

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Introducción

A continuación se presenta el análisis de los cálculos de los coeficientes de escurrimiento representativos para cada estación en estudio; se analizaron los tiempos de concentración obtenidos por las diferentes metodologías antes descritas y se determinó la que mejor se adaptó a las condiciones requeridas; se realizó un análisis de los valores obtenidos de Número de Curva; se analizan los resultados del Método Racional y de los Hidrogramas Unitarios (sintéticos y complejos) se determinó qué función de distribución estadística es la que mejor se ajusta; se compararon los caudales máximos obtenidos, tanto por metodologías Hidrometeorológicas como por Estadísticas (puntual de mejor ajuste y regional) y para finalizar, de ser necesario, se determinaron los factores de corrección de las diferentes metodologías Hidrometeorológicas que lo requerían.

El objetivo del presente capítulo, es el de validar las diferentes metodologías para la determinación de caudales máximos en El Salvador, o determinar el factor de corrección para hacerlas válidas.

4.2 Análisis de resultados de Coeficientes de Escurrimiento C

Los valores de Coeficientes de Escurrimiento ponderados para las cuencas en estudio están en el rango de 0.36 y 0.56, para períodos de retorno de 5 y 100 años respectivamente, las magnitudes de estos valores puede deberse a que: la mayoría de las áreas contenidas dentro de las cuencas en estudio poseen pendientes mayores al 7% a excepción de la cuenca donde se ubica la estación Villerías donde la mayor área posee pendientes entre 0-2%; además, en la mayoría de cuencas, las áreas de uso de suelo estaban contenidas dentro de las zonas de pastos seguido de las zonas urbanas discontinuas. Las condiciones anteriores hacen que los valores de Coeficientes de Escurrimiento aumenten su valor, generando los rangos de valores calculados para cada cuenca en estudio. Los mayores coeficientes de escurrimiento por período de retorno se encuentran en las áreas de drenaje donde se ubican en las regiones hidrográficas Grande de Sonsonete-Banderas (estación Conacaste Herrado), Mandinga-Comalapa (estación

San Luis Talpa) y Jiboa (estación San Ramón); debido a que en estas áreas de drenaje contienen concentraciones urbanas altas respecto a las demás.

4.3 Análisis de resultados de Tiempos de Concentración

4.3.1 Validación de fórmulas empíricas para calcular Tiempos de Concentración

Del análisis del cálculo de velocidades medias del capítulo tres, se determina que la metodología de Giandotti queda fuera de los rangos obtenidos con la desviación estándar, por lo que se determina que no es recomendable utilizarla para calcular tiempos de concentración en las cuencas en estudio. Los demás tiempos de concentración se encuentran dentro de los rangos aceptables. La figura 4.1 muestra lo alejado de los valores de velocidad obtenidos con la fórmula de Giandotti.

La tabla 3.12 presenta las velocidades de escorrentía calculadas al dividir la distancia entre el punto de origen del cauce principal y el lugar de ubicación de cada una de las estaciones en estudio entre los valores de tiempos de concentración calculados a través de las diferentes metodologías

Las diferencias entre velocidades calculadas a través de los tiempos de concentración y las calculadas mediante la fórmula 2.13 son relativamente pequeñas (entre 0.1 y 1.0) y las velocidades se encuentran en el rango de 1 a 3 m/s.

La determinación de la fórmula empírica para calcular tiempos de concentración a utilizar para los cálculos que lo requieran en la determinación de caudales máximos, se determinó a través de un criterio de practicidad de uso de la fórmula, donde se dio prioridad a la fórmula que tuviera menos variables y que, en la obtención de estas variables, no se viera afectada por los cambios que el paso del tiempo pueda provocar (mapas de uso del suelo para la determinación de C , etc.). La fórmula de Kirpich siempre se mantuvo dentro de los rangos previamente establecidos (de velocidad o de tiempos de concentración $\pm$ desviación estándar).

Se descarta, en este análisis, la fórmula empírica de la FAA, debido a que ésta posee el mayor número de variables, entre ellas el valor de C el cual puede variar según la calidad de la información que se tenga y la metodología para procesar la información.

La decisión de utilizar Kirpich y no SCS, se debió a que la ecuación del SCS es esencialmente la ecuación de Kirpich.

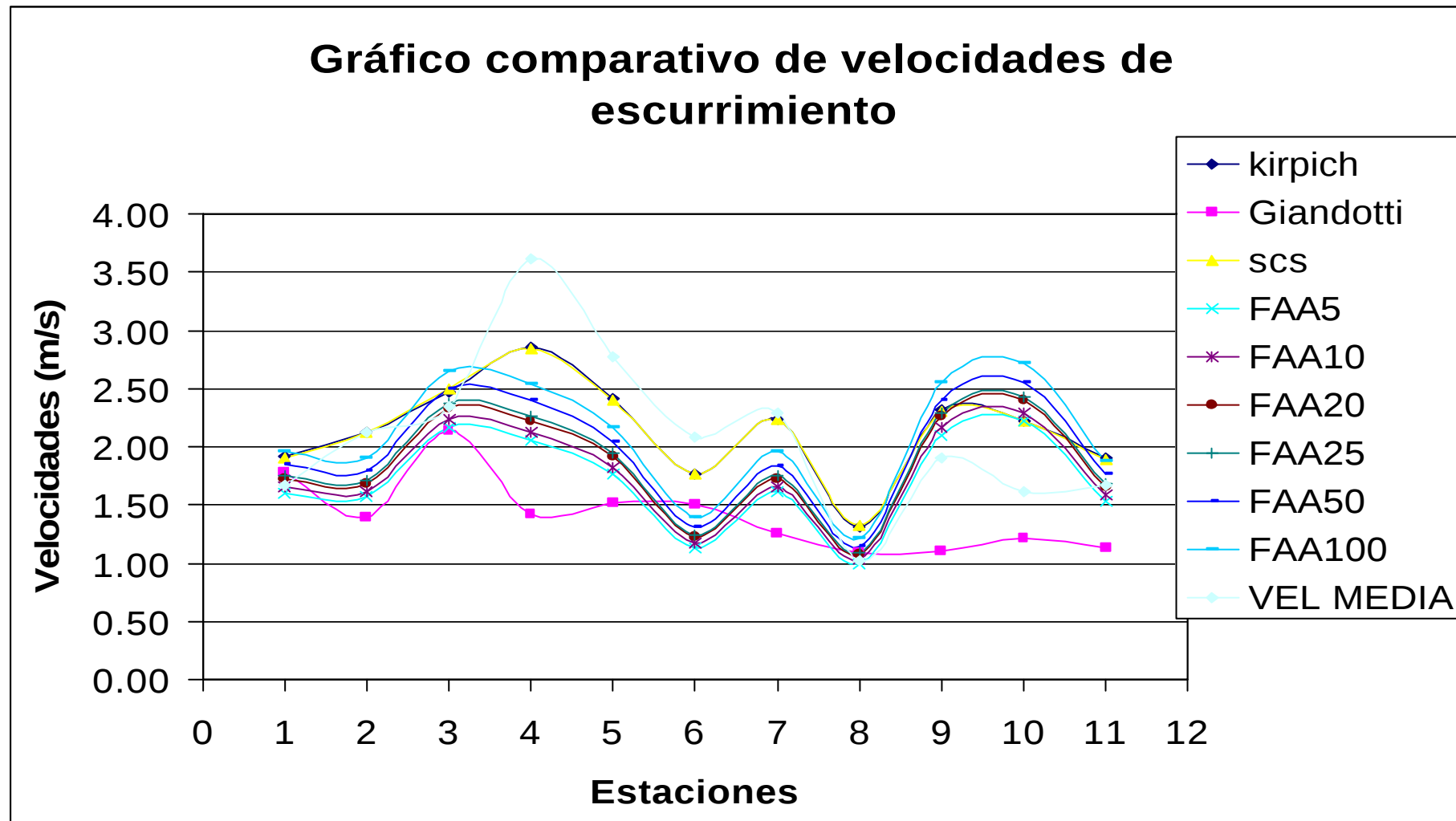


Figura 4.1. Gráfico comparativo de velocidades de escurrimiento.

En el gráfico anterior, los números de las abscisas representan las estaciones en estudio, así:

NÚMERO	ESTACIÓN
1	San Lorenzo
2	La Atalaya
3	Sensunapán
4	Conacaste Herrado
5	San Luis Talpa/Comal.
6	San Ramón
7	Los Tihuilotes
8	Hato Nuevo
9	Villerías
10	Moscoso
11	Pasaquina

Tabla 4.1. Tabla de estaciones en las abscisas de la gráfica anterior.

4.4 Análisis de resultados del Número de Curva *CN*

El análisis de los resultados realizado con los cálculos del Número de Curva, es similar al realizado con los cálculos del Coeficiente de escurrimiento.

Los valores del Número de Curva varían dependiendo del tipo de cobertura, a valores muy impermeables se les asigna el límite superior (100) y para una cobertura completamente permeable, se le asigna el límite inferior (1). Estos valores fueron tabulados para distintos valores de suelo y cobertura.

Al determinar los distintos valores de *CN* para cada una de las cuencas en estudio y realizar el análisis de estos resultados, nos damos cuenta que la mayor parte de las áreas que forman parte de estas cuencas poseen coberturas impermeables tipo *C* (suelos que generan escurrimiento superficial máxima a media y con capacidad de infiltración baja a media), con usos de suelo de pastos y granos básicos, con moderadas cantidades de áreas urbanas. Las características anteriores nos generan valores de *CN* relativamente altos (75.80 para la región hidrográfica Mandinga-Comalapa donde se ubica la estación San Luis Talpa, y con el valor de *CN* menor y 86.40 para la región hidrográfica del Río Grande de San Miguel donde se ubica la estación Villerías con el valor de *CN* más alto).

