

3. APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS

3.1 Introducción

En el capítulo anterior se ha estudiado cada una de las metodologías que se utilizarán para determinar los valores de caudales máximos, para que luego, éstos puedan ser validados al compararlos con los valores obtenidos de la metodología estadística también estudiada.

En el presente capítulo se muestra la aplicación de las metodologías hidrometeorológicas y estadísticas. Se presentan, además, los valores de cada una de las variables necesarias para la determinación de los caudales máximos, esto se hace para cada una de las cuencas en estudio, detallando como se obtiene cada valor.

El objetivo del capítulo es el de dar a conocer los resultados de caudales máximos obtenidos de las diferentes metodologías antes estudiadas, para luego poder comparar unas con otras, para su posterior validación o determinación de los nuevos factores que las afectarán.

3.2 Aplicación de metodologías Hidrometeorológicas

3.2.1 Cálculo de Caudales Máximos por el método de la Fórmula Racional

a) Cálculo de Coeficientes de Escurrimiento C

A continuación se presenta el procedimiento realizado para la determinación de C , en gran parte, con la ayuda de un programa de computadora referente a sistemas de información geográfico.

Para la obtención de esta variable, es necesario utilizar mapas de uso de suelo y curvas de nivel, del área en estudio correspondiente. Utilizando un programa desarrollado para Sistemas de Información Geográfica, se manejaron los mapas de uso de suelo 2002 de El Salvador hecho por el CNR-IGN a partir de imágenes de satélites; fotografías aéreas de los años 1970 al 2002; imágenes del 2002; cuadrantes topográficos 1:25,000; visitas

de campo; archivos de curvas de nivel a cada 10 metros proporcionadas por la Unidad de Sistemas de Información Geográfica del SNET y el mapa de cuencas de El Salvador del Sistema de Información Ambiental del MARN. A partir de estos mapas, y con las herramientas del software referente a Sistemas de Información Geográfica, se obtuvo la división de áreas de cobertura del suelo, cada una de estas áreas son subdivididas en subáreas que estén contenidas dentro de los rangos de pendientes de 0 a 2%, 2 a 7% y mayores a 7%. Estas subáreas se multiplican por el valor de C que le corresponda, según su cobertura de suelo y su pendiente. Los valores de C por los que deben multiplicarse estas subáreas varían según el período de retorno requerido (Anexo C) [Ven Te Chow, 1994: p.511]. Luego deberá sumarse cada uno de estos valores y su sumatoria deberá ser dividida entre el área total de la cuenca de drenaje de la estación para, así, obtener un valor de C ponderado.

A continuación se presenta el cálculo representativo del Coeficiente de Escorrimento de la cuenca donde se ubica la estación San Lorenzo. Todos los demás valores de C , para las demás estaciones, se calculan similarmente, presentando sólo los valores finales de C para cada una de las estaciones en estudio.

La primer tabla (tabla 3.1) que se presenta a continuación posee valores de áreas de coberturas de suelos, en metros cuadrados, contenidas dentro de los rangos de pendientes utilizados para realizar la posterior ponderación. Las siguientes tablas (tablas 3.2 a 3.6) contienen los valores de C correspondientes según cobertura de suelo, pendiente y período de retorno, cada uno de ellos ha sido multiplicado por las áreas correspondientes. Para finalizar, la tabla 3.7 contiene, en resumen, los valores finales de coeficientes de escurrimiento ponderados para diferentes períodos de retorno para cada una de las estaciones en estudio.

T= 5 Años	s = 0%-2%			s = 2%-7%			s > 7%		
Uso de Suelo	ÁREA (m²)	C	AxC (m²)	ÁREA (m²)	C	AxC (m²)	ÁREA (m²)	C	AxC (m²)
Urbana continua	4258400	0.80	3406720	5066000	0.80	4052800	1912800	0.80	1530240
Urbana discontinua	25354800	0.34	8620632	47540800	0.40	19016320	76051500	0.43	32702145
Cultivos	21078700	0.34	7166758	10784200	0.38	4097996	31364600	0.42	13173132
Pastos	17671500	0.28	4948020	10647800	0.36	3833208	45204600	0.40	18081840
Bosques	2733000	0.25	683250	2277800	0.34	774452	28566700	0.39	11141013
SCxÁreas (m²)	24825380			31774776			76628370		
C Ponderado	0.40								

Tabla 3.1. Cálculo de valor de C ponderado para período de retorno de 5 años

T= 10 Años	s = 0%-2%			s = 2%-7%			s > 7%		
Uso de Suelo	ÁREA (m²)	C	AxC (m²)	ÁREA (m2)	C	AxC (m²)	ÁREA (m²)	C	AxC (m²)
Urbana continua	4258400	0.83	3534472	5066000	0.83	4204780	1912800	0.83	1587624
Urbana discontinua	25354800	0.37	9381276	47540800	0.43	20442544	76051500	0.45	34223175
Cultivos	21078700	0.36	7588332	10784200	0.41	4421522	31364600	0.44	13800424
Pastos	17671500	0.30	5301450	10647800	0.38	4046164	45204600	0.42	18985932
Bosques	2733000	0.28	765240	2277800	0.36	820008	28566700	0.41	11712347
SCxÁreas (m²)	26570770			33935018			80309500		
C Ponderado	0.43								

Tabla 3.2. Cálculo de valor de C ponderado para período de retorno de 10 años

T= 20 Años	s = 0%-2%			s = 2%-7%			s > 7%		
Uso de Suelo	ÁREA (m²)	C	AxC (m²)	ÁREA (m²)	C	AxC (m²)	ÁREA (m²)	C	AxC (m²)
Urbana continua	4258400	0.87	3704808	5066000	0.87	4407420	1912800	0.87	1664136
Urbana discontinua	25354800	0.39	9888372	47540800	0.45	21393360	76051500	0.48	36504720
Cultivos	21078700	0.39	8220693	10784200	0.43	4637206	31364600	0.47	14741362
Pastos	17671500	0.33	5831595	10647800	0.41	4365598	45204600	0.45	20342070
Bosques	2733000	0.30	819900	2277800	0.39	888342	28566700	0.44	12569348
SCxÁreas (m²)	28465368			35691926			85821630		
C Ponderado	0.45								

Tabla 3.3. Cálculo de valor de C ponderado para período de retorno de 20 años

T= 25 Años	s = 0% -2%			s = 2% -7%			s > 7%		
Uso de Suelo	ÁREA (m²)	C	AxC (m²)	ÁREA (m²)	C	AxC (m²)	ÁREA (m²)	C	AxC (m²)
Urbana continua	4258400	0.88	3747392	5066000	0.88	4458080	1912800	0.88	1683264
Urbana discontinua	25354800	0.40	1E+07	47540800	0.46	21868768	76051500	0.49	37265235
Cultivos	21078700	0.40	8431480	10784200	0.44	4745048	31364600	0.48	15055008
Pastos	17671500	0.34	6008310	10647800	0.42	4472076	45204600	0.46	20794116
Bosques	2733000	0.31	847230	2277800	0.40	911120	28566700	0.45	12855015
SCxÁreas (m²)	29176332			36455092			87652638		
C Ponderado	0.46								

Tabla 3.4. Cálculo de valor de C ponderado para período de retorno de 25 años

T= 50 Años	s = 0% -2%			s = 2% -7%			s > 7%		
Uso de Suelo	ÁREA (m²)	C	AxC (m²)	ÁREA (m²)	C	AxC (m²)	ÁREA (m²)	C	AxC (m²)
Urbana continua	4258400	0.92	3917728	5066000	0.92	4660720	1912800	0.92	1759776
Urbana discontinua	25354800	0.44	1.1E+07	47540800	0.49	23294992	76051500	0.52	39546780
Cultivos	21078700	0.43	9063841	10784200	0.48	5176416	31364600	0.51	15995946
Pastos	17671500	0.37	6538455	10647800	0.45	4791510	45204600	0.49	22150254
Bosques	2733000	0.35	956550	2277800	0.43	979454	28566700	0.48	13712016
SCxÁreas (m²)	31632686			38903092			93164772		
C Ponderado	0.50								

Tabla 3.5. Cálculo de valor de C ponderado para período de retorno de 50 años

T= 100 Años	s = 0% -2%			s = 2% -7%			s > 7%		
Uso de Suelo	ÁREA (m²)	C	AxC (m²)	ÁREA (m²)	C	AxC (m²)	ÁREA (m²)	C	AxC (m²)
Urbana continua	4258400	0.95	4045480	5066000	0.95	4812700	1912800	0.95	1817160
Urbana discontinua	25354800	0.47	1.2E+07	47540800	0.53	25196624	76051500	0.55	41828325
Cultivos	21078700	0.47	9906989	10784200	0.51	5499942	31364600	0.54	16936884
Pastos	17671500	0.41	7245315	10647800	0.49	5217422	45204600	0.53	23958438
Bosques	2733000	0.39	1065870	2277800	0.47	1070566	28566700	0.52	14854684
SCxÁreas (m²)	34180410			41797254			99395491		
C Ponderado	0.53								

Tabla 3.6. Cálculo de valor de C ponderado para período de retorno de 100 años

ESTACIÓN	Coeficiente de Esgurrimiento C					
	T= 5 años	T= 10 años	T= 20 años	T= 25 años	T= 50 años	T= 100 años
San Lorenzo	0.40	0.43	0.45	0.46	0.50	0.53
La Atalaya	0.38	0.40	0.43	0.44	0.47	0.51
Sensunapán	0.42	0.44	0.47	0.48	0.51	0.55
Conacaste Herrado	0.43	0.46	0.49	0.50	0.53	0.56
San Luis Talpa	0.42	0.44	0.47	0.48	0.51	0.54
San Ramón	0.41	0.43	0.46	0.47	0.50	0.54
Los Tihuilotes	0.36	0.38	0.41	0.42	0.45	0.49
Hato Nuevo	0.37	0.39	0.42	0.43	0.46	0.49
Villerías	0.39	0.41	0.44	0.45	0.48	0.52
Moscoso	0.38	0.40	0.43	0.44	0.47	0.51
Pasaquina	0.39	0.41	0.44	0.45	0.48	0.52

Tabla 3.7. Valores de C finales ponderados para períodos de retorno de 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años

b) Cálculo de Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia

La intensidad por periodo de retorno es obtenida de las curvas de Intensidad-Frecuencia-Duración. El SHN proporcionó las intensidades para las duraciones de 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 240 y 360 minutos para las estaciones meteorológicas de Güija, Izalco, Galera, El Papalón, Santa Cruz Porillo y Aeropuerto de Ilopango que se encuentran dentro o cercanas a las cuencas de estudio. Esta información fue procesada en hojas de cálculo de Excel.

A continuación se presentan tanto las ecuaciones de las curvas I-D-F específicas para cada estación hidrométrica en estudio, como las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia en escala aritmética y logarítmica. La Tabla 3.8 contiene los valores de intensidades para la estación Güija calculados a partir de la ecuación de intensidades que le corresponde. Las demás gráficas, de las demás estaciones hidrométricas, están construidas de manera semejante.

INTENSIDADES (mm/hr)						
GÜIJA			$i = 379.31T^{0.275}/d^{0.627}$			
Duraciones	T=5	T=10	T=20	T=25	T=50	T=100
5	215.26	260.46	315.16	335.10	405.47	490.62
10	139.39	168.66	204.07	216.99	262.55	317.69
15	108.10	130.79	158.26	168.28	203.61	246.37
20	90.25	109.21	132.14	140.50	170.01	205.71
30	69.99	84.69	102.48	108.96	131.84	159.53
45	54.28	65.68	79.47	84.50	102.25	123.72
60	45.32	54.84	66.36	70.56	85.37	103.30
90	35.15	42.53	51.46	54.72	66.21	80.11
120	29.35	35.51	42.97	45.69	55.28	66.89
150	25.52	30.87	37.36	39.72	48.06	58.16
180	22.76	27.54	33.32	35.43	42.87	51.87
240	19.00	22.99	27.82	29.58	35.80	43.31
360	14.74	17.83	21.58	22.94	27.76	33.59

Tabla 3.8. Intensidades para diferentes períodos de retorno para la estación Güija

- Estación hidrometeorológica: Güija Asociada a estación hidrológica:
- Índice: A – 15 San Lorenzo.
- Latitud: 14°13.7’
- Longitud: 89°28.7’
- Elevación: 485 m.s.n.m.
- Número de años de registro: 22 años (de 1961 a 1982)
- Ecuación: $i = 379.31T^{0.275}/d^{0.627}$
- i : Intensidad en mm/h, T : Período de retorno en años, d : Duración de la lluvia en min.

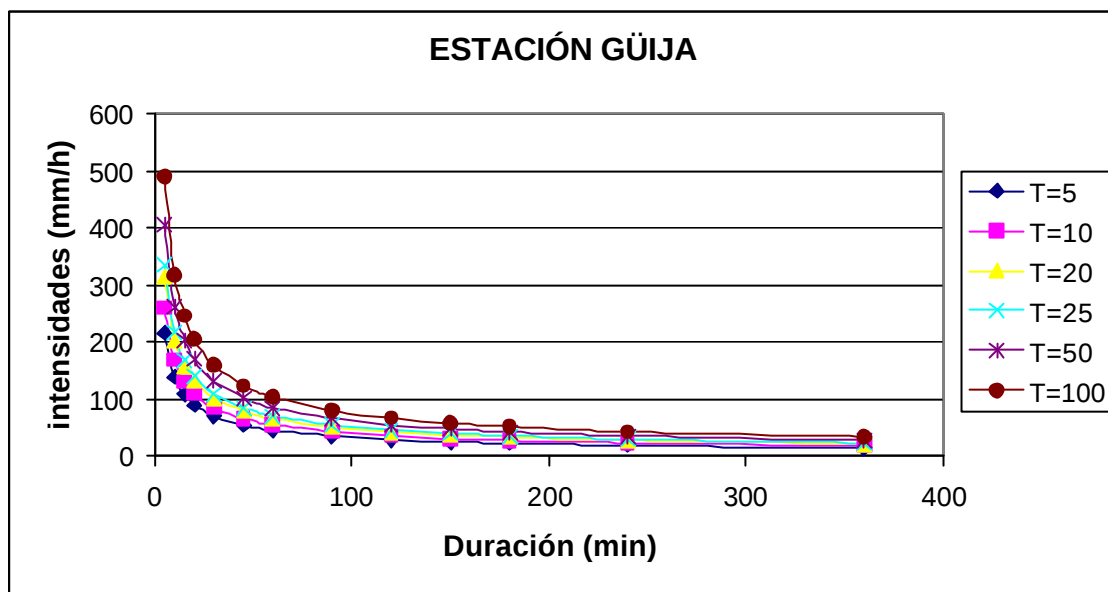


Figura 3.1. Curvas I-D-F escala Aritmética, estación Güija

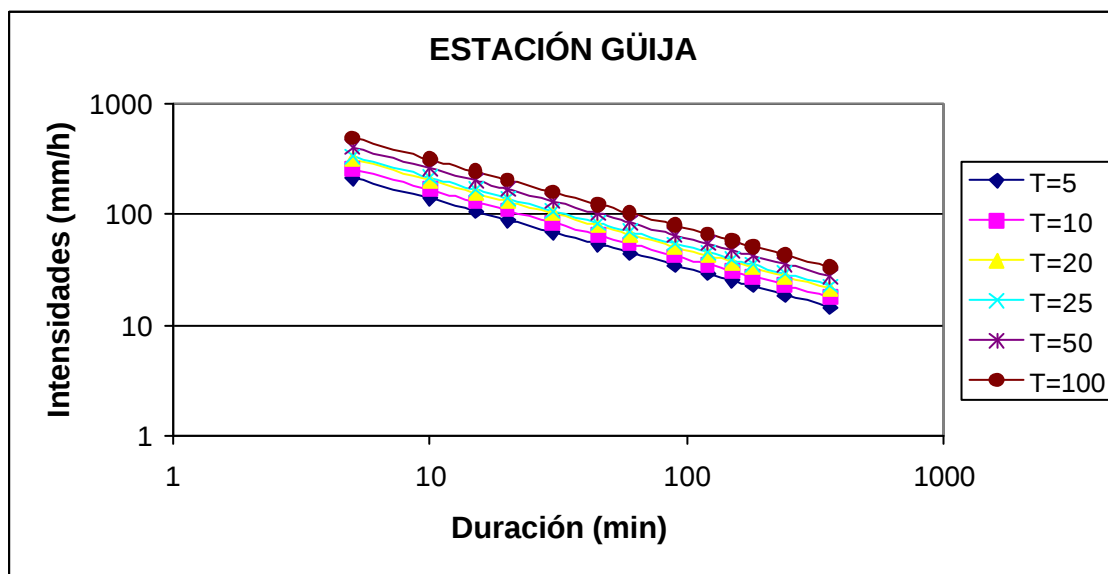


Figura 3.2. Curvas I-D-F escala Logarítmica, estación Güija

- Estación hidrometeorológica: Izalco Asociada a estaciones hidrológicas:
- Índice: T – 3 La Atalaya, Sensunapán y Conacaste H.
- Latitud: 13°45.7’
- Longitud: 89°42.3’
- Elevación: 390 m.s.n.m.
- Número de años registro: 18 años (de 1965 a 1982)
- Ecuación: $i = 554.63T^{0.274}/d^{0.693}$
- i : Intensidad en mm/h, T : Período de retorno en años, d : Duración de la lluvia en min.

