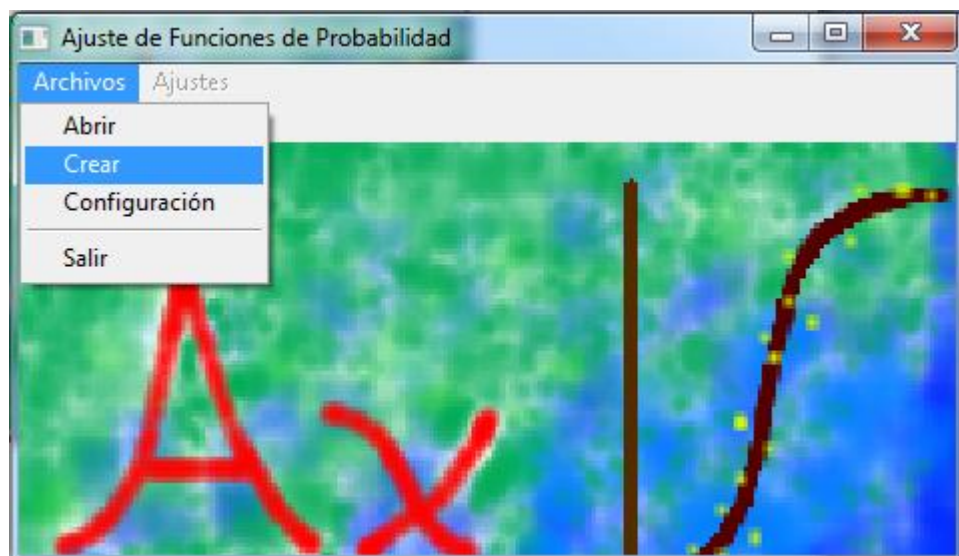


Nota: El programa corre solo en sistema operativo de 32 bits.

Paso 2

El siguiente paso es el de crear un nuevo archivo, para lo cual se debe de elegir la pestaña **archivos** y luego **crear**.

Figura 3.8 Gráfica del programa AX.EXE paso 2.

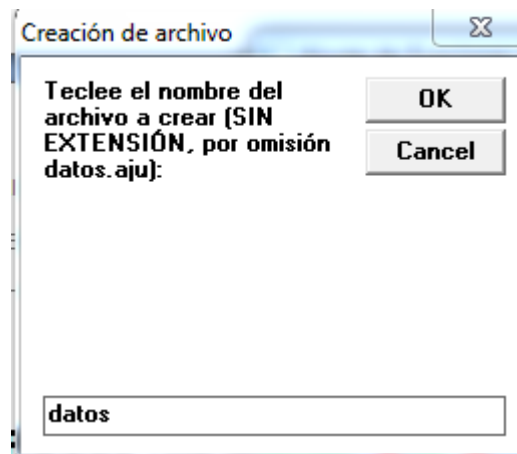




Paso 3

Una vez seleccionada la opción crear, se desplegará la siguiente ventana, en donde se debe de crear un nuevo archivo, se escoge el nuevo nombre a utilizar para dicho archivo y se da click en OK. Se deberá de crear un archivo para cada intensidad (10, 20, 30, 40, 50, 60, 120 y 360 min).

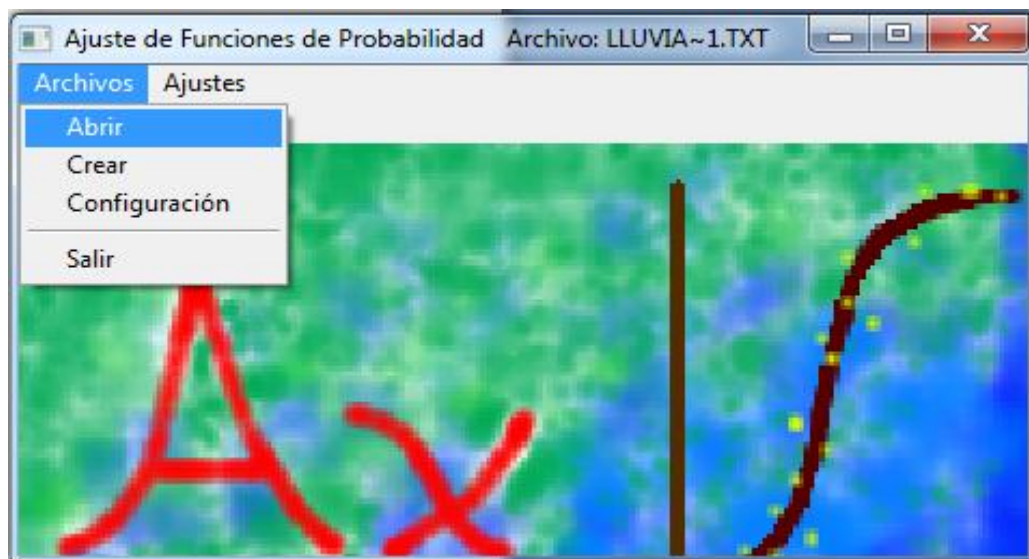
Figura 3.9 Gráfica del programa AX.EXE paso 3



Paso 4

Para poder ingresar los datos al programa se debe de primero abrir el archivo creado, para lo cual hay que dirigirse a la pestaña **archivos** y esta vez se escogerá la opción **abrir**.

Figura 3.10 Gráfica del programa AX.EXE paso 4

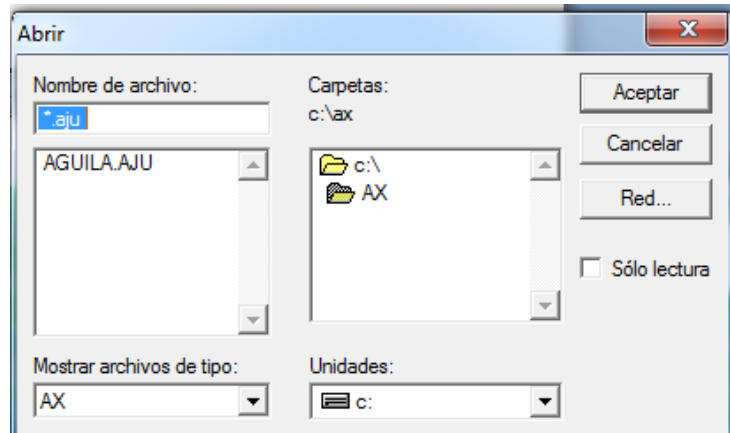




Paso 5

Se deberá de buscar y seleccionar el archivo anteriormente creado y dar click en **aceptar**.

Figura 3.11 Gráfica del programa AX.EXE paso 5



Paso 6

Una vez abierto el archivo creado se desplegará la siguiente ventana en la cual se deben de ingresar los datos. Cada vez que se ingrese un dato se debe de seleccionar la opción **agregar** para que se cree un espacio nuevo para seguir ingresando los datos.

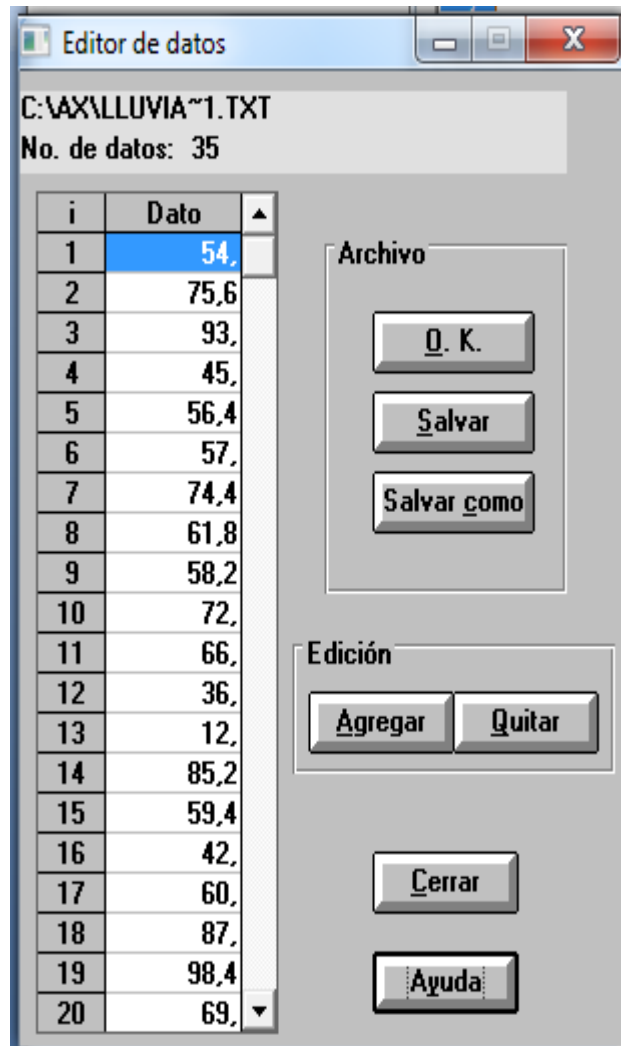
Figura 3.12 Gráfica del programa AX.EXE paso 6.1





Se realiza este procedimiento hasta que se termine se ingresar todos los datos de una misma intensidad de lluvia y luego se escoge la opción **salvar**.

Figura 3.13 Gráfica del programa AX.EXE paso 6.2

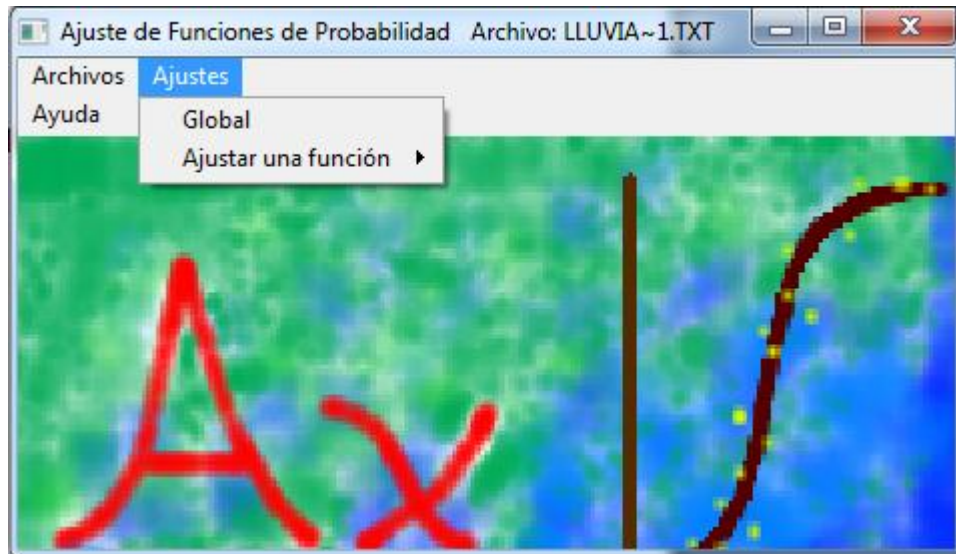


Paso 7

Ahora para poder obtener los errores estándar de todas las funciones de distribución que calcula el programa se debe de ir a la pestaña **ajustes** y se debe seleccionar la opción **global**.



Figura 3.14 Gráfica del programa AX.EXE paso 7



Paso 8

La opción **global** abrirá una ventana donde se presentarán los errores estándar de cada función de distribución. Se deberá de escoger la función con menor error estándar para así obtener resultados menos inciertos.

Figura 3.15 Gráfica del programa AX.EXE paso 8

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	4,720	-----	4,720	-----
Lognormal	4,993	4,595	6,331	8,486
Gumbel	5,065	-----	5,772	-----
Exponencial	7,589	-----	39,111	-----
Gamma	4,660	74,378	4,566	11111,000
Doble Gumbel	6,167			

Mínimo error estándar: 4,595
Calculado por la función: Lognormal (momentos) 3 p.

Aceptar Imprimir Ayuda



Paso 9

Una vez escogida la función de menor error estándar, se debe de ajustar los datos a la función escogida para lo cual se escoge la pestaña **ajuste** y luego la opción **ajustar a una función** y se escoge la de menor error estándar.

Figura 3.16 Gráfica del programa AX.EXE paso 9

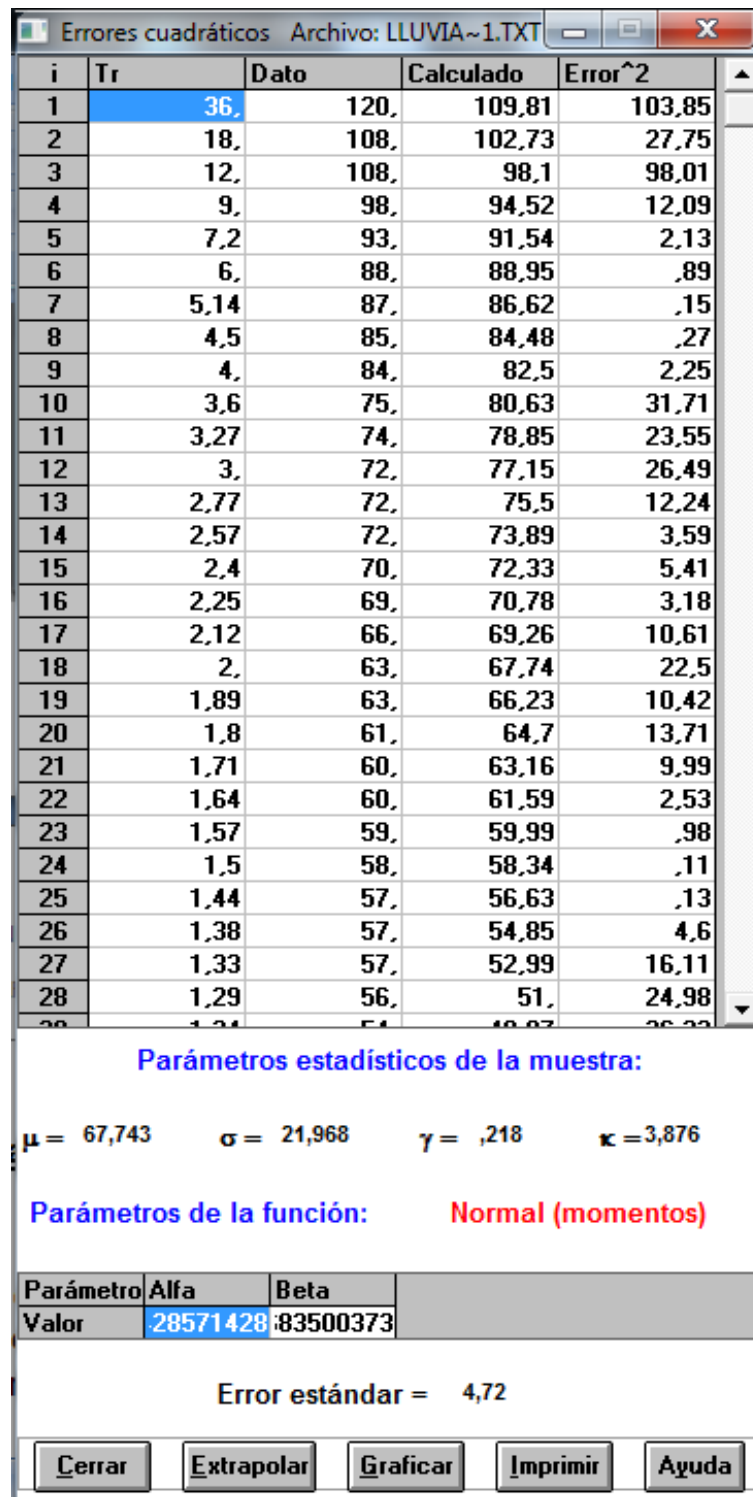


Paso 10

Luego de que se ajustan los datos a una función se podrá observar una ventana con los periodos de retorno, los datos ingresados, los datos calculados y el error al cuadrado.



