

2. APLICACIONES

En este trabajo se estudiarán las cuencas de ocho puentes ferroviarios, cada cuenca tiene sus particularidades por lo que el análisis se realizará individualmente empleando la metodología descrita en el capítulo anterior.

2.1. Descripción de las cuencas de los puentes ferroviarios

Se han escogido ocho puentes ferroviarios situados en diferentes ríos, a continuación se enlistan los puentes en estudio, el río que cruzan y el estado donde se ubican, y en la figura se muestra la ubicación de sus cuencas.

Tabla 2.1. Datos generales de los puentes en estudio

Puente	Río	Ubicación
1	Río Escondido	Coahuila
2	Río Ramos	Nuevo León
3	Río Aguanaval	Durango
4	Río Quelite	Sinaloa
5	Río Baluarte	Sinaloa
6	Río Peñuelas	Aguascalientes
7	Río San Pedro	Jalisco
8	Río Armería	Colima



Figura 2.1. Cuencas de los Ocho Puentes Ferroviarios

Las cuencas de los puentes se delimitaron empleando el programa *Arc View 3.2*, el cual es un procesador de sistemas de información geográfica, por medio de un modelo digital de elevaciones que permite generar los parteaguas de las cuencas.

A continuación se describen algunas de las características hidrológicas de las cuencas de cada puente. La información de los ríos se extrajo de la descripción general de las estaciones hidrométricas, que se encuentra en los boletines hidrológicos de la Secretaría de Recursos Hidráulicos y en el Sistema de Información de Aguas Superficiales (SIAS 1.0) de la CNA, en los cuales se da una breve explicación de cómo se conforman dichos ríos.

➤ **Puente 1, Río Escondido**

El río Escondido se encuentra dentro de la Cuenca del Medio Río Bravo y Cuenca del Río Salado la cual pertenece a la región hidrológica No. 24, este río desemboca al Río Bravo cerca del poblado de Piedras Negras, Coahuila.

El río Escondido confluye al río Bravo 6.5 km aguas abajo de la población de Piedras Negras, Coahuila, naciendo en las estribaciones de la sierra del Burro a una altitud de 1000 msnm. El desarrollo total aproximado del río Escondido es de 120 km. La confluencia de este río con el Bravo está a 786 km río arriba del Golfo de México. Las principales poblaciones ribereñas a este río son Zaragoza y Villa de Fuentes, ambas en el estado de Coahuila.

APLICACIONES

El área de la cuenca es de 2 944 km².

➤ Puente 2, Río Ramos

El río Ramos, también conocido como el río Salinas, se encuentra en la región hidrológica No. 24, dentro de la cuenca del Río Bravo.

El río Ramos tiene la mayor parte de su cuenca dentro del estado de Coahuila. En su origen recibe el nombre de arroyo San Juan, al cual se van uniendo sucesivamente, por la margen derecha, el arroyo El Buey, el arroyo Mimbres y el río Mesillas. Después de esta confluencia, al internarse en el estado de Nuevo León, la corriente recibe el nombre de río Salinas. La estación hidrométrica Icamole queda sobre el río Salinas, unos 10 km aguas abajo del límite entre los estados ya citados.

El área de la cuenca es de 11 961 km².

➤ Puente 3, Río Aguanaval

El río Aguanaval se ubica en la región hidrológica No. 36 dentro de la cuenca de los ríos Nazas y Aguanaval.

Propiamente la unión de los ríos Saín Alto y Trujillo es la que determina la formación del río Aguanaval, ya que es a partir de su confluencia donde el colector general empieza a recibir este nombre. El Aguanaval empieza su recorrido en la presa de almacenamiento El Cazadero que se ubica en su origen, situada en el límite de los municipios de Saín el Alto y Río Grande, Zacatecas. Desde Cazadero a San Juan de Guadalupe el río recorre 135 km a lo largo del colector general, con un rumbo N8°E, pasa por el río Grande, Zacatecas, y 30 km aguas arriba de San Juan de Guadalupe sale del estado de Zacatecas para continuar su camino dentro de Durango. El Aguanaval recorre 30 km desde el límite entre Zacatecas y Durango para llegar a San Juan de Guadalupe, donde tiene un cambio de dirección aproximadamente de 80° hacia la izquierda que ahora convierte su rumbo en NW. A partir de la estación San Juan de Guadalupe hacia aguas abajo, el río Aguanaval lleva un rumbo NW y recibe sólo afluentes por su margen izquierda, de los cuales los más importantes son, el arroyo Reyes, el río Santiago y el arroyo Mazamitote.

El área de la cuenca es de 21 037 km².

➤ Puente 4, Río Quelite

El río Quelite se encuentra dentro de la cuenca del Pacífico Norte, en la región hidrológica No. 10.

Esta corriente tiene su origen en varios arroyos formadores que nacen en la parte occidental de la Sierra del Espinazo del Diablo, a una altitud del orden de 1050 msnm, dentro del estado de Sinaloa. Sigue una dirección Suroeste, no recibe aportaciones importantes en un recorrido de aproximadamente 65 km hasta su desembocadura en el Océano Pacífico, 35 km al noroeste del puerto de Mazatlán.

El área de la cuenca es de 946 km².

➤ **Puente 5, Río Baluarte**

El río Baluarte se encuentra dentro de la cuenca del Pacífico Norte, en la región hidrológica No. 11.

Este río llamado también del Rosario, nace en la Sierra Madre Occidental en el estado de Durango en donde recibe como afluentes los arroyos de Carpinteros, de las Quebradas, Honde de Guadalupe y su tributario el río de la Petaca; sirve en parte, de línea limítrofe entre los estados de Durango y Sinaloa en donde se interna para pasar por Matatán y Santa María, después de un curso de 130 km desemboca en el Océano Pacífico por el puerto de Las Cabras.

El área de la cuenca es de 4 785 km².

➤ **Puente 6, Río Peñuelas**

El río Peñuelas se encuentra dentro de la cuenca del Lerma Santiago Pacífico, en la región hidrológica No. 12.

Como este río no tiene estación hidrométrica no se encontró información similar a la de los otros ríos.

El área de la cuenca es de 946 km².

➤ **Puente 7, Río San Pedro**

El río San Pedro se encuentra dentro de la cuenca del Lerma Santiago Pacífico, en la región hidrológica No. 12.

Al igual que el río del puente 6, como este río no tiene estación hidrométrica no se encontró información similar a la de los otros ríos.

El área de la cuenca es de 1 097 km².

➤ **Puente 8, Río Armería**

El río Armería se encuentra dentro de la cuenca del Lerma Santiago Pacífico, en la región hidrológica No. 15.

El río Armería es uno de los ríos más importantes que desembocan en el Océano Pacífico. Su principal formador es el río Ayutla corriente que nace 20 km al noroeste del poblado de Ayutla a una elevación de 2600 msnm. Recorre 60 km con dirección sur cambiando al sureste en los siguientes 90 km, en este tramo recibe pequeños tributarios por ambas márgenes y cambia de nombre por el río Ayuquila en un punto no determinado. Con el nombre de río Armería, recibe por su margen izquierda a 120 km de su desembocadura las aguas del río San Miguel o Tuxcacuesco. Desemboca al Océano Pacífico en la Boca de Pascuales después de un recorrido total de 240 km.

El área de la cuenca es de 9 744 km².

APLICACIONES**2.2. Análisis de las cuencas que cuentan con datos de escurrimientos**

De los ocho puentes en estudio, en las cuencas de los puentes 6 y 7 no se cuenta con al menos una estación hidrométrica que haya registrado los gastos de estos cauces por al menos un periodo de 10 años, por lo que estos puentes quedaron exentos del análisis de escurrimientos.

A la información hidrométrica de los demás puentes se les aplicó la metodología descrita en el capítulo anterior para el análisis estadístico de escurrimientos y la determinación de los hidrogramas para cada cuenca.

Los registros de los gastos máximos anuales y los gastos medios anuales se obtuvieron del Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (Bandas), el cual fue realizado por el IMTA para la CNA. En esta base de datos se tienen los registros de los gastos medidos en las estaciones hidrométricas de toda la República Mexicana desde el inicio de sus mediciones.

Los resultados de estos análisis se presentan a continuación.

2.2.1. Análisis de gastos**➤ Puente 1, Río Escondido**

El análisis de gastos de este río se realizó de forma especial ya que su estación hidrométrica, llamada Villa de Fuente, fue clausurada en 1962 y los gastos máximos anuales registrados fueron extraídos del Boletín Hidrológico número 34 de la Región Hidrológica número 24 Oriente (Región del Medio Bravo y Río Salado), ya que en el Bandas no existen registros de esta estación.

En la tabla 2.2 se resumen las principales características de la estación. Se aprecia que la estación Villa de Fuente controla la mayor parte del área de la cuenca del puente.

Tabla 2.2. Datos generales de la estación hidrométrica Villa de Fuente

Puente	Cuenca	Región Hidrológica	Río	Estación Hidrométrica	Latitud	Longitud	Años	Área Cuenca Puente (km ²)	Área E Hidrométrica. (Drenada) (km ²)
1	Cuenca del Medio Río Bravo y Cuenca del Río Salado	24	Río Escondido	Villa de Fuente	N 28°37'00"	WG 100°39'00"	1932-1961	2944	2621

En la figura 2.2 se muestra como está integrada la cuenca y donde se localiza la estación hidrométrica que se utilizó en este estudio.

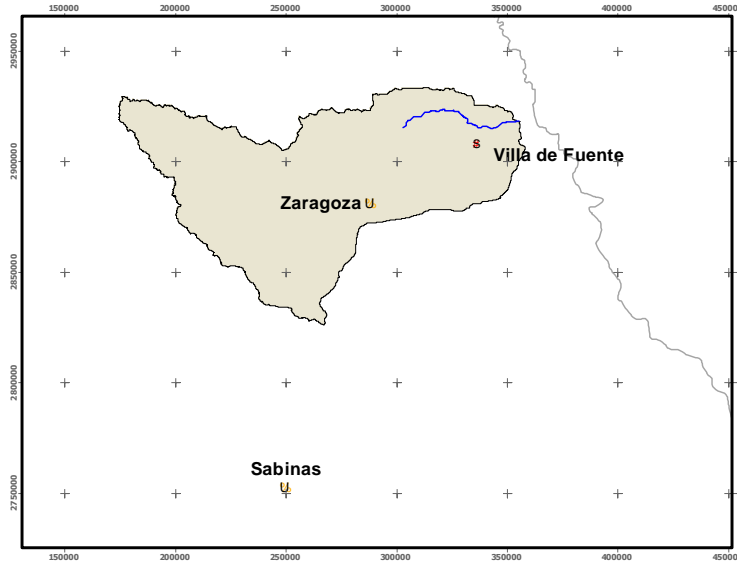


Figura 2.2. Cuenca del puente 1 y localización de la estación hidrométrica Villa de Fuente

En la estación hidrométrica Villa de Fuente solo se tienen registros de gastos instantáneos de 1932 a 1961, los cuales están recabados en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Registros hidrométricos de la estación Villa de Fuente

Año	Gasto Instantáneo (m ³ /s)
1932	27.2
1933	39.5
1934	126
1935	501
1936	680
1937	73.5
1938	92.9
1939	65.3
1940	260
1941	152
1942	68.4
1943	55
1944	60.4
1945	143
1946	193
1947	77.7
1948	298
1949	195
1950	36.5
1951	176
1952	36.1
1953	278
1954	506
1955	160
1956	42.2
1957	516
1958	230
1959	26.5
1960	415
1961	257

APLICACIONES

A estos datos se les ajustó varias funciones de distribución de probabilidad empleando el programa AX, para posteriormente seleccionar la función de mejor ajuste, la cual fue la función Doble Gumbel. Con el fin de mejorar el ajuste sólo se tomaron en cuenta los gastos mayores a 70 m³/s para el análisis. El ajuste y los valores extrapolados para varios períodos de retorno se muestran en la figura y la tabla siguientes.

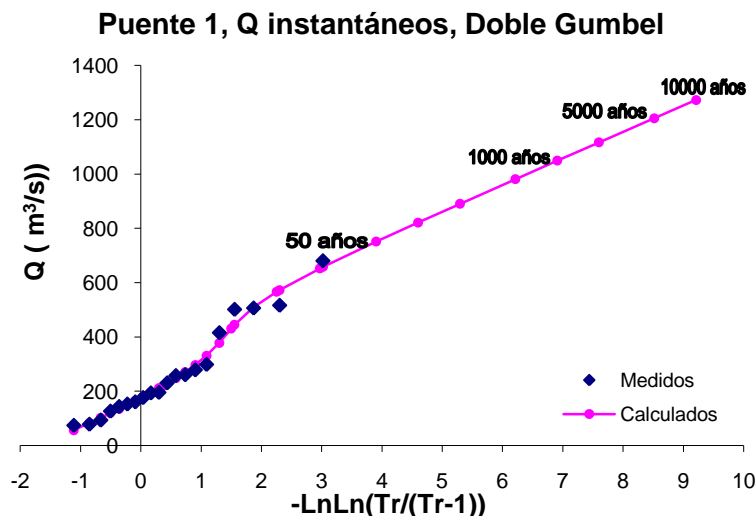


Figura 2.3. Gráfica del análisis estadístico de Gastos Instantáneos de la estación Villa de Fuente

Tabla 2.4. Resultados del análisis estadístico de los Gastos Instantáneos de la estación Villa de Fuente

Tr (años)	Q (m ³ /s)
2	219.41
5	430.52
10	565.84
20	652.31
50	750.93
100	821.47
200	890.55
500	981.03
1000	1049.18
2000	1116.81
5000	1205.58
10000	1273.20

➤ **Puente 2, Río Ramos**

La estación hidrométrica que se empleó en el análisis de esta cuenca se llama Icamole, la cual controla un área de 11 438 km², es decir, el 95.63% de la cuenca del puente. En la tabla 2.5 se resumen las características de esta estación.

Tabla 2.5. Datos generales de la estación hidrométrica Icamole

Puente	Cuenca	Región Hidrológica	Río	Estación Hidrométrica	Clave Bandas	Latitud	Longitud	Años	Área Cuenca Puente (km ²)	Área EH* (Drenada) (km ²)
2	Río Bravo	24	Ramos (Salinas)	Icamole	24291	N 25°56'15"	WG 100°42'15"	1954-1988 / 1990-1999	11 961	11 438

EH*: estación hidrométrica

En la Figura 2.4 se expone como está integrada la cuenca asociada al puente, y la localización de la estación hidrométrica Icamole.

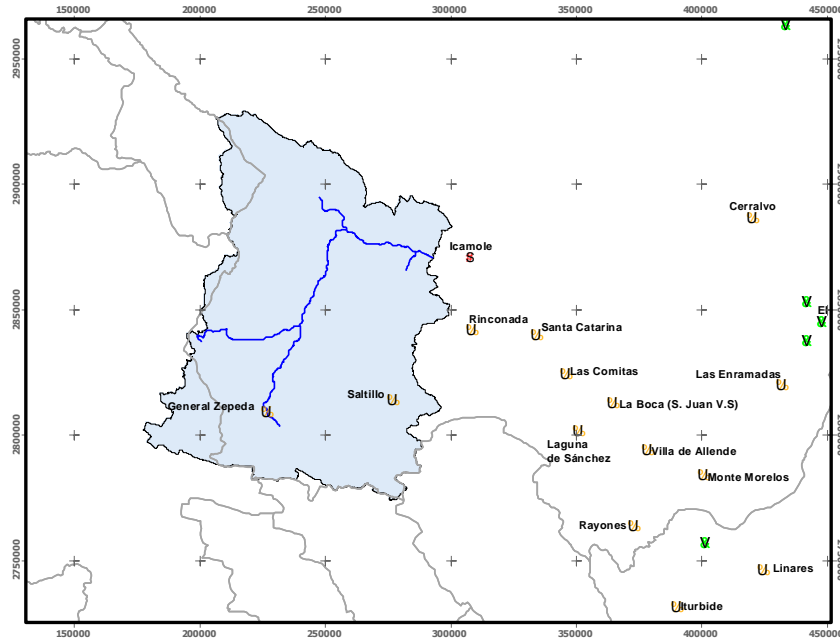


Figura 2.4. Cuenca del Puente 2 y localización de la estación hidrométrica Icamole

En los registros de esta estación se cuenta con datos de gastos instantáneos y de gastos medios del año de 1954 en adelante, tal como se observa en la tabla 2.6.

Tabla 2.6. Registros hidrométricos de la estación Icamole (24291)

Año	Gastos Medios (m ³ /s)	Gastos Instantáneos (m ³ /s)	Q _{inst} /Q _m
1954	43	SD	
1955	23	SD	
1956	SD	SD	
1957	SD	SD	
1958	45	SD	
1959	21	42	2.00
1960	61	116	1.90
1961	38	125	3.29
1962	SD	103	
1963	103	420	4.08
1964	31	160	5.16
1965	31	111	3.58
1966	24	91	3.79
1967	373	981	2.63
1968	36	154	4.28
1969	SD	31	
1970	19	97	5.11
1971	134	778	5.81
1972	33	99	3.00
1973	87	243	2.79
1974	21	64	3.05
1975	SD	50	
1976	55	173	3.15
1977	15	54	3.60
1978	51	136	2.67
1979	SD	28	
1980	22	44	2.00
1981	124	151	1.22

1982	39	235	6.03
1983	46	167	3.63
1984	61	111	1.82
1985	65	213	3.28
1986	38	151	3.97
1987	81	179	2.21
1988	226	301	1.33
1989	SD	SD	
1990	66	SD	
1991	66	105	1.59
1992	29	34	1.17
1993	68	144	2.12
1994	39	99	2.54
1995	SD	33	
1996	SD	SD	
1997	SD	SD	
1998	SD	SD	
1999	SD	SD	
2000	60	128	2.13
2001	30	168	5.60
Promedio			3.14

SD: sin dato

El año de 1967 es en el que se presentaron los mayores gastos medios máximos anuales e instantáneos.

Al realizar el ajuste probabilístico con el AX, el mejor ajuste se presentó para la función Doble Gumbel. Los ajustes y los valores extrapolados para varios períodos de retorno se muestran en las figuras y tablas siguientes. La gráfica del ajuste de los gastos instantáneos anuales se presenta en la figura 2.5 y el resultado para algunos periodos de retorno significativos en la tabla 2.7.

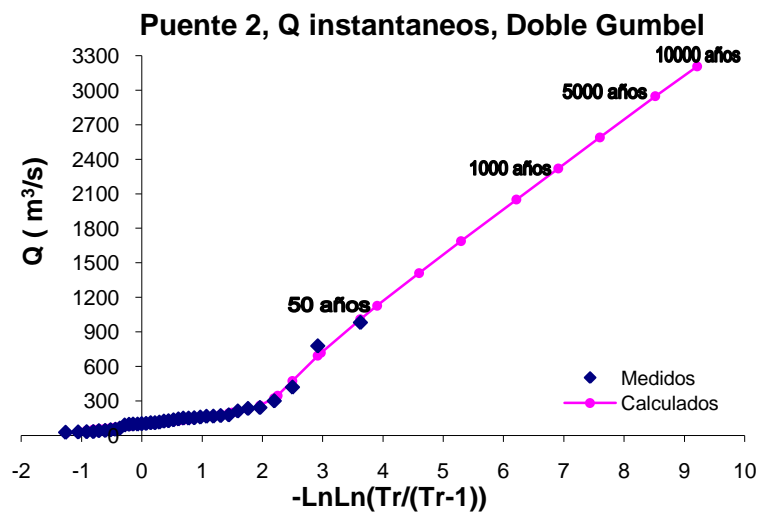


Figura 2.5. Gráfica del análisis estadístico de Gastos Instantáneos de la estación Icamole

Tabla 2.7. Resultados del análisis estadístico de los Gastos Instantáneos de la estación Icamole

Tr (años)	Q (m ³ /s)
2	116
5	199
10	346
20	718
50	1127
100	1412
200	1689
500	2049
1000	2319
2000	2590
5000	2947
10000	3205

La gráfica del ajuste de los gastos medios máximos diarios anuales, se presenta en la figura 2.6 y el resultado para algunos periodos de retorno significativos en la tabla 2.8.

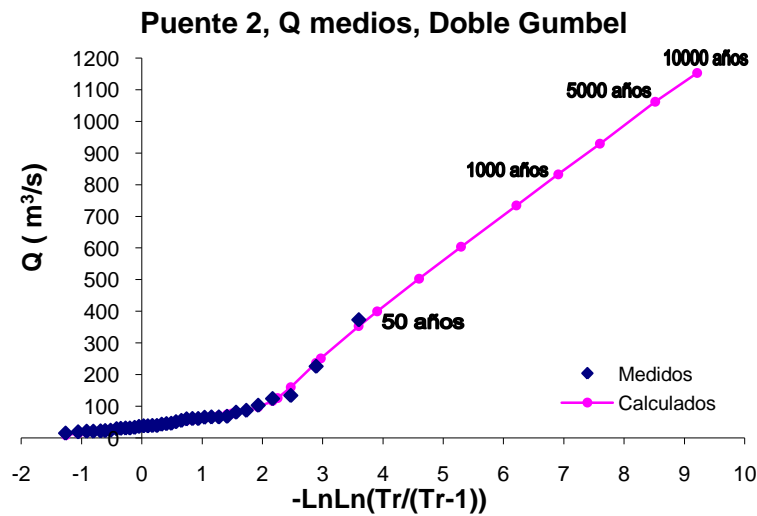


Figura 2.6. Gráfica del análisis estadístico de Gastos Medios de la estación Icamole

Tabla 2.8. Resultados del análisis estadístico de los Gastos Medios de la estación Icamole

Tr (años)	Q (m ³ /s)
2	46
5	78
10	126
20	251
50	400
100	503
200	604
500	734
1000	833
2000	929
5000	1062
10000	1153

En resumen la tabla 2.9 presenta los resultados obtenidos en el análisis probabilístico de los datos de la estación Icamole, así como los factores que relacionan los valores instantáneos con los medios diarios para los algunos periodos de retorno.