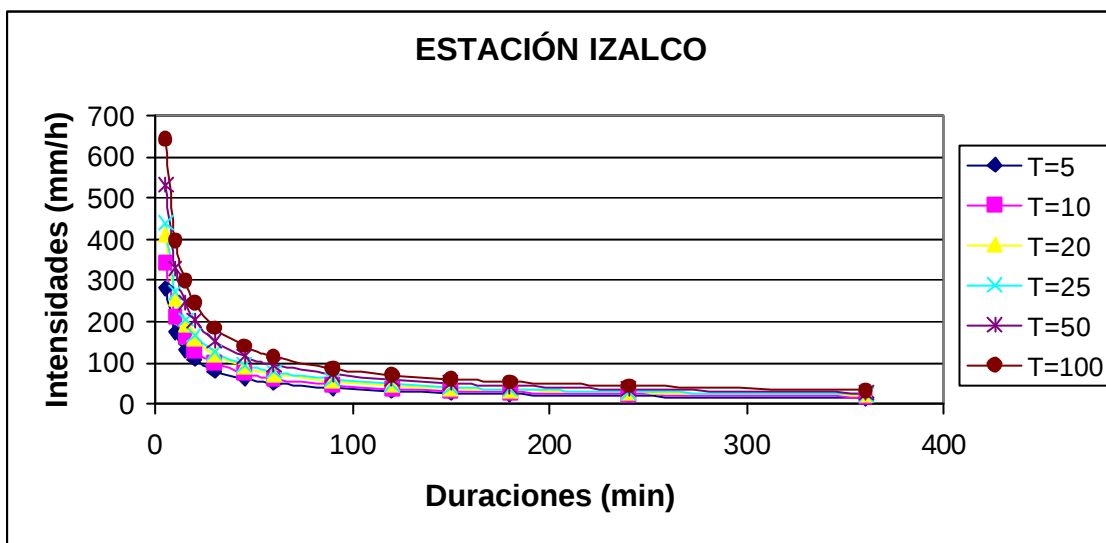


Figura 3.3. Curvas I-D-F escala Aritmética, estación Izalco

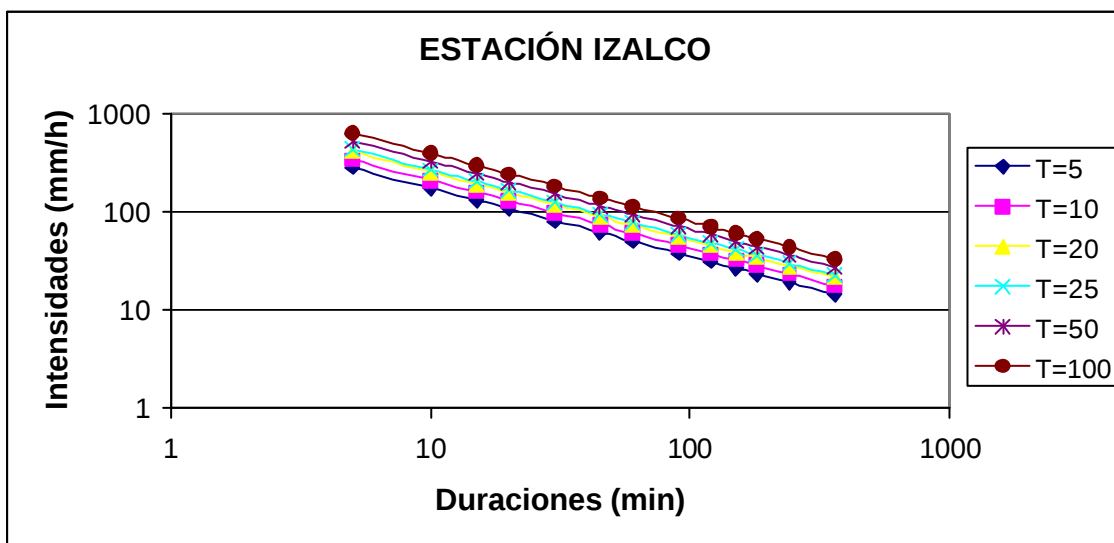


Figura 3.4. Curvas I-D-F escala Logarítmica, estación Izalco

- Estación hidrometeorológica: Galera Asociada a estación hidrológica:
- Índice: Z - 4 Pasaquina
- Latitud: 14°2.8'
- Longitud: 88°5.2'
- Elevación: 1900 m.s.n.m.
- Número de años registro: 11 años (de 1973 a 1983)
- Ecuación: $i = 400.87T^{0.24}/d^{0.634}$
- i : Intensidad en mm/h, T : Período de retorno en años, d : Duración de la lluvia en min.

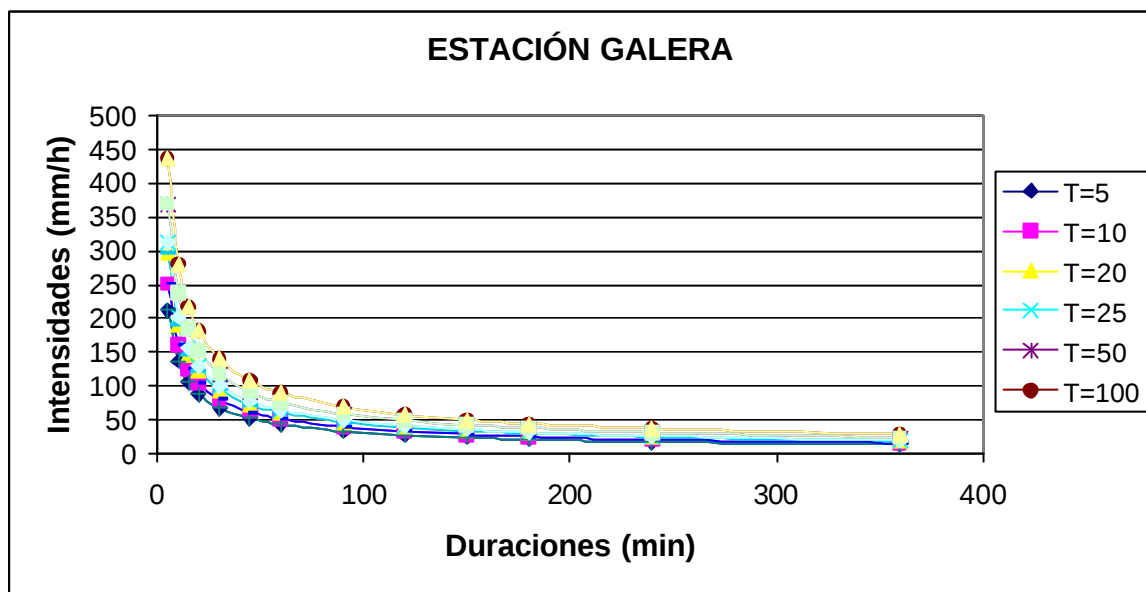


Figura 3.5. Curvas I-D-F escala Aritmética, estación Galera

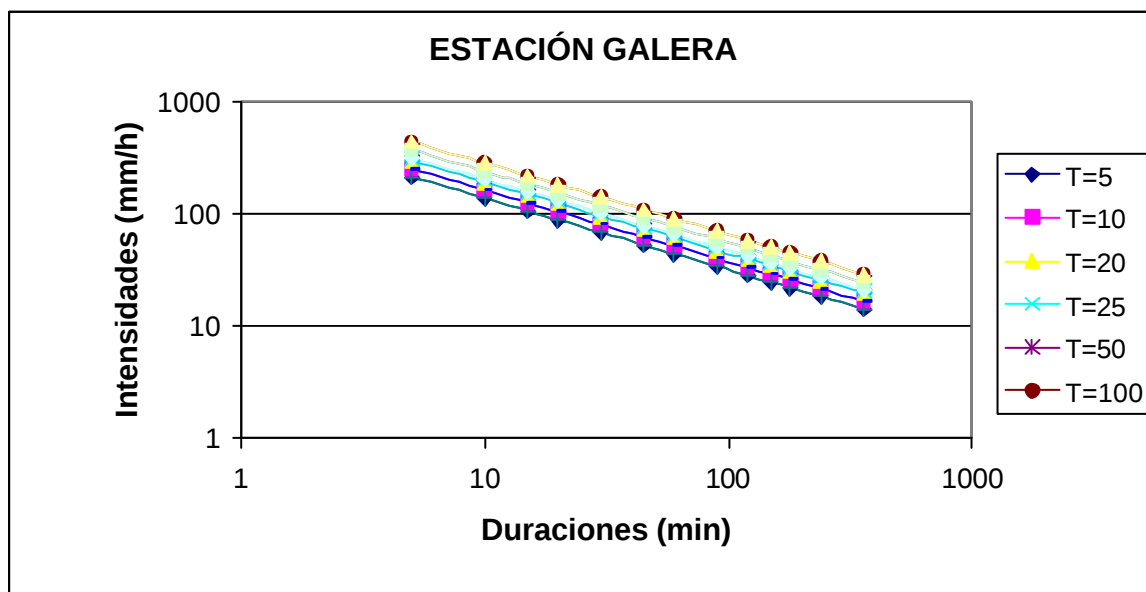


Figura 3.6. Curvas I-D-F escala Logarítmica, estación Galera

- Estación hidrometeorológica: El Papalón Asociada a estaciones hidrológicas:
- Índice: M – 6 Hato Nuevo, Villerías y Moscoso
- Latitud: 13°26.6’
- Longitud: 88°7.4’
- Elevación: 80 m.s.n.m.
- Número de años registro: 22 años (de 1961 a 1981)
- Ecuación: $i = 537.03T^{0.346}/d^{0.7}$
- i : Intensidad en mm/h, T : Período de retorno en años, d : Duración de la lluvia en min.

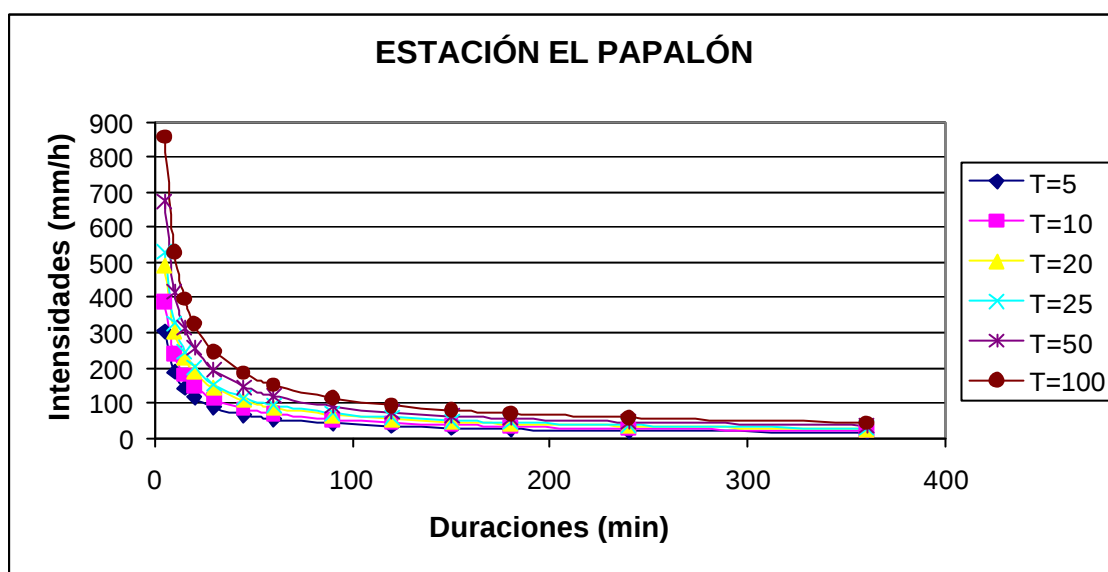


Figura 3.7. Curvas I-D-F escala Aritmética, estación El Papalón

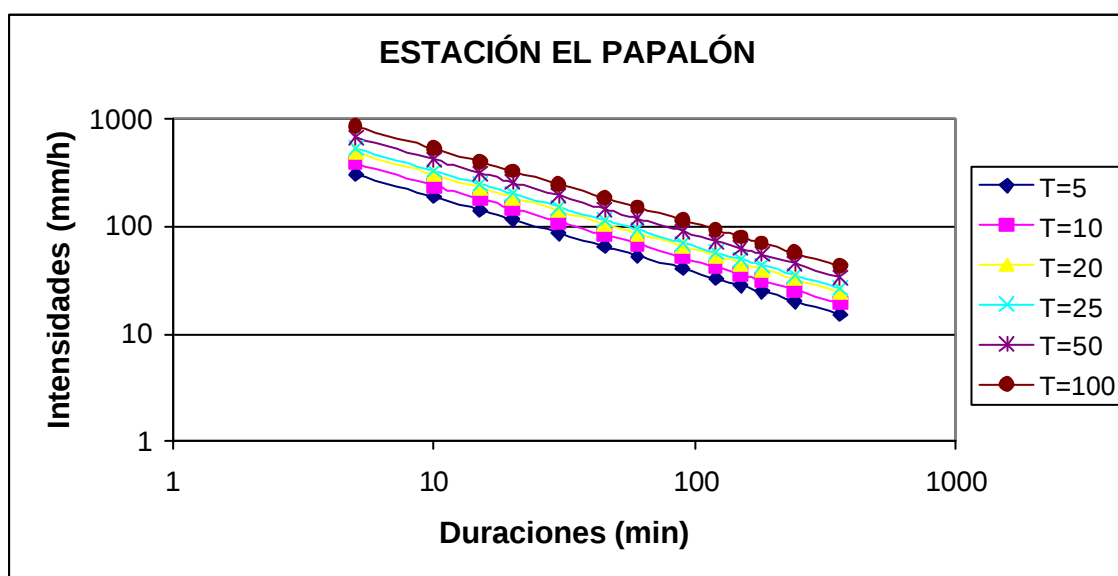


Figura 3.8. Curvas I-D-F escala Logarítmica, estación El Papalón

- Estación hidrometeorológica: Santa Cruz Porrillo *Asociada a estaciones hidrológicas:*
- Índice: V – 6 *Los Tihuilotes y San Ramón*
- Latitud: 13°26.4’
- Longitud: 88°48.2’
- Elevación: 30 m.s.n.m.
- Número de años registro: 30 años (de 1954 a 1983)
- Ecuación: $i = 549.54T^{0.29}/d^{0.66}$
- i : Intensidad en mm/h, T : Período de retorno en años, d : Duración de la lluvia en min.