Figura 3.17 Gráfica del programa AX.EXE paso 10

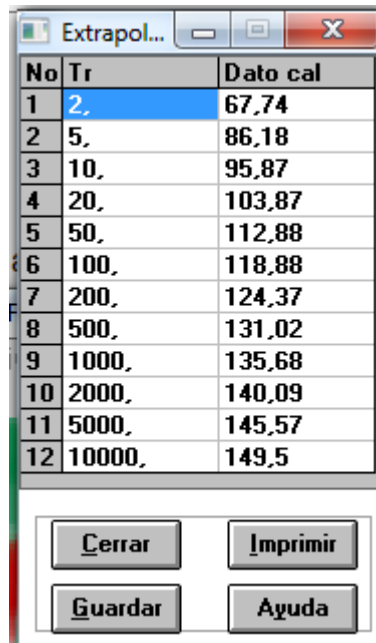




Paso 11

De la ventana anterior se debe de escoger la opción **extrapolar** para que el programa calcule las intensidades estimadas para cada periodo de retorno que son las que se necesitarán para graficar las curvas IDT.

Figura 3.18 Gráfica del programa AX.EXE paso 11.1

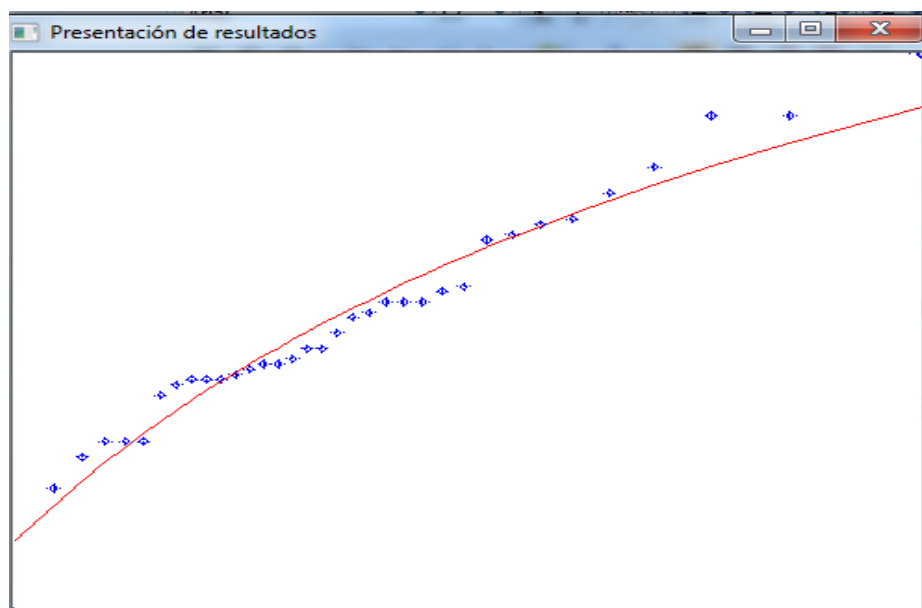


No	Tr	Dato cal
1	2.	67,74
2	5.	86,18
3	10.	95,87
4	20.	103,87
5	50.	112,88
6	100.	118,88
7	200.	124,37
8	500.	131,02
9	1000.	135,68
10	2000.	140,09
11	5000.	145,57
12	10000.	149,5

Buttons: Cerrar, Imprimir, Guardar, Ayuda

También se puede escoger la opción **graficar** si desean observar gráficamente los datos reales vs. los datos estimados.

Figura 3.19 Gráfica del programa AX.EXE paso 11.2





Todos estos pasos deberán de ser realizados para cada intensidad (10, 20, 30, 40, 50, 60, 120, 360) minutos de cada ciudad.

3.6. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Aplicando los pasos anteriores en el programa, obtenemos los siguientes resultados:

Portoviejo, Duraciones de 10 minutos

- **Error estándar**

Tabla 3.5 Error estándar Portoviejo, 10 min.

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	8,543		8,543	
Lognormal	5,563	5,743	5,293	70,585
Gumbel	5,551		5,754	
Exponencial	6,505		31,458	
Gamma	71,534	71,534		

Mínimo error estándar:	5,293
------------------------	-------

- **Cálculo del error cuadrático**

Tabla 3.6 Error cuadrático Portoviejo, 10 min.

i	Tr	Dato	Calculado	Error ²
1	52	144	139,48	20,44
2	26	129	122,98	36,23
3	17,33	126	113,4	158,84
4	13	114	106,58	55,02
5	10,4	114	101,28	161,89
6	8,67	102	96,92	25,82
7	7,43	96	93,21	7,81
8	6,5	96	89,96	36,43
9	5,78	92	87,08	24,19
10	5,2	77	84,48	55,95
11	4,73	76	82,11	37,28



12	4,33	72	79,92	62,65
13	4	72	77,88	34,56
14	3,71	72	75,97	15,79
15	3,47	69	74,18	26,82
16	3,25	69	72,48	12,11
17	3,06	64	70,86	47,12
18	2,89	64	69,32	28,33
19	2,74	64	67,84	14,78
20	2,6	60	66,42	41,25
21	2,48	60	65,05	25,51
22	2,36	60	63,72	13,86
23	2,26	60	62,43	5,93
24	2,17	60	61,18	1,4
25	2,08	60	59,96	0
26	2	60	58,77	1,52
27	1,93	60	57,59	5,79
28	1,86	59	56,44	6,53
29	1,79	58	55,31	7,23
30	1,73	57	54,19	7,88
31	1,68	57	53,09	15,32
32	1,63	57	51,99	25,1
33	1,58	57	50,9	37,2
34	1,53	54	49,82	17,51
35	1,49	54	48,73	27,76
36	1,44	54	47,64	40,39
37	1,41	51	46,55	19,77
38	1,37	48	45,45	6,48
39	1,33	48	44,34	13,38
40	1,3	48	43,21	22,92
41	1,27	47	42,06	24,41
42	1,24	45	40,88	17
43	1,21	42	39,66	5,49
44	1,18	36	38,39	5,69
45	1,16	36	37,05	1,1
46	1,13	32	35,63	13,19
47	1,11	30	34,1	16,79
48	1,08	30	32,4	5,76
49	1,06	26	30,45	19,83
50	1,04	24	28,08	16,65
51	1,02	21	24,76	14,13



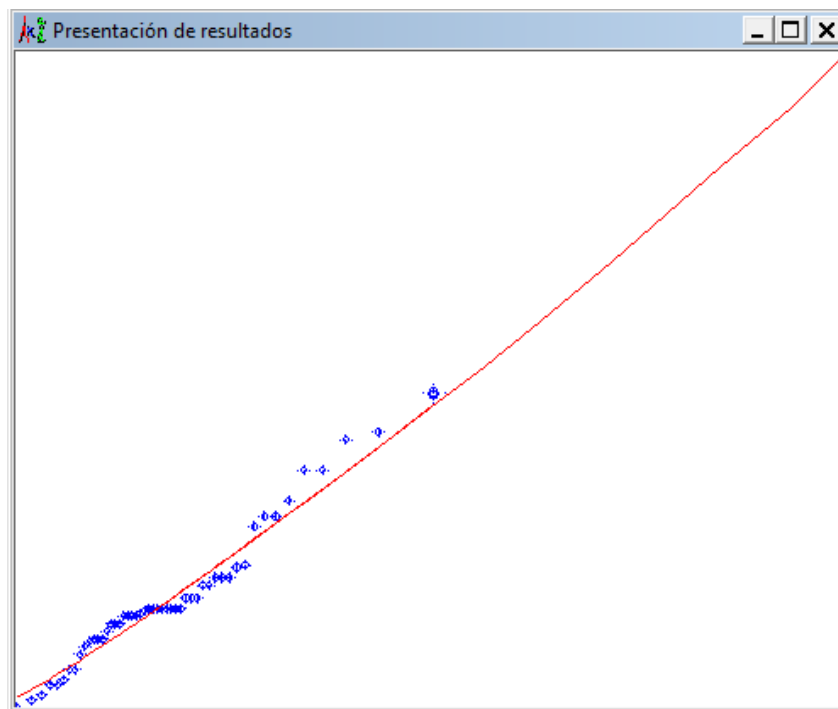
○ **Extrapolación de datos**

Tabla 3.7 Extrapolación Portoviejo, 10 min.

Tr	Dato Calculado
2	58,77
5	83,51
10	100,34
20	116,77
50	138,53
100	155,23

○ **Gráfico**

Figura 3.20 Gráfica ajustada Portoviejo, 10 min.





Portoviejo, Duraciones de 20 minutos

○ Error estándar

Tabla 3.8 Error estándar Portoviejo, 20 min.

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	5,124		5,124	
Lognormal	3,678	3,520	3,326	54,549
Gumbel	3,419		3,108	
Exponencial	5,408		24,035	
Gamma	55,495	55,495		

Mínimo error estándar:	3,108
------------------------	-------

○ Cálculo del error cuadrático

Tabla 3.9 Error cuadrático Portoviejo, 20 min.

i	Tr	Dato	Calculado	Error ²
1	52	107	108,16	1,35
2	26	102	95,9	37,24
3	17,33	99	88,65	107,14
4	13	90	83,45	42,86
5	10,4	81	79,38	2,63
6	8,67	78	76,02	3,94
7	7,43	78	73,14	23,63
8	6,5	66	70,62	21,33
9	5,78	65	68,37	11,35
10	5,2	63	66,33	11,11
11	4,73	61	64,47	12,03
12	4,33	60	62,74	7,53
13	4	59	61,14	4,56
14	3,71	58	59,63	2,65
15	3,47	55	58,2	10,27
16	3,25	55	56,85	3,44
17	3,06	54	55,57	2,45
18	2,89	54	54,33	0,11
19	2,74	54	53,15	0,72
20	2,6	52	52,01	0
21	2,48	51	50,9	0,01
22	2,36	51	49,83	1,37
23	2,26	49	48,79	0,05



24	2,17	49	47,77	1,52
25	2,08	49	46,77	4,96
26	2	49	45,8	10,27
27	1,93	47	44,84	4,68
28	1,86	46	43,89	4,45
29	1,79	46	42,95	9,27
30	1,73	45	42,03	8,83
31	1,68	45	41,11	15,13
32	1,63	44	40,2	14,47
33	1,58	43	39,28	13,81
34	1,53	42	38,37	13,17
35	1,49	39	37,46	2,38
36	1,44	37	36,53	0,22
37	1,41	36	35,6	0,16
38	1,37	34	34,66	0,44
39	1,33	34	33,7	0,09
40	1,3	33	32,73	0,08
41	1,27	31	31,72	0,52
42	1,24	29	30,68	2,82
43	1,21	29	29,6	0,36
44	1,18	28	28,47	0,22
45	1,16	27	27,26	0,07
46	1,13	27	25,97	1,06
47	1,11	27	24,56	5,96
48	1,08	19	22,97	15,77
49	1,06	18	21,12	9,71
50	1,04	14	18,8	23,02
51	1,02	14	15,43	2,05

○ **Extrapolación de datos**

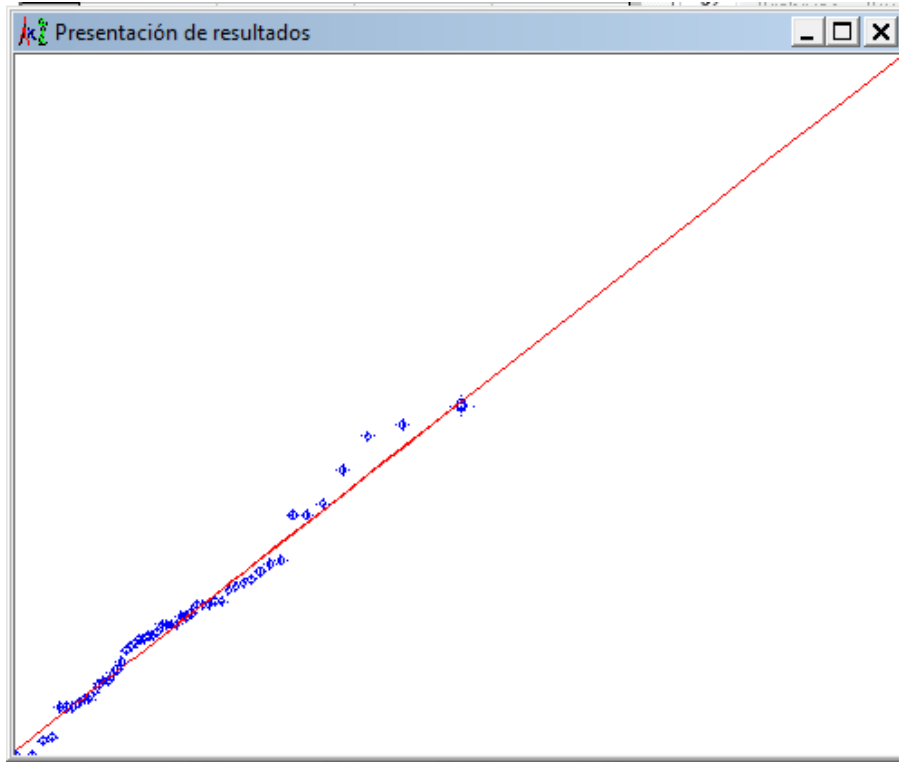
Tabla 3.10 Extrapolación Portoviejo, 20 min.