Tabla 2.9. Resumen de los resultados de los datos hidrométricos de la estación Icamole

Tr (años)	Gastos Instantáneos (m ³ /s)	Gastos Medios (m ³ /s)	Fr = Q _{inst} /Q _m
2	116	46	2.521
5	199	78	2.560
10	346	126	2.754
20	718	251	2.856
50	1127	400	2.820
100	1412	503	2.807
200	1689	604	2.799
500	2049	734	2.791
1000	2319	833	2.785
2000	2590	929	2.787
5000	2947	1062	2.775
10000	3205	1153	2.781

➤ **Puente 3, Río Aguanaval.**

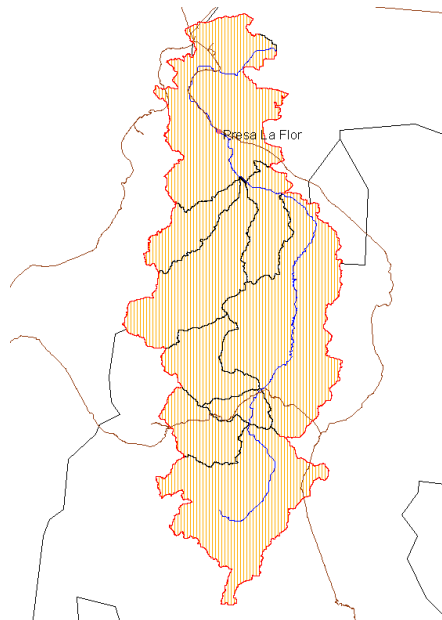
Sobre este río se encuentran instaladas varias estaciones hidrométricas, sin embargo se seleccionó una sola estación, la cual se encuentra más cerca al puente ferroviario en estudio; dicha estación se llama La Flor (Presa) y controla un área de 20 289 km², es decir, el 96.44% de la cuenca del puente 3. En la tabla 2.10 se sintetizan las principales características de esta estación hidrométrica.

Tabla 2.10. Datos generales de la estación hidrométrica La Flor (Presa)

Puente	Región Hidrológica	Río	Estación Hidrométrica	Clave Bandas	Latitud	Longitud	Años	Área Cuenca Puente (km ²)	Área EH* (Drenada) (km ²)
3	36	Aguanaval	(Presa) La Flor	36039	N 25°04'04"	W 103°16'58"	1969-1992/ 1995-1999	21 037	20 289

EH*: estación hidrométrica

En la siguiente figura se muestra la manera en que está integrada la cuenca asociada a este puente, y la localización de la estación hidrométrica La Flor (Presa).

**Figura 2.7. Cuenca del Puente 3 y localización de la estación hidrométrica La Flor (Presa)**

En la siguiente tabla se muestran los datos de gastos medios máximos diarios anuales y de los gastos instantáneos anuales que se encuentran en el Bandas, los cuales se emplearon para el análisis.

Tabla 2.11. Registros hidrométricos de la estación Icamole (24291)

Año	Gastos Medios (m ³ /s)	Gastos Instantáneos (m ³ /s)	Q _{inst} /Q _m
1942	SD	195	
1943	SD	118	
1944	SD	166	
1945	SD	81	
1946	SD	69	
1947	SD	402	
1948	SD	407	
1949	SD	135	
1950	SD	204	
1951	SD	450	
1952	SD	129	
1953	SD	965	
1954	SD	38	
1955	SD	361	
1956	SD	37	
1957	SD	363	
1958	SD	720	
1959	SD	433	
1960	SD	242	
1961	SD	218	
1962	SD	221	
1963	SD	330	
1964	SD	SD	
1965	SD	316	
1966	SD	264	
1967	SD	400	
1968	SD	430	
1969	23	112	4.87
1970	149	303	2.03
1971	216	325	1.50
1972	61	149	2.44
1973	754	1059	1.40
1974	21	60	2.86
1975	136	240	1.76
1976	315	476	1.51
1977	13	28	2.15
1978	333	533	1.60
1979	16	44	2.75
1980	155	488	3.15
1981	202	394	1.95
1982	66	165	2.50
1983	136	299	2.20
1984	82	127	1.55
1985	SD	SD	
1986	200	SD	
1987	178	301	1.69
1988	82	SD	
1989	114	140	1.23
1990	111	179	1.61
1991	158	SD	
1992	187	SD	
1993	SD	SD	
1994	SD	SD	
1995	54	126	2.33
1996	654	874	1.34
1997	63	246	3.90
1998	213	406	1.91
1999	140	275	1.96

APLICACIONES

2000	SD	348	
2001	SD	47	
2002	SD	467	
2003	SD	491	
2004	SD	239	
2005	SD	42	
2006	SD	198	
		Promedio	2.17

SD: sin dato

En el año de 1973 se presenta el mayor gasto medio máximo anual así como el mayor gasto máximo instantáneo.

A estos datos se les ajustó una serie de funciones de distribución de probabilidad empleando el programa AX, en este caso el mejor ajuste fue con la función Doble Gumbel. La gráfica del ajuste y los gastos extrapolados para varios períodos de retorno se muestran en las figuras y las tablas siguientes.

Los resultados del análisis de gastos instantáneos anuales, se presentan en la figura 2.8 y en la tabla 2.12, y para los gastos medios máximos diarios anuales en la figura 2.9 y en la tabla 2.13.

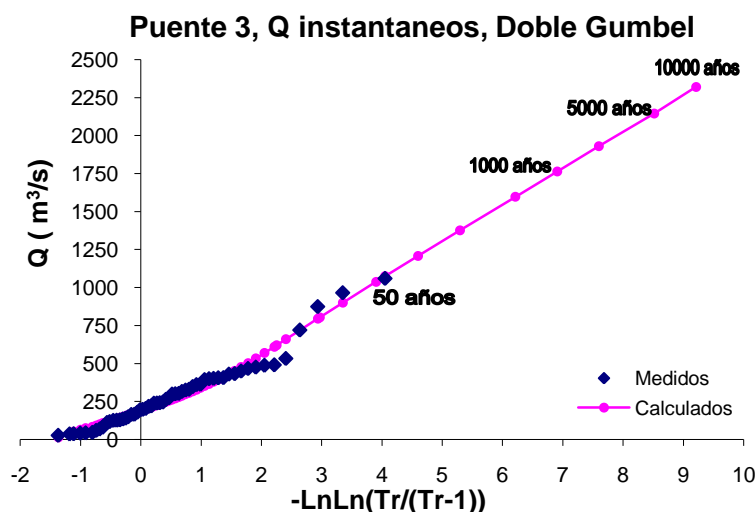


Figura 2.8. Gráfica del análisis estadístico de Gastos Instantáneos de la estación La Flor (Presa)

Tabla 2.12. Resultados del análisis estadístico de los Gastos Instantáneos de la estación La Flor (Presa)

Tr (años)	Q (m ³ /s)
2	240
5	440
10	619
20	804
50	1038
100	1208
200	1376
500	1597
1000	1763
2000	1931
5000	2146
10000	2320

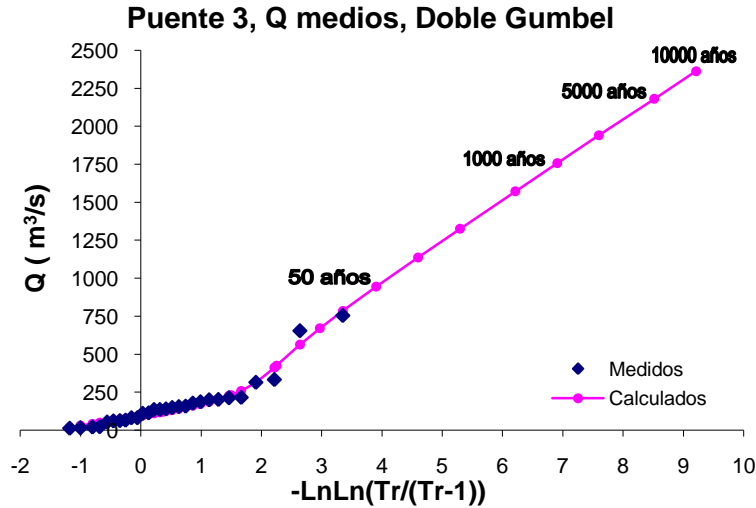


Figura 2.9. Gráfica del análisis estadístico de Gastos Medios de la estación La Flor (Presa)

Tabla 2.13. Resultados del análisis estadístico de los Gastos Medios de la estación La Flor (Presa)

Tr (años)	Q (m ³ /s)
2	121
5	231
10	425
20	670
50	944
100	1137
200	1325
500	1572
1000	1756
2000	1941
5000	2180
10000	2362

En la tabla siguiente se resumen los resultados obtenidos en los análisis para la estación La Flor (Presa), así como los factores que relacionan los valores instantáneos con los medios diarios para los periodos de retorno más significativos.

Tabla 2.14. Resumen de los resultados de los datos hidrométricos de la estación La Flor (Presa)

Tr (años)	Gastos Instantáneos (m ³ /s)	Gastos Medios (m ³ /s)	Fr = Q _{inst} /Q _m
2	240	121	1.991
5	440	231	1.902
10	619	425	1.459
20	804	670	1.200
50	1038	944	1.099
100	1208	1137	1.063
200	1376	1325	1.039
500	1597	1572	1.016
1000	1763	1756	1.004
2000	1931	1941	0.995
5000	2146	2180	0.984
10000	2320	2362	0.982

➤ **Puente 4. Río Quelite**

La estación hidrométrica que se empleó para este análisis es la estación El Quelite, la cual cuenta con información suficiente y controla el 88.36% del área de la cuenca del puente, es decir 835 km².

Tabla 2.15. Datos generales de la estación hidrométrica El Quelite

Puente	Región Hidrológica	Río	Estación Hidrométrica	Clave Bandas	Latitud	Longitud	Años	Área Cuenca Puente (km ²)	Área EH* (Drenada) (km ²)
4	10	Quelite	El Quelite	10083	N 23°30'45"	W 106°29'00"	1960-1986/ 1988-1992	946	835

EH*: estación hidrométrica

La figura 2.10 muestra la cuenca del puente 4 y localización de la estación hidrométrica El Quelite.

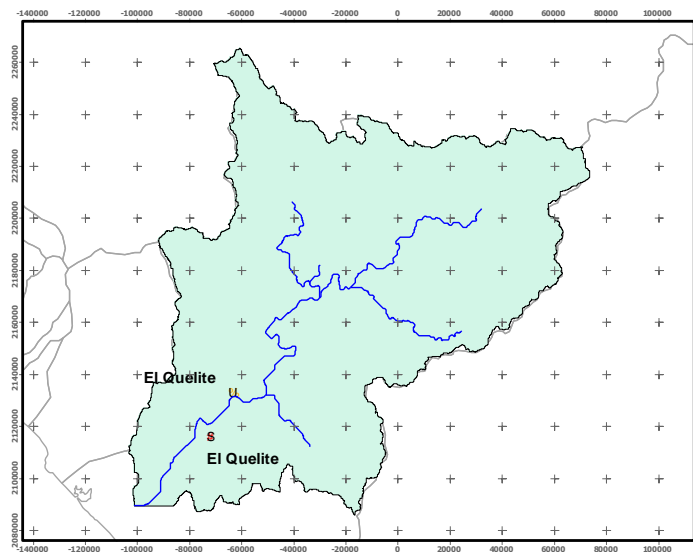


Figura 2.10. Cuenca del Puente 4 y localización de la estación hidrométrica El Quelite

A continuación se enlistan los valores que se extrajeron del Bandas de los gastos medios máximos diarios anuales y de los gastos instantáneos diarios anuales, a los cuales se les realizaron análisis probabilísticos.

Tabla 2.16. Registros hidrométricos de la estación El Quelite (10083)

Año	Gastos Medios (m ³ /s)	Gastos Instantáneos (m ³ /s)	Qinst/Qm
1960	44	SD	
1961	86	290	3.37
1962	290	624	2.15
1963	118	157	1.33
1964	261	373	1.43
1965	624	1600	2.56
1966	20	56	2.80
1967	43	101	2.35
1968	484	1008	2.08
1969	92	183	1.99
1970	99	173	1.75
1971	106	166	1.57
1972	376	1080	2.87
1973	69	160	2.32

1974	171	496	2.90
1975	238	730	3.07
1976	126	296	2.35
1977	97	253	2.61
1978	19	55	2.89
1979	60	110	1.83
1980	327	664	2.03
1981	785	1743	2.22
1982	44	115	2.61
1983	135	532	3.94
1984	130	382	2.94
1985	363	610	1.68
1986	533	954	1.79
1987	SD	SD	
1988	259	704	2.72
1989	106	280	2.64
1990	270	592	2.19
1991	44	82	1.86
1992	142	330	2.32
1993	SD	SD	
1994	SD	SD	
1995	SD	SD	
1996	SD	SD	
1997	SD	SD	
1998	SD	SD	
1999	SD	SD	
2000	247	529	2.14
2001	142	381	2.68
Promedio			2.36

SD: sin dato

Como se puede observar en la tabla, en el año de 1981 se presentan los valores mayores de los gastos medios máximos anuales y de los gastos instantáneos.

Una vez realizado el análisis probabilístico, empleando el programa AX, se determinó que el mejor ajuste es con la función Doble Gumbel. Los resultados de dichos ajustes y los valores extrapolados para los períodos de retorno más significativos se muestran en las figuras y tablas siguientes. La gráfica del ajuste de los gastos instantáneos anuales, se presenta en la figura 2.11 y el resultado del ajuste para varios periodos de retorno en la tabla 2.17.

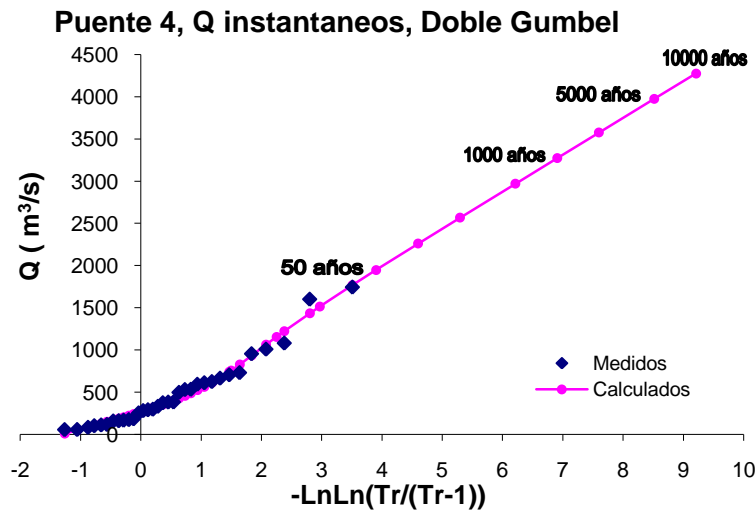
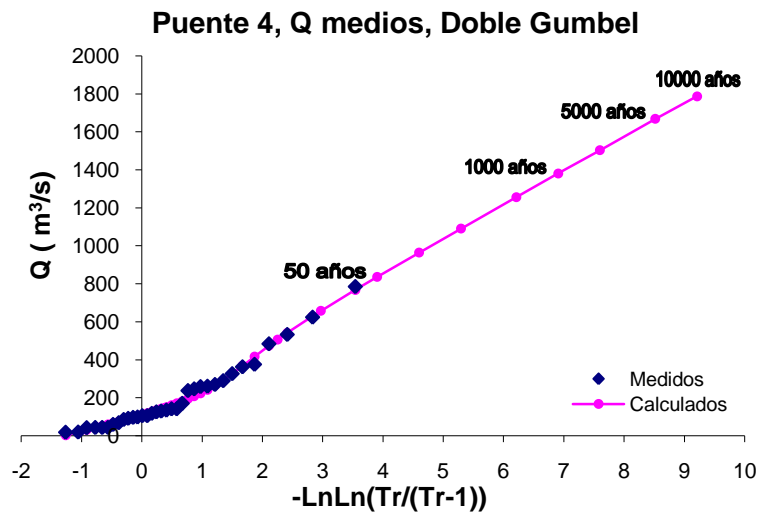


Figura 2.11. Gráfica del análisis estadístico de Gastos Instantáneos de la estación El Quelite

Tabla 2.17. Resultados del análisis estadístico de los Gastos Instantáneos de la estación El Quelite

Tr (años)	Q (m ³ /s)
2	355
5	757
10	1155
20	1516
50	1948
100	2261
200	2567
500	2970
1000	3272
2000	3575
5000	3976
10000	4275

La gráfica del ajuste para los gastos medios máximos diarios anuales se dibujó en la figura 2.12 y en la tabla 2.18 se resumen los gastos extrapolados a diferentes periodos de retorno.

**Figura 2.12. Gráfica del análisis estadístico de Gastos Medios de la estación El Quelite****Tabla 2.18. Resultados del análisis estadístico de los Gastos Medios de la estación El Quelite**

Tr (años)	Q (m ³ /s)
2	147
5	326
10	506
20	658
50	836
100	964
200	1091
500	1256
1000	1381
2000	1503
5000	1668
10000	1787

A fin de poder comparar los resultados obtenidos con el análisis probabilístico, en la tabla 2.19 se resumen los resultados obtenidos para los gastos de la estación El Quelite, así como los factores que relacionan los gastos instantáneos con los medios.

Tabla 2.19. Resumen de los resultados de los datos hidrométricos de la estación El Quelite

Tr (años)	Gastos Instantáneos (m ³ /s)	Gastos Medios (m ³ /s)	Fr = Q _{inst} /Q _m
2	355	147	2.424
5	757	326	2.321
10	1155	506	2.281
20	1516	658	2.305
50	1948	836	2.330
100	2261	964	2.344
200	2567	1091	2.354
500	2970	1256	2.364
1000	3272	1381	2.369
2000	3575	1503	2.378
5000	3976	1668	2.383
10000	4275	1787	2.392

➤ **Puente 5. Río Baluarte**

La estación que mejor controla el área de la cuenca del puente es la estación hidrométrica Baluarte II, ya que representa el 97.24% del área de la cuenca, es decir 4 653 km². En la siguiente tabla se exponen los datos de dicha estación.

Tabla 2.20. Datos generales de la estación hidrométrica Baluarte II

Puente	Región Hidrológica	Río	Estación Hidrométrica	Clave Bandas	Latitud	Longitud	Años	Área Cuenca Puente (km ²)	Área EH* (Drenada) (km ²)
5	11	Baluarte	Baluarte II	11016	N 22°59'00"	W 105°50'30"	1947-1999	4 785	4 653

EH*: estación hidrométrica

En la siguiente figura se muestra la cuenca del puente 5 y la localización de la estación hidrométrica seleccionada para el análisis.

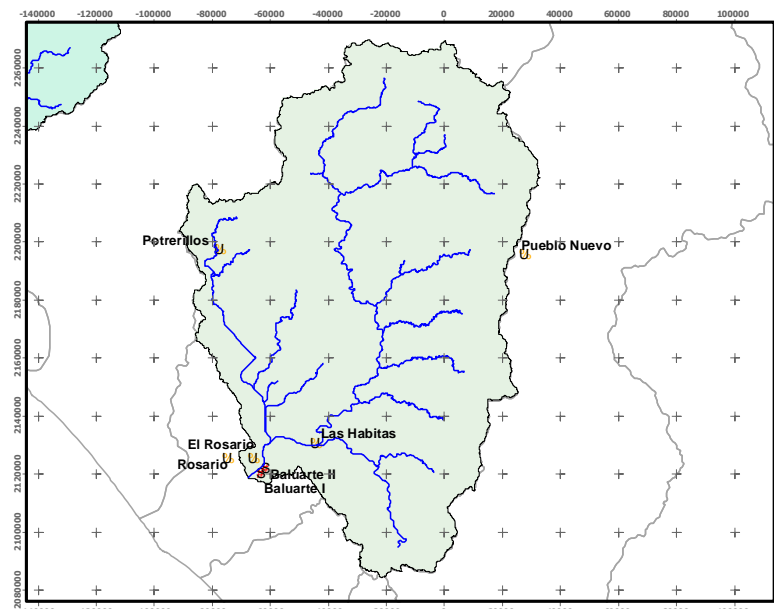


Figura 2.13. Cuenca del Puente 5 y localización de la estación hidrométrica Baluarte II

APLICACIONES

Los registros de los gastos medios e instantáneos que se emplearon para el análisis, que se extrajeron del Bandas, se enlistan en la siguiente tabla.

Tabla 2.21. Registros hidrométricos de la estación Baluarte II (11016)

Año	Gastos Medios (m ³ /s)	Gastos Instantáneos (m ³ /s)	Q _{inst} /Q _m
1948	5433	9000	1.66
1949	444	953	2.15
1950	354	750	2.12
1951	1073	1771	1.65
1952	1113	2292	2.06
1953	2583	4155	1.61
1954	974	1879	1.93
1955	886	1290	1.46
1956	1059	1638	1.55
1957	1155	2915	2.52
1958	2822	4070	1.44
1959	646	1089	1.69
1960	562	869	1.55
1961	613	1055	1.72
1962	1065	2146	2.02
1963	1007	1973	1.96
1964	2384	3850	1.61
1965	4445	7094	1.60
1966	825	1858	2.25
1967	603	1160	1.92
1968	10551	14140	1.34
1969	2004	2875	1.43
1970	2157	2939	1.36
1971	930	1620	1.74
1972	4540	10300	2.27
1973	1648	2135	1.30
1974	1727	2410	1.40
1975	1228	3600	2.93
1976	1292	1940	1.50
1977	451	780	1.73
1978	1441	1756	1.22
1979	1710	3594	2.10
1980	571	1100	1.93
1981	3519	7606	2.16
1982	647	1090	1.68
1983	1152	3360	2.92
1984	803	1225	1.53
1985	2822	4340	1.54
1986	5010	10468	2.09
1987	473	921	1.95
1988	923	1484	1.61
1989	977	1261	1.29
1990	3873	7764	2.00
1991	698	1307	1.87
1992	2047	3419	1.67
1993	845	SD	
1994	694	1189	1.71
1995	527	SD	
1996	13094	13094	1.00
1997	446	520	1.17
1998	747	SD	
1999	985	SD	
2000	609	725	1.19
2001	215	267	1.24
		Promedio	1.75

SD: sin dato

En 1996 se presentaron los valores mayores para los gastos medios máximos anuales, también para los instantáneos.