4.5 Análisis de los resultados de caudales máximos obtenidos mediante el Método Racional

Según Linsley y Franzini [Linsley y Franzini, 1974: p. 79] el Método Racional puede utilizarse para áreas a partir de 0.01 km^2 pero nunca usarse para áreas mayores a 4.86 km^2 . El Método Racional supone que la lluvia cae sobre toda la cuenca uniformemente, con una intensidad constante, esto es posible para cuencas con los rangos de tamaños de áreas antes mencionados. Las cuencas en estudio de este documento poseen tamaños de áreas que van desde 54.4 km^2 para la cuenca donde se ubica la estación San Ramón hasta 1074 km^2 de la cuenca donde se ubica la estación Moscoso; en estas áreas la mayoría de las lluvias caen sobre parte de la cuenca, contradiciendo las suposiciones del Método Racional.

4.6 Análisis de los resultados obtenido a través de los Hidrogramas Sintéticos de Snyder

En primer lugar analizamos los resultados de caudales máximos obtenidos a través del Hidrograma Sintético de Snyder, por tratarse de una metodología distinta que la utilizada en los cálculos de caudales máximos a través de los Hidrogramas Sintéticos Triangular, SCS e Hidrograma Unitario Complejo.

Como ejemplo, analizamos los valores de caudales máximos para período de retorno de 25 años. En la tabla 4.2 se presentan los valores de tiempos de concentración, intensidades para el período de retorno de 25 años, caudales pico obtenidos con la metodología de Snyder y caudales máximos obtenidos con la fórmula de Snyder ($Q = t_c I q_p$).

Los valores más altos de caudales máximos obtenidos a través del Hidrograma Sintético de Snyder, son directamente proporcionales al valor del caudal pico. Al analizar los resultados, se observa que el caudal pico es la variable dominante en esta metodología específica, lo que demuestra la importancia de este valor en esta metodología.

ESTACIÓN	tc (horas)	I (mm/h)	qp	Q(m ³ /s)
		T = 25	(m ³ /s/mm)	T = 25
San Lorenzo	4.91	26.02	5.67	723.687
La Atalaya	3.49	33.01	1.51	173.448
Sensunapán	4.52	27.59	2.59	323.048
Conacaste Herrado	2.11	46.78	3.01	297.35
San Luis Talpa/Comal.	2.61	35.09	1.19	108.741
San Ramón	2.05	58.35	1.14	136.092
Los Tihuilotes	3.39	41.87	1.67	237.135
Hato Nuevo	5.37	28.71	1.64	252.448
Pasaquina	4.72	24.20	3.18	362.955

Tabla 4.2. Comparación de variables del método de Snyder para el cálculo de Caudales Máximos

4.7 Análisis de los resultados obtenidos a través de los Hidrogramas Sintéticos Triangular, SCS e Hidrogramas Unitarios Complejos

El área es un factor muy influyente en el valor del caudal pico unitario de los HU como se puede notar en los Hidrogramas Sintéticos Triangular, SCS y Complejo para las estaciones de Moscoso y Villerías, las cuales tienen áreas mayores a 900 km².

Cuando se construyeron los Hidrogramas Unitarios los tiempos bases de los Hidrogramas Unitarios SCS resultan ser aproximadamente el doble de los tiempos bases de los Hidrogramas Unitarios Triangulares como se muestra en la tabla 4.3, debido a que el tiempo T_p se multiplica directamente con el eje de las abscisas del HU adimensional SCS obtenido de varios Hidrogramas Unitarios registrados en diferentes cuencas y construido por el SCS (1986). A pesar de lo descrito anteriormente los caudales máximos obtenidos por las dos metodologías son prácticamente los mismos.

ESTACIÓN	Tiempos bases	
UNIDADES	Triangular	SCS
San Lorenzo	14.42	27.01
La Atalaya	10.25	19.20
Sensunapán	13.28	24.86
Conacaste Herrado	6.20	11.61
San Luis Talpa/Comalapa	7.67	14.36
San Ramón	6.02	11.28
Los Tihuilotes	9.96	18.65
Hato Nuevo	15.77	29.54
Villeras	17.01	31.85
Moscoso	22.15	41.46
Pasaquina	13.86	25.96

Tabla 4.3 Tabla comparativa de tiempos bases entre los HU triangulares y los HU SCS.

De esta forma, es notable que el volumen de escurrimiento por metodología del HU Sintético SCS (Volumen = 205020.00 m³/mm), será mayor al volumen de escurrimiento por metodología del HU Sintético Triangular (Volumen = 162864.00 m³/mm), como se muestra en la Figura 4.2. En Cambio el volumen de escurrimiento por HU Complejo, se deberá al hidrograma del evento elegido y su correspondiente lluvia.

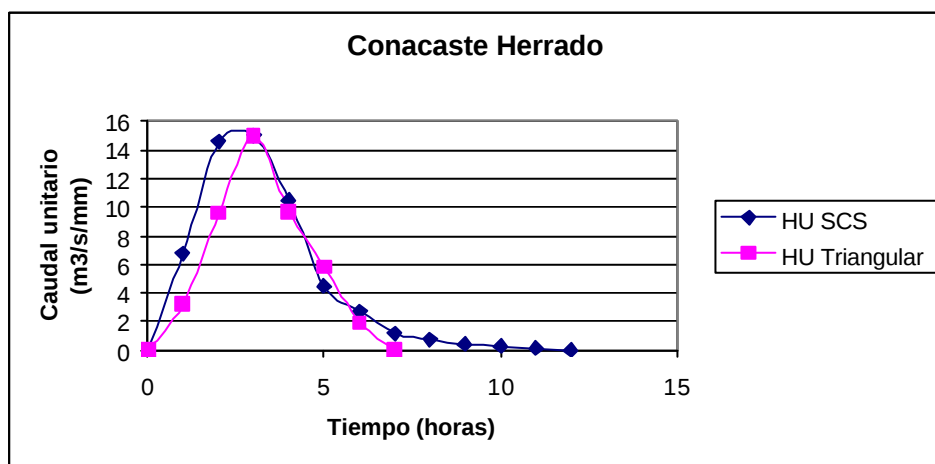


Figura 4.2. Comparación entre Hidrogramas Unitarios Triangular y SCS

Se hizo una comparación por período de retorno de caudales máximos obtenidos por las metodologías del HU Complejo, HS Triangular e HS SCS para la estación de San Luis Talpa/Comalapa y así ver la tendencia de los valores de caudales máximos con respecto al período de retorno, observándose nuevamente que los valores de caudales máximos por HS Triangular y HS SCS poseen valores similares aunque los tiempos bases de

ambos sean distintos; en cambio la curva de caudales máximos por HU Complejo lleva una tendencia de crecimiento mayor que las dos anteriores, la cual puede variar según la información de eventos con que fue construido el HU necesario para calcular los caudales máximos. A continuación se presenta la gráfica del análisis anterior.

Comparación entre caudales máximos por métodos			
HU complejo, HS Triangular y HS SCS			
Estación San Luis Talpa-Comalapa			
T	Q (m³/s)		
años	HUCOM	HUSCS	HUTRI
5	62.47	40.98	40.20
10	90.60	58.28	57.95
20	130.07	82.94	82.84
25	145.62	92.73	92.63
50	204.59	130.12	129.76
100	282.47	179.95	178.75

Tabla 4.4. Comparación entre Caudales Máximos por metodologías del HU complejo, HS Triangular y SCS

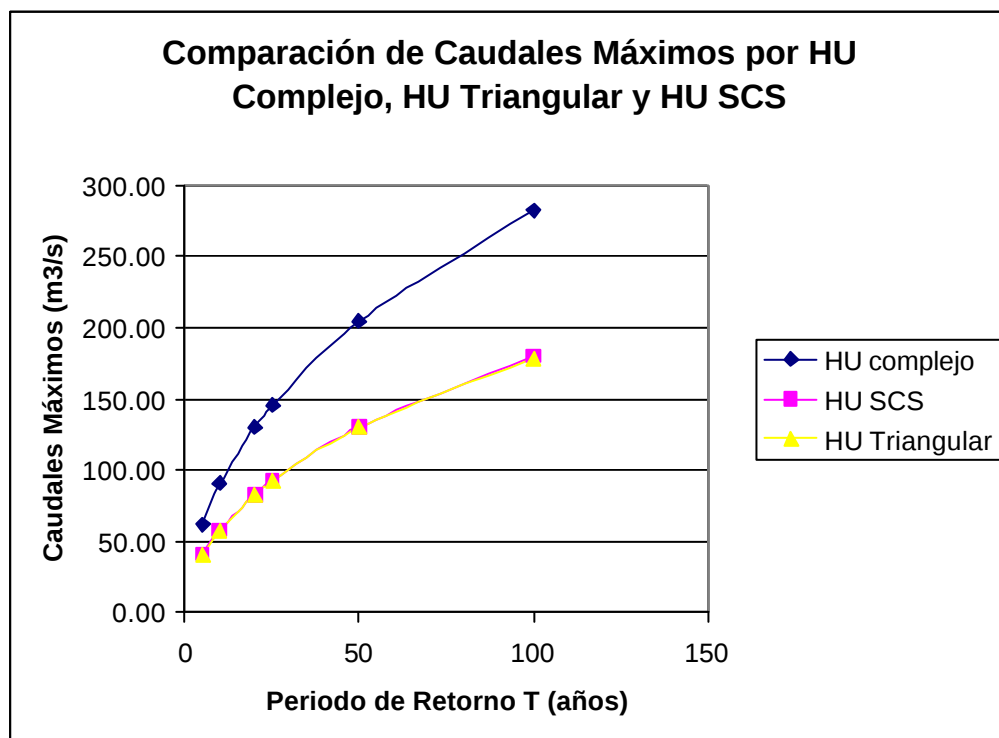


Figura 4.3. Comparación de Caudales Máximos por HU Complejo, HU Triangular y HU SCS