Tr	Dato Calculado
2	45,8
5	65,57
10	78,66
20	91,22
50	107,47
100	119,65



○ **Gráfico**

Figura 3.21 Gráfica ajustada Portoviejo, 20 min.



Portoviejo, Duraciones de 30 minutos

○ **Error estándar**

Tabla 3.11 Error estándar Portoviejo, 30 min.

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	3,058		3,058	
Lognormal	3,294	2,388	3,486	45,459
Gumbel	2,939		2,606	
Exponencial	5,234		21,029	
Gamma	46,408	46,408		

Mínimo error estándar:	2,388
-------------------------------	-------

○ **Cálculo del error cuadrático****Tabla 3.12 Error cuadrático Portoviejo, 30 min.**

i	Tr	Dato	Calculado	Error ²
1	52	80	82,28	5,2
2	26	78	75,28	7,4
3	17,33	78	70,94	49,89
4	13	72	67,71	18,43
5	10,4	70	65,1	24
6	8,67	70	62,9	50,48
7	7,43	66	60,97	25,34
8	6,5	64	59,24	22,63
9	5,78	58	57,68	0,1
10	5,2	53	56,24	10,47
11	4,73	53	54,89	3,59
12	4,33	53	53,64	0,41
13	4	52	52,45	0,2
14	3,71	50	51,32	1,73
15	3,47	50	50,24	0,06
16	3,25	49	49,2	0,04
17	3,06	47	48,19	1,43
18	2,89	46	47,22	1,5
19	2,74	46	46,28	0,08
20	2,6	43	45,36	5,58
21	2,48	43	44,46	2,14
22	2,36	42	43,58	2,5
23	2,26	42	42,72	0,51
24	2,17	41	41,86	0,74
25	2,08	41	41,02	0
26	2	41	40,19	0,66
27	1,93	40	39,36	0,41
28	1,86	38	38,53	0,28
29	1,79	38	37,71	0,08
30	1,73	37	36,89	0,01
31	1,68	36	36,07	0
32	1,63	36	35,24	0,58
33	1,58	36	34,41	2,54
34	1,53	34	33,57	0,19
35	1,49	32	32,71	0,51
36	1,44	32	31,85	0,02
37	1,41	31	30,97	0
38	1,37	31	30,07	0,87
39	1,33	28	29,14	1,3
40	1,3	26	28,18	4,77



41	1,27	26	27,19	1,42
42	1,24	25	26,16	1,34
43	1,21	23	25,07	4,28
44	1,18	22	23,91	3,66
45	1,16	22	22,67	0,45
46	1,13	22	21,32	0,46
47	1,11	19	19,83	0,68
48	1,08	16	18,12	4,49
49	1,06	14	16,09	4,37
50	1,04	14	13,5	0,25
51	1,02	12	9,64	5,57

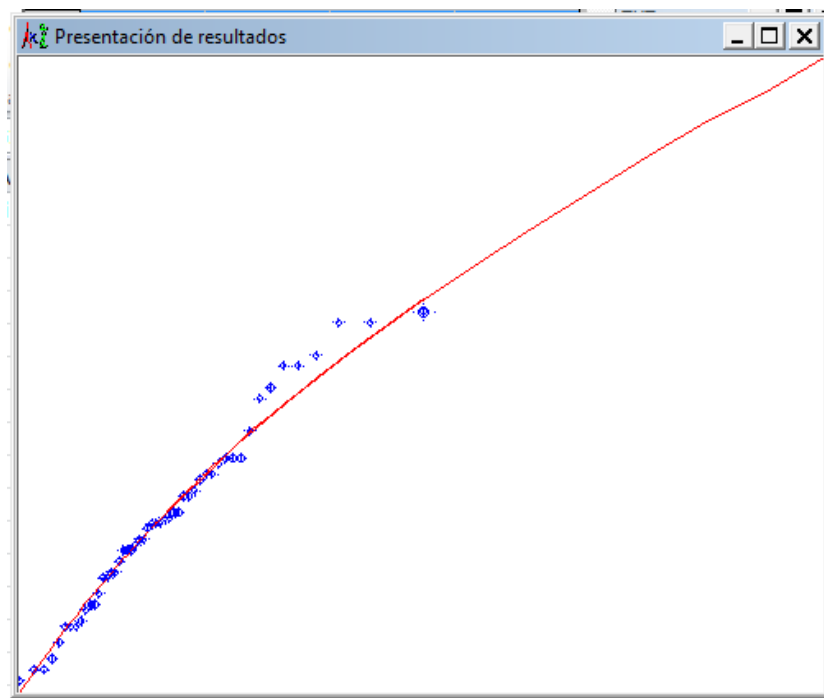
- **Extrapolación de datos**

Tabla 3.13 Extrapolación Portoviejo, 30 min.

Tr	Dato Calculado
2	40,19
5	55,69
10	64,63
20	72,49
50	81,89
100	88,5

- **Gráfico**

Figura 3.22 Gráfica ajustada Portoviejo, 30 min.





Portoviejo, Duraciones de 40 minutos

- **Error estándar**

Tabla 3.14 Error estándar Portoviejo, 40 min.

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	2,704		2,704	
Lognormal	2,646	2,046	2,621	36,635
Gumbel	2,384		2,162	
Exponencial	4,111		16,874	
Gamma	37,583	37,583		

Mínimo error estándar:	2,046
------------------------	-------

- **Cálculo del error cuadrático**

Tabla 3.15 Error cuadrático Portoviejo, 40 min.

i	Tr	Dato	Calculado	Error ²
1	52	65	67,01	4,03
2	26	65	61,2	14,43
3	17,33	60	57,61	5,71
4	13	57	54,95	4,22
5	10,4	55	52,8	4,85
6	8,67	55	50,98	16,13
7	7,43	52	49,4	6,77
8	6,5	52	47,98	16,14
9	5,78	52	46,7	28,11
10	5,2	49	45,52	12,13
11	4,73	49	44,42	20,98
12	4,33	46	43,39	6,81
13	4	43	42,42	0,34
14	3,71	41	41,49	0,24
15	3,47	39	40,61	2,6
16	3,25	37	39,76	7,64
17	3,06	37	38,95	3,79
18	2,89	36	38,16	4,65
19	2,74	35	37,39	5,7
20	2,6	35	36,64	2,69
21	2,48	35	35,91	0,83
22	2,36	35	35,19	0,04
23	2,26	33	34,49	2,21
24	2,17	33	33,8	0,63



25	2,08	32	33,11	1,24
26	2	32	32,43	0,19
27	1,93	31	31,76	0,58
28	1,86	31	31,1	0,01
29	1,79	30	30,43	0,18
30	1,73	30	29,76	0,06
31	1,68	29	29,1	0,01
32	1,63	28	28,43	0,19
33	1,58	28	27,76	0,06
34	1,53	26	27,08	1,16
35	1,49	25	26,39	1,94
36	1,44	24	25,69	2,87
37	1,41	24	24,98	0,97
38	1,37	23	24,26	1,58
39	1,33	23	23,51	0,26
40	1,3	23	22,74	0,07
41	1,27	22	21,95	0
42	1,24	20	21,12	1,25
43	1,21	18	20,24	5,03
44	1,18	18	19,32	1,73
45	1,16	17	18,32	1,75
46	1,13	17	17,24	0,06
47	1,11	16	16,05	0
48	1,08	15	14,68	0,1
49	1,06	15	13,07	3,73
50	1,04	11	11,01	0
51	1,02	10	7,95	4,21

○ **Extrapolación de datos**

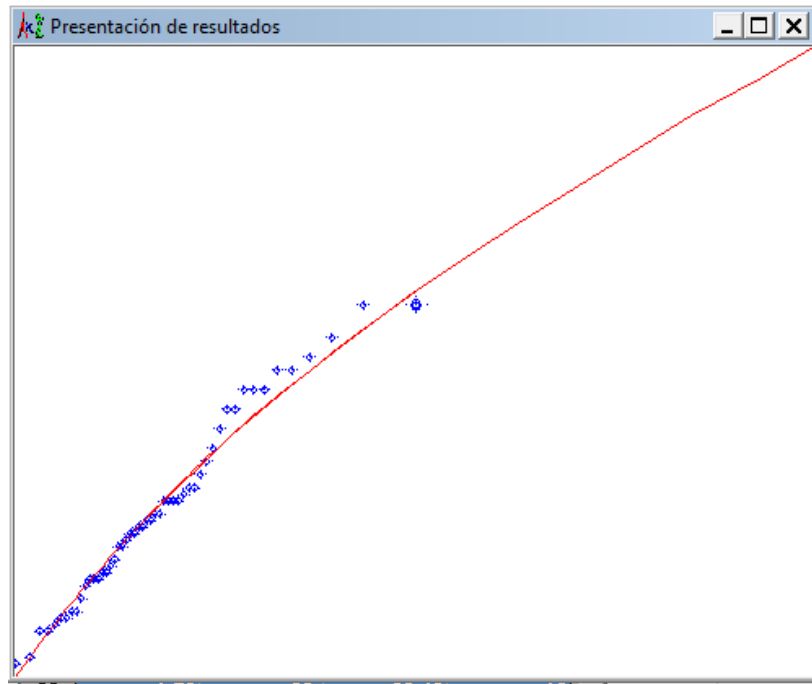
Tabla 3.16 Extrapolación Portoviejo, 40 min.

Tr	Dato Calculado
2	32,43
5	45,07
10	52,41
20	58,9
50	66,69
100	72,18



○ **Gráfico**

Figura 3.23 Gráfica ajustada Portoviejo, 40 min.



Portoviejo, Duraciones de 50 minutos

○ **Error estándar**

Tabla 3.17 Error estándar Portoviejo, 50 min.

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	2,587		2,587	
Lognormal	2,271	1,844	2,185	32,270
Gumbel	2,011		1,828	
Exponencial	3,496		14,395	
Gamma	33,213	33,213		

Mínimo error estándar:	1,828
------------------------	-------

○ **Cálculo del error cuadrático**

Tabla 3.18 Error cuadrático Portoviejo, 50 min.

i	Tr	Dato	Calculado	Error ²
1	52	62	64,85	8,14
2	26	56	57,47	2,17
3	17,33	52	53,11	1,23



4	13	51	49,98	1,03
5	10,4	50	47,53	6,09
6	8,67	48	45,51	6,22
7	7,43	46	43,78	4,95
8	6,5	46	42,26	14
9	5,78	46	40,9	25,96
10	5,2	43	39,68	11,03
11	4,73	43	38,56	19,74
12	4,33	41	37,52	12,11
13	4	40	36,55	11,89
14	3,71	38	35,64	5,55
15	3,47	33	34,79	3,2
16	3,25	33	33,98	0,95
17	3,06	32	33,2	1,44
18	2,89	31	32,46	2,13
19	2,74	31	31,75	0,56
20	2,6	31	31,06	0
21	2,48	30	30,39	0,15
22	2,36	29	29,75	0,56
23	2,26	29	29,12	0,01
24	2,17	28	28,51	0,26
25	2,08	28	27,91	0,01
26	2	28	27,32	0,46
27	1,93	27	26,74	0,07
28	1,86	27	26,17	0,68
29	1,79	27	25,61	1,93
30	1,73	26	25,05	0,9
31	1,68	25	24,5	0,25
32	1,63	25	23,95	1,1
33	1,58	25	23,4	2,56
34	1,53	22	22,85	0,73
35	1,49	22	22,3	0,09
36	1,44	21	21,75	0,56
37	1,41	20	21,19	1,41
38	1,37	20	20,62	0,38
39	1,33	20	20,04	0
40	1,3	20	19,45	0,3
41	1,27	20	18,85	1,33
42	1,24	17	18,22	1,5
43	1,21	17	17,57	0,33
44	1,18	15	16,89	3,57
45	1,16	15	16,17	1,36
46	1,13	14	15,39	1,93
47	1,11	14	14,54	0,29



48	1,08	14	13,58	0,17
49	1,06	12	12,47	0,22
50	1,04	10	11,07	1,15
51	1,02	8	9,05	1,1

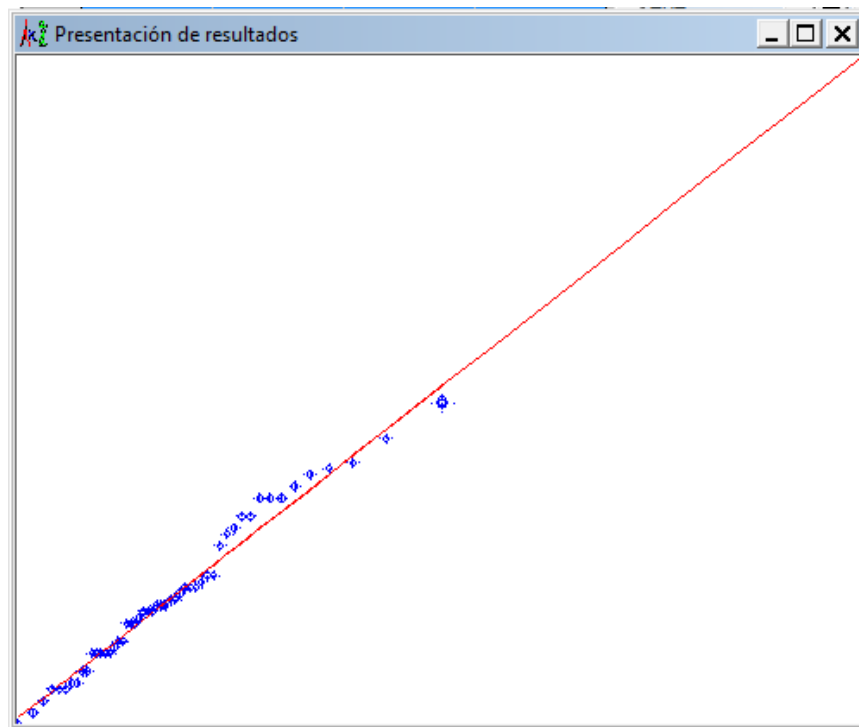
- **Extrapolación de datos**

Tabla 3.19 Extrapolación Portoviejo, 50 min.

Tr	Dato Calculado
2	27,32
5	39,22
10	47,1
20	54,65
50	64,44
100	71,77

- **Gráfico**

Figura 3.24 Gráfica ajustada Portoviejo, 50 min.





Portoviejo, Duraciones de 60 minutos

- **Error estándar**

Tabla 3.20 Error estándar Portoviejo, 60 min.