Una vez que a los datos de la tabla 2.21 se les ajustó una serie de distribuciones de probabilidad, empleando el programa AX, se eligió que el mejor ajuste que fue con la función Doble Gumbel. Los resultados para dicho ajuste, así como los valores extrapolados para varios periodos de retorno significativos se muestran en las figuras y tablas siguientes. La gráfica del ajuste de gastos instantáneos anuales, se describe en la figura 2.14 y el resultado de los gastos asociados a algunos periodos de retorno en la tabla 2.22.

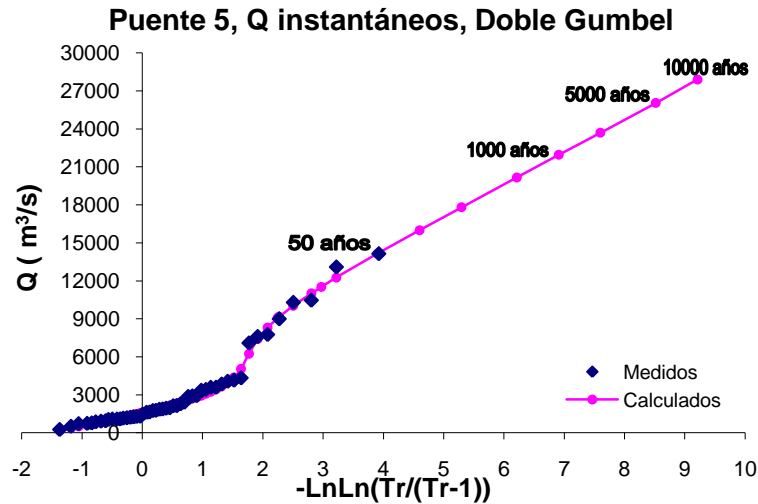


Figura 2.14. Gráfica del análisis estadístico de Gastos Instantáneos de la estación Baluarte II

Tabla 2.22. Resultados del análisis estadístico de los Gastos Instantáneos de la estación Baluarte II

Tr (años)	Q (m³/s)
2	2045
5	4266
10	9084
20	11525
50	14152
100	16003
200	17808
500	20167
1000	21944
2000	23694
5000	26046
10000	27906

La gráfica del resultado del análisis de gastos medios máximos diarios anuales se muestra en la figura 2.15 y en la tabla 2.23 se resumen los gastos extrapolados a diferentes periodos de retorno.

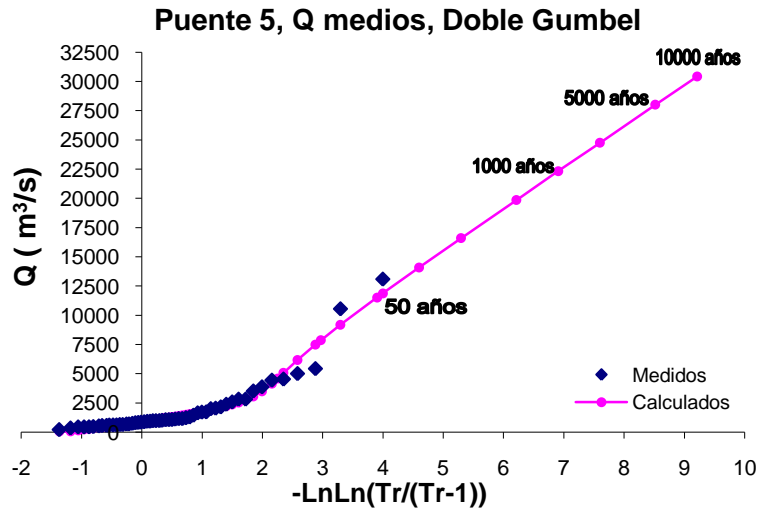


Figura 2.15. Gráfica del análisis estadístico de Gastos Medios de la estación Baluarte II

Tabla 2.23. Resultados del análisis estadístico de los Gastos Medios de la estación Baluarte II

Tr (años)	Q (m ³ /s)
2	1188
5	2364
10	4590
20	7872
50	11518
100	14087
200	16592
500	19858
1000	22335
2000	24756
5000	28008
10000	30428

Para concluir este análisis, en la siguiente tabla se enlistan los gastos medios e instantáneos de la estación Baluarte II extrapolados del ajuste probabilístico, para varios periodos de retorno significativos, así como el factor Fr que relaciona dichos gastos.

Tabla 2.24. Resumen de los resultados de los datos hidrométricos de la estación Baluarte II

Tr (años)	Gastos Instantáneos (m ³ /s)	Gastos Medios (m ³ /s)	Fr = Q _{inst} /Q _m
2	2045	1188	1.722
5	4266	2364	1.804
10	9084	4590	1.979
20	11525	7872	1.464
50	14152	11518	1.229
100	16003	14087	1.136
200	17808	16592	1.073
500	20167	19858	1.016
1000	21944	22335	0.982
2000	23694	24756	0.957
5000	26046	28008	0.930
10000	27906	30428	0.917

➤ **Puente 8, Río Armería**

Para esta cuenca en particular, el análisis varió al de los otros puentes, ya que en esta cuenca se tienen dos estaciones hidrométricas que pueden representar adecuadamente la cuenca del puente y ambas cuentan con suficientes registros de gastos. Las estaciones seleccionadas son Colimán y Las Peñitas II, en la siguiente tabla se sintetizan las características principales de estas.

Tabla 2.25. Datos generales de la estaciones hidrométricas Colimán y Peñitas II

Puente	Región Hidrológica	Cuenca	Río	Estación Hidrométrica	Clave Bandas	Latitud	Longitud	Años	Área Cuenca Puente (km ²)	Área EH* (Drenada) (km ²)
8	15	Lerma Santiago Pacífico	Armería	Colimán	16032	N 18°56'30"	W 103°56'30"	1963-1999	9 744	9 744
				Las Peñitas II	16036	N 19°19'30"	W 103°49'30"	1954-1988/ 1991-1994/ 1999		8 108

EH* = estación hidrométrica

En la figura siguiente se muestra la cuenca del puente 8, así como la localización de las dos estaciones consideradas para el estudio.

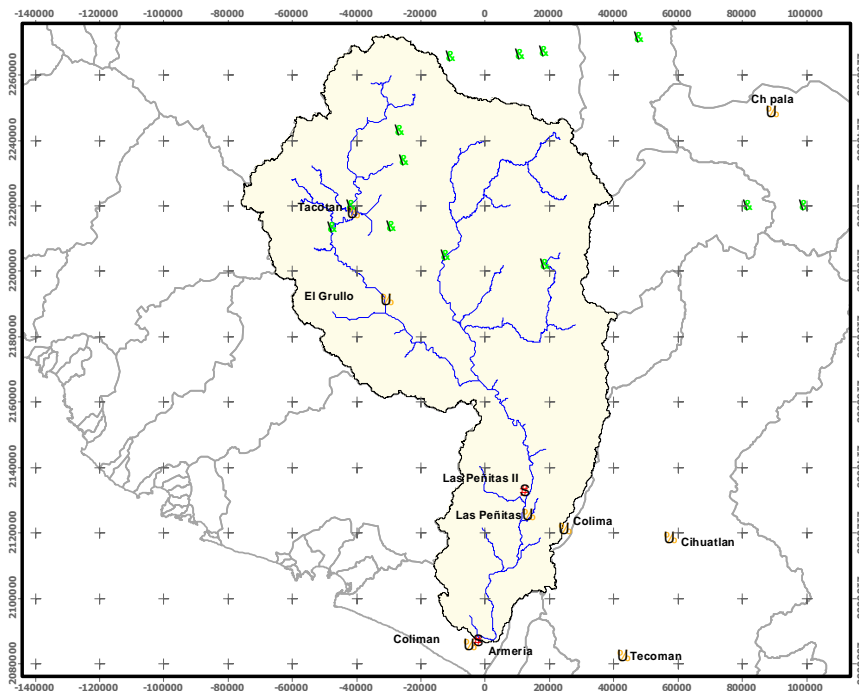


Figura 2.16. Cuenca del Puente 8 y localización de las estaciones hidrométricas Colimán y Las Peñitas II

En la siguiente tabla se enlistan los gastos medios e instantáneos de la estación Colimán, los cuales se extrajeron del Bandas.

Tabla 2.26. Registros hidrométricos de la estación Colimán (16032)

Año	Gastos Medios (m ³ /s)	Gastos Instantáneos (m ³ /s)	Q _{inst} /Q _m
1971	1622	2411	1.49
1972	204	305	1.50
1973	284	425	1.50
1974	1259	2345	1.86
1975	410	697	1.70
1976	436	587	1.35
1977	186	305	1.64
1978	263	293	1.11
1979	149	225	1.51
1980	184	193	1.05
1981	208	389	1.87
1982	241	300	1.24
1983	178	222	1.25
1984	185	258	1.39
1985	146	164	1.12
1986	707	940	1.33
1987	1068	2700	2.53
1988	756	922	1.22
1989	179	321	1.79
1990	106	111	1.05
1991	87	128	1.47
1992	3666	4384	1.20
1993	607	1160	1.91
1994	527	807	1.53
1995	SD	SD	
1996	SD	SD	
1997	SD	SD	
1998	SD	SD	
1999	1792	2034	1.14
2000	90	137	1.52
2001	515	SD	
		Promedio	1.47

SD: sin dato

En 1992 se presentaron los valores máximos, tanto para los gastos instantáneos como para los gastos máximos medios diarios anuales.

Al ajustar estos registros de gastos a varias funciones de distribución de probabilidad empleando el programa AX, el mejor ajuste fue con la función Doble Gumbel. La gráfica de dicho ajuste para los gastos instantáneos anuales se presenta en la figura 2.17 y los valores de gastos extrapolados a varios periodos de retorno se muestran en la tabla 2.27.

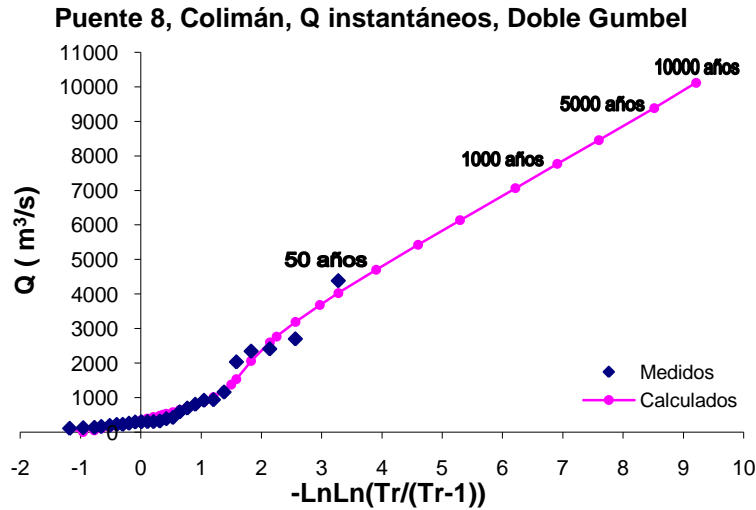


Figura 2.17. Gráfica del análisis estadístico de Gastos Instantáneos de la estación Colimán

Tabla 2.27. Resultados del análisis estadístico de los Gastos Instantáneos de la estación Colimán

Tr (años)	Q (m ³ /s)
2	506
5	1377
10	2769
20	3680
50	4700
100	5426
200	6136
500	7064
1000	7767
2000	8456
5000	9382
10000	10114

En la tabla 2.28 se abrevian los gastos medios extrapolados del análisis probabilístico y en la figura 2.18 se muestra la gráfica del ajuste realizado a los gastos medios de la estación Colimán.

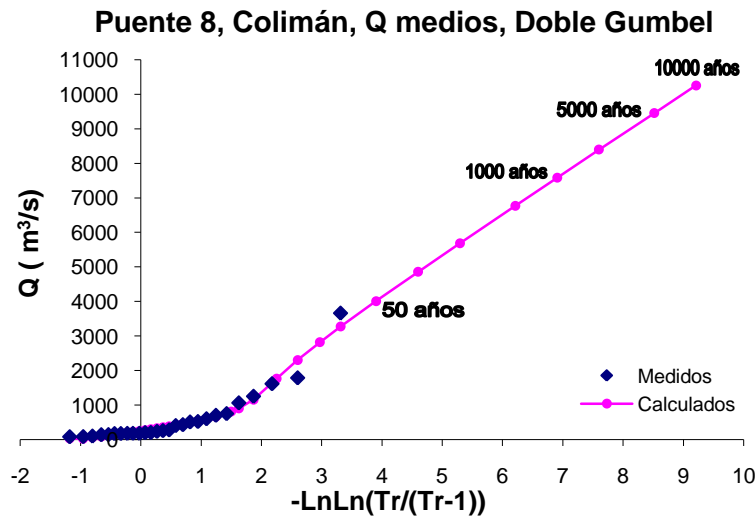


Figura 2.18. Gráfica del análisis estadístico de Gastos Medios de la estación Colimán

Tabla 2.28. Resultados del análisis estadístico de los Gastos Medios de la estación Colimán

Tr (años)	Q (m ³ /s)
2	356
5	808
10	1762
20	2821
50	4011
100	4858
200	5685
500	6769
1000	7584
2000	8398
5000	9451
10000	10253

La tabla donde se resumen los resultados de los análisis de gastos (Tabla 2.32) se presenta más adelante para comparar los resultados de esta estación con los de la estación Las Peñitas II.

Para la estación las Peñitas II se llevó a cabo el mismo procedimiento, a continuación se muestran los registros de gastos medios e instantáneos que se emplearon para el análisis.

Tabla 2.29. Registros hidrométricos de la estación Las Peñitas II (16036)

Año	Gastos Medios (m ³ /s)	Gastos Instantáneos (m ³ /s)	Q _{inst} /Q _m
1954	216	SD	
1955	968	1590	1.64
1956	131	188	1.44
1957	283	317	1.12
1958	849	1017	1.20
1959	1269	3100	2.44
1960	229	277	1.21
1961	154	165	1.07
1962	139	236	1.70
1963	212	287	1.35
1964	115	124	1.08
1965	152	202	1.33
1966	282	358	1.27
1967	1350	1660	1.23
1968	962	1410	1.47
1969	605	870	1.44
1970	335	377	1.13
1971	887	1306	1.47
1972	163	254	1.56
1973	163	354	2.17
1974	238	349	1.47
1975	187	234	1.25
1976	335	501	1.50
1977	143	253	1.77
1978	98	226	2.31
1979	99	213	2.15
1980	107	206	1.93
1981	169	252	1.49
1982	213	266	1.25
1983	156	210	1.35
1984	144	SD	
1985	137	SD	
1986	382	646	1.69
1987	1358	2180	1.61
1988	83	SD	
1989	SD	SD	
1990	SD	SD	

1991	SD	SD	
1992	3300	7800	2.36
1993	192	213	1.11
1994	229	310	1.35
1995	SD	SD	
1996	SD	SD	
1997	SD	SD	
1998	SD	SD	
1999	3814	SD	
2000	SD	SD	
2001	SD	SD	
2002	SD	SD	
2003	6656	10300	1.55
2004	9544	12721	1.33
Promedio			1.52

SD: sin dato

En 2003 y 2004 se presentaron los valores de gastos más grandes en comparación con los valores medidos en los años anteriores. Estos valores también son mayores a los registrados en la estación Colimán, aunque desafortunadamente no existen registros en estos dos años en esta última estación. La gráfica del ajuste se muestra en la figura 2.19 y en la tabla 2.30 se resumen los gastos calculados para los periodos de retorno más significativos.

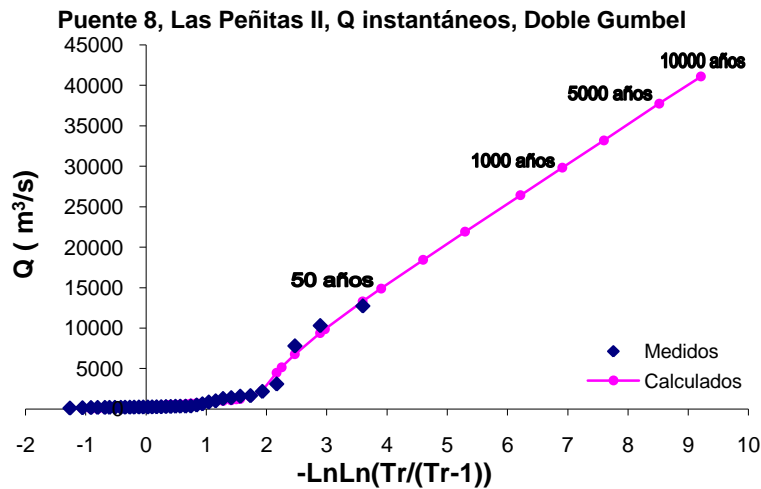


Figura 2.19. Gráfica del análisis estadístico de Gastos Instantáneos de la estación Las Peñitas II

Tabla 2.30. Resultados del análisis estadístico de los Gastos Instantáneos de la estación Las Peñitas II

Tr (años)	Q (m ³ /s)
2	498
5	1189
10	5169
20	9863
50	14895
100	18441
200	21904
500	26418
1000	29810
2000	33202
5000	37742
10000	41082

Los resultados del análisis de gastos medios máximos diarios anuales, así como la gráfica del ajuste se exponen a continuación.

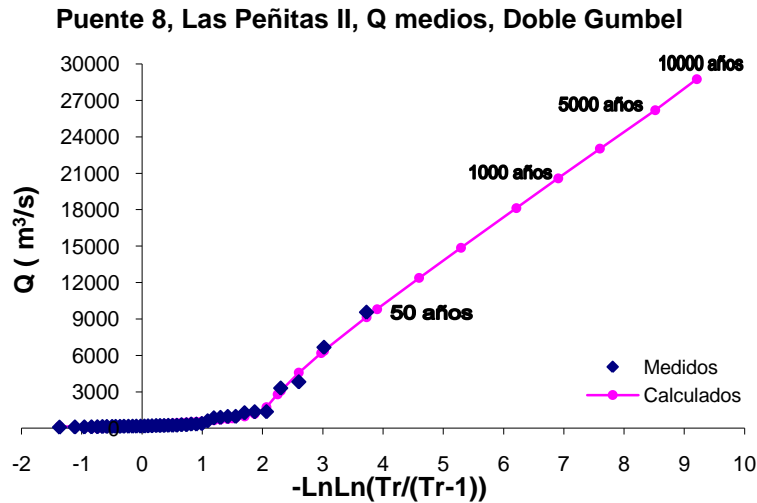


Figura 2.20. Gráfica del análisis estadístico de Gastos Medios de la estación Las Peñitas II

Tabla 2.31. Resultados del análisis estadístico de los Gastos Medios de la estación Las Peñitas II

Tr (años)	Q (m ³ /s)
2	336
5	816
10	2792
20	6178
50	9811
100	12373
200	14867
500	18134
1000	20581
2000	23029
5000	26192
10000	28752

En las siguientes dos tablas se rescopilan los resultados de los análisis de ambas estaciones de los gastos instantáneos y de los medios, asociados a los periodos de retorno más significativos.

Tabla 2.32. Resumen de los resultados de los datos hidrométricos de la estación Colimán

Tr (años)	Gastos Instantáneos (m ³ /s)	Gastos Medios (m ³ /s)	Fr = Q _{inst} /Q _m
2	506	356	1.421
5	1377	808	1.705
10	2769	1762	1.571
20	3680	2821	1.305
50	4700	4011	1.172
100	5426	4858	1.117
200	6136	5685	1.079
500	7064	6769	1.044
1000	7767	7584	1.024
2000	8456	8398	1.007
5000	9382	9451	0.993
10000	10114	10253	0.986

Tabla 2.33. Resumen de los resultados de los datos hidrométricos de la estación Las Peñitas II

Tr (años)	Gastos Instantáneos (m ³ /s)	Gastos Medios (m ³ /s)	Fr = Q _{inst} /Q _m
2	498	336	1.482
5	1189	816	1.457
10	5169	2792	1.851
20	9863	6178	1.596
50	14895	9811	1.518
100	18441	12373	1.490
200	21904	14867	1.473
500	26418	18134	1.457
1000	29810	20581	1.448
2000	33202	23029	1.442
5000	37742	26192	1.441
10000	41082	28752	1.429

Dado que la estación Colimán no cuenta con registros en los años 2003 y 2004 no se puede verificar que los registros de la estación Las Peñitas II sean correctos y se deban de tomar en cuenta; por lo que es conveniente realizar un análisis para la estación Las Peñitas II excluyendo los valores de los años mencionados. Los resultados obtenidos para los gastos instantáneos se observan en la figura 2.21 y en la tabla 2.34.