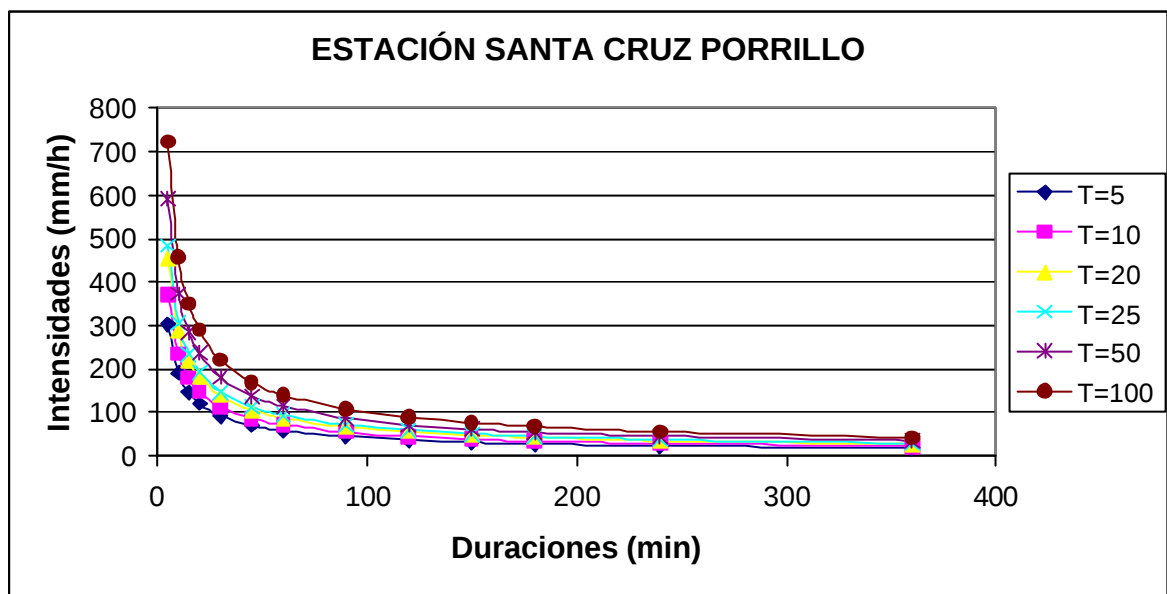


Figura 3.9. Curvas I-D-F escala Aritmética, estación Santa Cruz Porrillo

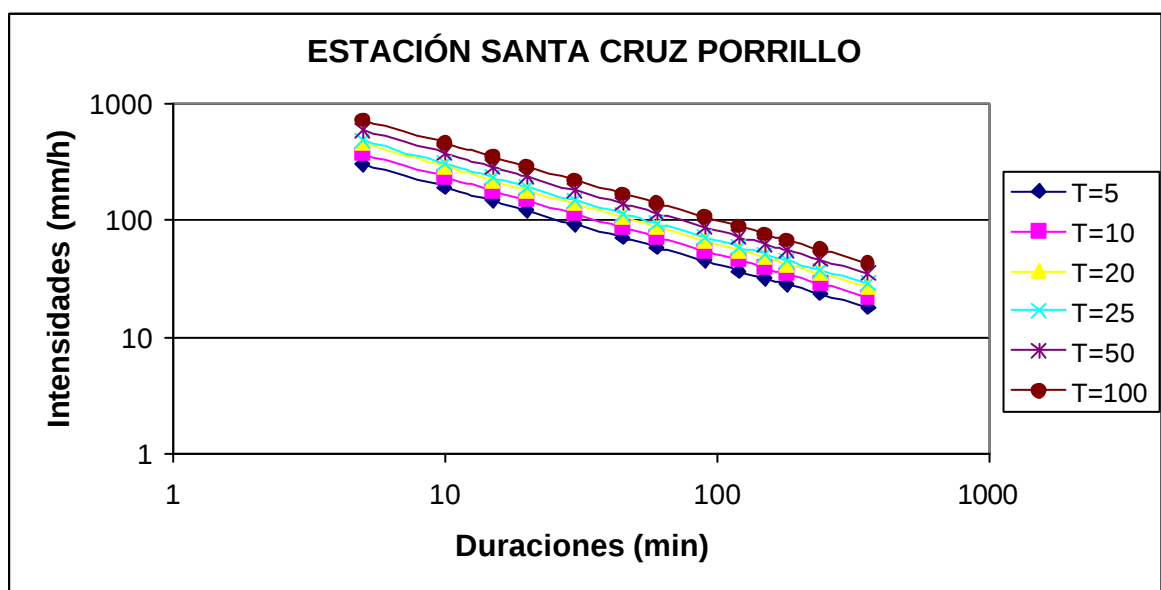


Figura 3.10. Curvas I-D-F escala Logarítmica, estación Santa Cruz Porrillo

- Estación hidrometeorológica: *Asociada a estación Hidrológica:*
Aeropuerto de Ilopango *San Luis Talpa / Comalapa*
- Índice: S – 10
- Latitud: 13°41.9’
- Longitud: 89°7.1’
- Elevación: 615 m.s.n.m.
- Número de años registro: 44 años (1953 a 2003, con excepción de algunos
- Ecuación: $i = 478.63T^{0.24}/d^{0.67}$
- i : Intensidad en mm/h, T : Período de retorno en años, d : Duración de la lluvia en min.

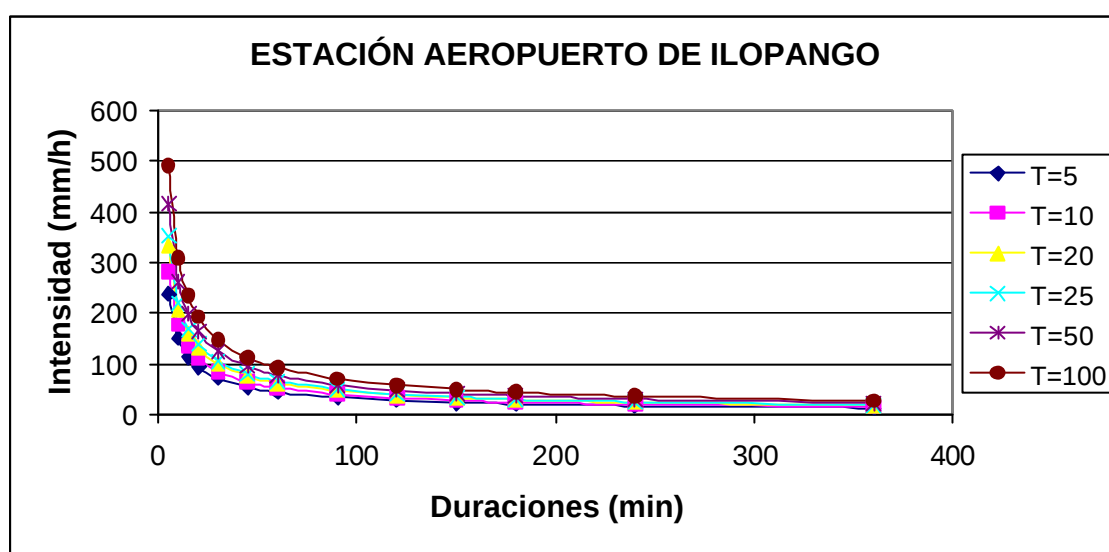


Figura 3.11. Curvas I-D-F escala Aritmética, estación Aeropuerto de Ilopango

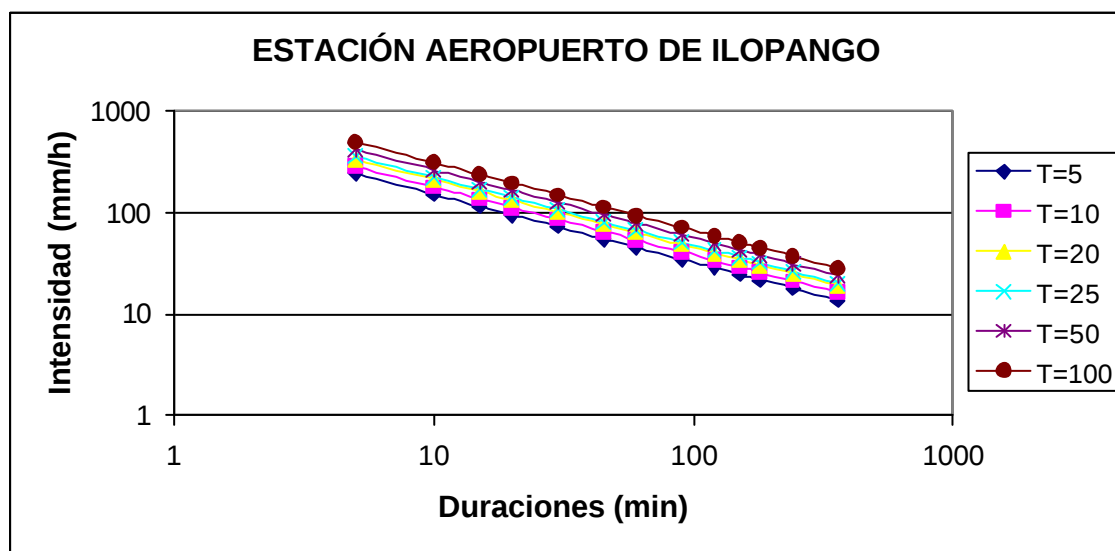


Figura 3.12. Curvas I-D-F escala Logarítmica, estación Aeropuerto de Ilopango

c) Determinación de los Tiempos de Concentración

Para obtener la intensidad de lluvia de las curvas de Intensidad-Frecuencia-Duración por período de retorno, es necesario conocer los tiempos de concentración t_c del área de drenaje. Para determinar esta variable existen varios métodos de cálculo, de los cuales se utilizaron, en este documento, las fórmulas empíricas de Kirpich, Giandotti, FAA y SCS.

Los tiempos de concentración son calculados a partir de las características físicas de la cuenca, (pendientes, longitudes, elevaciones medias y el área de la cuenca) las cuales fueron previamente obtenidas (a excepción de las elevaciones medias) a partir del procesamiento de información de las cuencas de El Salvador en un programa de Sistema de Información Geográfica. Se calcularon los tiempos de concentración por período de retorno de 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años; por estación hidrológica y para cada fórmula empírica anteriormente mencionada.

Para el cálculo de los tiempos de concentración por medio de la fórmula empírica de Giandotti, es necesaria la determinación de la elevación media de la cuenca. A continuación se presenta la metodología para este cálculo.

Cálculo de Elevación Media de la cuenca por el método del promedio ponderado

- Se multiplica el área contenida entre dos curvas de nivel, con el promedio simple de los valores de las curvas de nivel que contienen al área.
- Se calcula la sumatoria de los productos de las áreas por promedios de curvas de nivel.
- Se divide la sumatoria, obtenida anteriormente, entre el área del polígono y se obtiene la elevación media.

Como primera actividad se revisaron los datos de cotas máximas proporcionados, localizando en mapas cartográficos la ubicación del nacimiento del río (punto más elevado), así como la ubicación de la estación, obteniendo de esta manera la cota mínima o elevación directamente de los mapas.

Con los datos de cotas máximas y mínimas se calcularon las pendientes de los ríos hasta el sitio de ubicación de la estación, mismas que son utilizadas en las fórmulas para cálculo de tiempos de concentración, el cual es el propósito.

A continuación se presenta en la tabla 3.9 los valores de tiempos de concentración calculados por las fórmulas empíricas de Kirpich, Giandotti y SCS y demás valores utilizados. En la tabla 3.10 se presentan los valores de tiempos de concentración calculados por las fórmulas empíricas de la FAA, para cada una de las estaciones en estudio.

Tabla 3.9. Cálculo de Tiempos de Concentración con fórmulas empíricas de Kirpich, Giandotti y SCS

ESTACIÓN	Longitud del Cauce	Cota	Cota	Elevación	Área	Pendiente	tc (hr)	tc (hr)	tc (hr)
	(m)	máxima (m)	mínima (m)	media (m)	(km)		Kirpich	Giandotti	SCS
San Lorenzo	33937	1030	502.64	879.61	351.00	0.016	4.91	5.30	4.97
La Atalaya	26693	640	3.20	357.48	102.20	0.024	3.49	5.32	3.50
Sensunapán	40250	1150	1.77	817.40	219.00	0.028	4.52	5.23	4.49
Conacaste Herrado	21675	1400	148.87	618.11	167.70	0.058	2.11	4.24	2.12
San Luis Talpa	22741	860	27.25	401.11	65.40	0.037	2.61	4.15	2.63
San Ramón	13066	770	468.30	651.69	54.40	0.023	2.05	2.40	2.05
Los Tihuilotes	27236	760	15.35	293.11	109.60	0.027	3.39	6.04	3.38
Hato Nuevo	25216	280	96.60	233.59	102.00	0.007	5.37	6.40	5.30
Villerías	53548	1140	87.43	348.41	910.00	0.020	6.40	13.46	6.46
Moscoso	70791	1140	76.02	331.71	1074.00	0.015	8.86	16.28	8.87
Pasaquina	32254	550	34.67	302.55	243.00	0.016	4.72	7.96	4.73

ESTACIÓN	tc (hr) (T=5) FAA	tc (hr) (T=10) FAA	tc (hr) (T=20) FAA	tc (hr) (T=25) FAA	tc (hr) (T=50) FAA	tc (hr) (T=100) FAA
San Lorenzo	5.88	5.69	5.46	5.37	5.11	4.81
La Atalaya	4.72	4.59	4.39	4.32	4.13	3.88
Sensunapán	5.18	5.01	4.79	4.71	4.47	4.22
Conacaste Herrado	2.93	2.83	2.70	2.66	2.52	2.37
San Luis Talpa	3.57	3.46	3.31	3.25	3.09	2.92
San Ramón	3.21	3.11	2.97	2.92	2.78	2.61
Los Tihuilotes	4.71	4.57	4.39	4.32	4.13	3.87
Hato Nuevo	7.01	6.81	6.53	6.44	6.14	5.78
Villerías	6.99	6.79	6.50	6.40	6.09	5.74
Moscoso	8.95	8.70	8.33	8.21	7.83	7.37
Pasaquina	5.84	5.67	5.43	5.34	5.09	4.79

Tabla 3.10. Cálculo de Tiempos de Concentración con fórmula empírica de FAA

d) Cálculo de Velocidades Medias para validar tiempos de concentración

Con base en los resultados mostrados anteriormente, se procede a calcular las velocidades de escurrimiento para luego validar cada una de las fórmulas empíricas con base en la comparación entre la velocidad obtenida por el tiempo de concentración, contra el rango de velocidades de uno a tres m/s, estimadas por la Ing. Adriana Erazo del Servicio Hidrológico Nacional en la cuenca de drenaje de las estaciones Hidrológicas de La Hachadura y El Jobo. Un estudio similar se realizó en cuencas de Zaragoza, España, generando rangos de valores de uno a dos metros por segundo para pendientes entre 0 y 10%. La tabla 3.11 muestra el cálculo de velocidades medias obtenidas por medio de la ecuación 2.13 y la tabla 3.12 muestra el cálculo de velocidades medias obtenidas de dividir las longitudes de los cauces entre los distintos tiempos de concentración.