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	2,227		2,227	
Lognormal	2,533	1,757	2,788	31,356
Gumbel	2,190		1,975	
Exponencial	3,819		14,086	
Gamma	32,298	32,298		

Mínimo error estándar:	1,757
------------------------	-------

- **Cálculo del error cuadrático**

Tabla 3.21 Error cuadrático Portoviejo, 60 min.

i	Tr	Dato	Calculado	Error ²
1	52	56	57,96	3,85
2	26	54	52,98	1,03
3	17,33	53	49,89	9,69
4	13	52	47,58	19,53
5	10,4	49	45,72	10,77
6	8,67	47	44,14	8,18
7	7,43	45	42,76	5,03
8	6,5	44	41,52	6,14
9	5,78	41	40,4	0,36
10	5,2	41	39,36	2,68
11	4,73	39	38,4	0,36
12	4,33	39	37,5	2,26
13	4	39	36,64	5,57
14	3,71	38	35,83	4,72
15	3,47	38	35,05	8,71
16	3,25	37	34,3	7,29
17	3,06	34	33,58	0,18
18	2,89	31	32,88	3,52
19	2,74	29	32,2	10,22
20	2,6	29	31,53	6,42
21	2,48	29	30,88	3,55
22	2,36	29	30,25	1,56
23	2,26	28	29,62	2,63
24	2,17	28	29	1,01



25	2,08	28	28,4	0,16
26	2	27	27,79	0,63
27	1,93	27	27,19	0,04
28	1,86	25	26,59	2,54
29	1,79	24	26	4
30	1,73	24	25,4	1,97
31	1,68	24	24,81	0,65
32	1,63	23	24,21	1,45
33	1,58	23	23,6	0,36
34	1,53	22	22,99	0,98
35	1,49	22	22,37	0,14
36	1,44	22	21,74	0,07
37	1,41	21	21,1	0,01
38	1,37	20	20,44	0,2
39	1,33	19	19,77	0,59
40	1,3	19	19,07	0,01
41	1,27	18	18,35	0,12
42	1,24	17	17,6	0,36
43	1,21	16	16,8	0,64
44	1,18	15	15,96	0,92
45	1,16	15	15,05	0
46	1,13	13	14,06	1,13
47	1,11	13	12,97	0
48	1,08	13	11,72	1,65
49	1,06	9	10,23	1,5
50	1,04	9	8,32	0,46
51	1,02	7	5,48	2,32

○ **Extrapolación de datos**

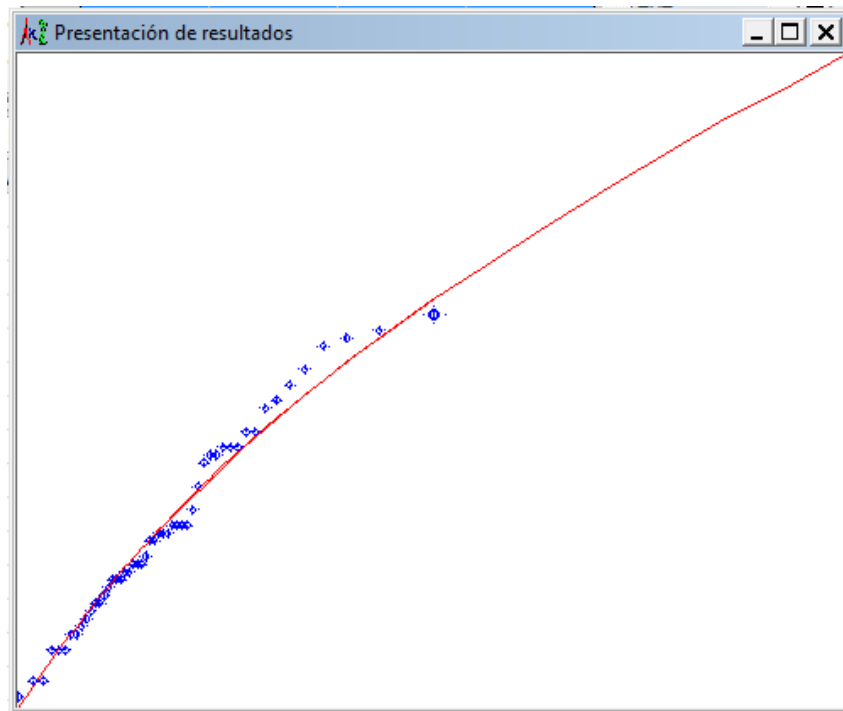
Tabla 3.22 Extrapolación Portoviejo, 60 min.

Tr	Dato Calculado
2	27,79
5	38,97
10	45,38
20	51
50	57,69
100	62,37



○ **Gráfico**

Figura 3.25 Gráfica ajustada Portoviejo, 60 min.



Portoviejo, Duraciones de 120 minutos

○ **Error estándar**

Tabla 3.23 Error estándar Portoviejo, 120 min.

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	1,655		1,655	
Lognormal	1,678	1,284	1,760	19,308
Gumbel	1,449		1,339	
Exponencial	2,387		8,476	
Gamma	20,242	20,242		

Mínimo error estándar:	1,284
-------------------------------	-------

○ **Cálculo del error cuadrático****Tabla 3.24 Error cuadrático Portoviejo, 120 min.**

i	Tr	Dato	Calculado	Error ²
1	52	38	37,15	0,73
2	26	32	33,77	3,15
3	17,33	32	31,69	0,09
4	13	32	30,15	3,43
5	10,4	31	28,91	4,39
6	8,67	31	27,86	9,88
7	7,43	30	26,94	9,36
8	6,5	30	26,12	15,03
9	5,78	27	25,38	2,62
10	5,2	27	24,7	5,29
11	4,73	26	24,07	3,73
12	4,33	24	23,47	0,28
13	4	22	22,91	0,84
14	3,71	22	22,38	0,15
15	3,47	21	21,88	0,77
16	3,25	21	21,39	0,15
17	3,06	21	20,92	0,01
18	2,89	21	20,46	0,29
19	2,74	19	20,02	1,04
20	2,6	18	19,59	2,54
21	2,48	18	19,17	1,38
22	2,36	18	18,76	0,58
23	2,26	18	18,36	0,13
24	2,17	18	17,96	0
25	2,08	17	17,57	0,32
26	2	16	17,18	1,39
27	1,93	16	16,8	0,63
28	1,86	16	16,41	0,17
29	1,79	15	16,03	1,07
30	1,73	15	15,65	0,42
31	1,68	15	15,27	0,07
32	1,63	15	14,89	0,01
33	1,58	14	14,5	0,25
34	1,53	13	14,12	1,25
35	1,49	13	13,72	0,52
36	1,44	13	13,33	0,11
37	1,41	12	12,92	0,85
38	1,37	12	12,51	0,26
39	1,33	12	12,08	0,01
40	1,3	12	11,64	0,13



41	1,27	11	11,19	0,04
42	1,24	11	10,72	0,08
43	1,21	11	10,22	0,61
44	1,18	9	9,69	0,48
45	1,16	8	9,13	1,27
46	1,13	8	8,51	0,26
47	1,11	8	7,83	0,03
48	1,08	7	7,06	0
49	1,06	6	6,14	0,02
50	1,04	5	4,98	0
51	1,02	5	3,25	3,07

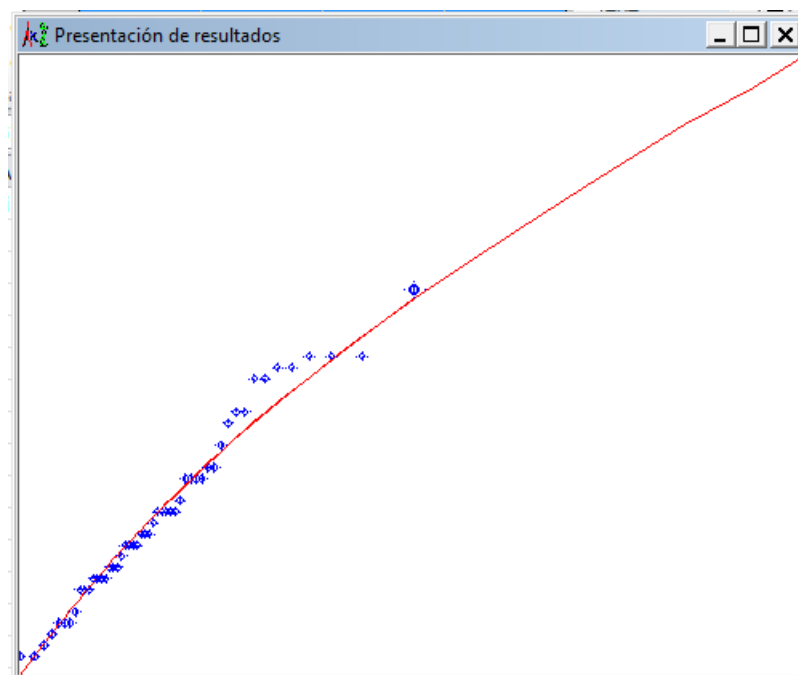
- **Extrapolación de datos**

Tabla 3.25 Extrapolación Portoviejo, 120 min.

Tr	Dato Calculado
2	17,18
5	24,44
10	28,68
20	32,44
50	36,96
100	40,16

- **Gráfico**

Figura 3.26 Gráfica ajustada Portoviejo, 120 min.





Portoviejo, Duraciones de 360 minutos

○ Error estándar

Tabla 3.26 Error estándar Portoviejo, 360 min.

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	1,03		1,03	
Lognormal	0,667	0,653	0,587	7,439
Gumbel	0,625		0,695	
Exponencial	0,814		2,981	
Gamma	8,345	8,345		

Mínimo error estándar:	0,587
------------------------	-------

○ Cálculo del error cuadrático

Tabla 3.27 Error cuadrático Portoviejo, 360 min.

i	Tr	Dato	Calculado	Error ²
1	52	18	18,44	0,2
2	26	16	15,8	0,04
3	17,33	13	14,3	1,69
4	13	13	13,25	0,06
5	10,4	13	12,45	0,31
6	8,67	12	11,79	0,04
7	7,43	12	11,24	0,58
8	6,5	12	10,76	1,54
9	5,78	12	10,34	2,76
10	5,2	11	9,96	1,08
11	4,73	11	9,62	1,91
12	4,33	10	9,3	0,49
13	4	10	9,01	0,98
14	3,71	8	8,74	0,55
15	3,47	8	8,49	0,24
16	3,25	8	8,25	0,06
17	3,06	8	8,03	0
18	2,89	8	7,81	0,04
19	2,74	8	7,61	0,15
20	2,6	7	7,41	0,17
21	2,48	7	7,22	0,05
22	2,36	7	7,04	0
23	2,26	7	6,87	0,02
24	2,17	7	6,7	0,09
25	2,08	7	6,54	0,22



26	2	7	6,38	0,39
27	1,93	6	6,22	0,05
28	1,86	6	6,07	0
29	1,79	6	5,92	0,01
30	1,73	6	5,77	0,05
31	1,68	5	5,63	0,39
32	1,63	5	5,49	0,24
33	1,58	5	5,34	0,12
34	1,53	5	5,2	0,04
35	1,49	5	5,07	0
36	1,44	5	4,93	0,01
37	1,41	5	4,79	0,04
38	1,37	5	4,65	0,12
39	1,33	5	4,51	0,24
40	1,3	5	4,37	0,4
41	1,27	4	4,23	0,05
42	1,24	4	4,08	0,01
43	1,21	4	3,93	0
44	1,18	4	3,78	0,05
45	1,16	3	3,62	0,38
46	1,13	3	3,45	0,2
47	1,11	3	3,27	0,07
48	1,08	3	3,07	0
49	1,06	3	2,84	0,02
50	1,04	2	2,57	0,33
51	1,02	2	2,2	0,04

○ **Extrapolación de datos**

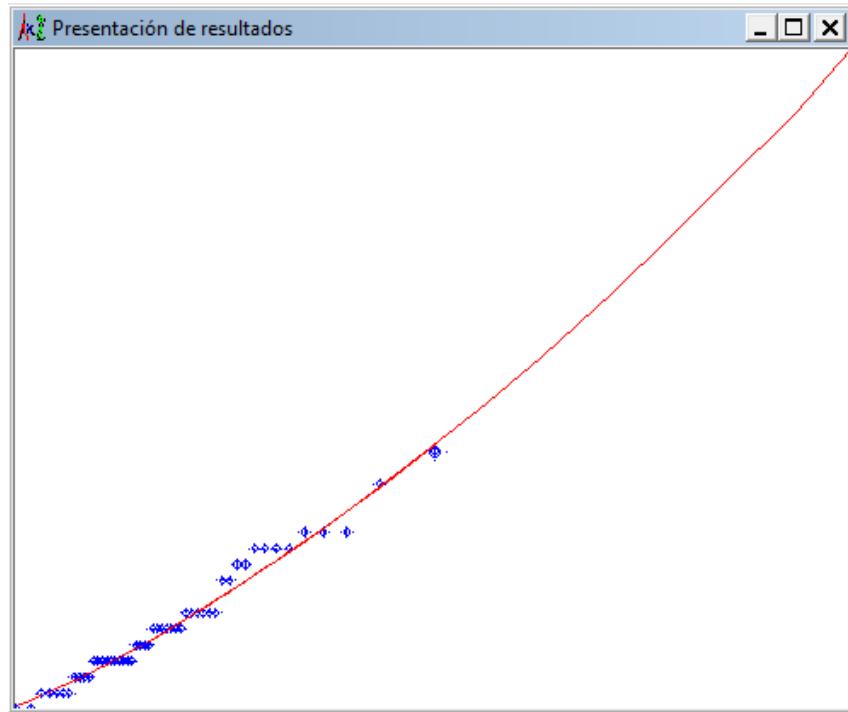
Tabla 3.28 Extrapolación Portoviejo, 360 min.

Tr	Dato Calculado
2	6,38
5	9,82
10	12,3
20	14,83
50	18,29
100	21,03



○ **Gráfico**

Figura 3.27 Gráfica ajustada Portoviejo, 360 min.





Chone, Duraciones de 10 minutos

- Error estándar

Tabla 3.29 Error estándar Chone, 10 min.