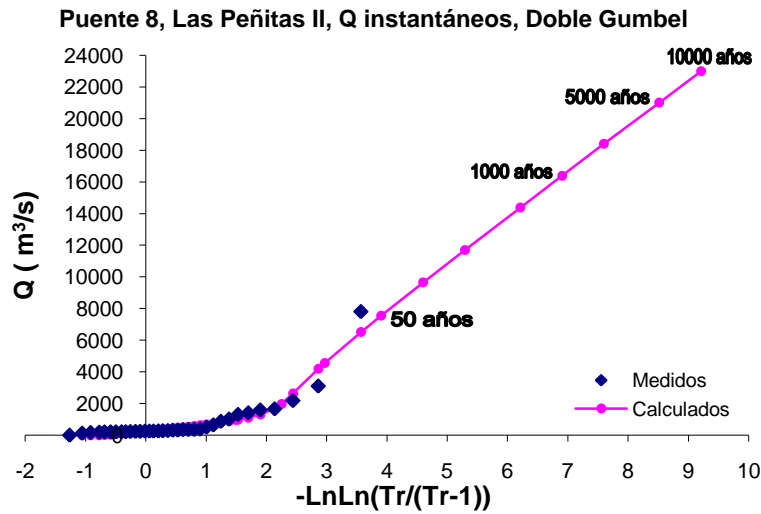


Figura 2.21. Gráfica del análisis estadístico de Gastos Instantáneos de la estación Las Peñitas II sin los valores de 2003 y 2004

Tabla 2.34. Resultados del análisis estadístico de los Gastos Instantáneos de la estación Las Peñitas II sin los valores de 2003 y 2004

Tr (años)	Q (m ³ /s)
2	402
5	958
10	1971
20	4567
50	7548
100	9649
200	11702
500	14375
1000	16391

2000	18414
5000	21010
10000	22987

Los resultados para los gastos medios máximos diarios anuales, se muestran en la tabla 2.35 y la gráfica de dicho ajuste en la figura 2.22.

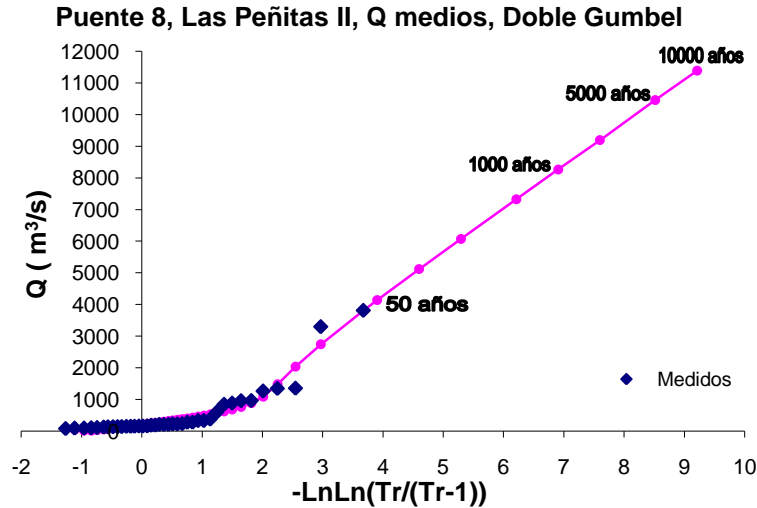


Figura 2.22. Gráfica del análisis estadístico de Gastos Medios de la estación Las Peñitas II sin los valores de 2003 y 2004

Tabla 2.35. Resultados del análisis estadístico de los Gastos Medios de la estación Las Peñitas II sin los valores de 2003 y 2004

Tr (años)	Q (m ³ /s)
2	297
5	680
10	1478
20	2743
50	4136
100	5117
200	6075
500	7324
1000	8266
2000	9190
5000	10461
10000	11385

En la siguiente tabla se recapitulan los resultados de este último análisis, para la estación Las Peñitas II, sobre los gastos instantáneos y medios para algunos periodos de retorno.

Tabla 2.36. Resumen de los resultados de los datos hidrométricos de la estación Las Peñitas II sin los valores de 2003 y 2004

Tr (años)	Gastos Instantáneos (m ³ /s)	Gastos Medios (m ³ /s)	Fr = Q _{inst} /Q _m
2	402	297	1.351
5	958	680	1.409
10	1971	1478	1.334
20	4567	2743	1.665
50	7548	4136	1.825

100	9649	5117	1.886
200	11702	6075	1.926
500	14375	7324	1.963
1000	16391	8266	1.983
2000	18414	9190	2.004
5000	21010	10461	2.008
10000	22987	11385	2.019

Para poder decidir cuál es la estación más adecuada para estimar el hidrograma de este río, en las siguientes dos tablas se comparan los valores obtenidos del análisis de la estación Colimán y los dos análisis que se hicieron a los datos de la estación Las Peñitas II. La primera tabla es de gastos instantáneos y la segunda de los gastos medios diarios.

Tabla 2.37. Resumen de los resultados de Gastos Instantáneos de las estaciones del Puente 8

Tr (años)	Coliman	Peñitas	Peñitas sin 2003 y 2004
	Gastos Instantáneos (m ³ /s)		
2	506	498	402
5	1377	1189	958
10	2769	5169	1971
20	3680	9863	4567
50	4700	14895	7548
100	5426	18441	9649
200	6136	21904	11702
500	7064	26418	14375
1000	7767	29810	16391
2000	8456	33202	18414
5000	9382	37742	21010
10000	10114	41082	22987

Tabla 2.38. Resumen de los resultados de Gastos Medios de las estaciones del Puente 8

Tr (años)	Coliman	Peñitas	Peñitas sin 2003 y 2004
	Gastos Medios (m ³ /s)		
2	356	336	297
5	808	816	680
10	1762	2792	1478
20	2821	6178	2743
50	4011	9811	4136
100	4858	12373	5117
200	5685	14867	6075
500	6769	18134	7324
1000	7584	20581	8266
2000	8398	23029	9190
5000	9451	26192	10461
10000	10253	28752	11385

Después de analizar los resultados de los tres análisis, se decidió que lo más conveniente es calcular el hidrograma de este río empleando los registros de la estación hidrométrica Colimán, ya que sus datos son más consistentes, y la cuenca de dicha estación cubre el 100% del área de la cuenca asociada al puente.

2.2.2. Cálculo de los hidrogramas

El cálculo de los hidrogramas de los ríos de los puentes a los cuales se les hizo el análisis probabilístico, se realizó tomando en cuenta que el gasto instantáneo asociado a un periodo de retorno de 100 años es el gasto pico del hidrograma y el gasto medio diario anual asociado al mismo periodo de retorno representa el gasto medio del hidrograma.

La forma de dichos hidrogramas es triangular pues lo más conveniente es adoptar una metodología de fácil aplicación, que permita conocer los puntos más importantes del hidrograma, como lo son: el gasto pico, el gasto base, el tiempo de pico, el tiempo base, si el río lleva o no un escurrimiento base y el volumen del hidrograma.

➤ Hidrograma para el Puente 1

El gasto instantáneo de diseño asociado a un periodo de retorno de 100 años es de $821.47 \text{ m}^3/\text{s}$, que representa el gasto pico del hidrograma. Dado que no se tienen registros de los gastos medios en la estación Villa de Fuente, no se puede emplear la metodología propuesta del hidrograma triangular en este caso, por consiguiente para poder determinar el tiempo base del hidrograma se utilizó una modelación simulada con radar para el evento que se presentó los primeros días de abril de 2004.

El hidrograma que se usó se muestra en la siguiente figura, de donde se estimó que el tiempo base aproximadamente es de 4 días.

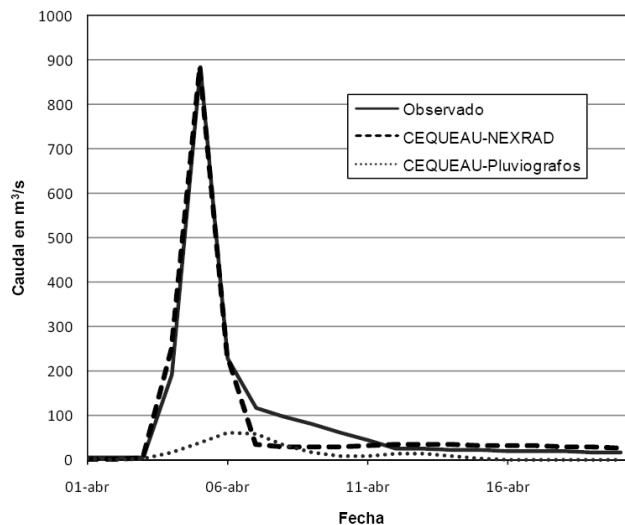


Figura 2.23. Hidrograma obtenido de la simulación hidrológica

➤ Hidrograma para el Puente 2

Al calcular los factores $Fr = Q_{inst} / Q_m$, como los que se muestran en la tabla 2.9 (Resumen de los resultados de los datos hidrométricos de la estación Icamole) se observa que la relación entre los gastos instantáneos y los medios diarios es del orden de 2.8, lo que permite sugerir que las avenidas suben y bajan dentro del mismo día, con un gasto base relativamente pequeño.

Para validar la percepción de que los gastos de las avenidas suben y bajan en un día, en la siguiente tabla se presentan los registros de la estación de los gastos medios diarios de 1967, en la cual se puede observar, por un lado que las avenidas son de corta duración (de un día a otro el gasto medio diario sube de 2 m³/s a 373 m³/s y dos días después dicho gasto bajó a 32 m³/s), y por otro lado que el gasto máximo instantáneo el 22 de septiembre fue de 981 m³/s, es decir casi 3 veces el medio diario de ese día.

Tabla 2.39. Registro anual de Gastos Medios de 1967 de la estación hidrométrica Icamole

Año	mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1967	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7	19	3.3	0.4	0.2	0.1	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0	2.6	0.7	3.3	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	14	0.3	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0.1	0.1	0	0	2.2	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.6	0.6	0	0	0	0	0	0.1	11	28	7.6	3.3	38	8	4.9	11	15	3.1	1.3	0.4
	9	0.1	0	33	31	4.3	2.2	0.8	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0	0	1.7	373	214	32	17	14	17	5.2	0.8	0.8	0	
	10	0.8	0.8	0.7	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	11	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Entonces, es pertinente considerar que el hidrograma sube y baja el mismo día, y que el gasto base es muy pequeño, se estimó un hidrograma triangular asociado a un periodo de retorno de 100 años, con el siguiente procedimiento, el gasto pico o gasto máximo instantáneo y el medio diario se tomaron del análisis estadístico:

$$Q_p = 1\,412 \text{ m}^3/\text{s} \qquad \bar{Q} = 503 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para obtener el volumen en un día se multiplicó el gasto medio por los segundos de 1 día.

$$V = \bar{Q} \times 86\,400 = 43.46 \text{ Mm}^3$$

El tiempo base se determinó a partir de la fórmula del área del triángulo.

$$V = \frac{Q_p \times t_b}{2} \rightarrow t_b = \frac{2V}{Q_p} = \frac{2 \times 43.46}{1\,412} = 0.06156 \times 10^6 \text{ s} = 61\,558 \text{ s}$$

$$t_b = \frac{61\,558}{3\,600} = 17.1 \text{ h}$$

El tiempo de pico se calculó empleando la ecuación de Mockus: $t_p = 2.67t_b$

$$t_p = \frac{t_b}{2.67} = \frac{17.1}{2.67} = 6.4 \text{ h}$$

Con los datos obtenidos se dibujó el hidrograma que se muestra en la figura 2.24.

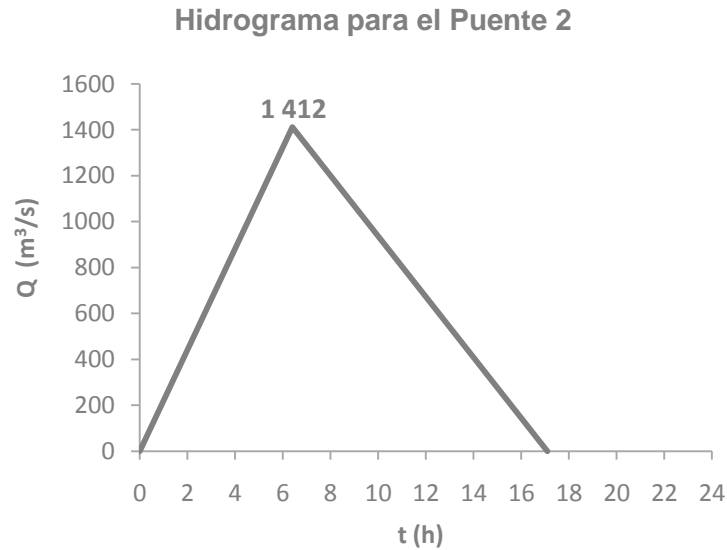


Figura 2.24. Hidrograma triangular del río Ramos para el Puente 2 (TR=100 años)

➤ **Hidrograma para el Puente 3**

A diferencia del comportamiento del río Ramos, en el río Aguanaval la relación entre gastos instantáneos y medios diarios es baja (1.06 para un periodo de retorno de 100 años) e inclusive se llega a valores ilógicos al extrapolar a periodos de retorno mayores, como se observa en la Tabla 2.14 (Resumen de los resultados de los datos hidrométricos de la estación La Flor (Presa)).

Para llevar a cabo una analogía como la del río Ramos, la variación del factor F_r se verifica al analizar los gastos medios diarios de 1973, los cuales se presentan en la siguiente tabla. En dicha tabla se puede observar que los gastos medios suben gradualmente de 48 m³/s el 8 de agosto a 754 m³/s el 16 del mismo mes, y después bajan también gradualmente hasta 43 m³/s 10 días después, lo que sugiere que los gastos base fueron gradualmente incrementando y posteriormente reduciéndose de la misma manera.

Tabla 2.40. Registro anual de Gastos Medios de 1973 de la estación hidrométrica La Flor (Presa)

Año	día mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1973	1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3				
	3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	5	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.3	0.5	0.1	0	0	0	0	0	0	0.6	1.83	9.2	7.4	1.8	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	1.3	0	0	0	0.3	1.1	3.2	0.5	0.5	0.3	0.3	
	7	0.2	0.3	3.5	6.2	2.9	5.5	28	28	94	138	49	61	45	24	16	13.9	7.2	7.8	8.4	20	6.8	6.2	4.7	2.7	1.4	0.6	0.3	0.3	0.2	0	0
	8	0.2	13	25	55	56	41	53	48	116	106	135	106	202	314	494	754	486	414	459	364	264	177	106	70	54	43	52	40	32	26	24
	9	21	20	19	18	15	14	12	11	11	7.8	6.6	6.7	9	11	51	43.1	57	43	36	46	55	26	19	20	13	11	21	27	23	17	
	10	45	44	29	21	16	11	11	9.6	7.5	6.3	5.1	4.5	4.2	4	3.8	3.6	3.4	3.2	4.1	4.5	3.8	3.2	3.2	3	2.5	2.1	2	2.3	2	2.4	2.1
	11	1.4	0.9	0.9	0.9	0.8	0.7	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
	12	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4

Como ya se mencionó, dado que los gastos medios y los máximos instantáneos calculados se van haciendo muy similares conforme aumenta el periodo de retorno, y tomando en cuenta que el

registro disponible de máximos instantáneos es mucho mayor que el de gastos máximos medios diarios, se determinó que el factor de ajuste que más conviene para establecer el gasto medio es el factor para 10 años (1.459), por lo que se debe de calcular el gasto medio tomando en cuenta que para 10 años de periodo de retorno:

$$\frac{Q_{inst}}{\bar{Q}} = \frac{619}{425} = 1.459$$

Conservando el valor del gasto instantáneo para 100 años de periodo de retorno y calculado el gasto medio ajustado:

$$\bar{Q} = \frac{Q_{inst}}{1.459} = \frac{1208}{1.459} = 827.96 \text{ m}^3/\text{s}$$

Por lo que el volumen del hidrograma en 1 día resulta:

$$V = \bar{Q} \times 86400 = 827.96 \times 0.0864 = 71.54 \text{ Mm}^3$$

Dado que este río tiene un gasto permanente durante un periodo bastante largo, se debe calcular el gasto base del hidrograma de 1 día, para lo cual se efectuaron los siguientes cálculos, referidos a la figura 2.25:

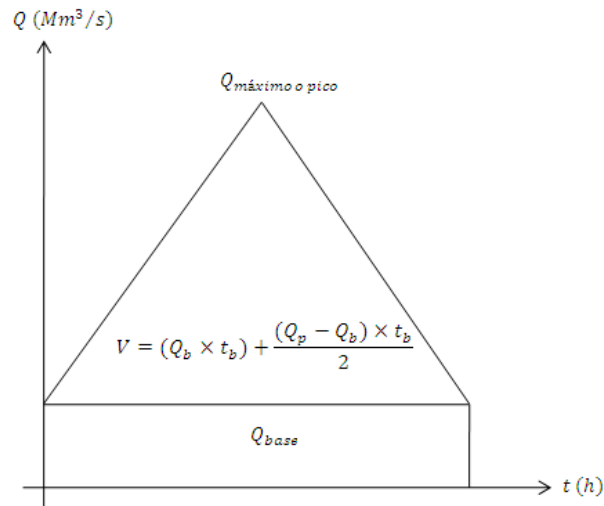


Figura 2.25. Hidrograma triangular general

Entonces para un tiempo base de 24 horas el gasto base que se tiene es:

$$V = (Q_b \times t_b) + \frac{(Q_p - Q_b) \times t_b}{2}$$

$$71.54 = (Q_b \times 0.0864) + \frac{(1208 - Q_b) \times 0.0864}{2} \rightarrow Q_b = 448.02 \text{ m}^3/\text{s}$$

El tiempo de pico se calculó empleando la ecuación de Mockus.

$$t_p = \frac{t_b}{2.67} = \frac{24}{2.67} = 8.99 \text{ h}$$

Con los datos obtenidos se dibujó el hidrograma que se muestra en la siguiente figura.

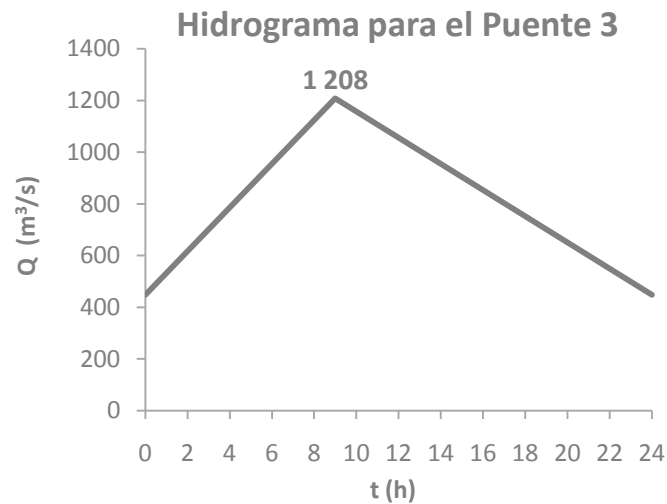


Figura 2.26. Hidrograma triangular del río Aguanaval para el Puente 3 (TR=100 años)

➤ Hidrograma para el Puente 4

Los años en los cuales se tienen los mayores registros de gastos instantáneos y medios diarios son 1965 y 1981, respectivamente. En la tabla 2.19 (Resumen de los resultados de los datos hidrométricos de la estación El Quelite) se observa que la relación entre los gastos instantáneos y los medios diarios es del orden de 2.3, lo que sugiere que las avenidas suben y bajan dentro del mismo día, con un gasto base relativamente pequeño; siendo parecido el comportamiento de este río al del río Ramos.

Con los registros de los gastos medios diarios que se muestran en las siguientes tablas, se comprueba que las avenidas son de corta duración (en 1965 de un día a otro el gasto medio diario sube de 12 m³/s a 624 m³/s y tres días después dicho gasto medio bajó a 24 m³/s y en 1981 de un día para otro el gasto medio diario fluctúa de 18 m³/s a 785 m³/s y dos días después desciende a 42 m³/s).

Tabla 2.41. Registro anual de Gastos Medios de 1965 de la estación hidrométrica El Quelite

Año	mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
1965	1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
	2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0				
	3	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	6.7	1.6	7	1.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0.7	0.5	0.4	0.2	0.2	0.1	1.1	5.7	2.8	2.1	25
	8	5.3	2.8	4.9	9	41	31	19	14	16	17	9	4.2	3	5.8	13	78	29	20	28	22	31	22	18	8.1	4.2	8.3	4	8.3	8.5	47	28	
	9	17	120	46	24	13	10	9.1	7	5.3	7.9	6	4.3	5.2	4.3	4.6	4.2	6.6	4.8	3.9	3.4	2.8	3	3.1	3.2	12	624	150	49	24	16		
	10	13	11	7.5	7.3	4.8	5.2	4.8	4.2	4	3.7	3.5	3.1	3.1	3.1	2.9	2.6	2.3	2.2	2.2	1.9	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.3	1	1	0.8	0.8	0.8	
	11	0.8	0.9	0.9	1	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	
	12	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3

Tabla 2.42. Registro anual de Gastos Medios de 1981 de la estación hidrométrica El Quelite

Año	mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
1981	1	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	16	32	22	6.7	2	0.9	0.7	1.1	1.2	1.2	1.5	1.8	1.5	1	0.9	
	2	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1				
	3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1	2.8	1.6	0.9	0.6	0.4	0.4	2.2	2.9	3.8	10	7.3	3.2	3.7	3.3	2.2	1.6	1.2	1.1	2.3	9	6.2	2.8	
	8	1.7	1.1	0.8	5.7	5.7	2.7	2.1	2.7	2	3.7	2.8	2	3	12	7.2	44	18	8.4	5.4	4.6	9.6	4.6	11	18	103	22	9.6	4.6	4	4.4	3.3	
	9	25	41	44	75	31	17	155	45	21	12	8.7	6.4	5.9	14	13	19	9.2	6.2	6.1	4.8	4	3.7	3.1	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.5	2.5		
	10	3.2	2.8	2.4	2	1.9	6	5.5	41	18	9	18	785	156	42	19	14	10	8.6	6.4	5.2	4.6	4.8	4.4	4.4	4.4	4.2	3.6	3.4	3.2	3.4	3.8	
	11	3	2.6	2	1.7	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1	1	1	1.2	1.4	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.1	1.1	0.9	1	1	0.9	0.9	0.9		
	12	0.8	0.8	0.7	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	

Al igual que para el puente 2 se considera que el hidrograma sube y baja el mismo día, y que el gasto base es muy pequeño, por lo que se estimó un hidrograma triangular aplicando el siguiente procedimiento:

El gasto pico o gasto máximo instantáneo y el medio diario se tomaron del análisis estadístico, siendo:

$$Q_p = 2261 \text{ m}^3/\text{s} \quad \bar{Q} = 964 \text{ m}^3/\text{s}$$

Por lo que el volumen en 1 día resulta:

$$V = \bar{Q} \times 86400 = 964 \times 0.0864 = 83.29 \text{ Mm}^3$$

El tiempo base se determinó a partir de la fórmula del área del triángulo.

$$t_b = \frac{2V}{Q_p} = \frac{2 \times 83.29}{2261} = 0.07368 \times 10^6 \text{ s} = 73 \text{ 675 s}$$

$$t_b = \frac{73 \text{ 675}}{3600} = 20.47 \text{ h}$$

El tiempo de pico se calculó empleando la ecuación de Mockus:

$$t_p = \frac{t_b}{2.67} = \frac{20.47}{2.67} = 7.66 \text{ h}$$

Debido a que el porcentaje del área que mide la estación hidrométrica es menor al 90% del área de la cuenca del puente ferroviario, se debe de efectuar un ajuste por relación de áreas elevando a potencia menor a 1, por la experiencia en cuencas similares se tomó como 0.8, el porcentaje del área de la cuenca de la estación con respecto al área de la cuenca del puente.