UNIDADES: m/s	VELOC. MEDIA CALCULADA CON PENDIENTE		
ESTACIÓN	PENDIENTE	LONGITUD	VELOC. MEDIA (PEND)
	m/m	(m)	(m/s)
San Lorenzo	0.016	33937	1.67
Atalaya	0.024	26693	2.13
Sensunapán	0.028	40250	2.34
Conacaste Herrado	0.058	21675	3.62
San Luis Talpa	0.037	22741	2.77
San Ramón	0.023	13066	2.08
Los Tihuilotes	0.027	27236	2.29
Hato Nuevo	0.007	25216	1.02
Villerías	0.020	53548	1.91
Moscoso	0.015	70791	1.61
Pasaquina	0.016	32254	1.67

Tabla 3.11. Cálculo de Velocidades Medias para cada estación en estudio por medio de la fórmula de velocidad de escorrentía

Además, para validar la metodología para determinar los tiempos de concentración (Kirpich, Giandotti, SCS y FAA), se determinaron las diferentes desviaciones estándar para los valores de tiempos de concentración para cada período de retorno (5, 10, 20, 25, 50 y 100 años), con la observación de que los tiempos de concentración calculados por las metodologías de Kirpich, Giandotti y SCS no varían con el período de retorno, a excepción de la fórmula de la FAA y se verificó que estos valores estuvieran dentro del rango permisibles ($\mu \pm s$, donde, μ : media de los valores de tiempos de concentración, s : desviación estándar). En la tabla 3.12 se presentan estos cálculos solamente para los períodos de retorno de 5, 10, 50 y 100 años.

Tabla 3.12. Cálculo de velocidades medias para validación de los tiempos de concentración

VELOCIDADES MEDIAS (En m/s)								
ESTACIÓN	VELOC. MEDIA (PEND)	KIRPICH	GIANDOTTI	SCS	FAA(5 AÑOS)	FAA(10 AÑOS)	FAA(50 AÑOS)	FAA(100 AÑOS)
San Lorenzo	1.67	1.92	1.78	1.90	1.60	1.66	1.85	1.96
Atalaya	2.13	2.12	1.39	2.12	1.57	1.62	1.80	1.91
Sensunapán	2.34	2.47	2.14	2.49	2.16	2.23	2.50	2.65
Conacaste Herrado	3.62	2.85	1.42	2.84	2.05	2.13	2.39	2.54
San Luis Talpa	2.77	2.42	1.52	2.40	1.77	1.82	2.04	2.17
San Ramón	2.08	1.77	1.51	1.77	1.13	1.17	1.30	1.39
Los Tihuilotes	2.29	2.23	1.25	2.24	1.61	1.65	1.83	1.95
Hato Nuevo	1.02	1.30	1.09	1.32	1.00	1.03	1.14	1.21
Villerías	1.91	2.32	1.11	2.30	2.13	2.19	2.44	2.59
Moscoso	1.61	2.22	1.21	2.22	2.20	2.26	2.51	2.67
Pasaquina	1.67	1.90	1.13	1.89	1.53	1.58	1.76	1.87

e) Determinación de Intensidades Máximas a utilizar en el Método Racional

Como se ha explicado anteriormente, se cuenta con el registro de intensidades para las estaciones Hidrometeorológicas de Güija, Izalco, Galera, El Papalón, Santa Cruz Porrillo y Aeropuerto de Ilopango, a las cuales se les ha asociado una o unas (según sea el caso) estaciones Hidrológicas. Esta asociación se ha hecho convenientemente ubicando una estación hidrometeorológica aguas arriba de las estaciones hidrológicas, pudiendo así medir las intensidades a la salida de la cuenca.

Las intensidades para cada estación hidrológica se calculan introduciendo el valor de tiempo de concentración como duración y cada uno de los períodos de retorno (5, 10, 20, 25, 50 y 100 años) en las ecuaciones generadas de las curvas I-D-F.

Al evaluar las ecuaciones de Intensidad se han dejado fuera los tiempos de concentración de más de 6 horas (360 min) debido a que cada curva Intensidad-Frecuencia-Duración ha sido construida para esta duración máxima, y una extrapolación de la ecuación no es valedera.

A continuación se presentan los valores de intensidades máximas para diferentes períodos de retorno calculadas a través de las curvas Intensidad-Frecuencia-Duración y de los tiempos de concentración calculados a través de la fórmula empírica de Kirpich (ver capítulo 4) para las distintas cuencas en estudio. La tabla 3.13 muestra los valores de intensidades máximas para los distintos períodos de retorno.

CÁLCULO DE INTENSIDADES MÁXIMAS (En mm/hora)							
ESTACIÓN	tc	PERÍODOS DE RETORNO (AÑOS)					
	min.	5	10	20	25	50	100
San Lorenzo	294.60	16.71	20.22	24.47	26.02	31.48	38.09
La Atalaya	209.40	21.24	25.68	31.05	33.01	39.91	48.26
Sensunapán	271.20	17.75	21.47	25.95	27.59	33.36	40.34
Conacaste Herrado	126.60	30.10	36.39	44.00	46.78	56.56	68.39
San Luis Talpa/Comalapa	156.60	23.85	28.16	33.26	35.09	41.44	48.94
San Ramón	123.00	36.59	44.74	54.70	58.35	71.34	87.23
Los Tihuilotes	203.40	26.25	32.10	39.25	41.87	51.19	62.59
Hato Nuevo	322.20	16.45	20.91	26.57	28.71	36.49	46.38
Villerías	384.00	14.55	18.49	23.50	25.39	32.27	41.02
Moscoso	531.60	11.59	14.73	18.72	20.22	25.70	32.67
Pasaquina	283.20	16.45	19.43	22.94	24.20	28.58	33.76

Tabla 3.13. Valores de Intensidades Máximas a utilizar en el Método Racional.

f) Cálculo de Caudales Máximos por Método Racional

El método de la Fórmula Racional está basado en la suposición de que ocurre un evento de lluvia de intensidad constate sobre toda el área de drenaje de la cuenca. Previamente, el Servicio Hidrológico Nacional (SHN) facilitó los valores de áreas de drenaje de las cuencas donde se encuentran las estaciones. Utilizando mapas topográficos para verificar el área dividida por los parte-aguas, se usó un programa de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para corroborar la determinación de la información. Además el SHN facilitó los valores de la longitud del cauce desde la estación hidrológica para todas las estaciones y las cotas de altura máxima donde inicia el recorrido la gota de agua y la cota donde se ubica la estación hidrológica, para todas las estaciones. Estos datos fueron revisados utilizando cuadrantes 1:25,000 del territorio salvadoreño proporcionados por el SHN.

A continuación se presentan los valores calculados de caudales máximos por la metodología de la Fórmula Racional, mediante la multiplicación de los valores de intensidades, coeficientes de escurrimiento y áreas de las distintas cuencas en estudio. No se presentan los cálculos para las estaciones Villerías y Moscoso, debido a que los tiempos de concentración de las áreas de drenaje de estas estaciones, los cuales son

necesarios para la determinación de las intensidades, son mayores a 6 horas (360 min), lo que obligaría a extrapolar los valores en las curvas I-D-F.

ESTACIONES	Caudales máximos Q (m ³ /s)					
	5 años	10 años	20 años	25 años	50 años	100 años
San Lorenzo	656.76	839.93	1082.45	1176.32	1520.06	1970.42
La Atalaya	228.81	291.50	378.72	411.97	532.48	694.95
Sensunapán	456.28	579.96	747.55	811.47	1044.66	1343.20
Conacaste Herrado	609.46	776.19	997.96	1082.67	1395.37	1794.16
San Luis Talpa	181.17	224.57	283.39	305.36	383.76	483.08
San Ramón	226.51	290.89	380.72	414.99	540.41	709.65
Los Tihuilotes	288.19	372.83	490.63	536.18	703.77	935.88
Hato Nuevo	170.95	229.79	313.81	347.14	473.36	650.41
Pasaquina	433.55	538.79	682.20	736.07	927.98	1179.40

Tabla 3.14. Cálculo de Caudales Máximos (m³/s) por metodología de la Fórmula Racional

3.2.2 Cálculo de Caudales Máximos por el método del Hidrograma Sintético de Snyder

Basta con multiplicar el valor de caudal pico obtenido del Hidrograma Sintético de Snyder en m³/s/mm; por el valor de intensidad máxima para los períodos de retorno de 5, 10, 20, 25, 50, y 100 años, obtenidos de las ecuaciones generadoras de las curvas I-D-F y con duraciones iguales al tiempo de concentración en mm/h; por el valor del tiempo de concentración en horas.

En la tabla 3.15 se presenta el cálculo de las variables necesarias para la construcción del Hidrograma Sintético de Snyder.

En La tabla 3.16 se presenta el cálculo de las variables necesarias para la determinación de los caudales máximos a través del Hidrograma Sintético de Snyder y en la tabla 3.17, se presentan los valores de caudales máximos calculados por esta misma metodología.

Tabla 3.15. Variables necesarias para la construcción del HS de Snyder.

ESTACIÓN	L	Lc	Ct	tp	tr	Cp	A	qp	T	q'p	W75	W50
UNIDADES	km	km	Adim.	Horas	Horas	Adim.	(km²)	m³/s/(mm))	Horas	m³/s/(mm))/(km²)	Horas	Horas
San Lorenzo	33.94	10.15	2.20	9.54	1.73	0.56	351.00	5.67	4.19	0.02	8.78	15.37
La Atalaya	26.69	17.49	2.20	10.45	1.90	0.56	102.20	1.51	4.31	0.01	9.69	16.96
Sensunapán	40.25	24.12	2.20	13.02	2.37	0.56	219.00	2.59	4.63	0.01	12.29	21.51
Conacaste Herrado	21.68	13.78	2.10	8.73	1.59	0.57	167.70	3.01	4.09	0.02	7.83	13.69
San Luis Talpa/Comalapa	22.74	10.23	2.20	8.48	1.54	0.56	65.40	1.19	4.06	0.02	7.74	13.54
San Ramón	13.07	11.12	2.20	7.36	1.34	0.56	54.40	1.14	3.92	0.02	6.64	11.62
Los Tihuilotes	27.24	15.30	2.20	10.10	1.84	0.56	109.60	1.67	4.26	0.02	9.34	16.35
Hato Nuevo	25.22	13.91	2.20	9.59	1.74	0.56	102.00	1.64	4.20	0.02	8.84	15.46
Villerías	53.55	31.40	2.00	13.96	2.54	0.59	910.00	10.58	4.74	0.01	12.52	21.91
Moscoso	70.79	36.96	2.20	17.53	3.19	0.56	1074.00	9.44	5.19	0.01	16.94	29.65
Pasaquina	32.25	21.55	2.20	11.78	2.14	0.56	243.00	3.18	4.47	0.01	11.03	19.30

ESTACIÓN	tc (horas)	Intensidades para diferentes periodos de retorno (mm/hr)						qp (m ³ /s/mm)
		5 Años	10 Años	20 Años	25 Años	50 Años	100 Años	
San Lorenzo	4.91	16.71	20.22	24.47	26.02	31.48	38.09	5.67
La Atalaya	3.49	21.24	25.68	31.05	33.01	39.91	48.26	1.51
Sensunapán	4.52	17.75	21.47	25.95	27.59	33.36	40.34	2.59
Conacaste Herrado	2.11	30.10	36.39	44.00	46.78	56.56	68.39	3.01
San Luis Talpa/Comal.	2.61	23.85	28.16	33.26	35.09	41.44	48.94	1.19
San Ramón	2.05	36.59	44.74	54.70	58.35	71.34	87.23	1.14
Los Tihuilotes	3.39	26.25	32.10	39.25	41.87	51.19	62.59	1.67
Hato Nuevo	5.37	16.45	20.91	26.57	28.71	36.49	46.38	1.64
Pasaquina	4.72	16.45	19.43	22.94	24.20	28.58	33.76	3.18

Tabla 3.16. Variables necesarias para la obtención de Caudales Máximos a través del HS de Snyder.

ESTACIÓN	Caudales máx. para diferentes periodos de retorno (m ³ /s)					
	5 Años	10 Años	20 Años	25 Años	50 Años	100 Años
San Lorenzo	464.87	562.49	680.61	723.69	875.66	1059.54
La Atalaya	111.60	134.94	163.16	173.45	209.73	253.59
Sensunapán	207.85	251.32	303.89	323.05	390.62	472.32
Conacaste Herrado	191.32	231.33	279.71	297.35	359.54	434.74
San Luis Talpa/Comal.	73.90	87.27	103.07	108.74	128.42	151.67
San Ramón	85.34	104.33	127.56	136.09	166.39	203.44
Los Tihuilotes	148.69	181.80	222.28	237.13	289.93	354.48
Hato Nuevo	144.65	183.86	233.69	252.45	320.87	407.84
Pasaquina	246.66	291.30	344.03	362.96	428.65	506.23

Tabla 3.17. Valores de Caudales Máximos calculados a través del HS de Snyder.

3.2.3 Cálculo de Caudales Máximos por el método del Hidrograma Sintético Triangular, SCS e Hidrograma Unitario Complejo

a) Cálculo del Número de Curva CN

El número de curva *CN* es la representación gráfica estandarizada de la información de la precipitación total y la precipitación efectiva para muchas cuencas. Para la obtención de este valor, se obtienen áreas de cobertura del suelo, contenidas en la clasificación de los tipos de suelo de El Salvador, para luego obtener una tabla de áreas de cobertura del suelo dentro de los tipos hidrológicos del suelo según la tabla SCS (1986) que se presenta en la tabla C-2 del anexo C; estas áreas se obtienen utilizando un programa de

computadora desarrollado para Sistemas de Información Geográfica y los mapas de uso de suelo 2002, pedológico y cuencas de El Salvador del MARN. Las áreas obtenidas se multiplicaron con los valores de Número de Curva correspondientes, para obtener una tabla de áreas por Número de Curva (CN) y la suma de todas estas operaciones, se dividió entre el área total de la cuenca de aporte a la estación, para obtener valores de CN ponderados.