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	1,413		1,413	
Lognormal	1,032	1,018	1,186	7,333
Gumbel	1,049		1,272	
Exponencial	0,945		2,782	
Gamma	8,303	8,303		

Mínimo error estándar:	0,945
------------------------	-------

- Cálculo del error cuadrático

Tabla 3.30 Error cuadrático Chone, 10 min.

i	Tr	Dato	Calculado	Error ²
1	22	17	13,81	10,19
2	11	13	11,55	2,1
3	7,33	10	10,23	0,05
4	5,5	9	9,29	0,09
5	4,4	8	8,57	0,32
6	3,67	8	7,97	0
7	3,14	7	7,47	0,22
8	2,75	7	7,04	0
9	2,44	7	6,65	0,12
10	2,2	7	6,31	0,47
11	2	6	6	0
12	1,83	6	5,72	0,08
13	1,69	6	5,46	0,29
14	1,57	6	5,22	0,61
15	1,47	6	4,99	1,02
16	1,38	5	4,78	0,05
17	1,29	4	4,58	0,34
18	1,22	4	4,4	0,16
19	1,16	4	4,22	0,05
20	1,1	4	4,05	0
21	1,05	3	3,9	0,8



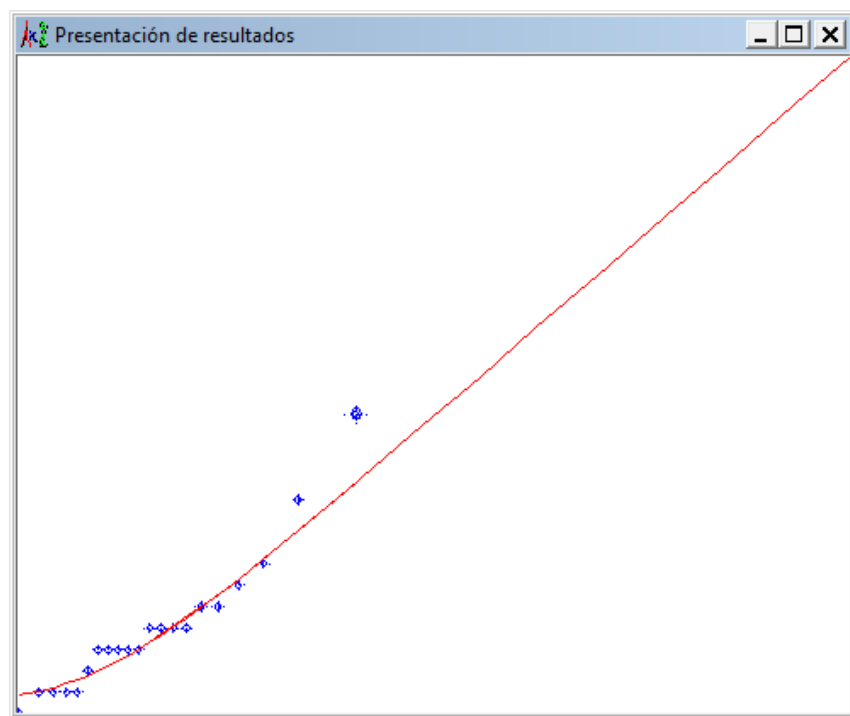
○ **Extrapolación de datos**

Tabla 3.31 Extrapolación Chone, 10 min.

Tr	Dato Calculado
2	6
5	8,98
10	11,24
20	13,5
50	16,48
100	18,74

○ **Gráfico**

Figura 3.28 Gráfica ajustada Chone, 10 min.





Chone, Duraciones de 20 minutos

- Error estándar

Tabla 3.32 Error estándar Chone, 20 min.

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	5,78		5,78	
Lognormal	5,936	4,719	4,607	55,618
Gumbel	4,847		4,714	
Exponencial	6,892		15,746	
Gamma	56,576	56.576		

Mínimo error estándar:	4,607
------------------------	-------

- Cálculo del error cuadrático

Tabla 3.33 Error cuadrático Chone, 20 min.

i	Tr	Dato	Calculado	Error ²
1	22	103	104,23	1,52
2	11	83	85,31	5,36
3	7,33	79	74,6	19,37
4	5,5	77	67,09	98,2
5	4,4	61	61,29	0,08
6	3,67	60	56,54	11,99
7	3,14	55	52,49	6,28
8	2,75	53	48,95	16,4
9	2,44	51	45,78	27,26
10	2,2	50	42,89	50,55
11	2	43	40,22	7,73
12	1,83	42	37,72	18,36
13	1,69	42	35,34	44,41
14	1,57	33	33,05	0,0025
15	1,47	28	30,82	7,93
16	1,38	27	28,61	2,6
17	1,29	24	26,39	5,73
18	1,22	20	24,11	16,9
19	1,16	16	21,68	32,31
20	1,1	16	18,96	8,77
21	1,05	15	15,52	0,27



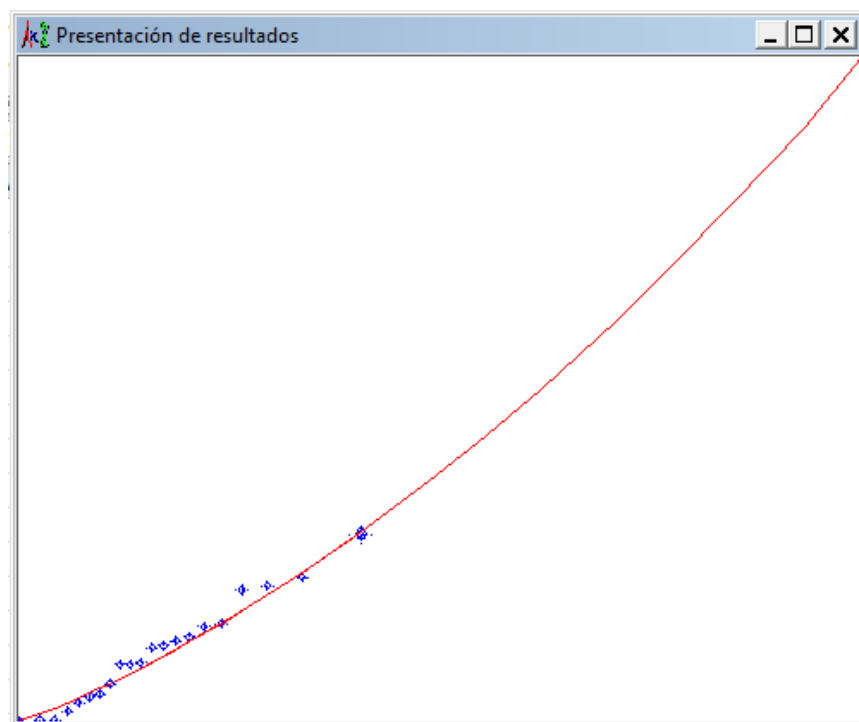
- **Extrapolación de datos**

Tabla 3.34 Extrapolación Chone, 20 min.

Tr	Dato Calculado
2	40,22
5	64,61
10	82,78
20	101,57
50	127,9
100	149,13

- **Gráfico**

Figura 3.29 Gráfica ajustada Chone, 20 min.





Chone, Duraciones de 30 minutos

- **Error estándar**

Tabla 3.35 Error estándar Chone, 30 min.

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	4,929		4,929	
Lognormal	4,494	3,747	3,241	45,724
Gumbel	3,734		3,904	
Exponencial	5,202		12,747	
Gamma	46,683	46,683		

Mínimo error estándar:	3,241
------------------------	-------

- **Cálculo del error cuadrático**

Tabla 3.36 Error cuadrático Chone, 30 min.

i	Tr	Dato	Calculado	Error ²
1	22	87	84,31	7,23
2	11	70	69,41	0,35
3	7,33	65	60,93	16,57
4	5,5	60	54,97	25,34
5	4,4	49	50,34	1,81
6	3,67	49	46,55	6
7	3,14	48	43,31	21,95
8	2,75	45	40,47	20,5
9	2,44	40	37,92	4,31
10	2,2	39	35,6	11,57
11	2	37	33,45	12,64
12	1,83	32	31,42	0,34
13	1,69	32	29,49	6,28
14	1,57	30	27,64	5,58
15	1,47	24	25,82	3,33
16	1,38	23	24,03	1,06
17	1,29	21	22,22	1,48
18	1,22	15	20,35	28,62
19	1,16	15	18,36	11,28
20	1,1	15	16,12	1,24
21	1,05	12	13,27	1,61



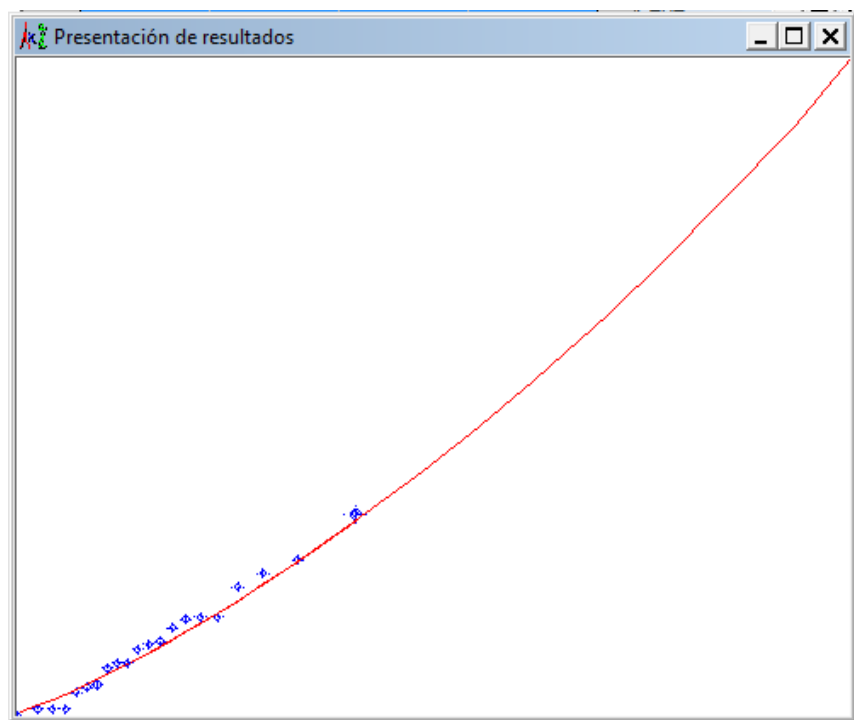
○ **Extrapolación de datos**

Tabla 3.37 Extrapolación Chone, 30 min.

Tr	Dato Calculado
2	33,45
5	52,99
10	67,41
20	82,22
50	102,84
100	119,38

○ **Gráfico**

Figura 3.30 Gráfica ajustada Chone, 30 min.





Chone, Duraciones de 40 minutos

- **Error estándar**

Tabla 3.38 Error estándar Chone, 40 min.

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	5,681		5,681	
Lognormal	4,187	4,109	3,869	38,159
Gumbel	4,018		4,854	
Exponencial	4,246		10,315	
Gamma	39,115	39,115		

Mínimo error estándar:	3,869
-------------------------------	-------

- **Cálculo del error cuadrático**

Tabla 3.39 Error cuadrático Chone, 40 min.

i	Tr	Dato	Calculado	Error ²
1	22	78	67,18	117
2	11	63	56	49,04
3	7,33	56	49,56	41,43
4	5,5	41	45,01	16,04
5	4,4	40	41,45	2,11
6	3,67	39	38,52	0,23
7	3,14	38	36	3,98
8	2,75	35	33,79	1,47
9	2,44	31	31,79	0,63
10	2,2	30	29,96	0
11	2	29	28,26	0,55
12	1,83	28	26,66	1,81
13	1,69	28	25,12	8,28
14	1,57	26	23,64	5,58
15	1,47	22	22,18	0,03
16	1,38	21	20,73	0,07
17	1,29	18	19,27	1,61
18	1,22	15	17,75	7,54
19	1,16	13	16,11	9,7
20	1,1	13	14,26	1,59
21	1,05	11	11,89	0,79



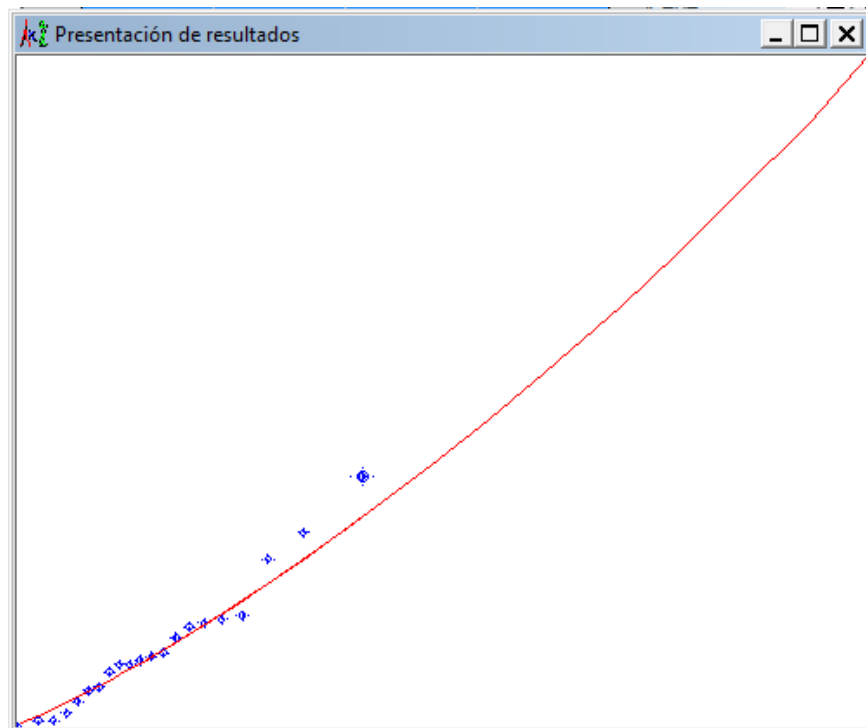
○ **Extrapolación de datos**

Tabla 3.40 Extrapolación Chone, 40 min.

Tr	Dato Calculado
2	28,26
5	43,49
10	54,48
20	65,62
50	80,92
100	93,05

○ **Gráfico**

Figura 3.31 Gráfica ajustada Chone, 40 min.





Chone, Duraciones de 50 minutos

- **Error estándar**

Tabla 3.41 Error estándar Chone, 50 min.