Tomando en cuenta que el área de la estación hidrométrica es el 88.36% del área del puente, el coeficiente del ajuste es:

$$\frac{1}{0.8836^{0.80}} = 1.104$$

Los gastos afectados por este coeficiente resultan:

$$Q_p = 2\,261 \times 1.104 = 2\,485.104 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\bar{Q} = 964 \times 1.104 = 1\,064.256 \text{ m}^3/\text{s}$$

Con los datos obtenidos se dibujó el hidrograma que se muestra en la siguiente figura.

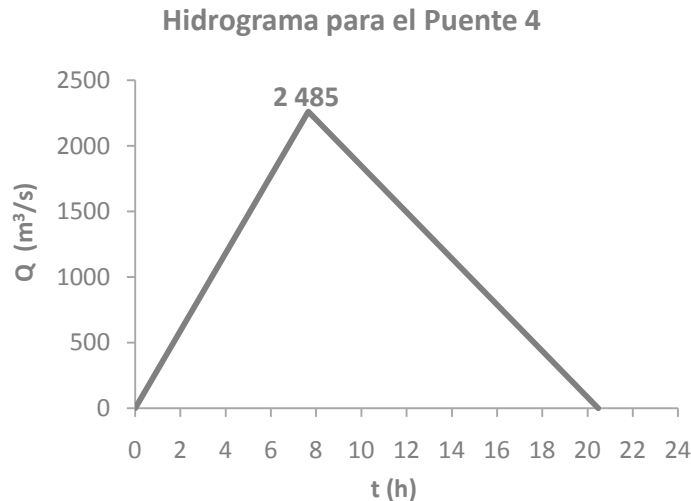


Figura 2.27. Hidrograma triangular del río Quelite para el Puente 4 (TR=100 años)

➤ **Hidrograma para el Puente 5**

Al analizar los valores del factor Fr de la tabla 2.24 (Resumen de los resultados de los datos hidrométricos de la estación Baluarte II), se observa, al igual que el río Aguanaval, que la relación entre gastos decrece, y se tienen valores muy bajos (1.136 para un periodo de retorno de 100 años) e inclusive se llega a valores ilógicos al extrapolar a periodos de retorno mayores.

Para poder evaluar si este río tiene gasto base, es conveniente verificar los registros diarios de gastos en los años en los cuales se presentan las avenidas más grandes; los mayores gastos instantáneos se presentaron en 1968 y los gastos medios diarios mayores en 1996. En las siguientes tablas se presentan los registros de los gastos medios de ambos años.

Tabla 2.43. Registro anual de Gastos Medios de 1968 de la estación hidrométrica Baluarte II

Año	mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1968	1	10	11	12	11	10	9.5	9	8.4	8.4	7.8	7.8	7.2	7.2	6.6	6.6	6.04	6	6	5.6	5.6	5.2	5.2	5.2	4.8	4.8	5.1	65	51	24	18	
	2	12	9.5	8.8	8.1	7.2	7.2	6.6	6	6	120	301	158	132	113	103	115	92	101	81	64	48	36	28	24	27	19	16	15	13		
	3	12	57	149	779	620	435	200	164	147	136	137	137	126.5	116	103	88.2	79	67	59	51	44	39	32	27	22	18	16	16	15	13	13
	4	12	11	11	11	11	11	10	10	9.5	9.5	9	9	8.4	8.2	7.8	7.2	6.6	6.6	6.4	6	5.6	5.6	5.6	5.2	5	4.8	4.8	4.8	4.4	4.4	
	5	4.4	4	4	4	3.7	3.7	3.4	3.1	3	3	3	3	2.7	2.6	2.4	2.4	2.4	2.2	2.2	2.2	2.1	1.9	2	2.1	2.1	1.7	1.7	1.6	1.4	1.4	1.4
	6	1.4	1.4	1.9	1.9	1.7	1.6	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.6	6.2	9.8	6.9	4.7	3.8	3.4	2.6	2.2	1.8	1.6	1.5	3.4	4.4
	7	4	4.6	9.3	15	25	92	109	91	96	19	14	43	118.2	207	248	231	217	228	232	213	200	249	213	224	180	210	208	195	196	210	229
	8	213	214	183	147	119	107	132	228	194	214	197	218	153.3	115	125	227	226	525	238	203	203	199	189	195	179	236	220	214	319	254	230
	9	204	207	195	169	167	212	194	213	191	195	232	504	10551	2041	1020	798	439	262	323	297	300	252	151	118	128	160	138	97	81	80	
	10	149	121	101	70	57	53	41	31	26	26	35	46	29.7	24	22	19.4	18	17	16	15	15	13	12	17	11	11	10	9.9	9.6	9.3	9
	11	8.7	8.4	8.1	8	7.8	7.7	7.5	7.4	7.2	7.1	7.1	7.1	7	64	530	137	44	27	20	20	14	12	11	10	9.9	19	320	104	40	31	
	12	25	21	19	17	15	14	12	12	11	11	11	11	11	10	9.6	9.3	8.76	8.6	8.3	8.1	8.7	31	246	156	36	29	24	20	19	17	23

Tabla 2.44. Registro anual de Gastos Medios de 1996 de la estación hidrométrica Baluarte II

Año	mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
1996	1	3.1	3.4	2.5	1.6	2.2	3.4	3.2	2.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.7	1.7	1.7	1.7	
	2	1.6	1.5	1.4	1.5	1.5	1.2	1.1	1	1	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.2	1	1.1	1.1	1.2	1.2	0.8	0.8	0.8	0.8	1	1.1	0.8	0.8	0.8			
	3	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.6	0.7	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	
	4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
	5	0.2	0.3	144	115	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
	6	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	1.2	1.7	2.1	4	8.1	11	13	10	8.5	7.4	6.2	5.7	5.5	5.1	6.6	33	17	
	7	14	12	10	17	8.7	19	48	39	103	75	30	32	213	56	28	24	23	60	131	63	68	38	28	94	111	74	47	36	33	23	27	
	8	25	26	28	29	31	33	35	37	39	41	42	47	65	79	88	147	115	80	52	40	39	36	44	106	191	300	393	364	300	184	185	
	9	168	159	135	169	279	370	198	160	140	117	126	179	150	240	254	148	95	68	50	41	37	73	95	114	71	70	52	38	57	47		
	10	36	27	32	28	30	41	65	69	46	30	25	21	18	17	16	16	14	14	13	12	11	11	10	10	9.8	9.7	9.9	9.9	10	11	9.8	
	11	9.3	8.9	8.5	8.1	8.3	7.7	8	8.1	8	6.9	6.3	5.9	5.9	5.9	5.9	5.7	5.6	5.6	5.6	5.3	5.3	5.2	5.2	5.3	5.1	4.9	4.9	35	567	242		
	12	46	26	19	15	9279	13094	7461	1737	11	9.9	9.5	9.1	8.9	7.7	7.7	7.1	6.6	6.3	6.2	5.8	5.7	5.7	5.4	5.3	5.1	4.9	4.4	4	4	3.8	3.6	

En el registro se observa que los gastos medios en 1968 mantuvieron un gasto promedio de 200 m³/s a partir del 14 de julio, el 13 de septiembre subió hasta 10 551 m³/s, y después descendió gradualmente, lo que sugiere que el gasto base fue incrementando gradualmente y después reduciéndose de la misma manera. En 1996 el 6 de diciembre se registró el mayor gasto, con un valor de 13 094 m³/s, el día anterior se registró un gasto medio de 9 278 m³/s y dos días después descendió a 1 737 m³/s, aunque el gasto no se redujo gradualmente como en 1968, ambos registros indican que el río tiene un gasto base.

Como ya se mencionó, dado que los gastos medios y los instantáneos se van haciendo muy similares conforme aumenta el periodo de retorno, y tomando en cuenta que el promedio de los factores F_r es de 1.75, el cual es similar a los factores para los periodos de retorno de 2 a 20 años, se determinó que el factor de ajuste que más conviene para determinar el gasto medio es el factor promedio (1.75). Conservando el valor del gasto instantáneo para 100 años de periodo de retorno los cálculos que se llevaron a cabo fueron:

$$Q_p = 1.75\bar{Q} = 1.75 \times 14\ 057 = 24\ 652.25 \text{ m}^3/\text{s}$$

Por lo que el volumen en 1 día resulta:

$$V = \bar{Q} \times 86400 = 14\ 057 \times 0.0864 = 1\ 217.1168 \text{ Mm}^3$$

$$V = (Q_b \times t_b) + \frac{(Q_p - Q_b) \times t_b}{2}$$

Para un tiempo base de 24 horas, el gasto base resulta de:

$$1\ 217.12 = (Q_b \times 0.0864) + \frac{(24\ 652.28 - Q_b) \times 0.0864}{2} \rightarrow Q_b = 3\ 521.75 \text{ m}^3/\text{s}$$

El tiempo de pico se calculó empleando la ecuación de Mockus:

$$t_p = \frac{t_b}{2.67} = \frac{24}{2.67} = 8.99 \text{ h}$$

Con los datos obtenidos se dibujó el hidrograma que se muestra en la siguiente figura:

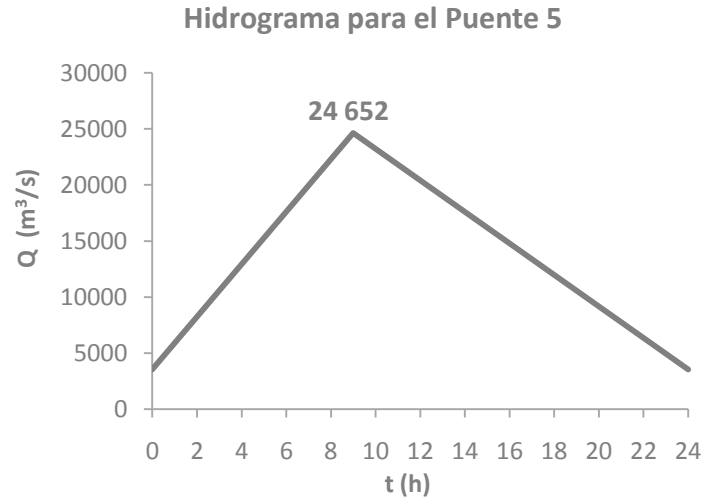


Figura 2.28. Hidrograma triangular del río Baluarte para el Puesto 5 (TR=100 años)

➤ Hidrograma para el Puesto 8

Como ya se mencionó anteriormente la estación hidrométrica con la cual es conveniente construir el hidrograma de este río es la estación Colimán, ya que controla el 100% del área de la cuenca del puente. Los años en los cuales se tienen registrados los mayores gastos instantáneos y medios diarios son 1974 y 1992.

Analizando los datos de la tabla 2.32 (Resumen de los resultados de los datos hidrométricos de la estación Colimán), se observa que el factor Fr disminuye conforme aumenta el periodo de retorno, ya que los gastos medios y los máximos tienden a parecerse. El promedio de los factores Fr es 1.47, el cual es similar a los valores que toma para los periodos de retorno de 2 a 20 años, por lo que se determinó que el factor de ajuste que más conviene para estimar el gasto medio es el factor promedio (1.47).

Consecuentemente resulta consistente analizar los registros de gastos de los años en los cuales se presentaron los mayores gastos instantáneos y medios diarios (1974 y 1992), donde se observa que las avenidas máximas persisten durante varios días.

Tabla 2.45. Registro anual de Gastos Medios de 1974 de la estación hidrométrica Colimán

Año	mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1974	1	4.2	4.1	4.4	4.7	4	4.6	5	4.7	4.6	4.2	4.2	3.8	3.9	3.9	4.3	4.8	4	3.8	3.9	3.9	4	3.9	3.1	3	2.9	2.7	2.9	3	3	2.4	2.1
	2	2.1	2.1	2.2	2.3	2.3	2.1	2.1	1.9	1.8	2.4	3.8	4	3.5	3	2.8	2.9	3	3	3.2	3.3	3.2	2.8	2.8	2.9	2.9	2.8	3	2.9			
	3	2.8	2.9	3	2.6	2.7	3.3	3.3	3.2	3.2	3.5	3.9	3.8	3.3	3.2	3.4	4	3.8	3.4	3.2	3	3.2	3.3	4.4	6.4	6.1	5.2	6.4	5.8	5.1	4.9	4.5
	4	4.2	4	3.8	3.4	3	3	2.9	3.2	2.9	2.7	2.5	2.9	4	4.5	4.4	4.8	4.2	3.4	3.1	2.9	3.4	3.4	3.6	3.8	3.8	3.6	4	3.9	3.5	3.4	
	5	3.8	4.2	4.1	4.2	4	4.1	5.2	5.8	11	9.8	9	8.6	8.4	8.1	6.8	6.3	6.1	6	6	5.8	5.1	5.2	5.7	6.1	6.3	7.3	7.5	9.2	91	103	87
	6	69	58	53	51	51	43	34	29	26	25	24	22	21	23	26	48	54	58	93	89	76	170	146	109	97	81	72	52	51	49	
	7	50	69	82	154	125	146	141	116	102	108	94	80	114	143	109	83	74	75	83	99	79	76	65	66	86	70	73	133	121	80	74
	8	74	77	73	101	80	66	62	71	65	67	71	65	73	63	71	85	153	94	84	87	74	136	97	100	86	78	76	104	117	133	196
	9	188	138	117	100	104	111	96	90	88	81	84	75	93	98	93	119	86	87	97	99	81	87	1256	578	438	250	149	118	117	96	
	10	110	93	99	81	71	66	62	56	54	53	64	52	47	43	38	46	47	58	46	47	41	36	34	31	30	29	29	29	28	27	25
	11	24	23	22	21	19	22	29	26	22	21	26	26	25	21	19	17	15	14	12	11	9.5	8.2	8.2	12	10	11	11	8.8	8.9	9.1	
	12	9	9.2	8.1	7.8	7	7	7.7	8	7.6	8.8	8.3	7.7	8	8.3	8.7	9.4	9	8.9	7.6	7	6.6	7	6.7	6.7	7.3	6.8	17	30	39	39	37

Tabla 2.46. Registro anual de Gastos Medios de 1992 de la estación hidrométrica Colimán

Año	mes \ día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
1992	1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1	9.6	130	151	92	63	124	1757	2467	776	380	247	174	151	137	156	2825	3666	1364	861	631	491	
	2	531	404	372	329	283	257	237	195	175	161	146	131	98	87	84	83	81	78	75	69	60	53	51	50	49	45	41	39	40			
	3	41	41	39	37	35	34	35	35	34	33	32	31	30	28	27	26	24	22	22	22	24	24	24	22	21	21	21	21	21	21	22	
	4	21	21	21	22	33	32	30	26	23	22	22	22	22	21	18	17	17	17	16	16	16	16	16	15	15	15	15	15	15	14		
	5	14	14	14	14	14	14	14	13	13	20	19	19	15	15	15	16	16	16	16	16	15	14	13	13	12	12	12	12	15	16	14	13
	6	13	12	12	14	17	15	15	14	17	19	22	28	27	28	34	38	37	34	32	34	35	33	29	25	18	18	25	19	28	21		
	7	20	48	33	38	37	27	25	25	23	25	26	21	20	19	17	23	22	19	18	18	17	17	17	22	21	19	19	19	19	18	23	
	8	22	22	20	19	16	14	13	12	16	16	15	15	19	19	21	21	21	24	33	64	49	34	31	30	26	32	42	40	48	45	41	
	9	43	45	39	39	46	44	46	51	41	35	33	30	34	32	43	38	34	31	29	28	29	26	26	26	33	34	34	35	31	29		
	10	29	29	27	63	57	50	48	47	319	822	266	121	97	80	73	70	64	62	71	63	59	64	58	55	60	51	42	39	38	38	36	
	11	32	29	28	26	24	22	20	18	17	16	16	16	15	15	15	19	16	15	14	14	13	13	12	11	11	11	11	10	10	9.6		
	12	8.2	6.9	4.1	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	3.4	20	19	17	16	16	15	15	15	13	13	13	12	12	12	12	11	11	

Para estimar la forma del hidrograma asociado a un periodo de retorno de 100 años, se realizaron los cálculos considerando que el valor obtenido a partir de los gastos medios diarios es más confiable que el correspondiente a los máximos instantáneos. De esta forma, los cálculos que se llevaron a cabo para la construcción del hidrograma comienzan conservando el valor del gasto medio diario obtenido para 100 años de periodo de retorno para obtener el gasto pico:

$$Q_p = 1.47\bar{Q} = 1.47 \times 4\,858 = 7\,141.23 \text{ m}^3/\text{s}$$

El volumen en 1 día resulta:

$$V = \bar{Q} \times 86400 = 4858 \times 0.0864 = 419.7312 \text{ Mm}^3$$

Dado que este río tiene un gasto permanente durante un periodo bastante largo, como se muestra en las tablas de los registros anuales, se calculó el gasto base del hidrograma de 1 día, para lo cual se efectuaron los siguientes cálculos, referidos a la figura 2.25. Para un tiempo base de 24 horas

$$V = (Q_b \times t_b) + \frac{(Q_p - Q_b) \times t_b}{2}$$

$$419.73 = (Q_b \times 0.0864) + \frac{(7\,141.23 - Q_b) \times 0.0864}{2} \rightarrow Q_b = 2\,574.74 \text{ m}^3/\text{s}$$

El tiempo de pico se calculó empleando la ecuación de Mockus:

$$t_p = \frac{t_b}{2.67} = \frac{24}{2.67} = 8.99 \text{ h}$$

Con los datos obtenidos se dibujó el hidrograma que se muestra en la siguiente figura 2.29.

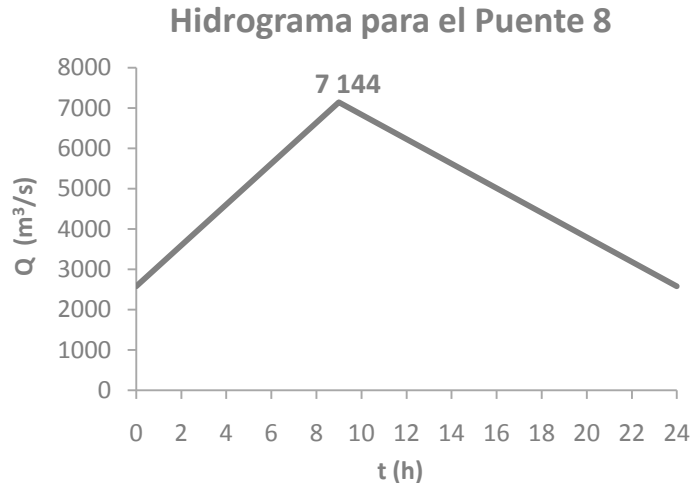


Figura 2.29. Hidrograma triangular del río Armería para el Puente 8 (TR=100 años)

2.2.3. Análisis de precipitaciones máximas

Para determinar los hidrogramas de los ríos que no tienen estación hidrométrica que mida los gastos de estos afluentes, es necesario analizar, de forma similar a como se trabajó con los registros de gastos, los registros de las precipitaciones de las estaciones climatológicas que se encuentran dentro de las ocho cuencas, con la finalidad de obtener tormentas de diseño y estimar las avenidas correspondientes usando un modelo de lluvia-escorrentamiento.

El primer paso consistió en localizar las estaciones climatológicas que se encuentran en cada cuenca; después se depuraron las estaciones, aplicando como primer filtro el que las estaciones deben de tener por lo menos 10 años de registros, de los cuales mínimo en 8 meses hubiera mediciones.

A las estaciones seleccionadas se les ajustó individualmente una función de distribución con la cual se pueden estimar las lluvias de cada estación asociadas a diferentes periodos de retorno. Para verificar la bondad del ajuste de cada análisis se dibujaron gráficas donde se presentan los datos medidos contra los calculados.

Con los registros de cada estación se determinó la curva regional, para cada cuenca, que tiene como objetivo homogenizar la estimación de la cantidad de lluvia que cae dentro de las cuencas; para obtener dichas curvas se aplicó la metodología descrita en el subcapítulo 1.5.1. Una vez obtenida las curvas regionales se realizó el proceso inverso para cada una de las estaciones, para obtener el ajuste a los datos medidos considerando los efectos regionales.

Además de los análisis individuales y regionales, se llevó a cabo el análisis de la simultaneidad de lluvias, para lo cual se trabajó con los datos máximos de registros que están asociados a la misma tormenta medida por varias estaciones.