4.8 Análisis de resultados obtenidos mediante el método Regional de Índice de Creciente

En la estimación de caudales máximos por metodología estadística regional, es notable que las diferencias de caudales entre estaciones de similar área, pero en diferente ubicación, son debido a que se encuentran en diferente región hidrológica, ya que las ecuaciones que se utilizan son el resultado de una serie de datos registrados en todas las estaciones ubicadas dentro de una zona considerada homogénea, y que permite el cálculo de caudales en una cuenca cualquiera que pertenezca a la misma región homogénea, esto se muestra en la tabla 4.5, donde es de notar que la tendencia de crecimiento de los caudales es determinada por factores por periodo de retorno, porque la regionalización de los caudales que se realizó en El Salvador, fue a través del método de índice de creciente, el cual supone que los máximos anuales dentro de la región homogénea siguen una misma función de distribución, y lo que varía es el factor de escala. [Erazo, Adriana María, 2004: p. 1]

Caudales Máximos por metodología estadística regional							
Q (m ³ /s)	Área	Periodo de retorno T en años					
Estaciones	(km ²)	5	10	20	25	50	100
La Atalaya	102.2	234.32	325.77	425.78	461.50	578.67	708.69
Hato Nuevo	102.0	362.31	450.30	540.88	569.35	665.10	760.85

Tabla 4.5 Comparación de estaciones de diferente región Hidrológica.

4.9 Análisis de resultados obtenidos con metodologías Estadísticas Puntuales

Al analizar las tablas de calificación de las funciones de distribución se observa que para la prueba ji-Cuadrado se rechazan las tres funciones (Gumbel, Log-Normal II y Log-Pearson III) en algunas de las estaciones (La Atalaya, San Ramón y Moscoso).

Lo anterior no se debe a que las tres funciones no se ajusten a los datos, sino a limitaciones que la prueba en sí presenta respecto al número de intervalos considerados (k), al número de frecuencias observadas, así como también al número de frecuencias esperadas.

Según Gildaberto Bonilla [Gildaberto Bonilla, 2000: p.148], para la prueba ji-cuadrado un número de frecuencias observadas menores que 50 es pequeño, esta es una clara limitación si tomamos en cuenta que ninguna estación analizada el número de eventos (tamaño de la muestra) es mayor que 20, por lo que ya se carga desde el principio con esta causa de error al aplicar la prueba.

De la misma manera, el número de intervalos escogidos ($k=6$) es mayor, en el caso de las estaciones Hato Nuevo y Los Tihuilotes, que el número de eventos ($m=4$), pero se escogió este número para obtener una distribución de al menos 2 grados de libertad (allí donde se tiene el mayor número de parámetros que es el caso de la función Log-Pearson III), donde la distribución ji-cuadrado observe un valor que no sea superado fácilmente por la suma de las diferencias de los cocientes.

Esto, sumado a que las frecuencias esperadas en cada intervalo no superaban las 5 observaciones que se exige para aplicar la prueba y no provocar un error tipo 1 (rechazar la hipótesis nula siendo verdadera) [Hernández, 2002: pág. 257], llevó a que los resultados de su aplicación parecieran que las funciones se rechazan en muchos casos, más esto debe tomarse con mucha reserva si se toman en cuenta las observaciones anteriores.

Teniendo en cuenta lo anterior se optó por usar la prueba ji-cuadrado como sólo un parámetro de comparación entre las funciones y para corroborar los resultados de la aplicación de la prueba Smirnov-Kolmogorov, la cual fue la que se decidió utilizar para escoger la función de mejor ajuste, ya que tiene la ventaja sobre la prueba ji-cuadrado de comparar los datos con el modelo estadístico sin necesidad de agruparlos [Aparicio, 2000: pág. 279].

Como se dejó claro con anterioridad, la función de distribución Log-Normal es la que mejor se ajusta a los datos de caudales máximos instantáneos de las estaciones analizadas según la prueba de bondad de ajuste Smirnov-Kolmogorov, puesto que cubre todo el rango de valores posibles del experimento bajo análisis.

Es de notar que aunque la función Gumbel es la que usualmente se utiliza para el análisis de Caudales Máximos (análisis de valores extremos), no resultó escogida por

las pruebas de ajuste, debido al comportamiento de la distribución de las frecuencias de caudales máximos instantáneos.

Puede suponerse que tal selección obedece a la distribución de los datos de caudales máximos instantáneos usados en el análisis, esto, visto desde la perspectiva de que los datos de caudal para períodos de retorno mayores se alejaban por mucho de la tendencia de el resto de datos, provocando así que se requiriera de una función de distribución que pudiera incluir este rango de valores.

4.10 Comparación entre Caudales Máximos calculados por metodologías Hidrometeorológicas y bs calculados por metodologías Estadísticas (Puntual de mejor ajuste y Regional)

Un primer análisis consiste en la comparación de caudales máximos por período de retorno para todas las metodologías de cálculo de caudales máximos para la estación hidrológica Los Tihuilotes, en la región Hidrográfica Jiboa (ver tabla 4.6).

	Caudales máximos Q (m³/s)					
METODOLOGÍA	5 años	10 años	20 años	25 años	50 años	100 años
Formula Racional	288.19	372.83	490.63	536.18	703.77	935.88
HS Snyder	148.69	181.80	222.28	237.13	289.93	354.48
HS Triangular	133.68	195.62	280.98	314.46	440.80	607.56
HS SCS	133.79	196.05	282.15	315.98	443.89	613.12
HU Complejo	318.74	463.32	657.12	731.92	1009.71	1368.50
Estadística Puntual	190.55	209.38	226.33	231.52	247.06	261.92
Estadística Regional	244.32	319.25	399.06	425.12	511.45	604.29

Tabla 4.6. Comparación de caudales máximos entre metodologías Hidrometeorológicas y Estadísticas para la estación Los Tihuilotes.

Comparación entre Metodologías

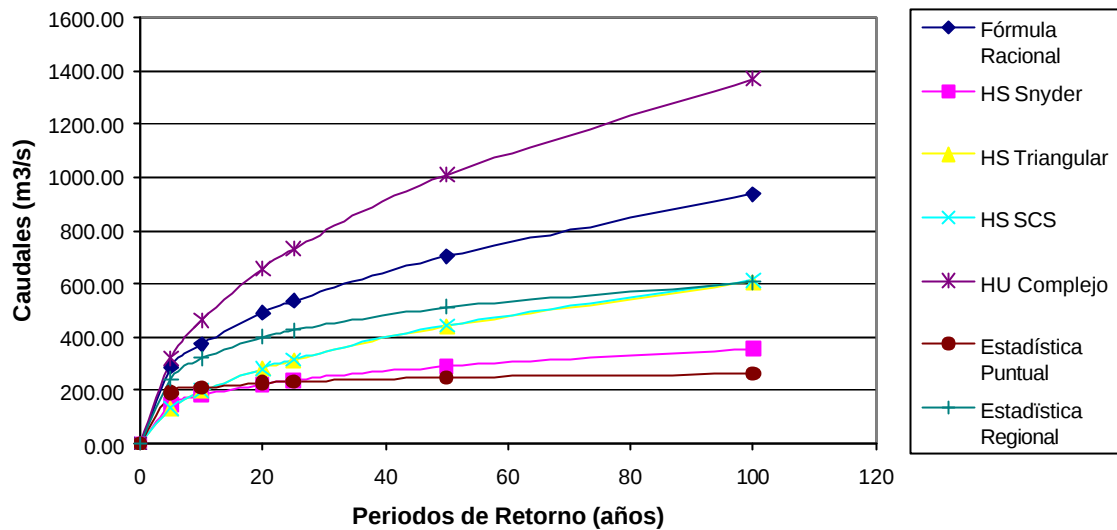


Figura 4.4. Gráfico comparativo de caudales máximos entre metodologías Hidrometeorológicas y Estadísticas para la estación Los Tihuilotes.

Como se muestra en la figura 4.4, la tendencia de la curva de caudales máximos de la metodología estadística puntual para períodos de retorno menores de 10 años, son mayores que los caudales máximos por metodologías HS SCS y Triangular, en cambio para períodos mayores a 10 años todos los valores de caudales máximos de las diferentes metodologías son mayores que los de la metodología estadística puntual, debido a que esta estación en particular tiene cuatro años de registro, por lo que, para períodos de retorno mayores de 5 años se observa un notable decrecimiento de la pendiente debido a que la distribución de los caudales máximos no es representativa por lo limitado del registro.

Se observa nuevamente que los caudales máximos por metodologías HS SCS y Triangular son muy parecidas, en cambio, entre todas las metodologías por HU la del HS de Snyder es la que presenta una pendiente menor respecto a las otras para esta estación. El HU Complejo tiene los caudales máximos más altos de todas las metodologías en la estación por la tendencia de mayor pendiente.