A continuación se presenta el cálculo para la determinación del Número de Curva representativo para la cuenca donde se ubica la estación Conacaste Herrado; de la misma manera, se realiza el cálculo del Número de Curva para las demás cuencas donde están ubicadas las demás estaciones hidrométricas. En la tabla 3.18 se clasifica el tipo de suelo del mapa Pedológico de El Salvador [Sistemas de Información Ambiental, MARN 2000: CD No. 2], con base en los grupos hidrológicos de suelo del SCS [Ven Te Chow, 1994: p.153].

Tipo de Suelo	Clasificación Hidrológica SCS
Aluviales	B
Latosotes Arcillo-Rojizos	C
Latosotes Arcillo-Ácidos	C
Andisoles	B
Litosoles	C
Grumosotes	D
Halomórficos	D
Regosoles	A

Tabla 3.18. Tabla de clasificación de los tipos de suelos en El Salvador según los Grupos Hidrológicos de Suelos del SCS.

Las áreas de cobertura de suelo que se encuentran en la cuenca de drenaje de la estación, se dividieron en subáreas (m²) las cuales están contenidas dentro de los tipos de suelos como se muestra en la tabla 3.19, para luego agrupar estas subáreas dentro de los grupos hidrológicos de suelos según SCS. Las áreas de cobertura contenidas en cada grupo hidrológico se multiplican por su respectivo valor de CN. La sumatoria de las operaciones del producto de áreas de cobertura por el valor de CN y el cociente de estas entre el área total (valor de CN ponderado) se muestra en la tabla 3.20.

Clasificación del área según el uso del suelo (m²)				
Uso	litosoles	andisoles	aluviales	latosoles
Bosques naturales	10513922	0	0	0
Lava	16618473	0	0	0
Café	32875054	10571063	0	0
Áreas urbanas	0	3323694.6	342845.29	0
Caña de azúcar	0	4466512.2	7275938.9	171422.64
Pastos y granos básicos	7990199.9	24599149	23646801	342845.29
Clasificación	C	B	B	C

Tabla 3.19. Clasificación de áreas de cobertura vegetal y urbana en los tipos de suelo reconocidos en El Salvador para la estación Conacaste Herrado.

Tabla 3.20. Clasificación de áreas y valores de CN para cada grupo hidrológico. Cálculo de CN ponderado para la cuenca de la estación Conacaste Herrado.

Uso	GRUPO A			GRUPO B			GRUPO C			GRUPO D		
	ÁREA (m ²)	CN	CN x A (m ²)	ÁREA (m ²)	CN	CN x A (m ²)	ÁREA (m ²)	CN	CN x A (m ²)	ÁREA (m ²)	CN	CN x A (m ²)
Cultivos	0.00	72	0.00	22313514.10	81	1807394642.10	33046476.29	88	2908089913.52	0.00	91	0.00
Pastizales	0.00	68	0.00	48245950.70	79	3811430105.30	8333045.18	86	716641885.48	0.00	89	0.00
Bosques	0.00	25	0.00	0.00	55	0.00	10513922.14	70	735974549.80	0.00	77	0.00
Urbanas	0.00	77	0.00	3666539.88	85	311655889.80	16618472.95	90	1495662565.50	0.00	92	0.00
Sumatorias (m²)	0.00		0.00	74226004.68		5930480637.20	68511916.56		5856368914.30	0.00		0.00
CN Ponderado	82.58											

ESTACIÓN	CN
San Lorenzo	84.80
La Atalaya	84.87
Sensunapán	80.27
Conacaste Herrado	82.58
San Luis Talpa/Comalapa	75.80
San Ramón	79.69
Los Tihuilotes	81.70
Hato Nuevo	85.08
Villerías	86.40
Moscoso	86.02
Pasaquina	79.21

Tabla 3.21. Valores de CN ponderados finales para las estaciones en estudio

b) Cálculo de Hietogramas de precipitación por el método del Bloque Alternó

Para la construcción de la lluvia de diseño, se tomó la recomendación del documento “Diseño Hidrológico con Información Escasa Un Caso: Río San Carlos” de usar un valor igual o mayor al tiempo de concentración del área de drenaje de la estación. En la tabla 3.22 se muestra una lluvia de diseño para la estación San Lorenzo, la cual tiene un tiempo de concentración de 4.91 horas, por lo que su lluvia de diseño calculada por Bloque Alternó tendrá una duración de 5 horas (según recomendaciones del método). Se distribuye la lluvia en intervalos de 1 hora de duración y utilizando la ecuación de la curva I-D-F correspondiente a San Lorenzo, se obtuvo las intensidades de lluvia correspondiente a la duración de la columna de duraciones de la lluvia. Estas intensidades obtenidas, se multiplicaron por la duración correspondiente, obteniéndose un valor de profundidad de lluvia acumulada. A partir de las lluvias acumuladas, se obtuvieron las diferencias de profundidades de lluvia que resulta de restar la profundidad de lluvia consecutiva de duración inferior a una profundidad de lluvia cualquiera. Estas diferencias de profundidad de lluvia se ordenan colocando la mayor a manera de que ocurra en el centro de la distribución, y luego las siguientes se ordenan en una secuencia descendente alterna a la derecha y a la izquierda del centro de la distribución.

T= 5 AÑOS						
Duración	Intensidad	Intensidad	Pacum	DP	Tiempo	P
(min)	(mm /h)	(mm /min)	(mm)	(mm)	(min)	(mm)
60.00	45.32	0.76	45.32	45.32	0-60	6.60
120.00	29.35	0.49	58.69	13.37	60-120	9.58
180.00	22.76	0.38	68.28	9.58	120-180	45.32
240.00	19.00	0.32	76.01	7.73	180-240	13.37
300.00	16.52	0.28	82.61	6.60	240-300	7.73

Tabla 3.22 Profundidad de lluvia de diseño obtenida por el método del Bloque Alterno para un período de retorno de 5 años (Estación San Lorenzo).

Obtenidas las profundidades de lluvia para los periodos de retorno de 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años, se ordenan en la tabla 3.23

Profundidad de lluvia total (mm)						
Duración	Periodos de Retorno					
(horas)	5 años	10 años	20 años	25 años	50 años	100 años
1.00	6.60	7.98	9.66	10.27	12.43	15.04
2.00	9.58	11.60	14.03	14.92	18.05	21.84
3.00	45.32	54.84	66.36	70.55	85.37	103.30
4.00	13.37	16.18	19.58	20.82	25.19	30.48
5.00	7.73	9.36	11.32	12.04	14.57	17.63

Tabla 3.23 Lluvias totales por periodos de retorno para la estación de San Lorenzo

A partir de la lluvias de la tabla 3.23, se obtienen las profundidades de lluvia neta utilizando la metodología del SCS. Para esto se requiere conocer el valor del número de curva *CN* del área de drenaje de la estación, y utilizando la ecuación pertinente se obtuvo un valor de retención potencial máxima *S*, la cual es utilizada para obtener la lluvia neta que se muestra en la tabla 3.24.

Profundidad de lluvia neta (mm)						
Duración	Periodos de Retorno					
(horas)	5 años	10 años	20 años	25 años	50 años	100 años
1.00	0.15	0.03	0.01	0.03	0.23	0.69
2.00	0.01	0.13	0.48	0.66	1.47	2.79
3.00	16.05	22.93	31.90	35.31	47.77	63.52
4.00	0.37	0.95	1.96	2.40	4.20	6.83
5.00	0.04	0.00	0.10	0.18	0.59	1.35

Tabla 3.24 Lluvias netas por periodo de retorno para la estación San Lorenzo.

c) Cálculo de Caudales Máximos a través del Hidrograma Sintético Triangular

El procedimiento para el cálculo de caudales máximos por HU Sintéticos Triangular, SCS e HU Complejo es la misma. Construidos los Hidrogramas Unitarios de la cuenca, se procedió a obtener el registro de lluvia máxima por periodo de retorno de 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años a partir de registros históricos en la estación meteorológica que se eligió para la cuenca, distribuida en el tiempo por el método de Bloque Alterno. Siguiendo la recomendación del documento: “Diseño Hidrológico Con Información Escasa Un caso de Estudio: Río San Carlos” el cual refiere al método SCS para la estimación de la lluvia neta, se procedió a obtener el Número de Curva *CN*, a partir de la información física de la cuenca, que se procesó en un programa de Sistemas de Información Geográfica. El valor de *CN* de la cuenca, resulta, al igual que el coeficiente de escurrimiento *C*, un valor ponderado debido a los distintos usos del suelo dentro de la cuenca, que se encuentran contenidos en los diferentes grupos hidrológicos de suelos descritos por el SCS.

A partir del valor de *CN* se procedió a estimar la lluvia efectiva o lamina de escurrimiento de la lluvia máxima por periodo de retorno de 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años, obtenida de la lluvia de diseño, la cual fue distribuida por el método de Bloque Alterno. La información se procesó en hojas de cálculo de Excel para obtener el hidrograma de caudales, del cual se extrae el pico o caudal máximo.

En la tabla 3.25 se presenta el cálculo de las variables necesarias para la construcción del Hidrograma Sintético Triangular para la estación San Lorenzo.

ESTACIÓN	de	tr	tp	tb	A	Qp
UNIDADES	Horas	Horas	Horas	Horas	(km ²)	m ³ /s/(mm))
San Lorenzo	4.91	2.95	5.40	14.42	351.00	13.51
La Atalaya	3.49	2.09	3.84	10.25	102.20	5.53
Sensunapán	4.52	2.71	4.97	13.28	219.00	9.16
Conacaste Herrado	2.11	1.27	2.32	6.20	167.70	15.02
San Luis Talpa/Comalapa	2.61	1.57	2.87	7.67	65.40	4.74
San Ramón	2.05	1.23	2.26	6.02	54.40	5.01
Los Tihuilotes	3.39	2.03	3.73	9.96	109.60	6.11
Hato Nuevo	5.37	3.22	5.91	15.77	102.00	3.59
Villerías	5.06	3.84	6.37	17.01	910.00	29.70
Moscoso	5.95	5.32	8.30	22.15	1074.00	26.91
Pasaquina	4.72	2.83	5.19	13.86	243.00	9.73

Tabla 3.25. Variables para la construcción del HS Triangular para todas las estaciones analizadas.

Como se muestra en la tabla 3.26, seleccionamos las variables: tiempo pico tp , tiempo base tb y el caudal pico unitario qp , para la construcción del HU Sintético Triangular distribuido en el tiempo.

$tp =$	5.40	horas
$tb =$	14.42	horas
$qp =$	13.51	$m^3/s/mm$

Tabla 3.26 Variables para la construcción del HU Sintético Triangular, estación San Lorenzo.

La forma del HU Sintético Triangular permite obtener los valores de caudal unitario, por regla de tres, para despejar variables, y así distribuirlo en el tiempo como es mostrado en la columna dos de la tabla 3.27 en la que se muestra la secuencia de acumulación de lluvia por caudal unitario para la obtención del hidrograma de escurrimiento para la estación San Lorenzo para un periodo de retorno de 5 años, con la lluvia de diseño construida por el método de Bloque Alterno. Construido el hidrograma de caudales de la estación, es obtenido directamente el caudal máximo de $223.24 m^3/s$ para el periodo de retorno de 5 años.

T = 5 años								
tiempo	qp	Pe	qp*Pe	qp*Pe	qp*Pe	qp*Pe	qp*Pe	Q
(h)	(m³/s/mm)	(mm)	(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)
0-1	1.25	0.15	0.19					0.19
1-2	3.75	0.01	0.56	0.01				0.58
2-3	6.25	16.05	0.94	0.04	20.06			21.04
3-4	8.75	0.37	1.31	0.06	60.19	0.46		62.03
4-5	11.26	0.04	1.69	0.09	100.31	1.39	0.05	103.53
5-6	13.51		2.03	0.11	140.44	2.31	0.15	145.04
6-7	12.76		1.91	0.14	180.72	3.24	0.25	186.26
7-8	11.76		1.76	0.13	216.84	4.17	0.35	223.24
8-9	9.76		1.46	0.12	204.80	5.00	0.45	211.83
9-10	8.76		1.31	0.10	188.75	4.72	0.54	195.42
10-11	6.76		1.01	0.09	156.65	4.35	0.51	162.61
11-12	5.76		0.86	0.07	140.60	3.61	0.47	145.61
12-13	3.76		0.56	0.06	108.50	3.24	0.39	112.75
13-14	2.25		0.34	0.04	92.45	2.50	0.35	95.67
14-15	0.75		0.11	0.02	60.35	2.13	0.27	62.88
				0.01	36.11	1.39	0.23	37.74
					12.04	0.83	0.15	13.02
						0.28	0.09	0.37
							0.03	0.03

Tabla 3.27 Secuencia de acumulación de caudales para la construcción del hidrograma de caudales de la estación San Lorenzo para un periodo de retorno de 5 años.

En la siguiente tabla se presentan los valores de caudales máximos para las estaciones en estudio calculados a través del HS Triangular.

Caudales máximos utilizando el Hidrograma Unitario Triangular, Q (m³/s)						
Estaciones	Periodos de retorno en años					
	5	10	20	25	50	100
San Lorenzo	223.24	322.49	440.39	514.41	719.29	990.59
La Atalaya	111.15	156.87	218.37	242.14	330.70	445.52
Sensunapán	143.74	202.28	284.46	317.06	440.84	605.79
Conacaste Herrado	256.22	369.04	520.66	579.13	797.25	1079.13
San Luis Talpa/Comalapa	40.20	57.95	82.84	92.63	129.76	178.75
San Ramón	95.76	142.39	206.74	231.91	326.87	451.78
Los Tihuilotes	133.68	195.62	280.98	314.46	440.80	607.56
Hato Nuevo	82.61	124.41	185.26	209.85	305.87	438.55
Villerías	736.93	1104.52	1632.47	1845.29	2668.55	3800.40
Moscoso	654.78	981.72	1454.15	1645.06	2387.40	3410.40
Pasaquina	106.56	145.71	201.53	223.73	308.59	421.87

Tabla 3.28. Cálculo de Caudales Máximos a través del HS Triangular para todas las estaciones.

d) Cálculo de Caudales Máximos a través del Hidrograma Sintético SCS

En la tabla 3.29 se muestran todas las variables necesarias para la construcción del Hidrograma sintético SCS.

ESTACIÓN	Tc	tp	tr	Tp	A	qp
	Horas	Horas	Horas	Horas	(km²)	m³/s-cm
San Lorenzo	4.91	2.95	4.91	5.40	351.00	135.17
La Atalaya	3.49	2.09	3.49	3.84	102.20	55.37
Sensunapán	4.52	2.71	4.52	4.97	219.00	91.62
Conacaste Herrado	2.11	1.27	2.11	2.32	167.70	150.29
San Luis Talpa/Com.	2.61	1.57	2.61	2.87	65.40	47.38
San Ramón	2.05	1.23	2.05	2.26	54.40	50.18
Los Tihuilotes	3.39	2.03	3.39	3.73	109.60	61.13
Hato Nuevo	5.37	3.22	5.37	5.91	102.00	35.92
Villerías	6.40	3.84	5.06	6.37	910.00	297.15
Moscoso	8.86	5.32	5.95	8.29	1074.00	269.39
Pasaquina	4.72	2.83	4.72	5.19	243.00	97.35

Tabla 3.29. Variables para la construcción del Hidrograma Sintético SCS, todas las estaciones.