El análisis de las precipitaciones máximas se complementa al obtener los factores de reducción por área para cada una de las cuencas, los cuales relacionan la lluvia simultánea con la regional, y al multiplicar este factor por la lluvia de diseño ya no se sobreestiman los valores de precipitación; los cuales, mediante un modelo de lluvia-escorrentamiento, serán transformados a gastos para poder

dimensionar los hidrogramas de diseño de los dos puentes en cuyos ríos no se cuenta con una estación hidrométrica que tenga registros de gastos.

Los registros de precipitación se obtuvieron de la base de datos CLICOM del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), en la cual se encuentran los datos climatológicos diarios de todas las estaciones que se encuentran en la República Mexicana. El periodo de registros es variable ya que este depende de cuándo la estación entró en operación, si alguna vez ha sido suspendida, y si sigue en operación en la actualidad.

2.2.3.1. Análisis individual de lluvias

➤ **Puente 1, Río Escondido**

En la siguiente figura se muestra la ubicación de las dos estaciones climatológicas que se encontraron dentro de la cuenca. En la tabla 2.47 se enlistan las características generales de dichas estaciones.

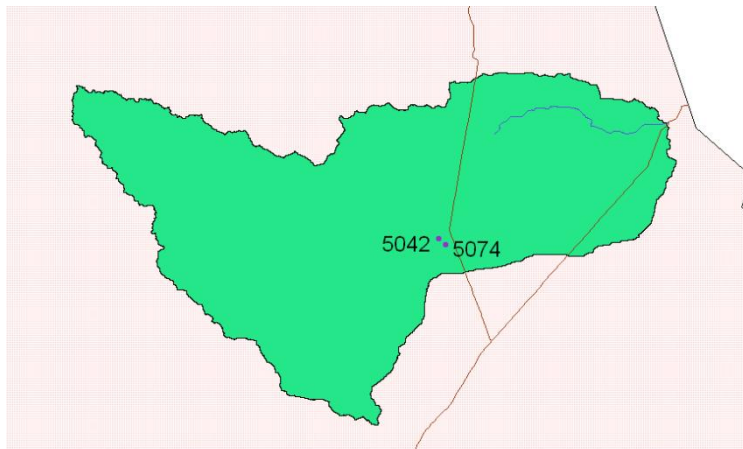


Figura 2.30. Cuenca del Puente 1 y localización de las estaciones climatológicas

Tabla 2.47. Datos generales de las estaciones climatológicas de la cuenca del Puente 1

Clave	Nombre	Latitud		Longitud		Años	Estado
		grados	minutos	grados	minutos		
5042	Zaragoza, Zaragoza (SMN)	28	30	100	55	32-35/42-49/55-77/85-86	Coahuila
5074	Zaragoza, Zaragoza	28	29	100	55	79-84/87-94/96-98	Coahuila

Con la lluvia máxima anual se realizó un análisis estadístico asociando a los datos medidos una función de distribución de ajuste, empleando el programa AX. Las distribuciones que se utilizaron fueron Gumbel y Doble Gumbel para determinar a cada una de las estaciones cuál es el mejor ajuste. En la tabla 2.48 se presentan los resultados de la extrapolación de las precipitaciones máximas anuales para varios periodos de retorno de la estación Zaragoza, Zaragoza (5074) y en la figura 2.31 la gráfica de dicho ajuste. Para esta estación la función de distribución de mejor ajuste fue Doble Gumbel. La tabla de resultados y la gráfica del ajuste de la otra estación se muestran en el anexo A.

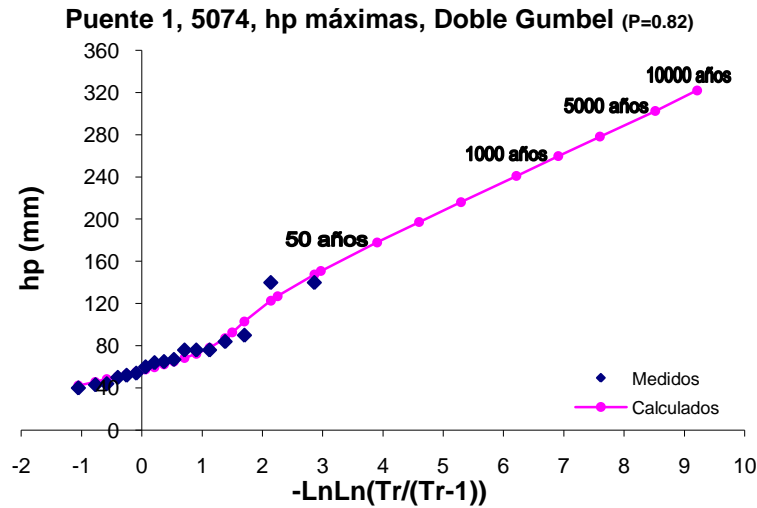


Figura 2.31. Gráfica del análisis estadístico de lluvias máximas de la estación Zaragoza (5074)

Tabla 2.48. Resultados del análisis estadístico de lluvias máximas de la estación Zaragoza (5074)

Tr (años)	hp (mm)
2	62.19
5	92.51
10	126.97
20	150.85
50	177.93
100	197.24
200	216.16
500	240.92
1000	259.62
2000	278.1
5000	302.36
10000	322

➤ Puente 2, Río Ramos

En la figura 2.32 se muestra la cuenca del Puente 2, así como la ubicación de las estaciones climatológicas que se emplearon para este análisis, de las cuales se describen sus características principales en la tabla 2.49.

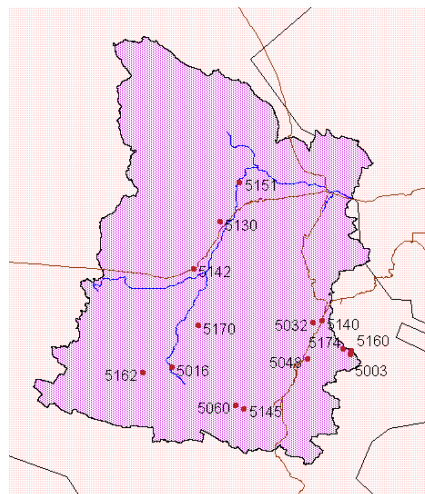


Figura 2.32. Cuenca del Puente 2 y localización de las estaciones climatológicas

Tabla 2.49. Datos generales de las estaciones climatológicas de la cuenca del Puente 2

Clave	Nombre	Latitud		Longitud		Años	Estado
		grados	minutos	grados	minutos		
5003	Arteaga, Arteaga (SMN)	25	26	100	51	41-79/82-85/91-98	Coahuila
5016	Gral. Cepeda, Gral. Cepeda	25	22	101	28	45/48-98	Coahuila
5032	Ramos Arizpe (SMN)	25	32	100	59	1907-1912/26-95	Coahuila
5048	Saltillo, Saltillo (DGE)	25	25	101	0	44-45/47-99	Coahuila
5060	Derramadero E.T.A. 10	25	16	101	15	73-81/85-90	Coahuila
5130	C.E.F.Z.A. La Sauceda. R.A	25	51	101	19	76-90	Coahuila
5140	Ramos Arizpe (DGE)	25	32	100	57	80-98	Coahuila
5142	Hipólito, Ramos Arizpe	25	40	101	28	79-98	Coahuila
5145	S. Juan de la V. Saltillo	25	15	101	13	80-98	Coahuila
5151	Alto de Norias	25	59	101	14	81-98/00-02	Coahuila
5160	Arteaga, Arteaga	25	27	100	50	82-85/88-89/91-98/00-01	Coahuila
5162	Dos de Abril	25	21	101	34	82-98/00-02	Coahuila
5170	La Rosa, Gral. Cepeda	25	31	101	23	82-98	Coahuila
5174	El Tunal, Arteaga	25	25	100	38	82-85/87-98/00-02	Coahuila

A los registros de la lluvia máxima anual de cada estación se les ajustaron las funciones de distribución de probabilidad Gumbel y Doble Gumbel, empleando el programa AX y así, definir cual es el mejor ajuste para cada estación. A continuación, en la figura 2.33 se muestra la gráfica del ajuste y el registro de los datos medidos con la función de mejor ajuste de la estación Arteaga, Arteaga (SMN) (5003) y en la tabla 2.50 se presentan los resultados de la extrapolación de las dichas precipitaciones para varios periodos de retorno. Para esta estación la función de distribución de mejor ajuste fue Doble Gumbel. Para las demás estaciones las tablas de los resultados de los ajustes y sus gráficas se presentan de en el anexo B.

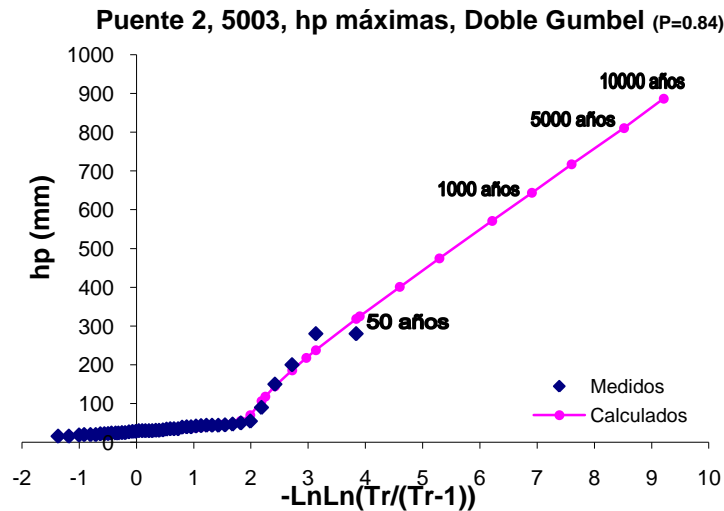


Figura 2.33. Gráfica del análisis estadístico de lluvias máximas de la estación Arteaga (5003)

Tabla 2.50. Resultados del análisis estadístico de lluvias máximas de la estación Arteaga (5003)

Tr (años)	hp (mm)
2	31.11
5	45.05
10	117.66
20	217.86
50	325.31
100	400.99
200	474.83

500	571.24
1000	643.4
2000	716.96
5000	810.58
10000	886.37

➤ Puente 3, Río Aguanaval

Como se puede observar en la figura 2.34, dentro de la cuenca del puente 3 existen bastantes estaciones climatológicas que cumplen con los requisitos establecidos a fin de procesarlas en este análisis. En la tabla 2.51 se enlistan las estaciones que se emplearon en el análisis, describiendo sus características generales.

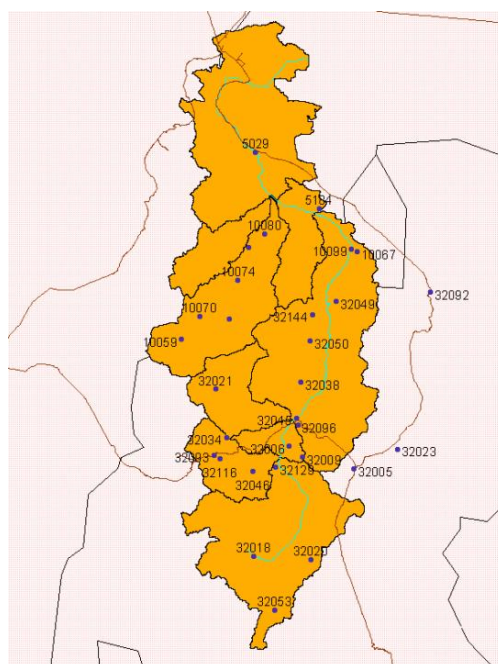


Figura 2.34. Cuenca del Puente 3 y localización de las estaciones climatológicas

Tabla 2.51. Datos generales de las estaciones climatológicas de la cuenca del Puente 3

Clave	Nombre	Latitud		Longitud		Años	Estado
		grados	minutos	grados	minutos		
5029	Presa la Flor, Torreón	25	4	103	17	63-07	Coahuila
5184	Tanque Aguilereño, Viesca	27	35	100	46	83-93/96-07	Coahuila
10059	Ramón Corona, Cuencamé	24	8	103	37	67-85	Durango
10067	San Juan de Guadalupe	24	37	102	45	22-36/42-46/48-73/78-79	Durango
10070	San Marcos, Santa Clara	24	17	103	32	42-06	Durango
10074	Santa Clara, Sta. Clara	24	28	103	21	63-07	Durango
10080	Simón Bolívar, Simón Bolívar	24	41	103	13	69-07	Durango
10099	san Juan de Guadalupe	24	37	102	46	63-07	Durango
10187	Los Naranjos, S. bolívar	24	37	103	18	86-03	Durango
32003	Víctor Rosales, Calera	22	57	102	41	57-86/89-07	Zacatecas
32005	Cañitas Felipe Pescador	23	36	102	44	41-67/69-70/73-02/05-06	Zacatecas
32006	Cazadero II, Río Grande	23	42	103	4	63-85/89-98/00-02/05-07	Zacatecas
32009	Jerez de G. S. (SMN)	23	39	103	0	61-85	Zacatecas
32018	El Sauz, Fresnillo	23	11	103	14	39-02/06-07	Zacatecas
32020	Fresnillo, Fresnillo	23	10	102	56	49-60/62-86/88-00/05-07	Zacatecas
32021	González Ortega	23	57	103	26	70-84/87-06	Zacatecas
32023	Gpe. de las Corrientes	23	42	102	31	41-69/71-07	Zacatecas
32028	Juan Aldama, Juan Aldama	24	17	103	23	63-85/87-03/05-07	Zacatecas

32034	Los Puertos (Pto. San Fco.)	23	44	103	23	70-85/87-07	Zacatecas
32038	Nieves, Gral. F. R. Murguía	24	0	103	1	42-07	Zacatecas
32045	Rio Grande, Rio Gde.(SMN)	23	50	103	2	42-65/68-70/91-00/05-07	Zacatecas
32046	Sain Alto, Sain Alto	23	34	103	14	61/63-07	Zacatecas
32049	San Francisco	24	23	102	51	61/63-07	Zacatecas
32050	San Gil, Gral. F. R. Murguía	24	11	102	58	69-07	Zacatecas
32053	Santa Rosa, Fresnillo	22	56	103	7	61-04/06-07	Zacatecas
32092	Camacho, Mazapil	24	26	102	22	73-86	Zacatecas
32096	Rio Grande, Rio Grande	23	48	103	1	74-90	Zacatecas
32110	Col. Grever Purísima S.	23	53	102	20	78-85/87-93/97-00/05-06	Zacatecas
32116	Adjuntas del Refugio	23	38	103	25	79-85/87-02/06-07	Zacatecas
32129	Presa Susticacán	23	36	103	8	79-85/87-07	Zacatecas
32144	San Francisco, Gral. F. R. Murguía	24	19	102	58	86-97	Zacatecas

A la lluvia máxima diaria anual de cada una de estas estaciones se le ajustó las funciones de distribución Gumbel y Doble Gumbel de las cuales se determinó que función representa mejor los registros y es más confiable pronosticar lluvias para diferentes periodos de retorno. A continuación se muestran los resultados de dicho análisis para la estación Presa la Flor, Torreón (5029), en la figura 2.35 se dibujó la gráfica del ajuste comparada con los datos medidos por la estación y en la tabla 2.52 se enlistan los valores de lluvia asociados a diferentes periodos de retorno para la misma estación. Los resultados de las demás estaciones se presentan en el anexo C.

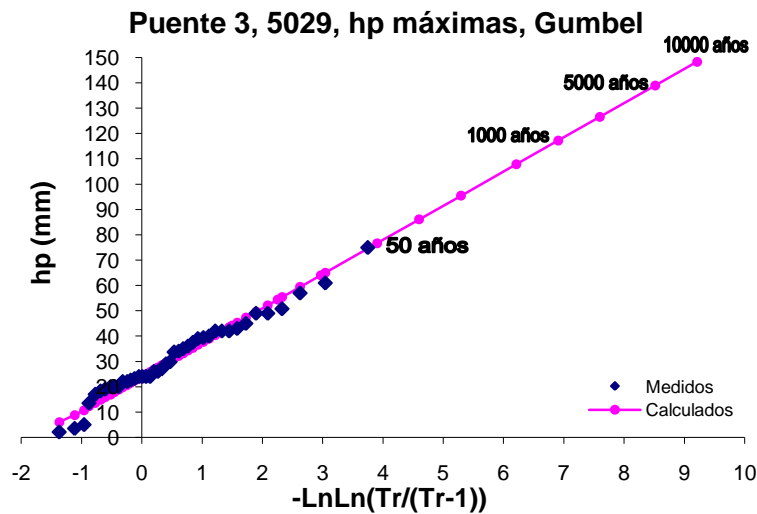


Figura 2.35. Gráfica del análisis estadístico de lluvias máximas de la estación Presa La Flor (5029)

Tabla 2.52. Resultados del análisis estadístico de lluvias máximas de la estación Presa La Flor (5029)

Tr (años)	hp (mm)
2	28.9
5	44.21
10	54.34
20	64.06
50	76.64
100	86.07
200	95.46
500	107.86
1000	117.22
2000	126.59
5000	138.96
10000	148.32

➤ **Puente 4, Río Quelite**

En esta cuenca sólo se encontraron dos estaciones climatológicas con suficiente información, en la figura 2.36 se muestra la localización de tales estaciones y en la tabla 2.53 sus características.

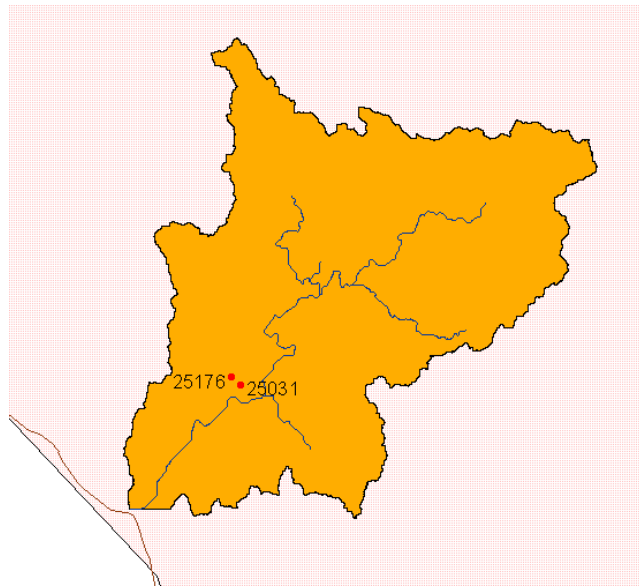


Figura 2.36. Cuenca del Puente 4 y localización de las estaciones climatológicas

Tabla 2.53. Datos generales de las estaciones climatológicas de la cuenca del Puente 4

Clave	Nombre	Latitud		Longitud		Años	Estado
		grados	minutos	grados	minutos		
25031	El Quelite, Mazatlán	23	33	106	27	61-83/85-90	Sinaloa
25176	El Quemado, Mazatlán	23	33	106	28	80-04	Sinaloa

A los registros de lluvia máxima anual de estas dos estaciones se les ajustó las funciones de distribución Gumbel y Doble Gumbel, utilizando el programa AX, para posteriormente determinar cuál de los dos ajustes representa mejor los valores medidos. En la figura 2.37 se dibujó la gráfica del ajuste con la función Gumbel de la estación El Quelite, Mazatlán (25031) comparándola con los datos medidos por la estación y en la tabla 2.54 se presentan las lluvias extrapoladas a diferentes periodos de retorno. Los resultados de la estación El Quemado, Mazatlán (25176) se encuentran en el anexo D.

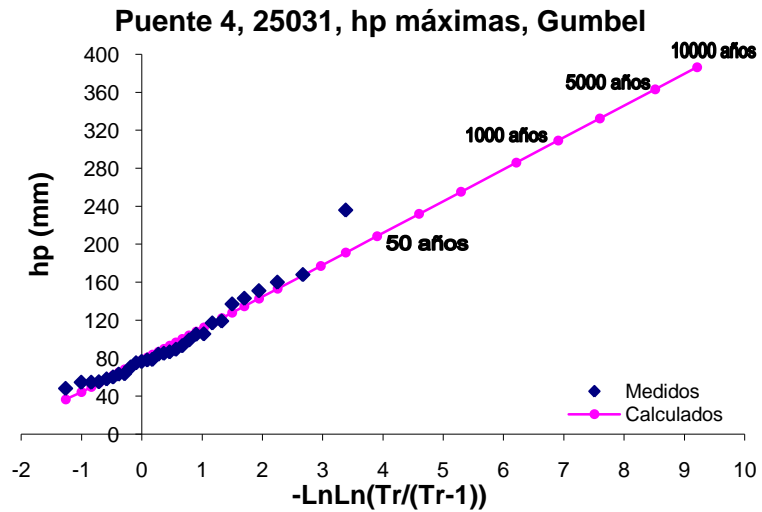


Figura 2.37. Gráfica del análisis estadístico de lluvias máximas de la estación El Quelite (25031)

Tabla 2.54. Resultados del análisis estadístico de lluvias máximas de la estación El Quelite (25031)

Tr (años)	hp (mm)
2	89.94
5	127.94
10	153.09
20	177.22
50	208.45
100	231.86
200	255.17
500	285.94
1000	309.19
2000	332.43
5000	363.15
10000	386.39

➤ **Puente 5, Río Baluarte**

Las estaciones climatológicas que se localizaron dentro de la cuenca, que cumplieron con las condiciones establecidas para poder llevar a cabo este análisis se presentan en la siguiente figura y sus características principales se enlistan en la tabla 2.55.