La misma incidencia del número de datos de los registros al calcular los caudales máximos, se puede observar en las estaciones San Lorenzo, La Atalaya y Sensunapán, todas con 20 años de registros, donde las curvas de caudales para períodos de retorno

altos tienden a mostrar un incremento en sus pendientes, es decir, se obtienen caudales mayores para los períodos de retorno extrapolados (mayores de 20 años), caso contrario al de la estación de Los Tihuilotes, analizada anteriormente.

La metodología seguida para la comparación de caudales máximos es la siguiente: se realizó la resta entre cada uno de los valores de caudales máximos, por período de retorno y por estación, entre cada una de las metodologías hidrometeorológicas en estudio y las estadísticas (puntual de mejor ajuste y regional), esta resta se dividió entre los valores de caudales máximos calculados a través de los métodos estadísticos puntuales y regionales para obtener un porcentaje de diferencia. Paso siguiente, se determina que metodología hidrometeorológica posee la menor diferencia y cual la mayor diferencia con respecto a los valores de caudales máximos calculados por métodos estadísticos Puntual y Regional, además se realizaron los análisis de estos resultados.

4.10.1 Comparación entre metodologías para la determinación de Caudales Máximos por la Fórmula Racional y Estadísticas Puntual y Regional

Las tablas 4.7 y 4.8 presentan los porcentajes de diferencias entre metodologías de la Fórmula Racional y Estadísticas Puntual y Regional

Estaciones	Porcentaje de diferencias entre métodos Estadístico Puntual y Racional					
	5 años	10 años	20 años	25 años	50 años	100 años
San Lorenzo	116.57	69.82	44.53	38.91	27.82	19.55
La Atalaya	7.58	9.88	20.99	24.61	37.68	53.92
Sensunapán	87.91	69.24	63.71	62.60	61.99	64.96
Conacaste Herrado	449.59	461.21	494.01	508.37	571.54	639.64
San Luis Talpa/Com.	121.84	118.68	128.66	133.26	150.28	176.89
San Ramón	264.67	275.92	310.35	324.34	374.65	437.10
Los Tihuilotes	51.00	77.35	116.43	131.23	183.86	256.46
Hato Nuevo	2.69	4.42	13.76	17.72	32.30	53.95
Pasaquina	5.20	5.09	21.29	27.35	48.37	76.95

Tabla 4.7. Porcentajes de diferencia entre métodos Estadístico Puntual y Racional

Estaciones	Porcentajes de diferencias entre métodos estadísticos Regional y Racional					
	5 años	10 años	20 años	25 años	50 años	100 años
San Lorenzo	84.07	68.49	63.66	63.06	67.03	72.20
La Atalaya	15.78	5.17	5.58	5.58	7.68	12.12
Sensunapán	89.18	72.25	68.87	67.95	68.71	73.24
Conacaste Herrado	159.64	137.71	130.90	130.06	135.72	143.00
San Luis Talpa/Com.	77.70	68.26	69.81	71.75	79.13	93.09
San Ramón	246.26	239.42	254.63	262.70	291.64	329.11
Los Tihuilotes	17.77	16.32	22.75	25.93	37.12	54.50
Hato Nuevo	207.16	230.65	276.13	294.98	359.06	453.46
Pasaquina	9.45	9.55	4.56	2.17	5.50	17.99

Tabla 4.8. Porcentajes de diferencia entre métodos Estadístico Regional y Racional

En las figuras 4.5 y 4.6 se observa mejor cuales estaciones poseen porcentajes con diferencias mayores y menores para período de retorno de 20 años; siendo mayores para las estaciones Conacaste Herrado y San Ramón, y menores para las estaciones Pasaquina, La Atalaya y Pasaquina. Como era de esperar, los porcentajes de diferencias son mayores a medida el área aumenta de tamaño y son menores a medida el área es menor, tal y como lo especifica el método, el cual no recomienda no ser utilizado para áreas mayores a 4.81 km². La tendencia en las diferencias de porcentajes para cada período de retorno es que, a medida aumenta el período de retorno, aumentan los porcentajes de diferencia. El porcentaje mayor (40%) para un período de retorno de 20 años se genera en la estación Conacaste Herrado, existe la misma tendencia para todos los demás períodos de retorno, por lo que se recomienda revisar las curvas de descarga de donde fueron obtenidos. Otra manera de demostrar esto, es que al observar los valores de porcentajes de diferencia entre metodología Racional y Estadística Regional, los porcentajes disminuyen a 15%.

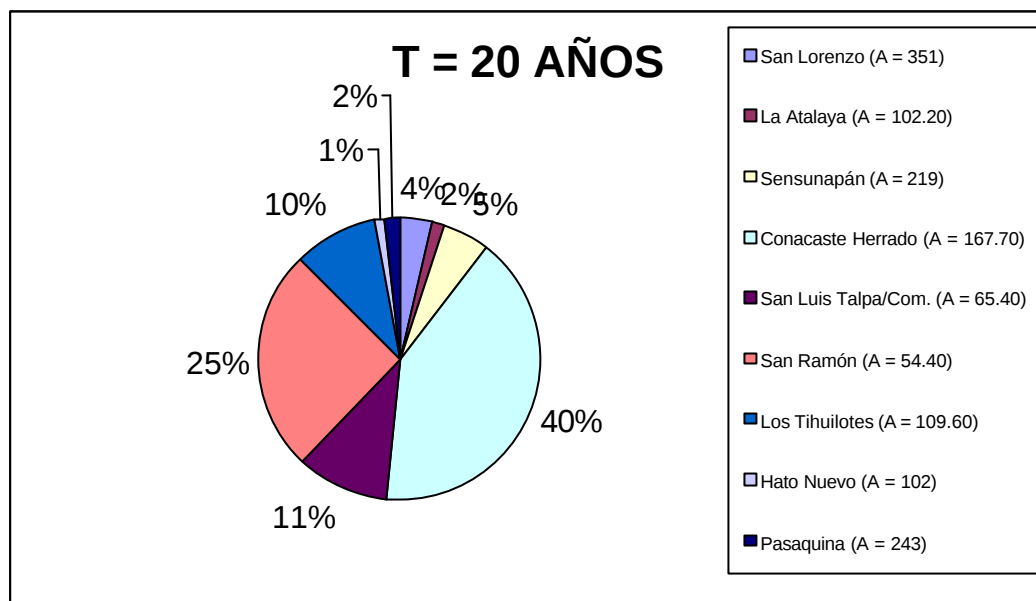


Figura 4.5. Porcentajes de diferencias de caudales máximos entre metodología Estadística Puntual y Racional. T = 20 años.

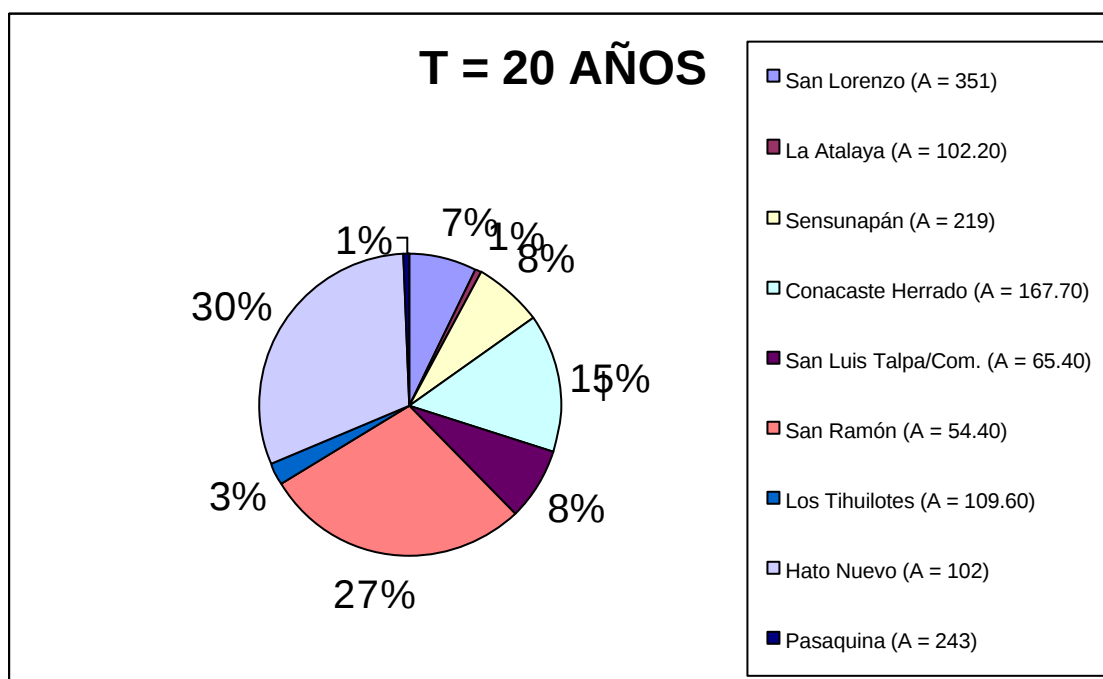


Figura 4.6. Porcentajes de diferencias de caudales máximos entre metodología Estadística Regional y Racional. T = 20 años.