El procedimiento utilizado para la obtención de los caudales máximos a través del Hidrograma Sintético SCS, es el mismo que el realizado para la determinación de caudales máximos a través del Hidrograma Sintético Triangular. A continuación se presenta la

tabla 3.30 con las variables necesarias para la obtención del HS SCS y para la construcción de la secuencia de acumulación de caudales para la construcción del hidrograma de caudales de la estación San Lorenzo para un periodo de retorno de 5 años en la tabla 3.31; y luego, los valores de caudales máximos para todas las estaciones en estudio en la tabla 3.32.

qp =	13.52	(m ³ /s/mm)
Tp =	5.4	horas
T =	27	horas

Tabla 3.30. Variables para la construcción del HU Sintético SCS, estación San Lorenzo.

T = 5 años								
tiempo	qp	Pe	qp*Pe	qp*Pe	qp*Pe	qp*Pe	qp*Pe	Q
(h)	(m³/s/mm)	(mm)	(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)
0-1	0.68	0.15	0.10					0.10
1-2	2.70	0.01	0.41	0.01				0.41
2-3	5.41	16.05	0.81	0.03	10.91			11.75
3-4	10.82	0.37	1.62	0.05	43.34	0.25		45.26
4-5	13.24	0.04	1.99	0.11	86.83	1.00	0.03	89.95
5-6	13.52		2.03	0.13	173.66	2.00	0.11	177.93
6-7	12.84		1.93	0.14	212.50	4.00	0.22	218.78
7-8	10.82		1.62	0.13	217.00	4.90	0.43	224.08
8-9	8.71		1.31	0.11	206.08	5.00	0.53	213.03
9-10	6.76		1.01	0.09	173.66	4.75	0.54	180.05
10-11	3.38		0.51	0.07	139.80	4.00	0.51	144.89
11-12	2.70		0.41	0.03	108.50	3.22	0.43	112.59
12-13	2.03		0.30	0.03	54.25	2.50	0.35	57.43
13-14	1.35		0.20	0.02	43.34	1.25	0.27	45.08
14-15	1.22		0.18	0.01	32.58	1.00	0.14	33.91
15-16	0.95		0.14	0.01	21.67	0.75	0.11	22.68
16-17	0.81		0.12	0.01	19.58	0.50	0.08	20.29
17-18	0.68		0.10	0.01	15.25	0.45	0.05	15.86
18-19	0.54		0.08	0.01	13.00	0.35	0.05	13.49
19-20	0.41		0.06	0.01	10.91	0.30	0.04	11.32
20-21	0.27		0.04	0.00	8.67	0.25	0.03	9.00
21-22	0.13		0.02	0.00	6.58	0.20	0.03	6.83
22-23	0.12		0.02	0.00	4.33	0.15	0.02	4.53
23-24	0.11		0.02	0.00	2.09	0.10	0.02	2.22
24-25	0.09		0.01	0.00	1.93	0.05	0.01	2.00
25-26	0.08		0.01	0.00	1.77	0.04	0.01	1.83
26-27	0.00		0.00	0.00	1.44	0.04	0.00	1.49
				0.00	1.28	0.03	0.00	1.32
					0.00	0.03	0.00	0.03
						0.00	0.00	0.00
							0.00	0.00

Tabla 3.31. Secuencia de acumulación de caudales para la construcción del Hidrograma de Caudales de la estación San Lorenzo para un periodo de retorno de 5 años.

Caudales máximos utilizando el Hidrograma Unitario SCS, Q (m³/s)						
Estaciones	Periodos de retorno en años					
	5	10	20	25	50	100
San Lorenzo	224.08	324.59	464.59	519.91	729.21	1007.12
La Atalaya	111.21	156.95	218.38	242.09	330.36	444.66
Sensunapán	144.97	203.03	285.54	318.49	444.40	613.58
Conacaste Herrado	256.80	370.78	525.22	585.05	809.26	1100.83
San Luis Talpa/Comalapa	40.98	58.28	82.94	92.73	130.12	179.95
San Ramón	96.03	143.04	208.17	233.72	330.26	457.62
Los Tihuilotes	133.79	196.05	282.15	315.98	443.89	613.12
Hato Nuevo	82.75	124.52	185.63	210.40	307.38	441.85
Villerías	737.66	1108.25	1641.20	1856.23	2688.62	3833.89
Moscoso	656.03	656.03	1461.73	1654.63	2405.73	3442.64
Pasaquina	107.22	146.13	201.84	224.02	309.01	422.71

Tabla 3.32. Cálculo de Caudales Máximos a través del HS SCS para todas las estaciones.

e) Cálculo de Caudales Máximos por metodología del Hidrograma Unitario Complejo

Este Hidrograma Unitario se construye con base en Hietogramas de lluvias e Hidrogramas de Caudales. En los registros anuales de caudales máximos mensuales de cada estación hidrológica proporcionados por el SHN, se eligió un evento que correspondiera al mayor caudal registrado en la estación; con la fecha del evento, se solicitó al SHN el Hidrograma de Caudales registrados para esa fecha y el Hietograma de lluvia que se registró en una estación hidrometeorológica dentro o cercana a la cuenca. En caso de que no existiera registro de caudales para la fecha del evento elegido, se eligió otra fecha de evento de caudal máximo inmediato inferior y se realizó el mismo procedimiento para solicitar la información necesaria para la construcción del HU. En el caso de no existir registro de lluvia, se procedió a exportar una distribución de lluvia que ocurriera en la misma fecha del evento en una estación hidrometeorológica cercana a la estación hidrometeorológica elegida, y cuando no existiese registro en ninguna estación hidrometeorológica se utilizó el método de Bloque Alternó presentado en el capítulo dos para distribuir la lluvia en el tiempo. Con la información obtenida, se procedió a procesarla en hojas de cálculo de Excel para obtener los HU Complejos.

A continuación se presenta el gráfico de Hidrograma de crecidas que sirvió para determinar el Caudal Base.

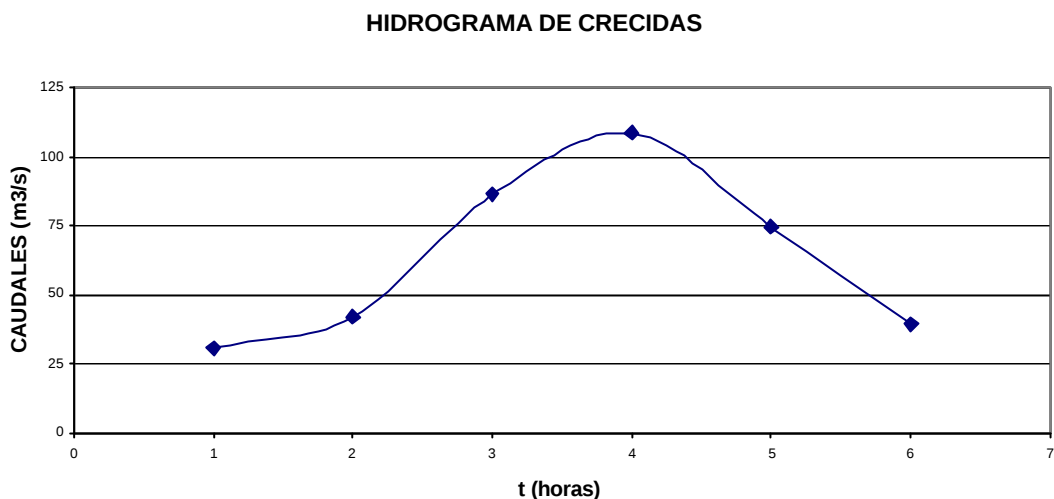


Figura 3.13. Hidrograma de Crecidas para la estación San Luís Talpa

El Caudal Base fue definido a través del método de la Línea Recta, como se observa en la siguiente figura, el método consiste en ubicar el punto donde empieza a crecer la gráfica (comienzo de incremento de caudal) y luego se traza una línea hasta interceptar el comienzo de la curva de agotamiento (punto donde la pendiente cambia radicalmente).

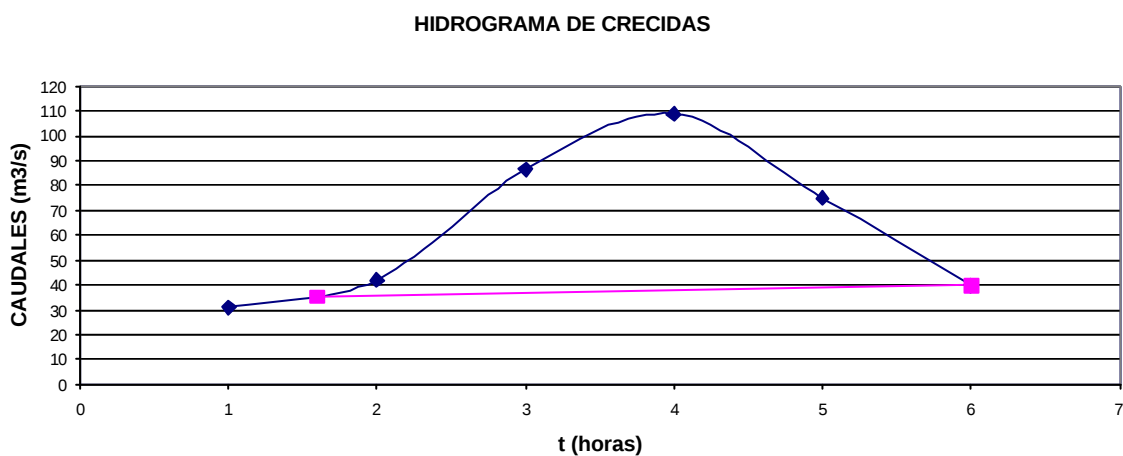


Figura 3.14. Ubicación de la línea divisoria del Caudal Base para la estación San Luís Talpa.

Como siguiente paso, se calcula el hidrograma unitario complejo, el cual se presenta en las tablas 3.33 y 3.34, y su gráfico se presenta en la figura 3.15.

SAN LUIS TALPA							
CRECIDA 19 SEPT 82							
FECHA	HORA	Nivel (m)	Lluvia(mm)	Q (m³ / s)	Tiempo (h)	HED(m3/s)	HEL (mm)
19/09/1982	08:00	1.70		30.91			
	09:00	1.90	93.16	42.01	1	7.28	9.14
	10:00	2.48	21.50	86.58	2	50.63	M=1
	11:00	2.70	21.50	108.74	3	71.56	
	12:00	2.35	17.91	74.89	4	36.49	
	13:00	1.86	14.33	39.62			
					total=	165.96	
					Vd=	597447.29	
HEL = Hietograma de exceso de lluvia					rd(m)=	0.0091353	
HED=Hidrograma de escorrentía directa					rd(mm)=	9.1352797	
					f=	84.02	

Tabla 3.33. Hietograma de exceso de lluvia e hidrograma de escorrentía directa, estación San Luis Talpa.

Tiempo (h)	Escorrentía directa (m³/s)	Exceso de lluvia (mm)	Caudales (m³/s/mm)
1	7.28	9.14	0.80
2	50.63		5.54
3	71.56		7.83
4	36.49		3.99

Tabla 3.34. Hidrograma Unitario Complejo para la estación San Luis Talpa.

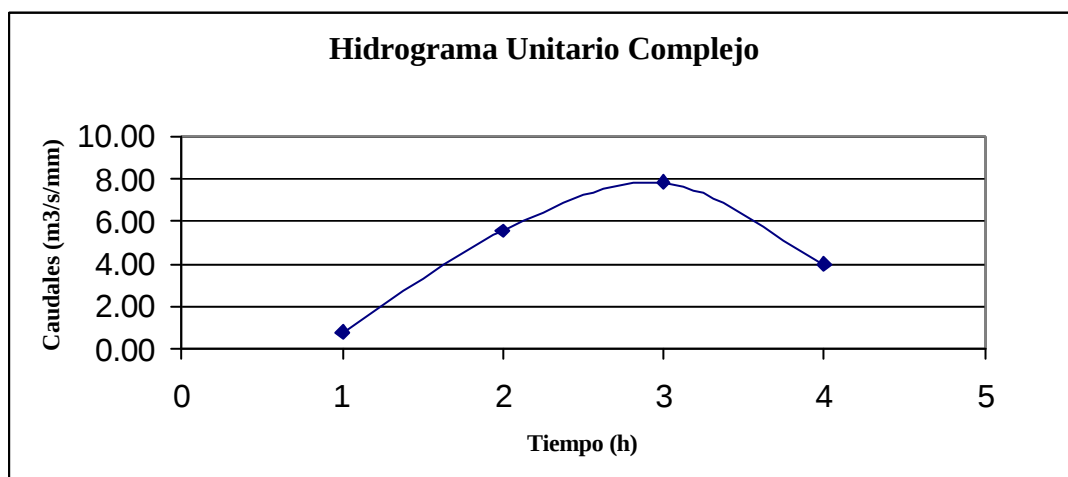


Figura 3.15. Gráfico del HU Complejo, estación San Luis Talpa.

El procedimiento para el cálculo de caudales máximos a través del Hidrograma Unitario Complejo es el mismo procedimiento utilizado para la determinación de caudales máximos a través de los HS Triangular y SCS.

A continuación se presenta la secuencia de acumulación de caudales para la construcción del Hidrograma de Caudales de la estación San Lorenzo para un periodo de retorno de 5 años en la tabla 3.35.

T = 5 años								
tiempo	qp	Pe	qp*Pe	qp*Pe	qp*Pe	qp*Pe	qp*Pe	Q
(h)	(m³/s/mm)	(mm)	(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)	(m³/s)
0-1	3.50	0.15	0.53					0.53
1-2	39.44	0.01	5.92	0.04				5.95
2-3	54.48	16.05	8.17	0.39	56.18			64.75
		0.37		0.54	632.98	1.30		634.82
		0.04			874.44	14.59	0.14	889.17
						20.16	1.58	21.74
							2.18	2.18

Tabla 3.35. Secuencia de acumulación de caudales para la construcción del Hidrograma de Caudales de la estación San Lorenzo para un periodo de retorno de 5 años.

En la tabla 3.36 no fue posible la obtención de los Hidrogramas Unitarios Complejos para las estaciones San Ramón y Sensunapán, puesto que se obtuvieron resultados incoherentes.

Caudales máximos utilizando el Hidrograma Unitario Complejo, Q (m³/s)						
Estaciones	Periodos de retorno en años					
	5	10	20	25	50	100
San Lorenzo	889.17	1286.74	1815.63	2019.04	2770.31	3734.79
La Atalaya	257.59	361.57	497.70	549.64	740.01	981.97
Conacaste Herrado	240.29	345.36	486.15	540.34	742.22	1002.50
San Luis Talpa/Comalapa	62.47	90.60	130.07	145.62	204.59	282.47
Los Tihuilotes	318.74	463.32	657.12	731.92	1009.71	1368.50
Hato Nuevo	229.34	347.00	509.41	573.24	814.88	1135.88
Villerias	1074.19	1619.13	2387.18	2693.16	3864.77	5451.20
Moscoso	937.03	1408.36	2085.71	2358.55	3415.99	4867.25
Pasaquina	318.37	455.84	641.98	714.19	982.83	1330.12

Tabla 3.36. Cálculo de caudales máximos a través del Hidrograma Unitario Complejo para todas las estaciones.