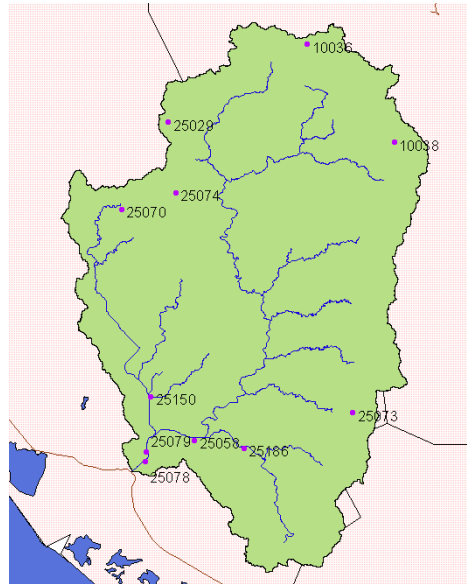


Figura 2.38. Cuenca del Puente 5 y localización de las estaciones climatológicas

Tabla 2.55. Datos generales de las estaciones climatológicas de la cuenca del Puente 5

Clave	Nombre	Latitud		Longitud		Años	Estado
		grados	minutos	grados	minutos		
10036	La Ciudad, Pueblo Nuevo	23	43	105	35	55-90	Durango
10038	La Peña, Pueblo Nuevo	23	33	105	24	63-85/02-04	Durango
25029	El palmito, Concordia	23	34	105	50	61-93/98/01	Sinaloa
25058	Las habitas, Rosario	23	2	105	45	63-81	Sinaloa
25070	Panuco, Concordia	23	25	105	55	62-83	Sinaloa
25073	Plomosas, Rosario	23	5	105	28	63-88	Sinaloa
25074	Potrerosillos, Concordia	23	27	105	49	69-07	Sinaloa
25078	Rosario, Rosario	22	59	105	51	63-07	Sinaloa
25150	Las tortugas, Rosario	23	5	105	50	74-06	Sinaloa
25186	Otatitlán, Rosario	23	0	105	40	82-07	Sinaloa

A los registros de cada estación se les ajustaron las funciones de distribución de probabilidad Gumbel y Doble Gumbel, utilizando el programa AX, para posteriormente poder determinar cuál de estas dos funciones calcula los valores que mejor se ajustan a los registros. Para la estación La Ciudad, Pueblo Nuevo (10036), la función de mejor ajuste fue Doble Gumbel, a continuación se muestra la gráfica de dicho ajuste y se presentan los valores extrapolados de lluvia para algunos periodos de retorno. Los resultados de los ajustes de las demás estaciones se encuentran en el anexo E.

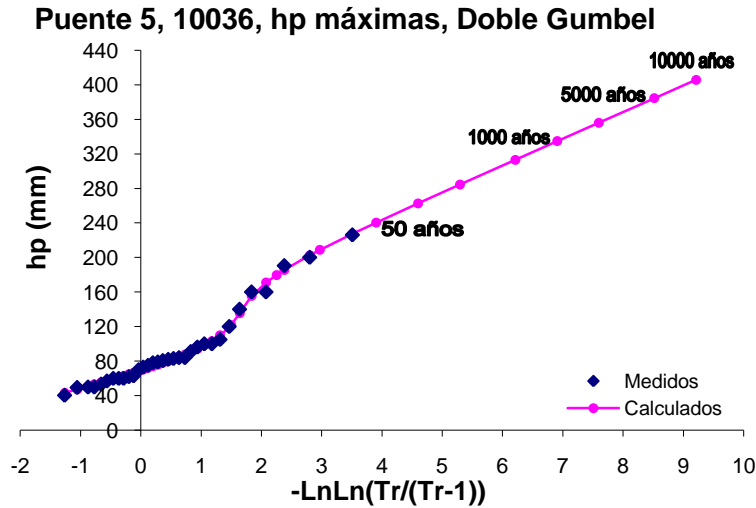


Figura 2.39. Gráfica del análisis estadístico de lluvias máximas de la estación La Ciudad (10036)

Tabla 2.56. Resultados del análisis estadístico de lluvias máximas de la estación La Ciudad (10036)

Tr (años)	hp (mm)
2	77.89
5	121.83
10	179.71
20	208.71
50	240.35
100	262.73
200	284.57
500	313.11
1000	334.69
2000	356.03
5000	384.36
10000	405.7

➤ **Puente 8, Río Armería**

Las estaciones que se utilizaron para el análisis estadístico de lluvias para esta cuenca, que cuentan con un mínimo de 10 años de registros son las estaciones que se muestran en la figura 2.40 y las características generales de dichas estaciones se reúnen en la tabla 2.57.

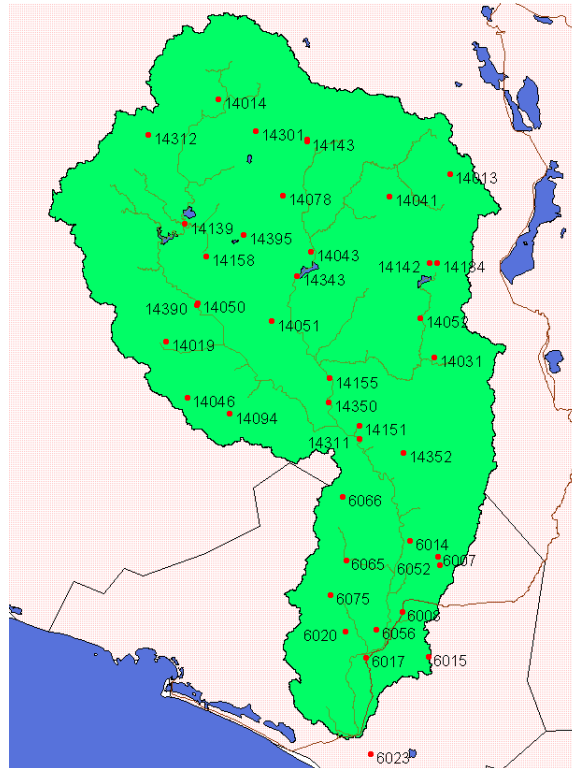


Figura 2.40. Cuenca del Puente 8 y localización de las estaciones climatológicas

Tabla 2.57. Datos generales de las estaciones climatológicas de la cuenca del Puente 8

Clave	Nombre	Latitud		Longitud		Años	Estado
		grados	minutos	grados	minutos		
6007	Comala, Comala	19	20	103	46	51-99/03-04	Colima
6008	Coquimatlán, Coquimatlán	19	12	103	49	48-07	Colima
6014	Las Peñitas, Comala	19	16	103	49	57-05 / 07	Colima
6015	Los Ortices, Colima	19	7	103	43	62-85/87-92/94-00/07	Colima
6017	Madrid, Tecomán	19	5	103	52	70-05/07	Colima
6020	Pueblo Juárez, Coquimatlán	19	15	103	50	58-75	Colima
6023	Rancho Papaloapan, Tecomán	18	55	103	53	54-05 / 07	Colima
6052	E.T.A. 254, Comala	19	18	103	46	75-07	Colima
6056	Canoas, Tolimán	19	10	103	53	81-00/05-08	Colima
6065	Mixcuate, Villa Juárez	19	14	104	29	84-96/02/07	Colima
6066	El Terrero, Minatitlán	19	26	103	57	84-08	Colima
6075	El Algodonal Coquimatlán	19	14	103	51	84-04/07	Colima
14013	Atemajac de Brizuela,	20	8	103	43	45-04	Jalisco
14014	Atengo, Atengo (SMN)	20	17	104	15	45-84	Jalisco
14019	Autlán, Autlán	19	46	104	21	39-40/45-81/85/87-00	Jalisco
14031	Venustiano Carranza,	14	45	103	45	39/46-91	Jalisco
14041	Chiquilistlán,	20	5	103	51	64-86/88-89	Jalisco
14043	Ejutla, Ejutla	19	58	104	2	40-03	Jalisco
14046	El Chante, Autlán	19	39	104	18	69-81/83-07	Jalisco
14050	El Grullo, El Grullo	19	51	104	17	39-45/47-87/91	Jalisco
14051	El Limón, El Limón (SMN)	19	49	104	7	44-46/49-52/55-56/58-84	Jalisco
14052	El Nogal, Tapalpa	19	50	103	47	46-07	Jalisco
14078	Juchitlán, Juchitlán	20	5	104	6	48-07	Jalisco
14094	Manantlán, Autlán	19	35	104	14	65-89/91-92/94-95	Jalisco
14139	Tacotán, Unión de Tula	20	1	104	19	47-89/91-98	Jalisco
14142	Tapalpa, Tapalpa (SMN)	19	57	103	46	23-31/42-60/91-03/05/07	Jalisco
14143	Tecolotlán, Tecolotlán	20	12	104	3	39/42-60/91-94/96-07	Jalisco
14151	Tolimán, Tolimán (SMN)	19	36	103	54	48-50/52-75	Jalisco
14155	Tuxcacuesco, Tuxcacuesco	19	42	103	59	61-81/83-07	Jalisco
14158	Unión de Tula	19	57	104	16	26-31/34/39/42-06	Jalisco

14184	Tapalpa, Tapalpa (DGE)	19	57	103	45	61-89	Jalisco
14185	Tecolotlán, Tecolotlán	20	19	105	35	61-90	Jalisco
14190	Tolimán, Tolimán (DGE)	19	36	103	54	76-89/93	Jalisco
14301	Tenamaxtlán, Tenamaxtlán	20	13	104	9	75-03	Jalisco
14311	Canoas, Tolimán	19	34	103	54	79-03	Jalisco
14312	Cuautla, Cuautla	20	13	104	24	79-91	Jalisco
14343	Presa Basilio Badillo,	19	55	104	5	79-00	Jalisco
14350	El Rosario, Tuxcacuesco	19	38	103	59	80-08	Jalisco
14352	Zapotitlán, Zapotitlán	19	33	103	48	48-53/55-87	Jalisco
14390	El Corcovado, Autlán	19	51	104	17	74-08	Jalisco
14395	Ixtlahuacán STGO, U. Tula	19	59	104	15	95-98/00-08	Jalisco

Al igual que con las demás cuencas, para las estaciones citadas en la tabla se trabajó con las lluvias máximas anuales de cada estación, a las cuales se les ajustaron las funciones de distribución Gumbel y Doble Gumbel para determinar cuál de ellas representa mejor la muestra de datos. La gráfica del ajuste de la estación Comala, Comala (6007) se muestra en la figura 2.41 y los resultados de las lluvias extrapoladas a diferentes periodos de retorno de esta misma estación se enlistan en la tabla 2.58. Los resultados de los ajustes para las demás estaciones se presentan en el anexo G.

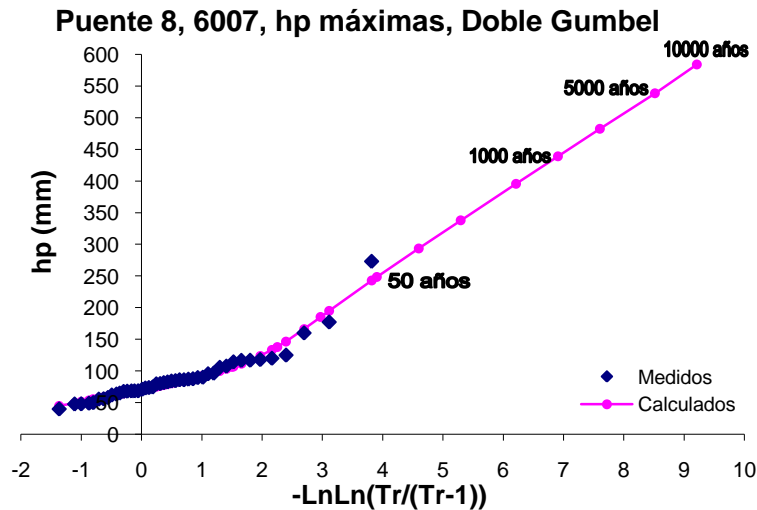


Figura 2.41. Gráfica del análisis estadístico de lluvias máximas de la estación Comala (6007)

Tabla 2.58. Resultados del análisis estadístico de lluvias máximas de la estación Comala (6007)

Tr (años)	hp (mm)
2	78
5	106
10	138
20	185
50	248
100	293
200	338
500	396
1000	439
2000	482
5000	538
10000	584

2.2.3.2. Regionalización de Lluvias

➤ Puente 1, Río Escondido

Se realizó un análisis estadístico regional obteniendo los datos de lluvia asociados a varios periodos de retorno, los cuales se muestran en la tabla 2.59, así como la curva regional de la figura 2.42, la cual se empleó para calcular las lluvias máximas asociadas a diferentes períodos de retorno para cada una de las estaciones asociados a esta cuenca.

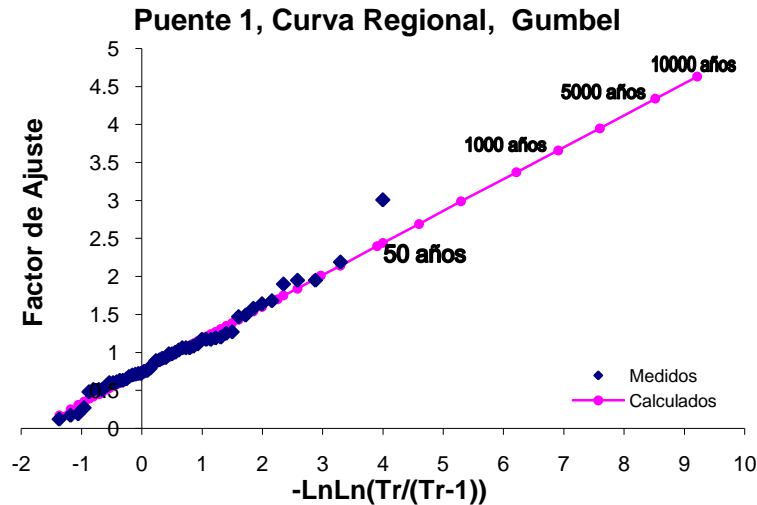


Figura 2.42. Gráfica del análisis estadístico regional para la cuenca del Puente 1

Tabla 2.59. Resultados del análisis estadístico de la Curva Regional del Puente 1

Tr (años)	Factor
2	0.91
5	1.39
10	1.7
20	2.01
50	2.4
100	2.69
200	2.99
500	3.37
1000	3.66
2000	3.95
5000	4.34
10000	4.63

Con los valores obtenidos de la curva regional, se calcularon los valores individuales de cada una de las estaciones para obtener la lluvia máxima asociada a la región, en la tabla 2.60 se muestran los valores calculados con la curva regional para la estación Zaragoza, Zaragoza (5074), así como los valores que se obtuvieron del análisis climatológico individual, a manera de comparación. La gráfica de tales ajustes se muestra en la figura 2.43. Para la otra estación se presenta la tabla de los resultados del ajuste y su gráfica correspondiente en el anexo A.

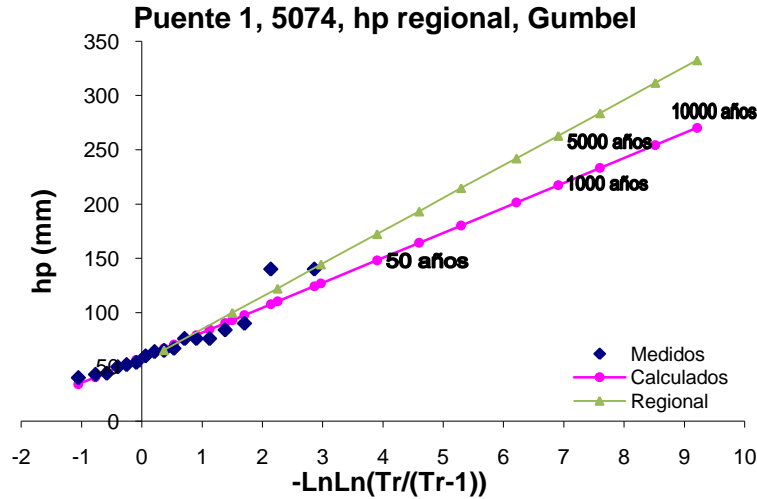


Figura 2.43. Gráfica del análisis regional de lluvias máximas de la estación Zaragoza (5074)

Tabla 2.60. Resultados del análisis regional de lluvias máximas de la estación Zaragoza (5074)

Tr (años)	hp (mm)	
	Individual	Regional
2	66.98	65.36
5	93.03	99.83
10	110.28	122.10
20	126.83	144.37
50	148.24	172.38
100	164.29	193.21
200	180.28	214.75
500	201.37	242.05
1000	217.32	262.87
2000	233.25	283.70
5000	254.32	311.71
10000	270.25	332.54

➤ **Puente 2, Río Ramos**

Para obtener los factores regionales de lluvia asociados a varios periodos de retorno se ocuparon los registros de lluvia estandarizados de cada una de las estaciones, empleando el programa AX a estos valores se les ajustó una función de distribución de probabilidad a fin de extrapolar estos factores a diferentes periodos de retorno. Los resultados de este análisis probabilístico se muestran a continuación, en la figura 2.44 se encuentra la gráfica del ajuste contra los valores estandarizados y en la tabla 2.61 se enlistan los factores regionales para varios periodos de retorno.

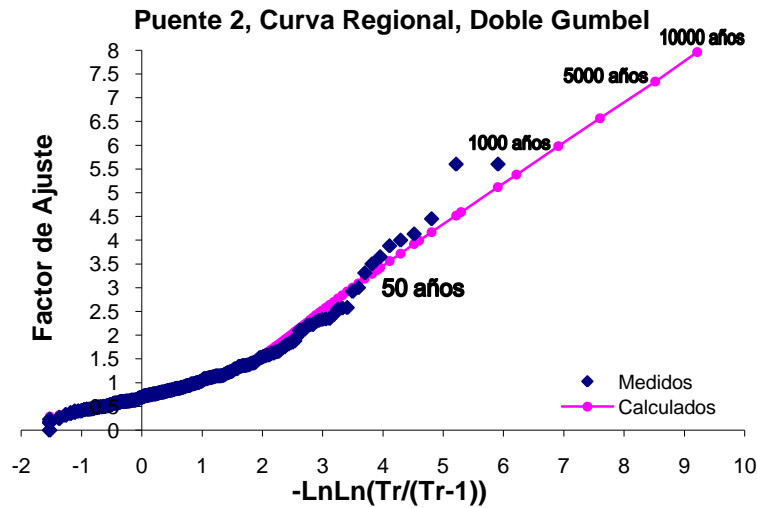


Figura 2.44. Gráfica del análisis estadístico regional para la cuenca del Puente 2

Tabla 2.61. Resultados del análisis estadístico de la Curva Regional del Puente 2

Tr (años)	Factor
2	0.8
5	1.24
10	1.79
20	2.5
50	3.37
100	3.99
200	4.59
500	5.38
1000	5.98
2000	6.57
5000	7.34
10000	7.96

Una vez calculada la curva regional, se realizó el proceso inverso para cada estación, multiplicando los factores regionales por la lluvia media con el fin de obtener los valores individuales de cada estación que ahora toman en cuenta los efectos regionales, la gráfica del ajuste regional de la estación Arteaga, Arteaga (SMN) (5003) se muestra en la figura 2.45 y en la tabla 2.62 se comparan los valores calculados a partir de la curva regional con los obtenidos del análisis climatológico individual de la misma estación. Los resultados y las gráficas de sus ajustes de las demás estaciones se presentan en el anexo B.

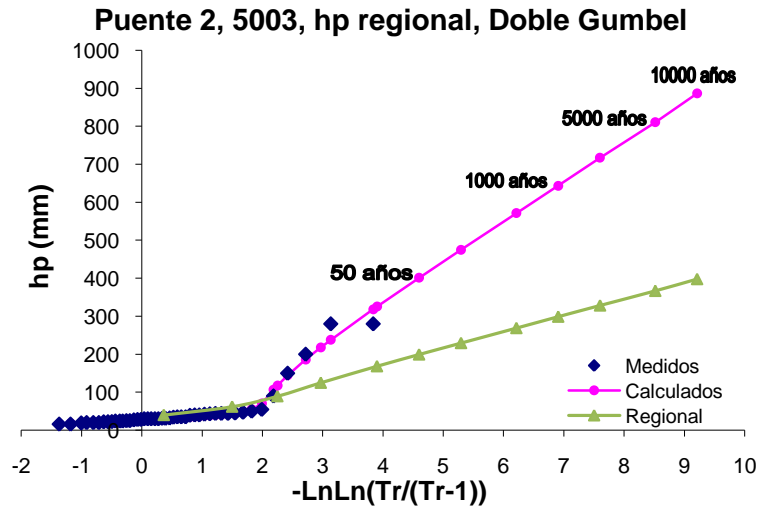


Figura 2.45. Gráfica del análisis regional de lluvias máximas de la estación Arteaga (5003)

Tabla 2.62. Resultados del análisis regional de lluvias máximas de la estación Arteaga (5003)

Tr (años)	hp (mm)	
	Individual	Regional
2	31.11	39.97
5	45.05	61.96
10	117.66	89.44
20	217.86	124.92
50	325.31	168.39
100	400.99	199.37
200	474.83	229.35
500	571.24	268.82
1000	643.4	298.81
2000	716.96	328.29
5000	810.58	366.76
10000	886.37	397.74

➤ **Puente 3, Río Aguanaval**

Al igual que con las otras dos cuencas, este proceso consistió en obtener los factores regionales de la cuenca a partir de los valores estandarizados de cada uno de los registros anuales de cada estación, para poder determinar la lluvia puntual de cada estación que se vea afectada por los efectos de toda la región, de tal manera que los datos nuevos ahora sean más homogéneos que los registros individuales de cada estación. La curva obtenida del análisis estadístico regional de esta cuenca se muestra en la figura 2.46 y en la tabla 2.63 se enlistan los factores regionales para varios periodos de retorno.