4.10.2 Comparación entre metodologías para la determinación de Caudales Máximos a través del HS de Snyder y metodologías Estadísticas Puntual y Regional

El método utilizado para la obtención de caudales máximos a través del HS de Snyder es el propuesto por el mismo autor (F. Snyder) y fue definido para áreas de 16 a 16,000 km². Los valores más bajos de porcentajes de diferencia se dan en la estación San Luis Talpa, ubicada en la zona central del país, en cambio las estaciones Atalaya, Sensunapán, Conacaste Herrado y San Ramón la tendencia respecto a los porcentajes de diferencia es regular, con respecto a los resultados estadísticos puntuales; mientras que los resultados de las estaciones Los Tihuilotes y Hato Nuevo no son representativos, debido a la baja cantidad de datos necesarios para la obtención de caudales máximos mediante metodología Estadística Puntual

Estaciones	Porcentaje de diferencias entre métodos Estadístico Puntual y HS de Snyder					
	Períodos de retorno en años					
	5 años	10 años	20 años	25 años	50 años	100 años
San Lorenzo	6.54	20.57	35.57	39.02	47.15	52.63
La Atalaya	55.75	56.72	56.09	55.64	53.66	50.88
Sensunapán	43.49	51.38	55.62	56.53	58.43	59.29
Conacaste Herrado	31.57	27.64	28.66	29.71	34.76	42.15
San Luis Talpa/Com.	9.89	15.22	17.01	17.10	16.28	14.12
San Ramón	34.01	31.86	34.75	36.44	43.64	53.51
Los Tihuilotes	21.96	13.17	1.79	2.42	17.35	35.34
Hato Nuevo	57.45	54.40	49.66	47.81	41.02	32.57
Pasaquina	46.00	43.06	38.76	37.13	31.33	24.40

Tabla 4.9. Porcentajes de diferencia entre métodos Estadístico Puntual y HS de Snyder

Estaciones	Porcentaje de diferencias entre métodos Estadístico Regional y HS de Snyder					
	Períodos de retorno en años					
	5	10	20	25	50	100
San Lorenzo	9.45	21.19	27.04	28.43	30.93	31.76
La Atalaya	52.38	58.58	61.68	62.42	63.76	64.22
Sensunapán	43.11	50.52	54.22	55.10	56.70	57.25
Conacaste Herrado	37.84	45.94	49.99	50.95	52.70	53.30
San Luis Talpa/Com.	27.82	34.77	38.37	38.96	40.08	40.11
San Ramón	27.24	19.06	16.46	16.62	18.52	22.65
Los Tihuilotes	39.14	43.05	44.30	44.22	43.31	41.34
Hato Nuevo	85.91	85.59	84.75	84.35	82.97	81.08
Pasaquina	48.42	35.31	36.39	36.25	35.55	33.47

Tabla 4.10. Porcentajes de diferencia entre métodos Estadístico Regional y HS de Snyder

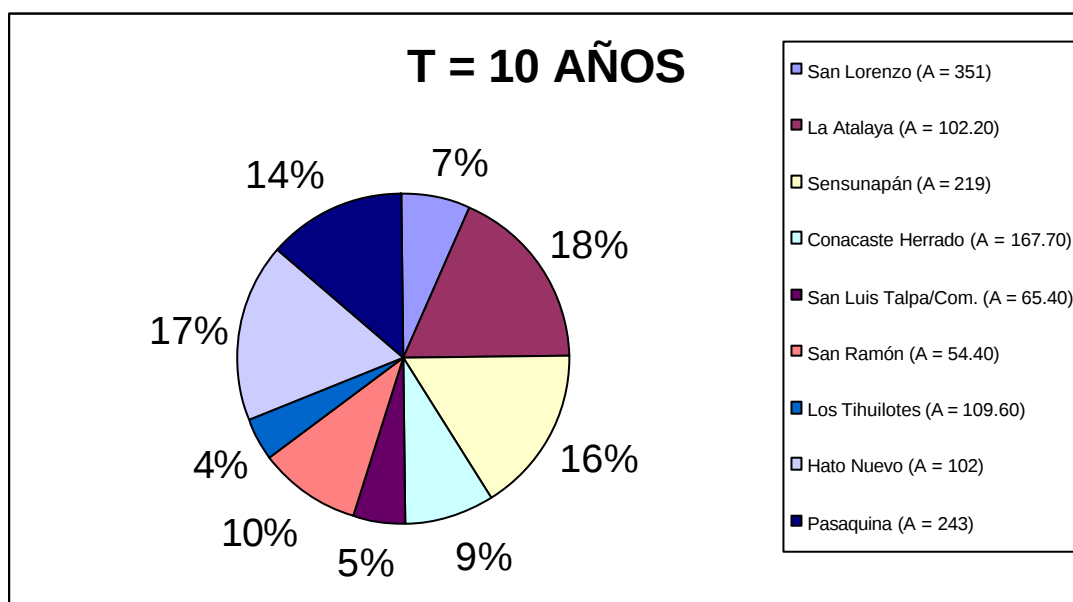


Figura 4.7. Porcentajes de diferencias de caudales máximos entre metodología Estadística Puntual y HS de Snyder. T = 10 años

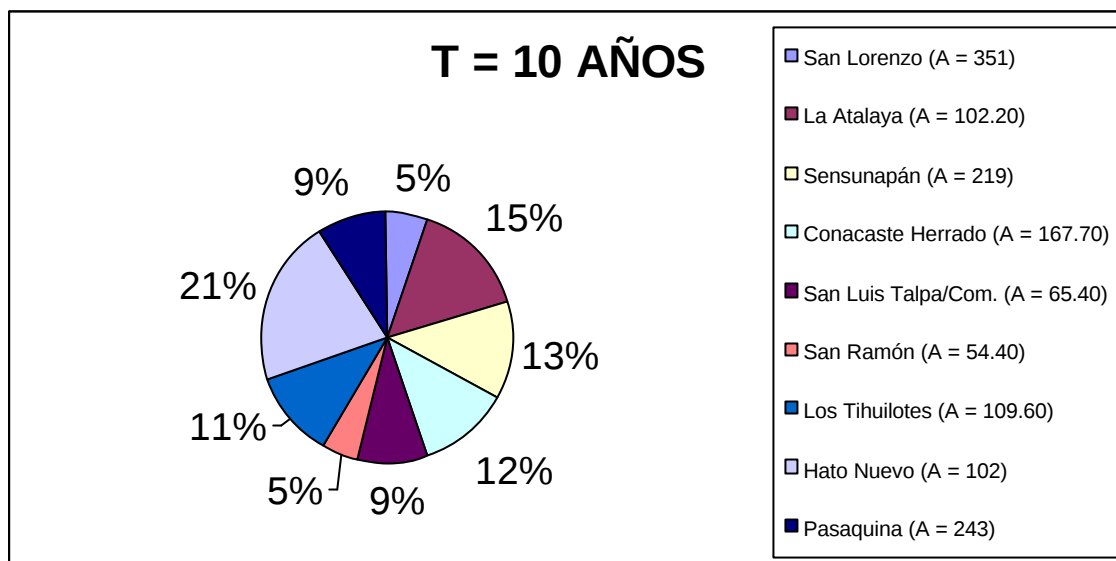


Figura 4.8. Porcentajes de diferencias de caudales máximos entre metodología Estadística Regional e HS de Snyder. T = 10 años

4.10.3 Comparación entre metodologías para la determinación de caudales máximos a través del HS Triangular, SCS y metodologías Estadísticas Puntual y Regional

El Hidrograma Sintético SCS tiene como base los fundamentos teóricos del Hidrograma Sintético Triangular, de ahí que los valores de caudales máximos obtenidos a través del HS Triangular son básicamente los mismos que los obtenidos mediante el HS SCS. Además el análisis fue el mismo. Al observar los gráficos de porcentajes de diferencias nos damos cuenta que éstos son constantes, independientemente de la cuenca en análisis, indicando una relación entre métodos, también constante. La tendencia de los porcentajes de diferencia con respecto a los períodos de retorno es irregular, lo mismo sucede con los porcentajes de diferencia entre metodologías SCS y Estadísticas Puntual y Regional.

Estaciones	Porcentajes de diferencia entre metodologías del HS Triangular y Est. Puntual					
	Período de retorno					
	5 años	10 años	20 años	25 años	50 años	100 años
San Lorenzo	48.84	54.46	58.31	56.66	56.59	55.71
La Atalaya	55.92	49.69	41.23	38.07	26.93	13.70
Sensunapan	60.92	60.87	58.46	57.34	53.08	47.79
Conacaste Herrado	76.21	103.62	139.49	152.63	198.82	252.86
San Luis Talpa	50.98	43.71	33.30	29.38	15.41	1.22
San Ramón	50.38	79.97	118.40	132.51	182.17	240.91
Los Tihuilotes	29.85	6.57	24.15	35.82	78.42	131.96
Hato Nuevo	75.70	69.14	60.09	56.62	43.78	27.49
Villerias	25.60	7.09	18.12	27.78	62.97	107.28
Moscoso	39.58	31.15	18.69	13.89	3.45	24.68
Pasaquina	76.67	71.52	64.13	61.24	50.56	37.00

Tabla 4.11. Porcentajes de diferencia entre métodos Estadístico Puntual y HS Triangular

Estaciones	Porcentaje de diferencias entre métodos Estadístico Puntual y HS Triangular					
	T=5	T=10	T=20	T=25	T=50	T=100
San Lorenzo	56.51	54.82	52.79	49.12	43.26	36.20
La Atalaya	52.57	51.85	48.71	47.53	42.85	37.13
Sensunapán	60.65	60.17	57.15	55.93	51.14	45.17
Conacaste Herrado	16.75	13.76	6.91	4.47	4.89	15.93
San Luis Talpa/Comalapa	60.74	56.69	50.47	48.00	39.46	29.42
San Ramón	42.78	62.49	88.73	98.74	132.83	172.36
Los Tihuilotes	45.28	38.73	29.59	26.03	13.81	0.54
Hato Nuevo	91.95	90.25	87.91	86.99	83.77	79.65
Villerias	103.40	145.28	201.82	224.11	301.23	399.49
Moscoso	43.61	31.98	16.12	9.85	11.99	39.85
Pasaquina	77.72	75.48	71.77	70.23	64.85	57.99