3.3 Aplicación de Metodologías Estadísticas

3.3.1 Aplicación de metodología Estadística Regional

A continuación se presentan los valores de los factores de ajuste para el cálculo de caudales máximos para la aplicación de la metodología Estadística Regional por zona de aplicación.

Estaciones	Región	Factores de ajuste para el cálculo de caudales máximos						Área (km ²)
		5	10	20	25	50	100	
San Lorenzo	1	1.64	2.28	2.98	3.23	4.05	4.96	351.00
La Atalaya	1	1.64	2.28	2.98	3.23	4.05	4.96	102.20
Sensunapán	1	1.64	2.28	2.98	3.23	4.05	4.96	219.00
Conacaste Herrado	1	1.64	2.28	2.98	3.23	4.05	4.96	167.70
San Luis Talpa/Comalapa	2	1.50	1.96	2.45	2.61	3.14	3.71	65.40
San Ramón	2	1.50	1.96	2.45	2.61	3.14	3.71	54.40
Los Tihuilotes	2	1.50	1.96	2.45	2.61	3.14	3.71	109.60
Hato Nuevo	3	1.40	1.74	2.09	2.20	2.57	2.94	102.00
Villerías	3	1.40	1.74	2.09	2.20	2.57	2.94	910.00
Moscoso	3	1.40	1.74	2.09	2.20	2.57	2.94	1074.00
Pasaquina	3	1.40	1.74	2.09	2.20	2.57	2.94	243.00

Tabla 3.37. Factores de ajuste para el cálculo de Caudales Máximos por metodología Estadística Regional.

En la tabla 3.38 se presentan los valores de Caudales Máximos calculados a través de la metodología Estadística Regional para diferentes períodos de retorno y para cada una de las estaciones en estudio.

	Caudales Máximos por metodología estadística regional					
Q (m³/s)	Periodo de retorno T en años					
Estaciones	5	10	20	25	50	100
San Lorenzo	513.38	713.72	932.84	1011.10	1267.79	1552.65
La Atalaya	234.32	325.77	425.78	461.50	578.67	708.69
Sensunapán	365.33	507.89	663.83	719.52	902.18	1104.89
Conacaste Herrado	307.79	427.90	559.27	606.19	760.09	930.87
San Luis Talpa/Comalapa	102.39	133.79	167.23	178.15	214.33	253.24
San Ramón	67.06	87.63	109.54	116.69	140.39	165.87
Los Tihuilotes	244.32	319.25	399.06	425.12	511.45	604.29
Hato Nuevo	362.31	450.30	540.88	569.35	665.10	760.85
Villerias	1026.44	1275.72	1532.33	1612.98	1884.25	2155.52
Moscoso	1161.24	1443.25	1733.56	1824.80	2131.70	2438.60
Pasaquina	478.21	594.34	713.89	751.47	877.85	1004.23

Tabla 3.38. Cálculo de Caudales Máximos a través de la metodología estadística regional para todas las estaciones.

3.3.2 Aplicación de metodología Estadística Puntual

a) Cálculo de Distribuciones de Probabilidad

El cálculo de Caudales Máximos a través de Metodología Estadísticas Puntual se realizó de la siguiente manera:

El Servicio Hidrológico Nacional, el cual pertenece al Servicio Nacional de Estudios Territoriales, proporcionó los registros de Caudales Máximos Instantáneos con que cuenta dicha institución para cada una de las estaciones Hidrológicas analizadas. Estos registros contenían la fecha de los eventos máximos registrados mensualmente, la cota y el valor de caudal calculado por curvas de descarga en función de la altura.

De los registros proporcionados se analizó cuáles valores de caudal eran aptos para utilizar y cuáles no, con el criterio de que se debían de tener registros suficientes de los meses lluviosos (Mayo-Octubre).

Teniendo ya seleccionados los valores de caudal a utilizar para cada estación se hizo un ordenamiento de mayor a menor, lo anterior obedece a la necesidad de calcular el período de retorno correspondiente a cada caudal máximo y de igual forma la probabilidad empírica de

ocurrencia necesaria para los cálculos posteriores (inverso de T) en función de la cantidad de datos seleccionados y el número consecutivo de la lista para dicho evento.

Ya con los datos anteriores se procedió a aplicar las tres Funciones de Distribución seleccionadas a utilizar (Gumbel, Log-Normal II y Log -Pearson III), para así calcular, para cada estación las Probabilidades de Excedencia (No Ocurrencia), F_x correspondientes a cada valor de caudal.

Previo al cálculo de las distribuciones de probabilidad escogidas se tomaron los registros de Caudales Máximos Instantáneos proporcionados por el SNET y se procedió de la siguiente forma:

Distribución Log-Normal II

Los dos parámetros que intervienen en esta función son la media de los logaritmos naturales de los caudales y la desviación estándar de los mismos.

Se calcularon los logaritmos naturales de los Caudales Máximos, así como su media y su desviación estándar, y el período de retorno correspondiente. Se proporcionan las probabilidades de no ocurrencia F_x y las probabilidades teóricas P_t calculadas de acuerdo a la función de distribución como se muestra a continuación en la tabla 3.39 para la estación de Pasaquina:

PASAQUINA			
m	T	F _x	P _t
1	11.0000	0.9330	0.0670
2	5.5000	0.8495	0.1505
3	3.6667	0.7597	0.2403
4	2.7500	0.6906	0.3094
5	2.2000	0.5972	0.4028
6	1.8333	0.5149	0.4851
7	1.5714	0.3324	0.6676
8	1.3750	0.2112	0.7888
9	1.2222	0.1358	0.8642
10	1.1000	0.0461	0.9539

n = 10

MEDIA = 5.9073

DESV. EST. = 0.2576

Tabla 3.39. Cálculo de distribución de probabilidades Log -Normal para la Estación Pasaquina.

Las distribuciones Log-Normal II para todas las estaciones analizadas se presentan a continuación en la tabla 3.40:

Tabla 3.40. Distribuciones de probabilidad Log-Normal II para las estaciones analizadas.

m	SAN LORENZO	LA ATALAYA	SENSUNAPAN	CONACASTE HERRADO	SAN LUIS TALPA	SAN RAMON	LOS TIHUILOTES	HATO NUEVO	MOSCOSO	VILLERIAS	PASAQUINA
	F_x	F_x	F_x	F_x	F_x	F_x	F_x	F_x	F_x	F_x	F_x
1	0.9803	0.9602	0.9529	0.9928	0.9175	0.7975	0.9249	0.8805	0.9907	0.8844	0.9330
2	0.9689	0.8919	0.9499	0.9277	0.8218	0.7966	0.4610	0.6372	0.7193	0.8527	0.8495
3	0.9427	0.8862	0.8197	0.8520	0.7898	0.7420	0.2850	0.3583	0.7170	0.7926	0.7597
4	0.8403	0.8740	0.8182	0.8273	0.5866	0.7243	0.2198	0.1219	0.6941	0.7293	0.6906
5	0.6810	0.8633	0.7911	0.7651	0.5479	0.6886			0.6685	0.6977	0.5972
6	0.6448	0.8019	0.7380	0.5989	0.5384	0.6710			0.6217	0.5474	0.5149
7	0.6130	0.7827	0.6719	0.5621	0.4674	0.5223			0.6081	0.4810	0.3324
8	0.5679	0.7126	0.6602	0.5173	0.3825	0.3049			0.5733	0.3252	0.2112
9	0.5344	0.5747	0.6161	0.4882	0.1249	0.1065			0.5647	0.2049	0.1358
10	0.4647	0.4750	0.6097	0.4537	0.0217	0.0161			0.5416	0.1962	0.0461
11	0.4060	0.4231	0.5705	0.3828					0.3900	0.0167	
12	0.3135	0.2865	0.3616	0.3812					0.3387		
13	0.3045	0.2645	0.3319	0.3343					0.2307		
14	0.3009	0.2108	0.3077	0.2918					0.2190		
15	0.2488	0.2056	0.2930	0.2625					0.2032		
16	0.2039	0.1744	0.2499	0.2217					0.0071		
17	0.1959	0.1320	0.1835	0.1518							
18	0.1683	0.1219	0.0964	0.1437							
19	0.0902	0.1187	0.0902	0.0321							
20	0.0845	0.0902	0.0161								

Distribución Log-Pearson III

Se calcularon los tres parámetros a_1 ; b_1 y d_1 , así como también la media, y la desviación estándar de los logaritmos de los Caudales Máximos. Las ecuaciones proporcionan la variable estandarizada y , y los grados de libertad v y el valor de χ^2 .

Es importante hacer notar que al obtener valores negativos de y se han fijado los valores de d para poder calcular las probabilidades.

El cálculo de las distribuciones para Pasaquina se presenta a continuación en la Tabla 3.41:

PASAQUINA						
m	T	SESGO	y	2*y	Pt	Fx
1	11.0000	0.3366	5.5079	11.0158	0.0511	0.9489
2	5.5000	0.1107	4.7119	9.4238	0.0933	0.9067
3	3.6667	0.0351	4.1480	8.2961	0.1407	0.8593
4	2.7500	0.0123	3.7916	7.5833	0.1807	0.8193
5	2.2000	0.0015	3.3606	6.7212	0.2422	0.7578
6	1.8333	0.0000	3.0026	6.0053	0.3057	0.6943
7	1.5714	0.0081	2.1961	4.3923	0.4944	0.5056
8	1.3750	0.0516	1.5635	3.1270	0.6804	0.3196
9	1.2222	0.1329	1.0538	2.1077	0.8341	0.1659
10	1.1000	0.4778	0.0514	0.1028	0.9998	0.0002
S		1.1667				

n = 10

MEDIA	=	2.5655	BETA1	ALFA1	DELTA	v
DESV. EST.	=	0.1119	2.9388	0.0653	2.3737	5.8775
DESV. EST.3	=	0.0014				

Tabla 3.41. Cálculo de distribución de probabilidades Log -Pearson III para la Estación Pasaquina.

Las distribuciones de probabilidad Fx Log-Pearson III para todas las estaciones analizadas se presentan a continuación en la Tabla 3.42:

Tabla 3.42. Distribuciones de probabilidad Log-Pearson III para las estaciones analizadas.

m	SAN LORENZO	LA ATALAYA	SENSUNAPAN	CONACASTE HERRADO	SAN LUIS TALPA	SAN RAMON	LOS TIHUILOTES	HATO NUEVO	MOSCOSO	VILLERIAS	PASAQUINA
	F_x	F_x	F_x	F_x	F_x	F_x	F_x	F_x	F_x	F_x	F_x
1	0.9579	0.9496	0.9744	0.9881	0.9576	0.9301	0.9350	0.9034	0.9941	0.9589	0.9489
2	0.9471	0.9030	0.9734	0.9624	0.9261	0.9298	0.5907	0.7321	0.9606	0.9505	0.9067
3	0.9261	0.8993	0.9358	0.9395	0.9153	0.9133	0.3872	0.4649	0.9604	0.9341	0.8593
4	0.8575	0.8915	0.9354	0.9322	0.8348	0.9076	0.2935	0.1310	0.9575	0.9155	0.8193
5	0.7499	0.8847	0.9274	0.9130	0.8159	0.8958			0.9541	0.9055	0.7578
6	0.7230	0.8452	0.9111	0.8529	0.8110	0.8897			0.9475	0.8491	0.6943
7	0.6983	0.8326	0.8890	0.8369	0.7708	0.8292			0.9454	0.8174	0.5056
8	0.6613	0.7849	0.8849	0.8157	0.7119	0.6868			0.9400	0.7143	0.3196
9	0.6320	0.6793	0.8683	0.8006	0.3592	0.3761			0.9386	0.5809	0.1659
10	0.5654	0.5888	0.8658	0.7811	0.0000	0.0000			0.9346	0.5679	0.0002
11	0.5020	0.5355	0.8496	0.7345					0.9015	0.0000	
12	0.3844	0.3673	0.7320	0.7333					0.8860		
13	0.3715	0.3357	0.7086	0.6959					0.8396		
14	0.3664	0.2523	0.6875	0.6558					0.8328		
15	0.2857	0.2436	0.6738	0.6239					0.8227		
16	0.2078	0.1908	0.6283	0.5713					0.0001		
17	0.1930	0.1158	0.5374	0.4480							
18	0.1407	0.0980	0.3444	0.4295							
19	0.0064	0.0923	0.3247	0.0000							
20	0.0021	0.0449	0.0000								

Distribución Gumbel.

Con el valor de la constante de Euler se han calculado los parámetros α y β requeridos para calcular la distribución de probabilidades Gumbel. En la Tabla 3.43 se muestra el cálculo de distribuciones para la estación de Pasaquina:

PASAQUINA			
m	T	F _x	P _t
1	11.0000	0.9392	0.0608
2	5.5000	0.8669	0.1331
3	3.6667	0.7852	0.2148
4	2.7500	0.7190	0.2810
5	2.2000	0.6250	0.3750
6	1.8333	0.5379	0.4621
7	1.5714	0.3332	0.6668
8	1.3750	0.1932	0.8068
9	1.2222	0.1092	0.8908
10	1.1000	0.0239	0.9761

$$n = 10$$

$$\text{MEDIA} = 378.6230$$

$$\text{DESV. EST.} = 94.9547$$

$$\text{ALFA} = 0.0135$$

$$\text{BETA} = 335.8718$$

Tabla 3.43. Cálculo de distribución de probabilidades Gumbel para la Estación Pasaquina

Las distribuciones Gumbel para todas las estaciones analizadas se presentan a continuación en la tabla 3.44:

Tabla 3.44. Distribuciones de probabilidad Gumbel para las estaciones analizadas.

m	SAN LORENZO	LA ATALAYA	SENSUNAPAN	CONACASTE HERRADO	SAN LUIS TALPA	SAN RAMON	LOS TIHUILOTES	HATO NUEVO	MOSCOSO	VILLERIAS	PASAQUINA
	F_x	F_x	F_x	F_x	F_x	F_x	F_x	F_x	F_x	F_x	F_x
1	0.9866	0.9682	0.9754	0.9916	0.9497	0.8576	0.9170	0.8978	0.9933	0.9183	0.9392
2	0.9675	0.8973	0.9725	0.9055	0.8539	0.8566	0.4993	0.6541	0.6673	0.8887	0.8669
3	0.9125	0.8911	0.8073	0.8157	0.8181	0.7937	0.3139	0.3605	0.6650	0.8278	0.7852
4	0.7155	0.8779	0.8053	0.7884	0.5758	0.7720	0.2404	0.1191	0.6423	0.7591	0.7190
5	0.5319	0.8661	0.7685	0.7229	0.5294	0.7266			0.6177	0.7235	0.6250
6	0.5033	0.7985	0.6981	0.5668	0.5182	0.7037			0.5746	0.5463	0.5379
7	0.4809	0.7773	0.6157	0.5351	0.4351	0.5007			0.5625	0.4665	0.3332
8	0.4527	0.7003	0.6018	0.4976	0.3401	0.2192			0.5325	0.2837	0.1932
9	0.4339	0.5532	0.5514	0.4738	0.0955	0.0414			0.5253	0.1553	0.1092
10	0.4000	0.4519	0.5443	0.4461	0.0201	0.0029			0.5062	0.1468	0.0239
11	0.3756	0.4010	0.5025	0.3908					0.3912	0.0070	
12	0.3430	0.2733	0.3168	0.3896					0.3556		
13	0.3401	0.2536	0.2948	0.3539					0.2838		
14	0.3390	0.2063	0.2775	0.3219					0.2762		
15	0.3232	0.2018	0.2672	0.3001					0.2659		
16	0.3106	0.1749	0.2383	0.2696					0.1041		
17	0.3084	0.1388	0.1963	0.2163							
18	0.3010	0.1302	0.1436	0.2099							
19	0.2805	0.1275	0.1398	0.1083							
20	0.2789	0.1032	0.0867								

b) Pruebas de Bondad de Ajuste.