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	5,699		5,699	
Lognormal	4,191	4,189	4,176	33,147
Gumbel	4,189		4,974	
Exponencial	4,112		9,258	
Gamma	34,101	34,101		

Mínimo error estándar:	4,112
-------------------------------	-------

- **Cálculo del error cuadrático**

Tabla 3.42 Error cuadrático Chone, 50 min.

i	Tr	Dato	Calculado	Error ²
1	22	73	59,25	188,95
2	11	53	48,89	16,86
3	7,33	45	42,83	4,69
4	5,5	35	38,53	12,49
5	4,4	34	35,2	1,44
6	3,67	32	32,47	0,22
7	3,14	32	30,17	3,35
8	2,75	30	28,17	3,34
9	2,44	27	26,41	0,34
10	2,2	26	24,84	1,35
11	2	26	23,41	6,69
12	1,83	25	22,11	8,33
13	1,69	24	20,92	9,51
14	1,57	23	19,81	10,18
15	1,47	21	18,78	4,94
16	1,38	19	17,81	1,41
17	1,29	16	16,91	0,82
18	1,22	15	16,05	1,11
19	1,16	12	15,24	10,53
20	1,1	11	14,48	12,1
21	1,05	9	13,75	22,55



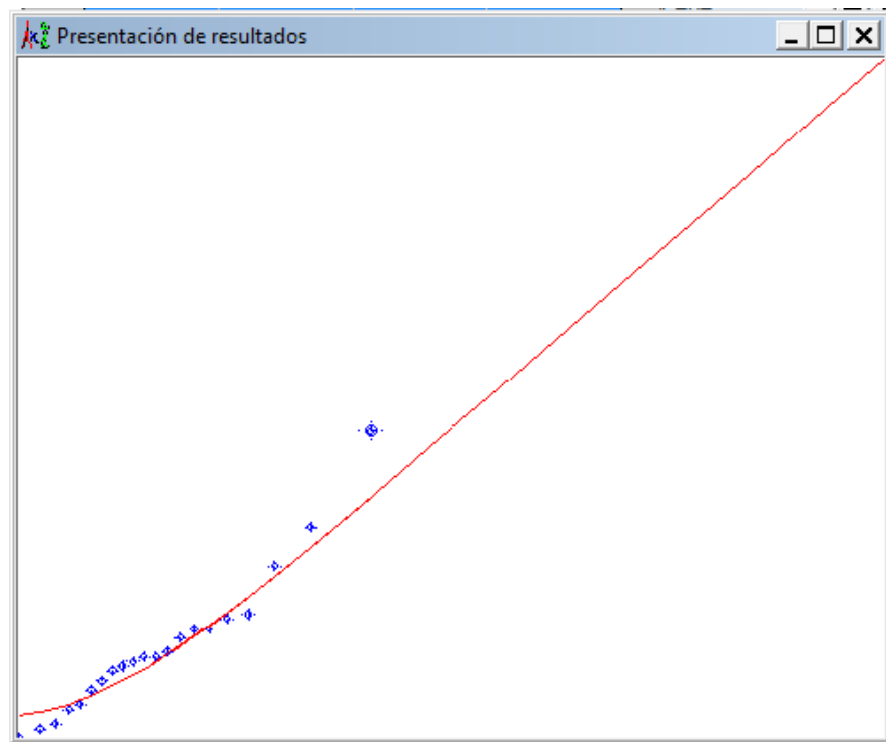
○ **Extrapolación de datos**

Tabla 3.43 Extrapolación Chone, 50 min.

Tr	Dato Calculado
2	23,41
5	37,11
10	47,47
20	57,83
50	71,52
100	81,88

○ **Gráfico**

Figura 3.32 Gráfica ajustada Chone, 50 min.





Chone, Duraciones de 60 minutos

- Error estándar

Tabla 3.44 Error estándar Chone, 60 min.

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	5,981		5,981	
Lognormal	4,792	4,792	4,759	30,591
Gumbel	4,789		5,285	
Exponencial	4,739		9,41	
Gamma	31,545	31,545		

Mínimo error estándar:	4,739
------------------------	-------

- Cálculo del error cuadrático

Tabla 3.45 Error cuadrático Chone, 60 min.

i	Tr	Dato	Calculado	Error ²
1	22	71	54,8	262,35
2	11	46	45,22	0,6
3	7,33	37	39,62	6,86
4	5,5	31	35,64	21,57
5	4,4	30	32,56	6,56
6	3,67	29	30,04	1,08
7	3,14	29	27,91	1,19
8	2,75	28	26,07	3,74
9	2,44	28	24,44	12,69
10	2,2	27	22,98	16,15
11	2	25	21,66	11,13
12	1,83	23	20,46	6,44
13	1,69	21	19,36	2,7
14	1,57	21	18,33	7,12
15	1,47	20	17,38	6,88
16	1,38	19	16,49	6,32
17	1,29	17	15,65	1,83
18	1,22	14	14,86	0,74
19	1,16	10	14,11	16,9
20	1,1	10	13,4	11,57
21	1,05	8	12,73	22,35



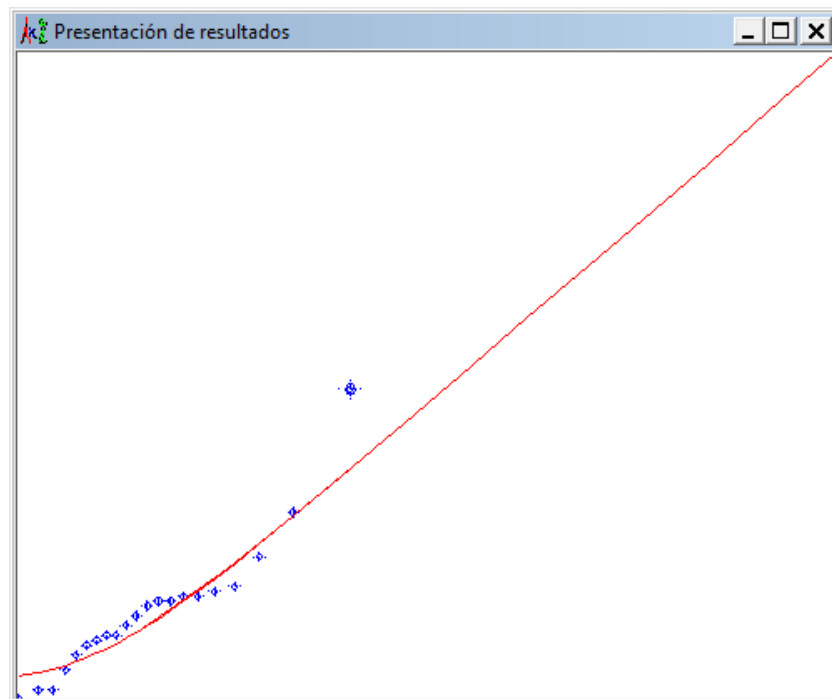
○ **Extrapolación de datos**

Tabla 3.46 Extrapolación Chone, 60 min.

Tr	Dato Calculado
2	21,66
5	34,33
10	43,91
20	53,49
50	66,15
100	75,73

○ **Gráfico**

Figura 3.33 Gráfica ajustada Chone, 60 min.





Chone, Duraciones de 120 minutos

- **Error estándar**

Tabla 3.47 Error estándar Chone, 120 min.

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	3,293		3,293	
Lognormal	2,548	2,55	2,64	19,353
Gumbel	2,536		2,885	
Exponencial	2,526		6,526	
Gamma	20,324	20,324		

Mínimo error estándar:	2,526
-------------------------------	-------

- **Cálculo del error cuadrático**

Tabla 3.48 Error cuadrático Chone, 120 min.

i	Tr	Dato	Calculado	Error ²
1	22	42	34,28	59,58
2	11	32	28,55	11,88
3	7,33	24	25,2	1,44
4	5,5	20	22,82	7,98
5	4,4	20	20,98	0,96
6	3,67	19	19,47	0,22
7	3,14	19	18,2	0,64
8	2,75	19	17,1	3,63
9	2,44	18	16,12	3,53
10	2,2	17	15,25	3,06
11	2	17	14,46	6,43
12	1,83	15	13,74	1,58
13	1,69	13	13,08	0,01
14	1,57	13	12,47	0,28
15	1,47	13	11,9	1,21
16	1,38	12	11,37	0,4
17	1,29	12	10,87	1,29
18	1,22	10	10,39	0,16
19	1,16	9	9,95	0,9
20	1,1	7	9,52	6,37
21	1,05	6	9,12	9,73



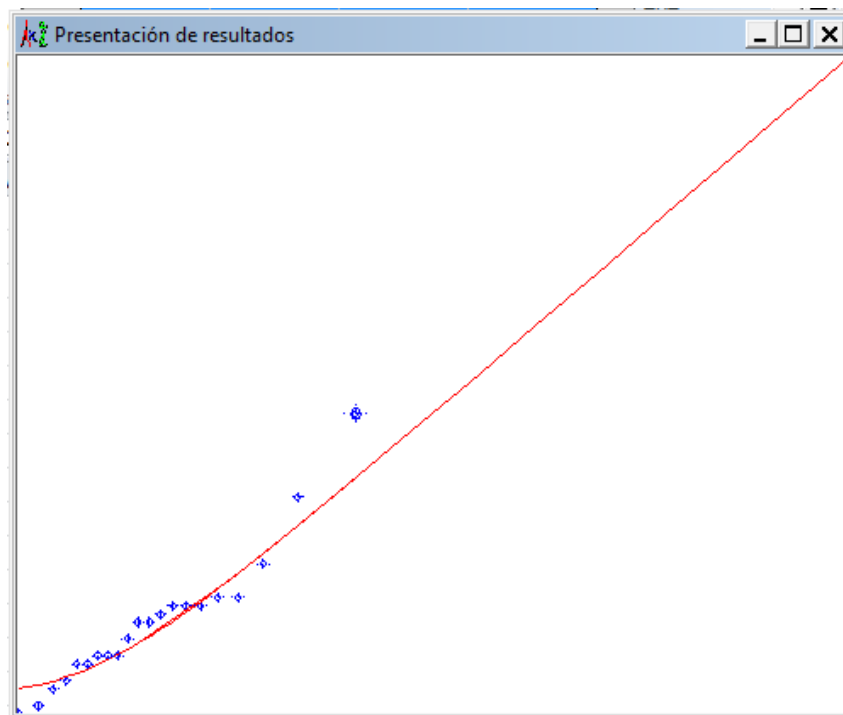
○ **Extrapolación de datos**

Tabla 3.49 Extrapolación Chone, 120 min.

Tr	Dato Calculado
2	14,46
5	22,04
10	27,77
20	33,49
50	41,07
100	46,79

○ **Gráfico**

Figura 3.34 Gráfica ajustada Chone, 120 min.





Chone, Duraciones de 360 minutos

- **Error estándar**

Tabla 3.50 Error estándar Chone, 360 min.

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	1,413		1,413	
Lognormal	1,032	1,018	1,186	7,333
Gumbel	1,049		1,272	
Exponencial	0,945		2,782	
Gamma	8,303	8,303		

Mínimo error estándar:	0,945
-------------------------------	-------

- **Cálculo del error cuadrático**

Tabla 3.51 Error cuadrático Chone, 360 min.

i	Tr	Dato	Calculado	Error ²
1	22	17	13,81	10,19
2	11	13	11,55	2,1
3	7,33	10	10,23	0,05
4	5,5	9	9,29	0,09
5	4,4	8	8,57	0,32
6	3,67	8	7,97	0
7	3,14	7	7,47	0,22
8	2,75	7	7,04	0
9	2,44	7	6,65	0,12
10	2,2	7	6,31	0,47
11	2	6	6	0
12	1,83	6	5,72	0,08
13	1,69	6	5,46	0,29
14	1,57	6	5,22	0,61
15	1,47	6	4,99	1,02
16	1,38	5	4,78	0,05
17	1,29	4	4,58	0,34
18	1,22	4	4,4	0,16
19	1,16	4	4,22	0,05
20	1,1	4	4,05	0
21	1,05	3	3,9	0,8



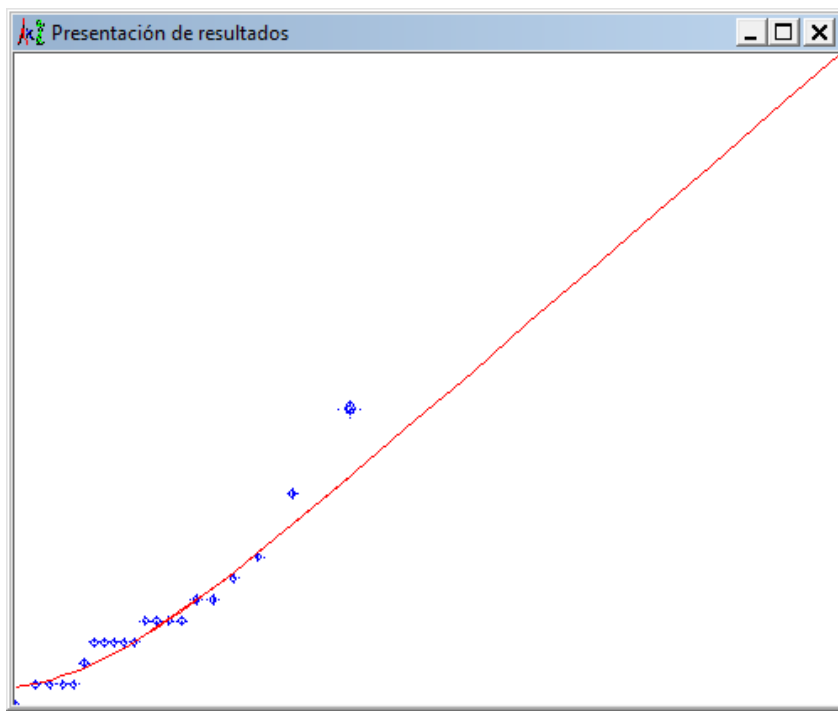
○ **Extrapolación de datos**

Tabla 3.52 Extrapolación Chone, 360 min.

Tr	Dato Calculado
2	6
5	8,98
10	11,24
20	13,5
50	16,48
100	18,74

○ **Gráfico**

Figura 3.35 Gráfica ajustada Chone, 360 min.



Si se revisa todos los resultados, se observara que las funciones que arrojaron un menor error estándar son la EXPONENCIAL y LOGNORMAL, lo cual indica que son las que mejor predicen el comportamiento de las lluvias extremas en Portoviejo y Chone.



Los resultados obtenidos del programa para ambas ciudades son los datos calculados de cada intensidad para los periodos de retorno requeridos, los cuales fueron ordenados en sencillos cuadros para luego poderlos graficar.

A continuación se presentan los cuadros con las intensidades calculadas para la ciudad de Portoviejo y Chone.

Intensidades estimadas para la ciudad de Portoviejo.