Tabla 4.12. Porcentajes de diferencia entre métodos Estadístico Regional y HS Triangular

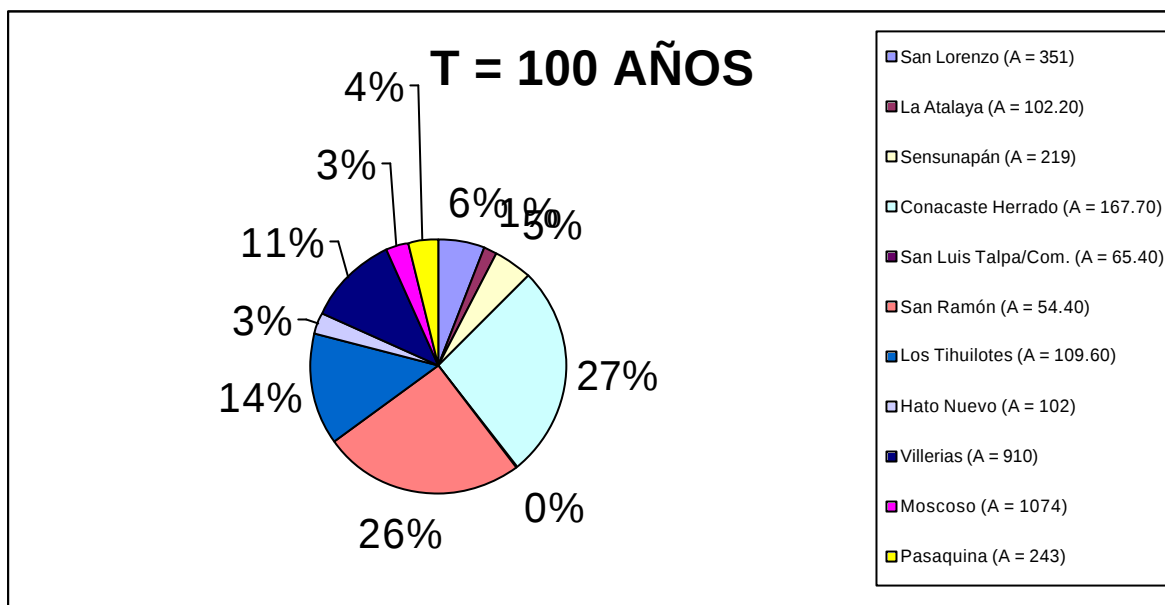


Figura 4.9. Porcentajes de diferencias de caudales máximos entre metodología Estadística Puntual y HS Triangular. T = 100 años.

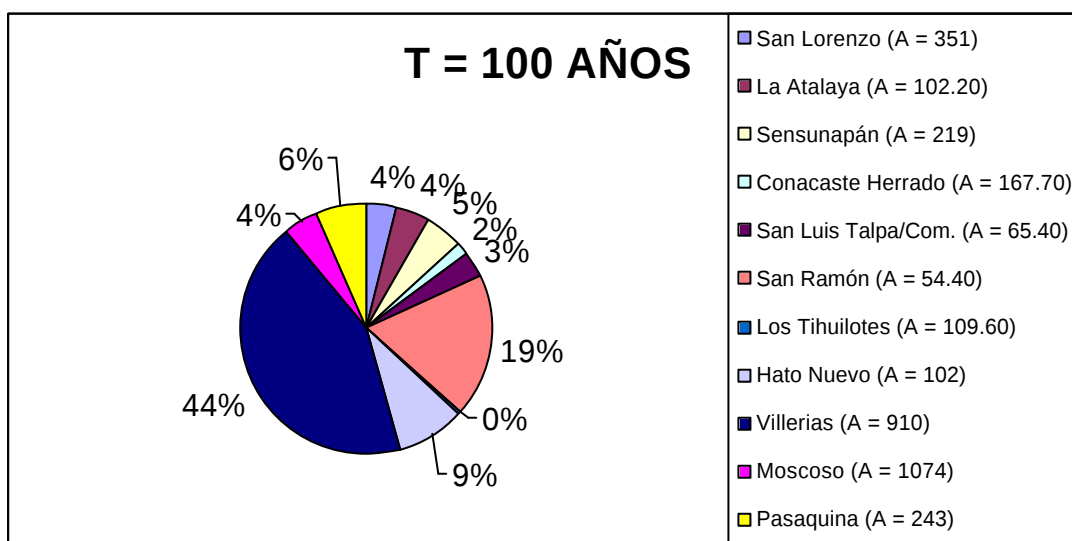


Figura 4.10. Porcentajes de diferencias de caudales máximos entre metodología Estadística Regional y HS Triangular. T = 100 años.

Porcentajes de diferencia entre metodologías del HS SCS y Est. Puntual						
Estaciones	Periodos de retorno en años					
	5	10	20	25	50	100
San Lorenzo	48.65	54.16	56.02	56.19	55.99	54.97
La Atalaya	55.90	49.66	41.22	38.09	27.01	13.86
Sensunapán	60.58	60.73	58.30	57.15	52.70	47.12
Conacaste Herrado	76.60	104.58	141.59	155.21	203.32	259.96
San Luis Talpa/Comalapa	50.03	43.38	33.22	29.31	15.18	1.90
San Ramón	50.80	80.79	119.91	134.33	185.10	245.32
Los Tihuilotes	29.79	6.37	24.66	36.48	79.67	134.09
Hato Nuevo	75.66	69.12	60.02	56.50	43.50	26.94
Villerías	25.53	6.77	18.75	28.54	64.19	109.10
Moscoso	39.47	53.99	18.27	13.39	4.24	25.86
Pasaquina	76.53	71.43	64.07	61.19	50.49	36.87

Tabla 4.13. Porcentajes de diferencia entre métodos Estadístico Puntual y HS SCS

Estaciones	Porcentaje de diferencias entre métodos Estadístico Regional y HS SCS					
	5	10	20	25	50	100
San Lorenzo	56.35	54.52	50.20	48.58	42.48	35.14
La Atalaya	52.54	51.82	48.71	47.54	42.91	37.26
Sensunapán	60.32	60.03	56.99	55.73	50.74	44.47
Conacaste Herrado	16.56	13.35	6.09	3.49	6.47	18.26
San Luis Talpa/Com.	59.98	56.44	50.40	47.95	39.29	28.94
San Ramón	43.20	63.23	90.05	100.29	135.25	175.89
Los Tihuilotes	45.24	38.59	29.30	25.67	13.21	1.46
Hato Nuevo	91.94	90.24	87.89	86.96	83.69	79.50
Villerías	103.60	146.11	203.43	226.03	304.24	403.89
Moscoso	43.51	54.54	15.68	9.33	12.85	41.17
Pasaquina	77.58	75.41	71.73	70.19	64.80	57.91

Tabla 4.14. Porcentajes de diferencia entre métodos Estadístico Regional y HS SCS

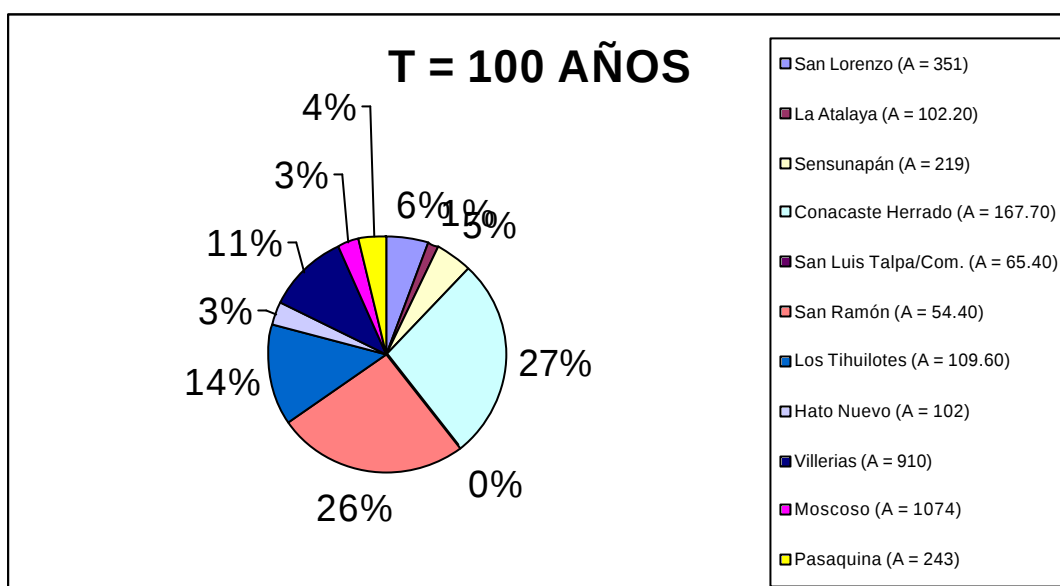


Figura 4.11. Porcentajes de diferencias de caudales máximos entre metodología Estadística Puntual y HS SCS. T = 100 años.