Con los valores de Probabilidad de Excedencia F_x se procedió aplicar, a cada estación y para cada una de las tres Funciones de Distribución con que se calcularon dichas probabilidades, las Pruebas de Bondad de Ajuste seleccionadas a utilizar en este análisis (Prueba ji-Cuadrado y Prueba Smirnov-Kolmogorov).

Con la aplicación de las pruebas se obtuvieron parámetros que se compararon con valores críticos establecidos para aceptar o rechazar la Función de Distribución con que se calcularon las probabilidades F_x .

Prueba Chi Cuadrado de Bondad de Ajuste

La aplicación de esta prueba para cada una de las funciones de distribución en la estación Pasaquina se presenta en la tabla 3.45:

Tablas 3.45. Aplicación de prueba ji-Cuadrado a estación Pasaquina

FUNCION		PASAQUINA						
GUMBEL	INTERVALO	LIM. INF	LIM. SUP.	F(s)	F(i)	OBSV. T	Ei	$((T-Ei)^2)/Ei$
	1	237	300	0.1973	0.0224	3.0000	1.7491	0.8946
	2	300	350	0.4377	0.1973	1.0000	2.4036	0.8197
	3	350	400	0.6566	0.4377	2.0000	2.1894	0.0164
	4	400	450	0.8072	0.6566	2.0000	1.5061	0.1619
	5	450	500	0.8967	0.8072	1.0000	0.8949	0.0123
	6	500	550	0.9460	0.8967	1.0000	0.4931	0.5212
	S						9.2362	D = 2.4261
LOG NORMAL	INTERVALO	LIM. INF	LIM. SUP.	F(s)	F(i)	OBSV. T	Ei	$((T-Ei)^2)/Ei$
	1	237	300	0.2148	0.0441	3.0000	1.7067	0.9800
	2	300	350	0.4240	0.2148	1.0000	2.0924	0.5703
	3	350	400	0.6280	0.4240	2.0000	2.0402	0.0008
	4	400	450	0.7834	0.6280	2.0000	1.5539	0.1281
	5	450	500	0.8835	0.7834	1.0000	1.0009	0.0000
	6	500	550	0.9409	0.8835	1.0000	0.5742	0.3158
	S						8.9683	D = 1.9949
LOG PEARSON III	INTERVALO	LIM. INF	LIM. SUP.	F(s)	F(i)	OBSV. T	Ei	$((T-Ei)^2)/Ei$
	1	237	300	0.3261	0.0000	3.0000	3.2607	0.0208
	2	300	350	0.6104	0.3261	1.0000	2.8436	1.1953
	3	350	400	0.7792	0.6104	2.0000	1.6874	0.0579
	4	400	450	0.8723	0.7792	2.0000	0.9310	1.2276
	5	450	500	0.9238	0.8723	1.0000	0.5155	0.4553
	6	500	550	0.9531	0.9238	1.0000	0.2927	1.7095
	S						9.5308	D = 4.6663

Los valores del estadístico D calculado para cada una de las funciones de distribución en las estaciones analizadas se presentan en la tabla 3.46:

ESTACION	GUMBEL	LOG NORMAL	LOG PEARSON III
San Lorenzo	24.90	9.85	0.86
La Atalaya	10.84	9.92	13.51
Sensunapán	7.47	5.26	19.60
Conacaste Herrado	4.28	4.17	19.26
San Luis Talpa	2.70	2.47	15.73
San Ramón	9.94	8.90	45.69
Los Tihuilotes	3.37	1.33	0.76
Hato Nuevo	3.47	3.37	1.57
Moscoso	13.69	11.32	67.92
Villerías	9.12	3.43	25.66
Pasaquina	2.43	1.99	4.67

Tabla 3.46. Valores calculados del estadístico D para las funciones de distribución en las estaciones analizadas.

Los valores anteriores del parámetro estadístico D se comparan con el valor de la variable aleatoria de distribución χ^2 escogido de acuerdo al nivel de significancia α , a los grados de libertad ν y al número de parámetros que intervienen en cada función.

Prueba Smirnov-Kolmogorov de Bondad de Ajuste

La aplicación de esta prueba para cada una de las funciones de distribución en la estación Pasaquina se presenta en la tabla 3.47.

PASAQUINA			
FUNCION	GUMBEL	LOG-NORMAL	LOG-PEARSON III
M	D	D	D
1	0.0301	0.0239	0.0398
2	0.0487	0.0313	0.0885
3	0.0579	0.0325	0.1321
4	0.0826	0.0542	0.1829
5	0.0795	0.0517	0.2123
6	0.0833	0.0603	0.2397
7	0.0304	0.0312	0.1419
8	0.0795	0.0615	0.0469
9	0.0726	0.0461	0.0159
10	0.0671	0.0448	0.0907
D máx	0.0833	0.0615	0.2397

D mín = 0.0615

Tabla 3.47. Aplicación de Prueba Smirnov-Kolmogorov a estación Pasaquina.

Para las estaciones analizadas, se presentan los valores de la diferencia $D_{máx}$ calculado para cada una de las funciones de distribución en la tabla 3.48:

ESTACION	GUMBEL	LOG NORMAL	LOG PEARSON III	
	D máx	D máx	D máx	D mín
San Lorenzo	0.2300	0.1151	0.0888	0.0888
La Atalaya	0.1553	0.1421	0.1659	0.1421
Sensunapán	0.1117	0.0943	0.3902	0.0943
Conacaste Herrado	0.1332	0.1011	0.3739	0.1011
San Luis Talpa	0.0908	0.1098	0.4392	0.0908
San Ramón	0.2492	0.2165	0.4656	0.2165
Los Tihuilotes	0.1170	0.1390	0.1350	0.1170
Hato Nuevo	0.0978	0.0805	0.1321	0.0805
Moscoso	0.2150	0.1631	0.7051	0.1631
Villerías	0.1401	0.1144	0.4012	0.1144
Pasaquina	0.0833	0.0615	0.2397	0.0615

Tabla 3.48. Valores calculados del parámetro $D_{máx}$ para las funciones de distribución en las estaciones analizadas.

En la última columna de la tabla anterior se presenta el valor mínimo de D escogido entre los tres valores de $D_{máx}$ (diferencia máxima entre los valores de distribución observados

$P_0(x)$ y los estimados P_x) calculado para cada función de distribución. El valor de $D_{\min}$ indica cual es la función de distribución escogida por esta prueba de bondad.

3.4 Selección de Distribución de Mejor Ajuste

La selección de la distribución de mejor ajuste se basa en los resultados de las pruebas de bondad. Como se señaló en el capítulo anterior, es necesario comparar los parámetros calculados con valores críticos establecidos para las condiciones de análisis (intervalo de confianza α , tamaño de la muestra y grados de libertad, según sea el caso).

La selección de la Función de Distribución de mejor ajuste se obtuvo por medio de un sistema de calificación de funciones en el orden de preferencia indicado por cada una, otorgando una calificación de 1 a la "mejor" y 3 a la "peor".

A continuación se hace la comparación de los parámetros calculados con los valores críticos según cada prueba de ajuste de bondad.

3.4.1 Prueba ji-Cuadrado

Para esta prueba la variable aleatoria $\chi^2_{1-\alpha, kI-m}$, o valor estadístico crítico, sólo puede tomar dos valores, debido a que las funciones de distribución son de 2 y 3 parámetros. Estos valores son para un nivel de significancia del 5 % y 6 intervalos de clase k :

Para 2 parámetros (Gumbel y Log-Normal): $\chi^2_{0.95, 3} = 7.81$

Para 3 parámetros (Log-Pearson III): $\chi^2_{0.95, 2} = 5.99$

La tabla 3.49. muestra la comparación de parámetros para la estación Pasaquina, así como la calificación para cada una de las funciones de distribución.

k = intervalos seleccionados
a = Nivel de Significancia
m = Parámetros de la función

k = 6
a = 0.05

PASAQUINA

FUNCION	m	v = k-1-m	$\chi^2_{0.95}$	D	$D < \chi^2_{0.95}$	Calificación
GUMBEL	2	3	7.81	2.4261	OK	2
LOG-NORMAL II	2	3	7.81	1.9949	OK	1
LOG-PEARSON III	3	2	5.99	4.6663	OK	3

Tabla 3.49. Calificación de funciones para la estación Pasaquina según ji-Cuadrado.

La comparación de parámetros y calificación de funciones para todas las estaciones en estudio se presentan en la tabla 3.50.

ESTACION	GUMBEL		LOG NORMAL II		LOG PEARSON III	
$\chi^2_{0.95}$	7,81		7,81		5,99	
Calificación = C	D < $\chi^2_{0.95}$	C	D < $\chi^2_{0.95}$	C	D < $\chi^2_{0.95}$	C
San Lorenzo	NO	SR	NO	SR	SI	1
La Atalaya	NO	SR	NO	SR	NO	SR
Sensunapán	SI	2	SI	1	NO	SR
Conacaste Herrado	SI	2	SI	1	NO	SR
San Luis Talpa	SI	2	SI	1	NO	SR
San Ramón	NO	SR	NO	SR	NO	SR
Los Tihuilotes	SI	3	SI	2	SI	1
Hato Nuevo	SI	3	SI	2	SI	1
Moscoso	NO	SR	NO	SR	NO	SR
Villerías	NO	SR	SI	1	NO	SR
Pasaquina	SI	2	SI	1	SI	3

Tabla 3.50. Calificación de funciones para las estaciones analizadas según ji-Cuadrado.

Como puede observarse, aunque la prueba ji-Cuadrado rechaza (SR) en gran medida las distribuciones, la calificación tiende a señalar a la distribución Log - Normal II como la función preferible al calificar la mayoría de estaciones con uno y las siguientes con dos.

3.4.2 Prueba Smirnov - Kolmogorov

En esta prueba el valor crítico D_{α} de la prueba se obtiene de la tabla del anexo B, en función del nivel de confianza y el número de datos. Cuando el tamaño de la muestra no está directamente en la tabla, pero sí entre el rango de dos datos consecutivos, se debe de proceder interpolando los mismos para obtener el valor de d_{crit} .

En lo que se refiere al tamaño de la muestra, dos de las estaciones en estudio (Hato Nuevo y Los Tihuilotes) presentaron únicamente cuatro registros a utilizar, y si se observa con atención en la tabla del Anexo B, el menor tamaño de muestra para el que se proporcionan valores críticos es de cinco, por lo que se utilizó el valor anotado para cinco, tomando el riesgo de concluir erradamente, pero con la intención de analizar el fenómeno.

La tabla 3.51 presenta la comparación de parámetros para la estación Pasaquina, así como también la respectiva calificación para cada una de las funciones de distribución.

PASAQUINA

n=10
a=0.05
d crítico=0.41

FUNCION	D máx	d crítico	Dmáx < d crítico	D mín	Calificación
GUMBEL	0.0833	0.41	OK		2
LOG-NORMAL II	0.0615	0.41	OK	✓	1
LOG-PEARSON III	0.2397	0.41	OK		3

Tabla 3.51. Calificación de funciones para la estación Pasaquina según Smirnov-Kolmogorov.

La comparación de parámetros y calificación de funciones para todas las estaciones en estudio se presentan en la tabla 3.52.

ESTACION	Tamaño de la muestra	d crítico	GUMBEL		LOG NORMAL		LOG PEARSON III	
Calificación = C	n	d	D < d crit	C	D < d crit	C	D < d crit	C
San lorenzo	20	0,29	SI	3	SI	2	SI	1
La Atalaya	20	0,29	SI	2	SI	1	SI	3
Sensunapán	20	0,29	SI	2	SI	1	NO	3
Conacaste Herrado	19	0,3	SI	2	SI	1	NO	3
San Luis Talpa	10	0,41	SI	1	SI	2	NO	3
San Ramón	10	0,41	SI	2	SI	1	NO	3
Los Tihuilotes	4	0,56	SI	1	SI	3	SI	2
Hato Nuevo	4	0,56	SI	2	SI	1	SI	3
Moscoso	16	0,33	SI	2	SI	1	NO	3
Villerías	11	0,396	SI	2	SI	1	NO	3
Pasaquina	10	0,41	SI	2	SI	1	SI	3

Tabla 3.52. Calificación de funciones para las estaciones analizadas según Smirnov - Kolmogorov.

Es de notar que también esta prueba se inclina por preferir la función Log - Normal II como la función de mejor ajuste para la mayoría de estaciones, esto es al calificarla con valor 1.

La función seleccionada como de mejor ajuste al aplicar ambas pruebas de bondad, ji-Cuadrado y Smirnov - Kolmogorov es entonces la distribución Log - Normal de dos parámetros; aunque se debe de tener en cuenta que después de ésta la que mejor se ajusta es la distribución Gumbel.

3.4.3 Cálculo de Caudales Máximos por metodología Estadística Puntual de mejor ajuste (Log-Normal)

Los períodos de retorno para los cuales se requería calcular los Caudales Máximos son 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años. Para todos ellos se calculó su respectiva Probabilidad de Excedencia F_x , Según la ecuación 2.57; y con dichas probabilidades se aplicó la Función de Distribución seleccionada (Log-Normal II) para calcular los valores de Caudales Máximos para cada período de retorno.

Estaciones	Caudales máximos Q (m ³ /s) por metodología estadística Log-Normal					
	Período de retorno					
Período de retorno	5 años	10 años	20 años	25 años	50 años	100 años
San Lorenzo	436.35	708.16	1056.33	1186.84	1656.78	2236.54
La Atalaya	252.17	311.81	371.55	391.02	452.60	516.22
Sensunapan	367.79	516.95	684.76	743.20	939.63	1160.29
Conacaste Herrado	145.41	181.24	217.40	229.24	266.80	305.82
San Luis Talpa	82.01	102.94	124.19	131.17	153.40	176.60
San Ramón	63.68	79.12	94.66	99.74	115.84	132.52
Los Tihuilotes	190.55	209.38	226.33	231.52	247.06	261.92
Hato Nuevo	339.93	403.20	464.25	483.71	544.08	604.78
Villerias	990.49	1188.75	1382.07	1444.08	1637.49	1833.50
Moscoso	1083.77	1425.85	1788.38	1910.38	2307.77	2735.37
Pasaquina	456.75	511.57	561.76	577.29	624.17	669.59

Tabla 3.53. valores de Caudales Máximos calculados por metodología Estadística Log-Normal II.