Tabla 3.53 Intensidades estimadas, Portoviejo

Tr	DURACIONES (min)							
	10	20	30	40	50	60	120	360
2	58,77	45,80	40,19	32,43	27,32	27,79	17,18	6,38
5	83,51	65,57	55,69	45,07	39,22	38,97	24,44	9,82
10	100,34	78,66	64,63	52,41	47,10	45,38	28,68	12,30
20	116,77	91,22	72,49	58,90	54,65	51,00	32,44	14,83
50	138,53	107,47	81,89	66,69	64,44	57,69	36,96	18,29
100	155,23	119,65	88,50	72,18	71,77	62,37	40,16	21,03

Intensidades estimadas para la ciudad de Chone.

Tabla 3.54 Intensidades estimadas, Chone

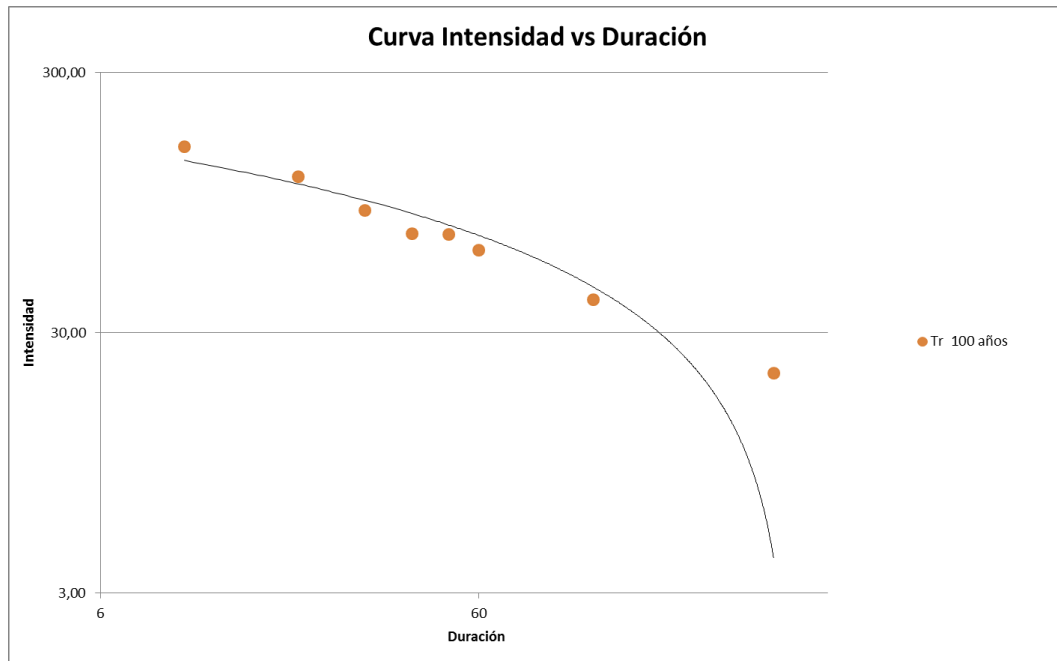
Tr	DURACIONES (min)							
	10	20	30	40	50	60	120	360
2	49,01	40,22	33,45	28,26	23,41	21,66	14,46	6,00
5	77,44	64,61	52,99	43,49	37,11	34,33	22,04	8,98
10	98,36	82,78	67,41	54,48	47,47	43,91	27,77	11,24
20	119,83	101,57	82,22	65,62	57,83	53,49	33,49	13,50
50	149,68	127,90	102,84	80,92	71,52	66,15	41,07	16,48
100	173,60	149,13	119,38	93,05	81,88	75,73	46,79	18,74

Ahora si se grafican dichos datos logarítmicamente, se podrá observar de que la curva tiene 2 tendencias.

Ejemplo para los datos de la ciudad de Portoviejo para periodo de retorno de 100 años:



Figura 3.36 Gráfica logarítmica Intensidad vs Duración



En el gráfico se puede observar una clara diferencia en la tendencia que tiene en los primeros 60 minutos y la segunda tendencia que va de los 60 minutos hasta los 360 minutos.

Es por ello de que las curvas IDT se las separó en 2 secciones para lograr mejores resultados en los cálculos. Obteniendo así los gráficos de las curvas IDT desde los 10 minutos hasta los 60 minutos y de los 60 minutos hasta los 360 minutos.

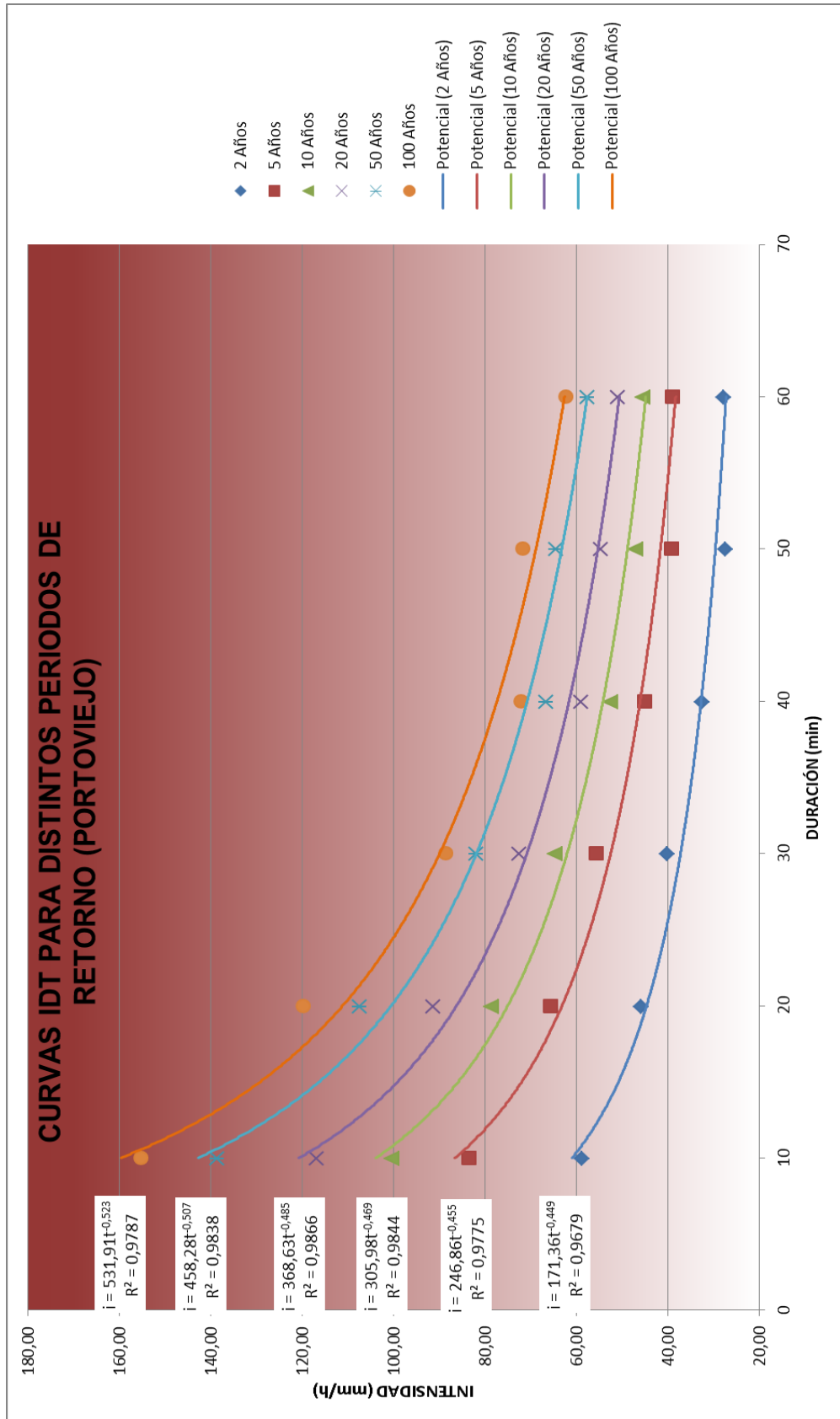
A continuación se muestran las gráficas con las curvas obtenidas para ambas ciudades.

3.6.1. CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-PERÍODO DE RETORNO



Curvas IDT para duraciones desde 10 minutos hasta 60 minutos (Portoviejo).

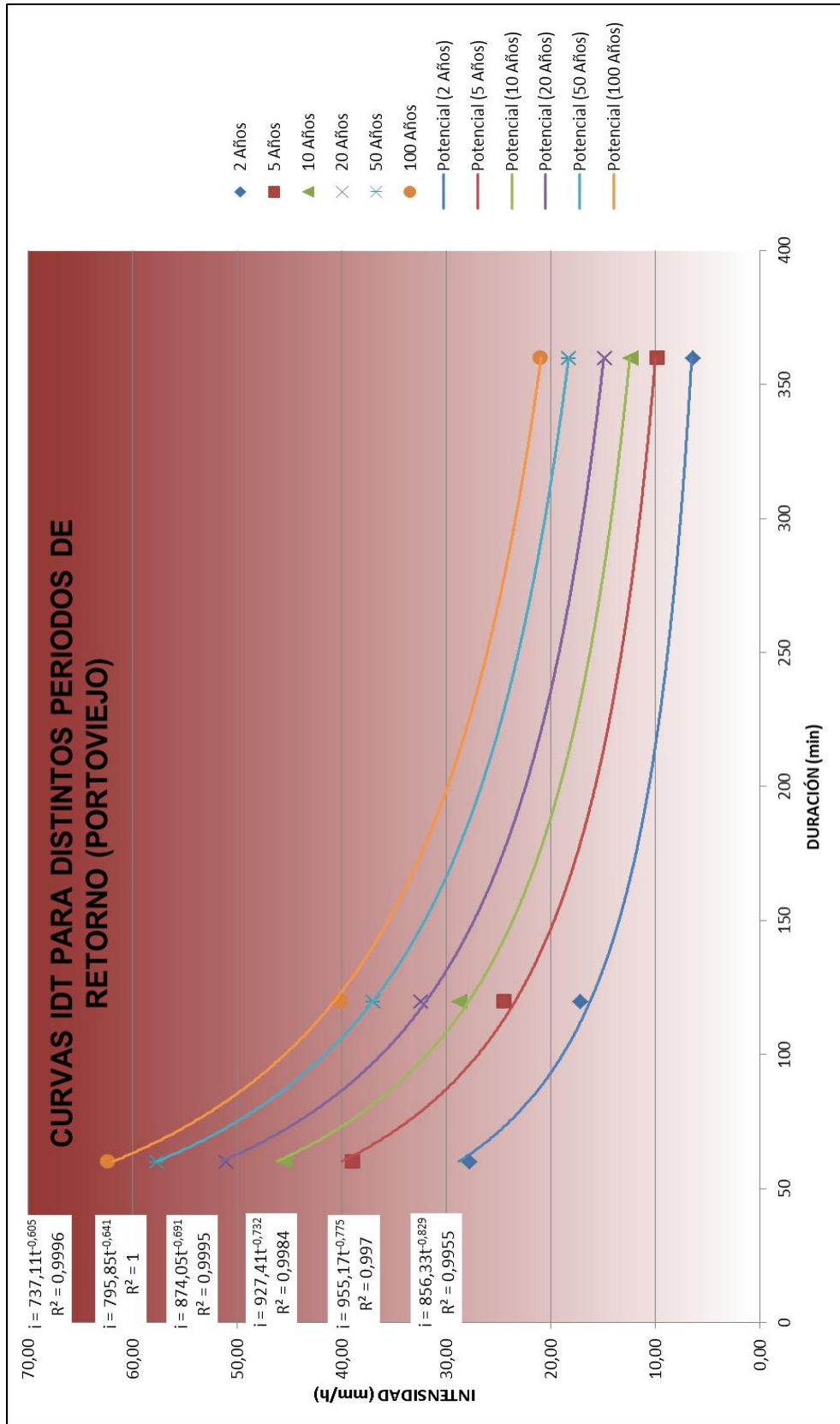
Figura 3.37 Gráfica de la curva IDT entre 10 y 60 minutos, Portoviejo





Curvas IDT para duraciones de 60 minutos hasta 360 minutos (Portoviejo).

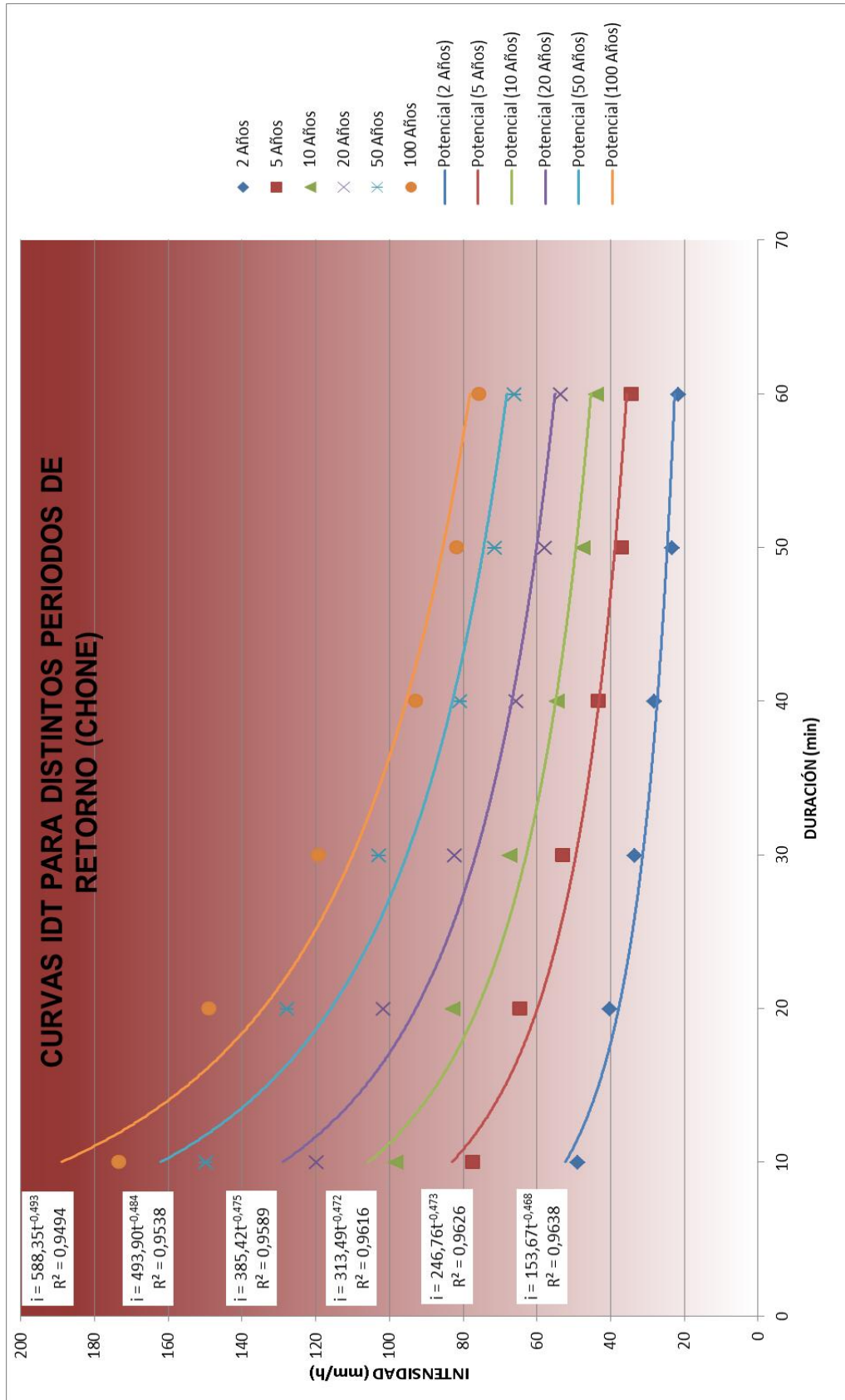
Figura 3.38 Gráfica de la curva IDT entre 60 y 360 minutos, Portoviejo





Curvas IDT para duraciones desde 10 minutos hasta 60 minutos (Chone).