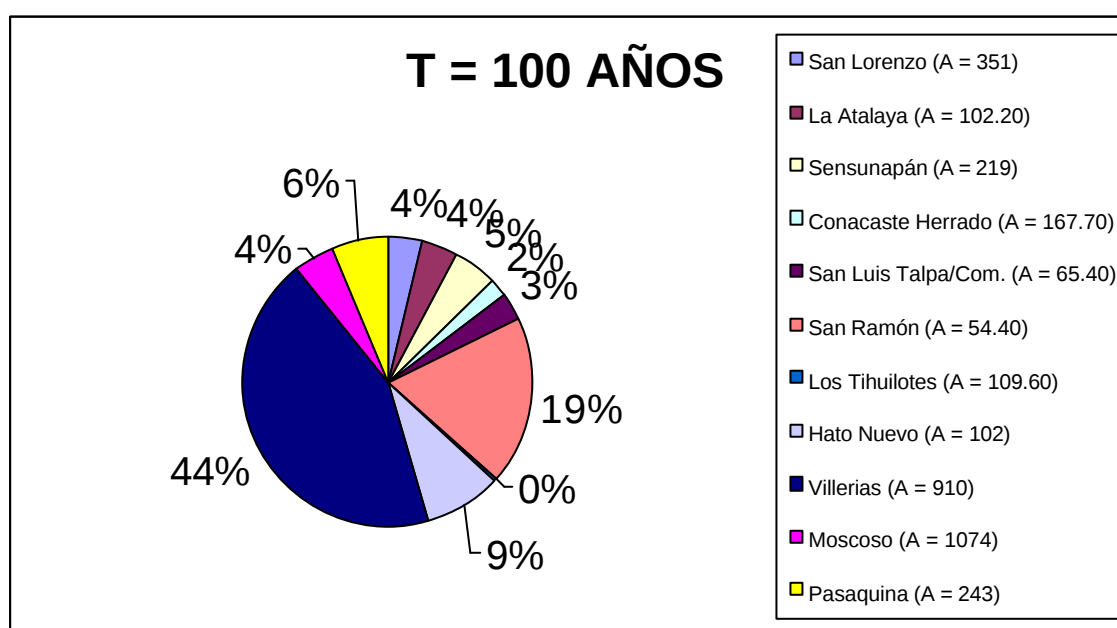


Figura 4.12. Porcentajes de diferencias de caudales máximos entre metodología Estadística Regional y HS SCS. T = 100 años

4.10.4 Comparación entre metodologías para la determinación de Caudales Máximos a través del HU Complejo y metodologías Estadísticas Puntual y Regional

Los valores de porcentajes de diferencia entre las metodologías para la determinación de caudales máximos a través del HU Complejo y las estadísticas Puntual y Regional son bastante variados. La construcción del HU Complejo lleva consigo suposiciones que maximizan el porcentaje de error en los cálculos de caudales máximos a través de esta metodología. Los HU Complejos son construidos mediante un hietograma de lluvias el cual fue extraído de registros de lluvias cercanos a las áreas de drenaje de las estaciones en estudio para importar la distribución de lluvia en porcentajes que fue multiplicada por la lluvia registrada en la fecha del evento en la estación hidrometeorológica dentro del área de drenaje, en caso de no existir registro de lluvia en ese evento, se recurrió al método de bloque alterno para obtener la lluvia.

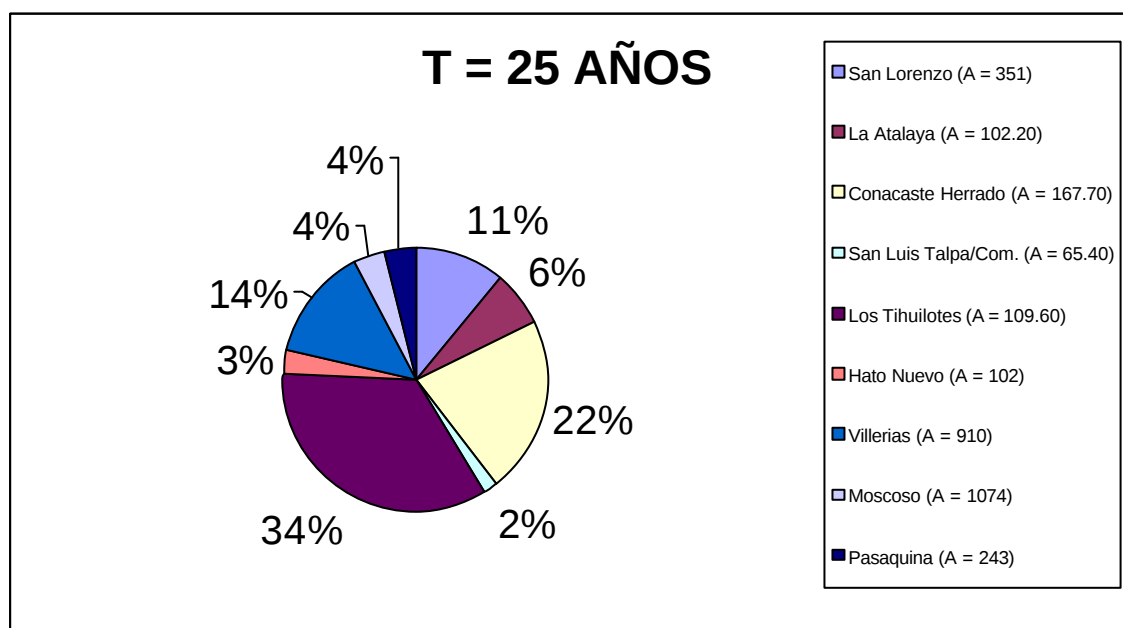


Figura 4.13. Porcentajes de diferencias de caudales máximos entre metodología Estadística Puntual y HU Complejo. T = 25 años

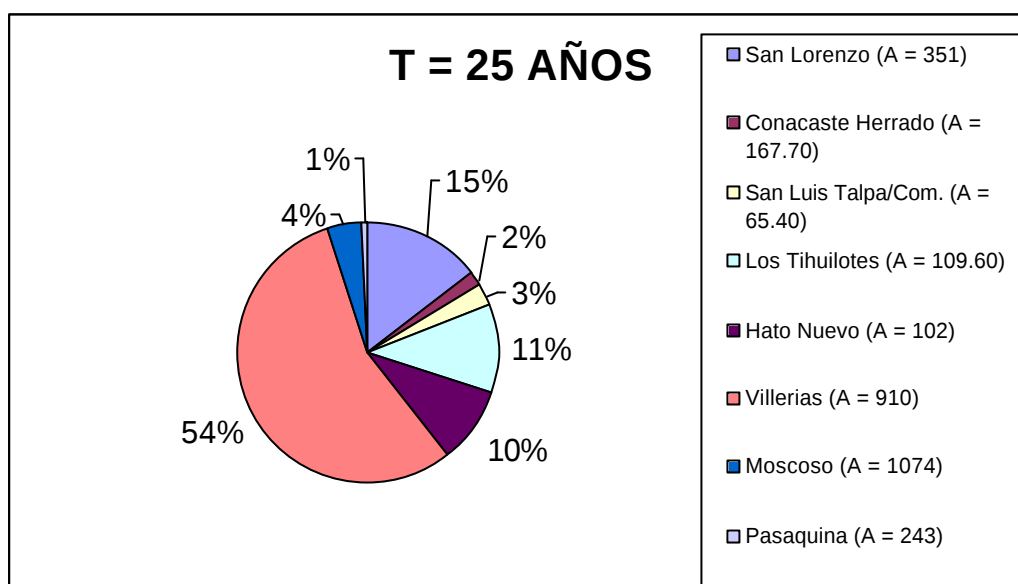


Figura 4.14. Porcentajes de diferencias de caudales máximos entre metodología Estadística Regional y HU Complejo. T = 25 años.

Estaciones	Porcentajes de diferencia entre metod. del HU Complejo y Est. Puntual					
	Período de retorno					
Período de retorno	5 años	10 años	20 años	25 años	50 años	100 años
San Lorenzo	103.77	81.70	71.88	70.12	67.21	66.99
La Atalaya	2.15	15.96	33.95	40.57	63.50	90.22
Conacaste Herrado	65.25	90.55	123.62	135.71	178.19	227.81
San Luis Talpa	23.83	11.99	4.73	11.02	33.37	59.95
Los Tihuilotes	67.27	121.28	190.34	216.14	308.69	422.49
Hato Nuevo	32.53	13.94	9.73	18.51	49.77	87.82
Villerias	8.45	36.20	72.72	86.50	136.02	197.31
Moscoso	13.54	1.23	16.63	23.46	48.02	77.94
Pasaquina	30.30	10.89	14.28	23.71	57.46	98.65

Tabla 4.15. Porcentajes de diferencia entre métodos Estadístico Puntual y HU Complejo

Estaciones	Porcentaje de diferencias entre métodos Estadístico Regional y HU Complejo					
	5	10	20	25	50	100
San Lorenzo	73.20	80.29	94.63	99.69	118.52	140.54
Conacaste Herrado	21.93	19.29	13.08	10.86	2.35	7.70
San Luis Talpa/Com	38.98	32.28	22.22	18.26	4.54	11.54
Los Tihuilotes	30.46	45.13	64.67	72.17	97.42	126.46
Hato Nuevo	77.66	72.80	66.76	64.46	56.75	47.30
Villeras	196.48	259.56	341.35	373.03	481.08	616.46
Moscoso	19.31	2.42	20.31	29.25	60.25	99.59
Pasaquina	33.42	23.30	10.07	4.96	11.96	32.45

Tabla 4.16. Porcentajes de diferencia entre métodos Estadístico Regional y HU Complejo

4.10.5 Comparación entre metodologías para la determinación de Caudales Máximos por metodologías Estadísticas Puntual y Regional

Al analizar los resultados, se observó que la mayoría de estaciones (6 estaciones) poseen porcentajes de diferencia bajos (de 0 a 14%), pero existen estaciones en las que, los porcentajes de diferencia son del orden de 200% (estación Conacaste Herrado), aumentando a medida que aumenta el período de retorno. Una de las razones a las que puede deberse esto, es que la metodología estadística puntual se basa en una serie de caudales de una estación en particular, la cual es generalmente corta, lo que crea incertidumbre en el cálculo de caudales.