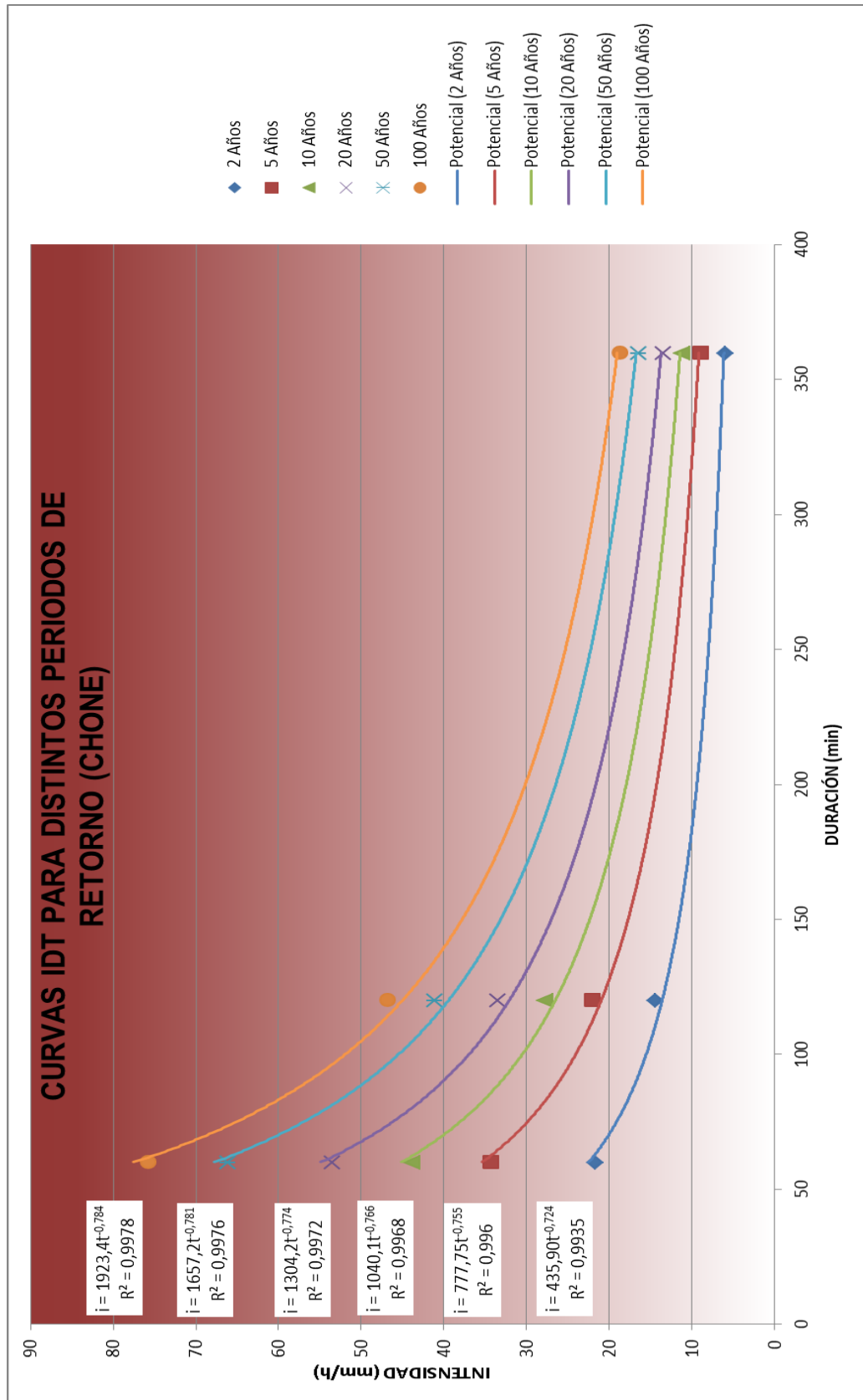
Figura 3.39 Gráfica de la curva IDT entre 10 y 60 minutos, Chone





Curvas IDT para duraciones desde 60 minutos hasta 360 minutos (Chone).

Figura 3.40 Gráfica de la curva IDT entre 60 y 360 minutos, Chone





Además de las curvas también se obtuvieron las ecuaciones para calcular las intensidades a una duración deseada para cada periodo de retorno, las cuales se detallan a continuación:

Ecuaciones IDT para la ciudad de Portoviejo:

Tabla 3.55 Ecuaciones IDT, intensidades entre 10 y 60 minutos, Portoviejo

PORTOVIEJO		
Ecuaciones para intensidades entre 10 y 60 minutos		R ²
2 AÑOS	$i = 171,36 * t^{-0,449}$	0,9679
5 AÑOS	$i = 246,86 * t^{-0,455}$	0,9775
10 AÑOS	$i = 305,98 * t^{-0,469}$	0,9844
20 AÑOS	$i = 368,63 * t^{-0,485}$	0,9866
50 AÑOS	$i = 458,28 * t^{-0,507}$	0,9838
100 AÑOS	$i = 531,91 * t^{-0,523}$	0,9787

Tabla 3.56 Ecuaciones IDT, intensidades entre 60 y 360 minutos, Portoviejo

PORTOVIEJO		
Ecuaciones para intensidades entre 60 y 360 minutos		R ²
2 AÑOS	$i = 856,33 * t^{-0,829}$	0,9955
5 AÑOS	$i = 955,17 * t^{-0,775}$	0,9970
10 AÑOS	$i = 927,41 * t^{-0,732}$	0,9984
20 AÑOS	$i = 874,05 * t^{-0,691}$	0,9995
50 AÑOS	$i = 795,85 * t^{-0,641}$	1,000
100 AÑOS	$i = 737,11 * t^{-0,605}$	0,9996



Ecuaciones IDT para la ciudad de Chone:

Tabla 3.57 Ecuaciones IDT, intensidades entre 10 y 60 minutos, Chone

CHONE		
Ecuaciones para intensidades entre 10 y 60 minutos		R ²
2 AÑOS	$i = 156,67 * t^{-0,468}$	0,9638
5 AÑOS	$i = 246,76 * t^{-0,473}$	0,9626
10 AÑOS	$i = 313,49 * t^{-0,472}$	0,9616
20 AÑOS	$i = 385,42 * t^{-0,475}$	0,9589
50 AÑOS	$i = 493,90 * t^{-0,484}$	0,9538
100 AÑOS	$i = 588,35 * t^{-0,493}$	0,9494

Tabla 3.58 Ecuaciones IDT, intensidades entre 60 y 360 minutos, Chone

CHONE		
Ecuaciones para intensidades entre 60 y 360 minutos		R ²
2 AÑOS	$i = 435,90 * t^{-0,724}$	0,9935
5 AÑOS	$i = 777,75 * t^{-0,755}$	0,9960
10 AÑOS	$i = 1040,10 * t^{-0,766}$	0,9968
20 AÑOS	$i = 1304,20 * t^{-0,774}$	0,9972
50 AÑOS	$i = 1657,20 * t^{-0,781}$	0,9976
100 AÑOS	$i = 1923,40 * t^{-0,784}$	0,9978



3.7. COMPARACIÓN DE LAS ECUACIONES

Comparación de las ecuaciones obtenidas en este trabajo vs. las del INAMHI de 1999

Como se propuso en el alcance de este trabajo, se realizará una comparación entre las nuevas ecuaciones y las del Estudio de Lluvia Intensas del INAMHI, que son las siguientes:

Tabla 3.59 Ecuaciones IDT, INAMHI (Portoviejo)

ECUACIONES INAMHI	
INTERVALO	ECUACIONES PARA PORTOVIEJO
5 < 48 min	$i = IDTR * 54,079 * t^{-0,3989}$
48 < 1440 min	$i = IDTR * 180,58 * t^{-0,712}$

Tabla 3.60 Ecuaciones IDT, INAMHI (Chone)

ECUACIONES INAMHI	
INTERVALO	ECUACIONES PARA CHONE
5 < 20 min	$i = IDTR * 56,507 * t^{-0,2694}$
20 < 1440 min	$i = IDTR * 247,71 * t^{-0,7621}$

Tabla 3.61 Coeficientes IDTR

COEFICIENTES IDTR		
Tr	PORTOVIEJO	CHONE
5	3,5	3
10	4	3,5
50	5	4,5
100	6	5,5



Como se había planteado en el alcance del proyecto, se realizó un cuadro comparativo para poder establecer una conclusión respecto a si existe alguna variación entre las curvas obtenidas en este trabajo vs. las curvas realizadas por el INAMHI, para lo cual se calcularon algunas intensidades mediante ambas ecuaciones como se demuestran en las siguientes tablas.

Tabla 3.62 Comparación de nuevas curvas IDT vs curvas INAMHI, (Portoviejo)

COMPARACIÓN DE CURVAS IDT PORTOVIEJO			
PERIODO DE RETORNO	TIEMPO	INTENSIDAD CALCULADA NUEVAS ECUACIONES (mm/h)	INTENSIDAD CALCULADA ECUACIONES INAMHI (mm/h)
5 AÑOS	30	52,52	48,74
	60	38,32	34,25
	90	29,21	25,66
	120	23,37	20,91
	180	17,07	15,67
	240	13,66	12,77
	300	11,49	10,89
	360	9,98	9,56
10 AÑOS	30	62,08	55,70
	60	44,85	39,15
	90	34,42	29,33
	120	27,88	23,90
	180	20,72	17,91
	240	16,79	14,59
	300	14,26	12,45
	360	12,48	10,93
50 AÑOS	30	81,70	69,63
	60	57,49	48,93
	90	44,48	36,66
	120	36,99	29,87
	180	28,52	22,38
	240	23,72	18,24
	300	20,56	15,56
	360	18,29	13,66
100 AÑOS	30	89,81	83,55
	60	62,50	58,72
	90	48,44	43,99
	120	40,70	35,85
	180	31,85	26,86
	240	26,76	21,88
	300	23,38	18,67
	360	20,94	16,40



Tabla 3.63 Comparación de nuevas curvas IDT vs curvas INAMHI, (Chone)

COMPARACIÓN DE CURVAS IDT CHONE			
PERIODO DE RETORNO	TIEMPO	INTENSIDAD CALCULADA NUEVAS ECUACIONES (mm/h)	INTENSIDAD CALCULADA ECUACIONES INAMHI (mm/h)
5 AÑOS	30	49,39	55,64
	60	35,58	32,80
	90	26,02	24,08
	120	20,94	19,34
	180	15,42	14,20
	240	12,41	11,41
	300	10,49	9,62
	360	9,14	8,37
10 AÑOS	30	62,95	64,91
	60	45,39	38,27
	90	33,12	28,10
	120	26,57	22,57
	180	19,48	16,57
	240	15,63	13,31
	300	13,17	11,23
	360	11,45	9,77
50 AÑOS	30	95,22	83,45
	60	68,08	49,21
	90	49,33	36,13
	120	39,40	29,01
	180	28,71	21,30
	240	22,93	17,11
	300	19,26	14,43
	360	16,71	12,56
100 AÑOS	30	110,01	102,00
	60	78,16	60,14
	90	56,49	44,15
	120	45,08	35,46
	180	32,80	26,04
	240	26,18	20,91
	300	21,98	17,64
	360	19,05	15,35

Se advierte alguna diferencia entre las intensidades calculadas con las nuevas ecuaciones y las intensidades calculadas con las ecuaciones del INAMHI. Para todas duraciones y todos los periodos de retorno analizados, las intensidades del nuevo modelo son mayores.



CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



Comparando las ecuaciones obtenidas en este trabajo y las ecuaciones realizadas por el INAMHI, se pudo observar que los valores son muy similares aunque con un ligero aumento en las intensidades calculadas mediante las ecuaciones actualizadas, tanto para la ciudad de Portoviejo como para la ciudad de Chone, lo que se puede explicar por la tendencia que se observa en los datos obtenidos sobre el incremento de las intensidades de lluvia.

Es recomendable que el diseño de las curvas IDT se las actualice cada 5 o 10 años como máximo para que las ecuaciones se ajusten a los cambios que puedan presentar las lluvias.



ANEXOS

Los anexos se encuentran en el CD adjunto



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aparicio, F. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. México: Limusa S.A.
- Conagua (2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. México: Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Conagua (2011). *Manual Para el Control de Inundaciones*. México: Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Escalante, C; Chávez, L. (2008). *Técnicas Estadísticas en Hidrología*. México: Facultad de Ingeniería de la UNAM.
- Fiallos, R (1999). *Estudio de Lluvias intensas*. Quito, Ecuador: INAMHI.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2011). *Registros pluviográficos de las estaciones M005 y M162 de Portoviejo y Chone*. Ecuador: INAMHI.
- Jiménez, M. (1997). *Programa para ajuste de funciones de probabilidad univariada AX.EXE. Version 1.05* México: Instituto de ingeniería de la UNAM.
- Kite, G. (1988). *Frequency and Risk Analyses in Hydrology*. EEUU: *Water Resources*.
- Saldarriaga (1994). *Hidrología Aplicada*. Bogotá: McGraw-Hill.
- Témez, J. (1978). *Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. Madrid: Dirección General de Carreteras.