Estaciones	Porcentajes de diferencia entre metod. Est. Regional y Puntual					
	Período de retorno					
Período de retorno	5 años	10 años	20 años	25 años	50 años	100 años
San Lorenzo	17.65	0.79	11.69	14.81	23.48	30.58
La Atalaya	7.08	4.48	14.60	18.02	27.85	37.28
Sensunapan	0.67	1.75	3.06	3.19	3.99	4.77
Conacaste Herrado	111.67	136.10	157.25	164.43	184.89	204.38
San Luis Talpa	24.85	29.97	34.66	35.82	39.72	43.40
San Ramón	5.31	10.76	15.72	16.99	21.19	25.17
Los Tihuilotes	28.22	52.47	76.32	83.62	107.01	130.72
Hato Nuevo	6.58	11.68	16.51	17.70	22.24	25.81
Villeras	3.63	7.32	10.87	11.70	15.07	17.56
Moscoso	7.15	1.22	3.07	4.48	7.63	10.85
Pasaquina	4.70	16.18	27.08	30.17	40.64	49.98

Tabla 4.17. Porcentajes de diferencia entre métodos Estadístico Puntual y Regional

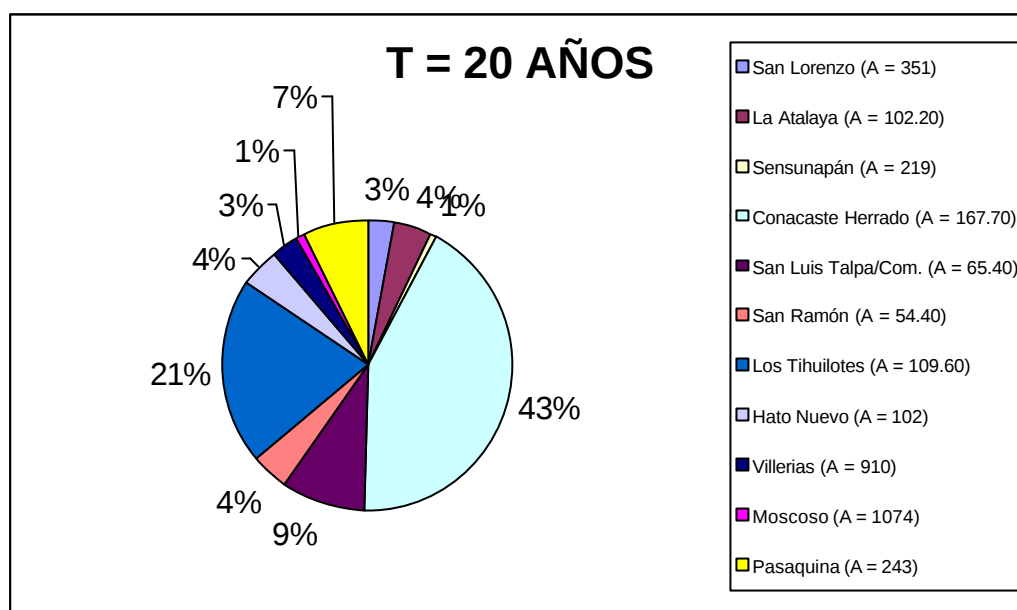


Figura 4.15. Porcentajes de diferencia entre métodos Estadístico Puntual y Regional. T = 20 años.

4.11 Determinación de Factores de Ajuste para los Métodos Racional, Hidrogramas Sintéticos de Snyder Triangular y Método del Soil Conservation Service, e Hidrogramas Unitarios Complejos.

Los factores de ajuste han sido determinados para las tres zonas geográficas de El Salvador (Occidental, Central y Oriental) y para los períodos de retorno de 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años. Cada zona está definida por las estaciones que se presentan en la tabla 4.18, dejando fuera, debido a poca cantidad de datos de caudales máximos necesarios para la obtención de caudales máximos mediante metodología Estadística Puntual o a posibles datos erróneos, las estaciones (Tihuilotes, Conacaste Herrado y Hato Nuevo).

La metodología es la siguiente: Se dividieron los valores de caudales máximos obtenidos por metodología estadística puntual (Log-Normal) entre los valores de caudales máximos obtenidos por las metodologías Racional, Hidrogramas Unitarios Complejos Hidrogramas Sintéticos de Snyder y Triangular, y el método del SCS, esto para cada período de retorno. Luego se determinaba un promedio para cada zona geográfica de El Salvador (Occidental, Central y Oriental). A continuación en las tablas 4.19, 4.20 y 4.21 se presentan los factores de corrección para cada una de las cuatro metodologías Hidrometeorológicas antes mencionadas.

Los valores de caudales máximos por metodologías hidrometeorológicas se compararon con la estadística puntual (Log-Normal) y no con la estadística regional debido a que: Las diferencias de caudales máximos hidrometeorológicos con los estadísticos puntuales son menores a las diferencias entre los primeros y los estadísticos regionales.

ESTACIONES AGRUPADAS EN LAS 3 ZONAS DEL PAÍS		
ZONA OCCIDENTAL	ZONA CENTRAL	ZONA ORIENTAL
San Lorenzo	San Luis Talpa/Com.	Villerías
La Atalaya	San Ramón	Moscoso
Sensunapán		Pasaquina

Tabla 4.18. División de estaciones por zona geográfica del país

ZONA OCCIDENTAL	Factores de ajuste para diferentes Periodos de Retorno					
	5 Años	10 Años	20 Años	25 Años	50 Años	100 Años
FÓRMULA RACIONAL	1.22	1.08	1.05	1.05	1.07	1.13
HS DE SNYDER	0.69	0.57	0.51	0.50	0.47	0.46
HS TRIANGULAR	0.45	0.45	0.47	0.49	0.54	0.61
MÉTODO SCS	0.45	0.45	0.48	0.50	0.55	0.61
HU COMPLEJO	1.02	0.99	1.02	1.04	1.10	1.19
ESTADÍSTICO REGIONAL	1.03	1.01	1.00	1.00	1.00	1.01

Tabla 4.19. Factores de ajuste para diferentes períodos de retorno, zona Occidental

ZONA CENTRAL	Factores de ajuste para diferentes Periodos de Retorno					
	5 Años	10 Años	20 Años	25 Años	50 Años	100 Años
FÓRMULA RACIONAL	2.88	2.93	3.15	3.24	3.58	4.05
HS DE SNYDER	1.12	1.08	1.09	1.10	1.14	1.20
HS TRIANGULAR	1.00	1.18	1.43	1.52	1.83	2.21
MÉTODO SCS	1.00	1.19	1.43	1.53	1.85	2.24
HU COMPLEJO	0.76	0.88	1.05	1.11	1.33	1.60
ESTADÍSTICO REGIONAL	1.15	1.20	1.25	1.26	1.30	1.34

Tabla 4.20. Factores de ajuste para diferentes períodos de retorno, zona Central

ZONA ORIENTAL	Factores de ajuste para diferentes Periodos de Retorno					
	5 Años	10 Años	20 Años	25 Años	50 Años	100 Años
FÓRMULA RACIONAL	0.95	1.05	1.21	1.28	1.49	1.76
HS DE SNYDER	0.54	0.57	0.61	0.63	0.69	0.76
HS TRIANGULAR	0.53	0.63	0.78	0.84	1.05	1.32
MÉTODO SCS	0.53	0.56	0.79	0.85	1.06	1.33
HU COMPLEJO	0.88	1.08	1.35	1.45	1.81	2.25
ESTADÍSTICO REGIONAL	1.05	1.08	1.12	1.12	1.16	1.19

Tabla 4.21. Factores de ajuste para diferentes períodos de retorno, zona Oriental

Para la zona Occidental, los valores de factores de corrección se presentan constantes en relación del período de retorno y cercanos a la unidad para el método Regional (1.10 en promedio) y los valores más alejados a la unidad se presentan en la metodología del HU Complejo.

Para la zona Central, los valores de los factores de corrección son totalmente distintos a los calculados para la zona Occidental. En ésta, se obtienen valores bastante cercanos a la unidad a través de la metodología del HS de Snyder (1.02 en promedio), con las metodologías de los HS triangular y SCS también se obtienen valores de factores de corrección cercanos a la unidad (1.5 y 1.6 en promedio respectivamente), además, se presentan valores relativamente alejados a la unidad, en las metodologías de la Fórmula racional (2.5 en promedio).

Para finalizar, analizamos los factores de corrección de la zona Oriental, los cuales vuelven a ser totalmente distintos a los calculados para las zonas Occidental y Central, los factores más cercanos a la unidad se encuentran en la metodología de la Fórmula Regional (1.05 en promedio) y factores de corrección muy alejados de la unidad con la metodología del HS de Snyder (0.60 en promedio).

Se optó por separar los factores de corrección por zonas geográficas debido a las diferencias presentadas, un valor fijo de factor de corrección por metodología hidrometeorológica, no sería realmente aceptable.