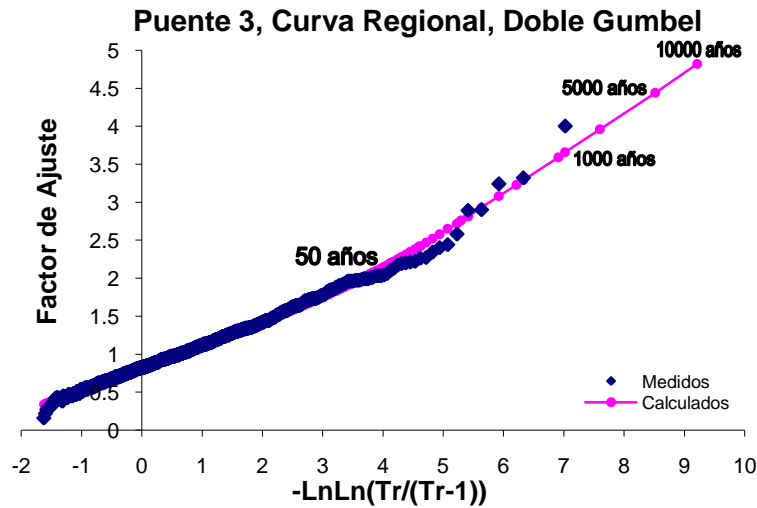


Figura 2.46. Gráfica del análisis estadístico regional para la cuenca del Puente 3

Tabla 2.63. Resultados del análisis estadístico de la Curva Regional del Puente 3

Tr (años)	Factor
2	0.93
5	1.27
10	1.5
20	1.75
50	2.1
100	2.42
200	2.76
500	3.23
1000	3.59
2000	3.96
5000	4.44
10000	4.82

Una vez obtenidos los factores regionales, para obtener los valores de cada una de las estaciones afectadas por los efectos de la región, se multiplicó la media de los registros de cada estación por los factores regionales de la tabla 2.60. La gráfica del ajuste regional para la estación Presa la Flor, Torreón (5029), así como su ajuste individual original se muestran en la figura 2.47, y los valores calculados con los dos ajustes se presentan en la tabla 2.64. Los resultados de las demás estaciones con sus gráficas resultantes del análisis se encuentran en el anexo C.

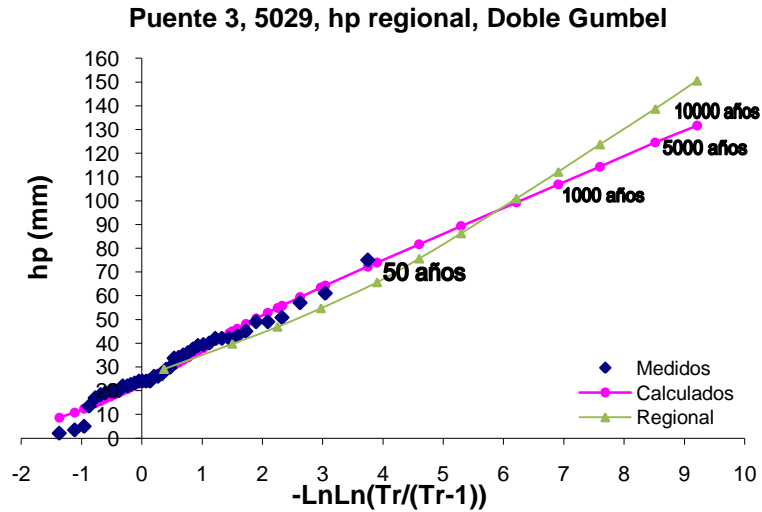


Figura 2.47. Gráfica del análisis regional de lluvias máximas de la estación Presa La Flor (5029)

Tabla 2.64. Resultados del análisis regional de lluvias máximas de la estación Presa La Flor (5029)

Tr (años)	hp (mm)	
	Individual	Regional
2	28.36	29.06
5	45	39.68
10	54.88	46.87
20	63.44	54.68
50	73.97	65.62
100	81.68	75.62
200	89.3	86.24
500	99.3	100.93
1000	106.84	112.18
2000	114.33	123.74
5000	124.54	138.74
10000	131.67	150.61

➤ **Puente 4, Río Quelite**

La regionalización de esta cuenca no es muy significativa ya que el número de estaciones es muy reducido, y estas estaciones se encuentran muy cerca una de la otra, por lo tanto no se reflejan cambios importantes en los ajustes, como se ve en las cuencas de los demás puentes. A los registros de lluvia estandarizados de las dos estaciones se les ajustaron varias funciones de distribución, empleando el programa AX, la curva regional se construyó con la función Gumbel, la cual se muestra en la figura 2.48 y los factores de regionalización para diferentes periodos de retorno en la tabla 2.65.

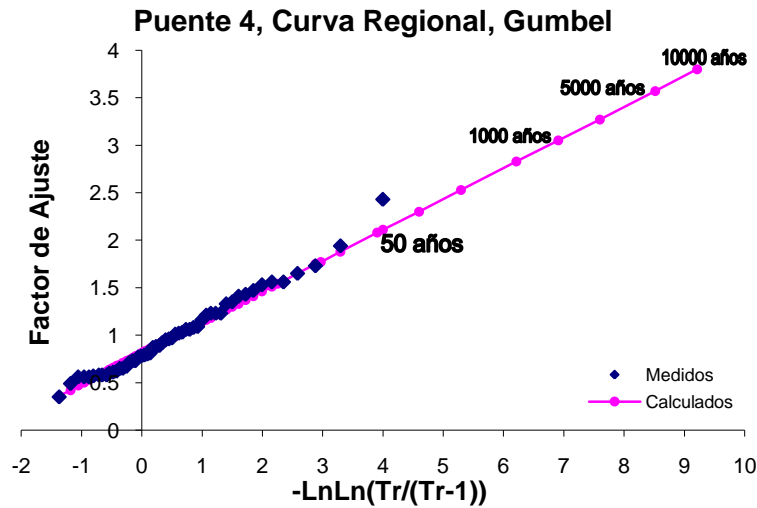


Figura 2.48. Gráfica del análisis estadístico regional para la cuenca del Puente 4

Tabla 2.65. Resultados del análisis estadístico de la Curva Regional del Puente 4

Tr (años)	Factor
2	0.93
5	1.3
10	1.54
20	1.77
50	2.08
100	2.3
200	2.53
500	2.83
1000	3.05
2000	3.27
5000	3.57
10000	3.8

Con los factores de regionalización se procedió a calcular el nuevo ajuste para las dos estaciones de esta cuenca. La gráfica del ajuste para la estación El Quelite, Mazatlán (25031), junto con la curva del análisis original se muestran en la figura 2.49 y los valores de lluvia para los dos ajustes se comparan, para los mismos periodos de retorno, en la tabla 2.66. El análisis regional de la otra estación se encuentra en el anexo D.

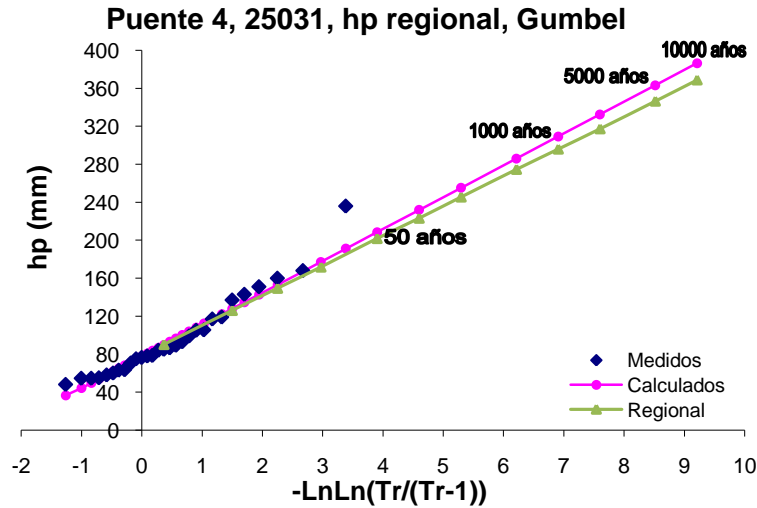


Figura 2.49. Gráfica del análisis regional de lluvias máximas de la estación El Quelite (25031)

Tabla 2.66. Resultados del análisis regional de lluvias máximas de la estación El Quelite (25031)

Tr (años)	hp (mm)	
	Individual	Regional
2	89.94	90.21
5	127.94	126.10
10	153.09	149.39
20	177.22	171.70
50	208.45	201.77
100	231.86	223.11
200	255.17	245.42
500	285.94	274.52
1000	309.19	295.86
2000	332.43	317.20
5000	363.15	346.30
10000	386.39	368.61

➤ **Puente 5, Río Baluarte**

Siguiendo la metodología de regionalización de los demás puentes, para esta cuenca se llevó a cabo el mismo procedimiento, que consiste en estandarizar los registros de todas las estaciones a las cuales se les ajustó una función de distribución individualmente, y a dichos registros ajustarles nuevamente las funciones Gumbel o Doble Gumbel con el fin de obtener los factores de ajuste para toda la cuenca. La gráfica del ajuste contra los valores estandarizados se presenta en la figura 2.50 y los resultados de dicho análisis se muestran en la tabla 2.67.

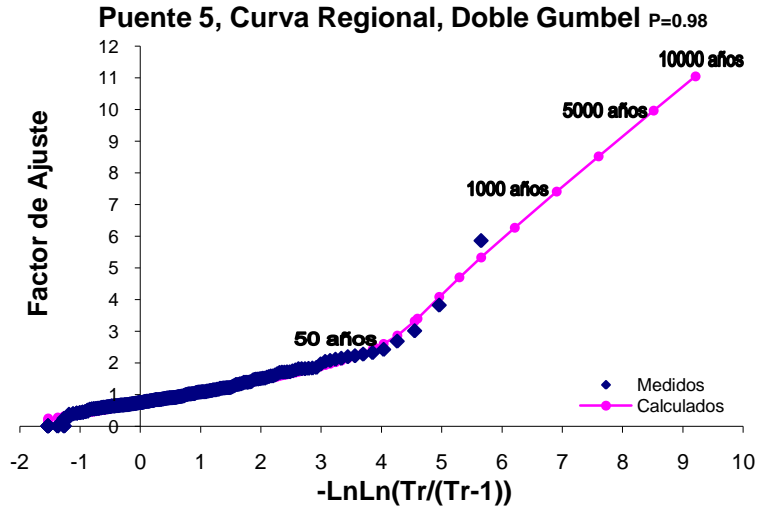


Figura 2.50. Gráfica del análisis estadístico regional para la cuenca del Puente 5

Tabla 2.67. Resultados del análisis estadístico de la Curva Regional del Puente 5

Tr (años)	Factor
2	0.87
5	1.28
10	1.57
20	1.88
50	2.47
100	3.4
200	4.7
500	6.27
1000	7.41
2000	8.52
5000	9.97
10000	11.05

Una vez obtenidos los factores de regionalización, para poder obtener la lluvia puntual afectada por dichos factores, se aplicó el proceso inverso multiplicando la lluvia media de la estación por los factores regionales asociados a los distintos periodos de retorno. Los resultados de este proceso para la estación La Ciudad, Pueblo Nuevo (10036) se muestran en la figura y tabla siguientes, los resultados de las demás estaciones se presentan en el anexo E.

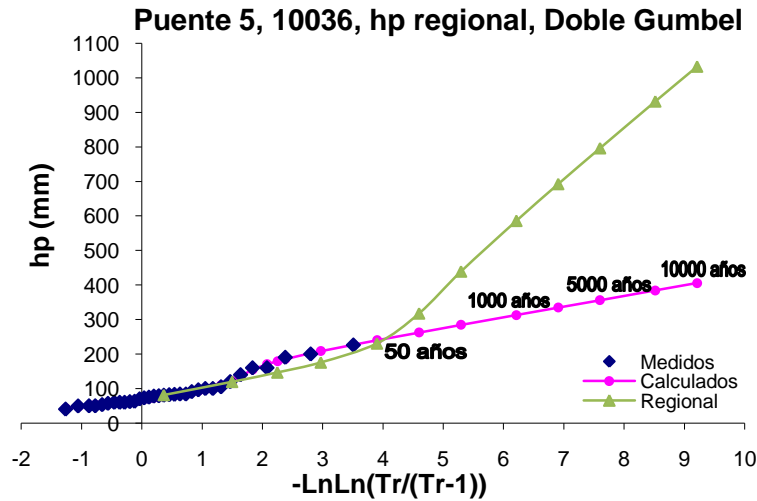


Figura 2.51. Gráfica del análisis regional de lluvias máximas de la estación La Ciudad (10036)

Tabla 2.68. Resultados del análisis regional de lluvias máximas de la estación La Ciudad (10036)

Tr (años)	hp (mm)	
	Individual	Regional
2	77.89	81.27
5	121.83	119.57
10	179.71	146.66
20	208.71	175.61
50	240.35	230.73
100	262.73	317.60
200	284.57	439.04
500	313.11	585.69
1000	334.69	692.18
2000	356.03	795.87
5000	384.36	931.32
10000	405.7	1032.20

➤ **Puente 8, Río Armería**

En la cuenca del Puente 8, al analizar los coeficientes de variación de los registros de las precipitaciones diarias máximas anuales se encontró que los valores presentan una heterogeneidad dadas las características topográficas de la zona; por lo tanto se consideró conveniente analizar esta cuenca en dos regiones, que se dividen por la Sierra Madre Occidental y el Volcán de Colima, como se muestra en las figuras siguientes.

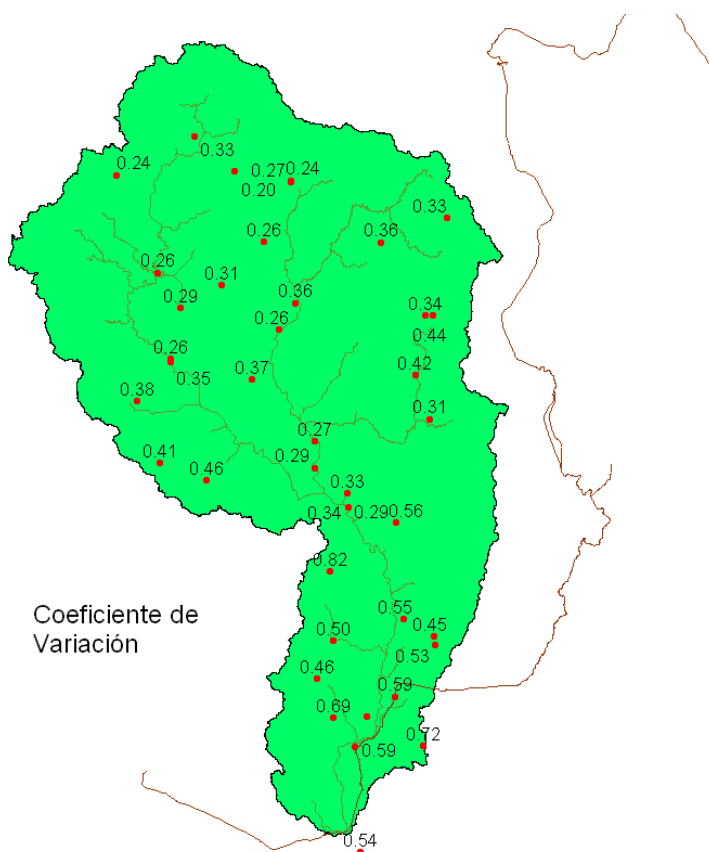


Figura 2.52. Coeficientes de Variación de las estaciones climatológicas de la Cuenca del Puente 8

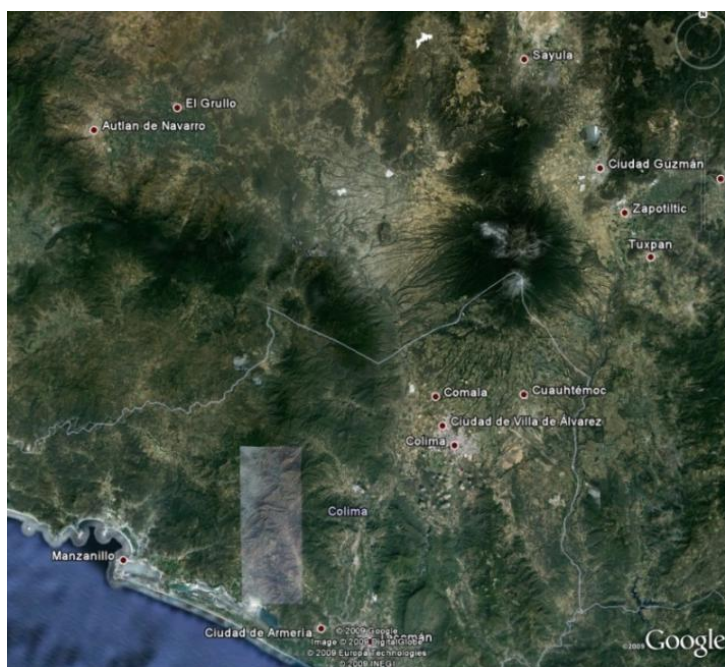


Figura 2.53. Relieve de la Zona de la Cuenca del Puente 8

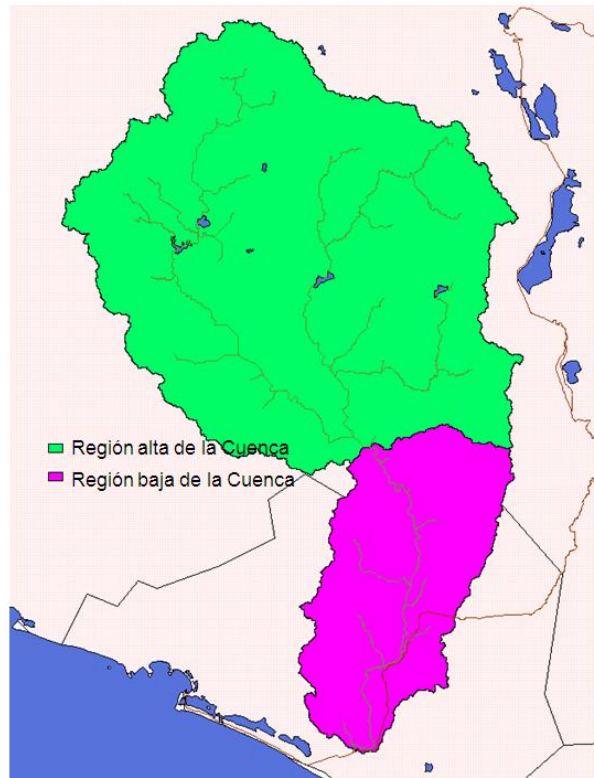


Figura 2.54. Seccionamiento de la Cuenca del Puente 8

Las estaciones climatológicas que quedan dentro de la región baja de la cuenca se enlistan en la siguiente tabla.

Tabla 2.69. Estaciones climatológicas de la región baja de la cuenca del Puente 8

Clave	Estación
6007	Cómala
6008	Coquimatlán
6014	Las Peñitas
6015	Los Ortices
6017	Madrid
6020	Pueblo Juárez
6023	Tecomán
6052	E.T.A. 254 Cómala
6056	La Esperanza
6065	El Mixcoate
6066	El Terreno
6075	El Algodonal
14352	Zapotitlán

En la región baja de la cuenca la función de ajuste que predominó fue Doble Gumbel, debido a que esa zona es más susceptible a huracanes (en septiembre de 1999 se registraron valores del huracán Greg). Los ajustes de dos estaciones no están hechos con la función Doble Gumbel ya que sus registros de lluvias son muy escasos como para poder generar las dos familias de datos, dichas estaciones son El Mixcoate (6065) y El Terreno (6066); la estación La Esperanza (6056) es doble Gumbel pero para una P de 0.8 y la estación 14352 es la única en la que predomina la función Gumbel, probablemente se debe a que está prácticamente en la frontera entre la región baja y la alta.

Se realizó un análisis estadístico regional para la parte baja de la cuenca, obteniendo los datos de lluvia asociados a varios periodos de retorno, los cuales se muestran en la tabla 2.70, así como la curva regional que se muestra en la figura 2.55.

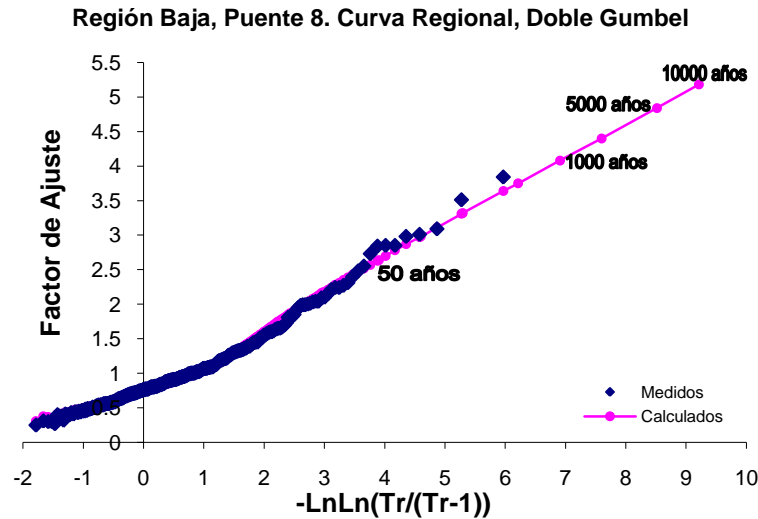


Figura 2.55. Gráfica del análisis estadístico regional para la región baja de la cuenca del Puente 8

Tabla 2.70. Resultados del análisis estadístico de la Curva Regional de la región baja del Puente 8

Tr (años)	Factor
2	0.84
5	1.3
10	1.76
20	2.17
50	2.64
100	2.98
200	3.32
500	3.75
1000	4.08
2000	4.4
5000	4.84
10000	5.18

Con los valores obtenidos de la curva regional, se calcularon los valores individuales de cada una de las estaciones para determinar la lluvia máxima asociada a la región. La gráfica del ajuste para la estación Comala, Comala (6007) así como la curva del análisis climatológico individual se muestran en la figura 2.56, los valores de lluvia para la misma estación calculados con la curva regional se presentan en la tabla 2.71. Para las demás estaciones se encuentran las tablas de los resultados de los ajustes y sus gráficas en el anexo G.

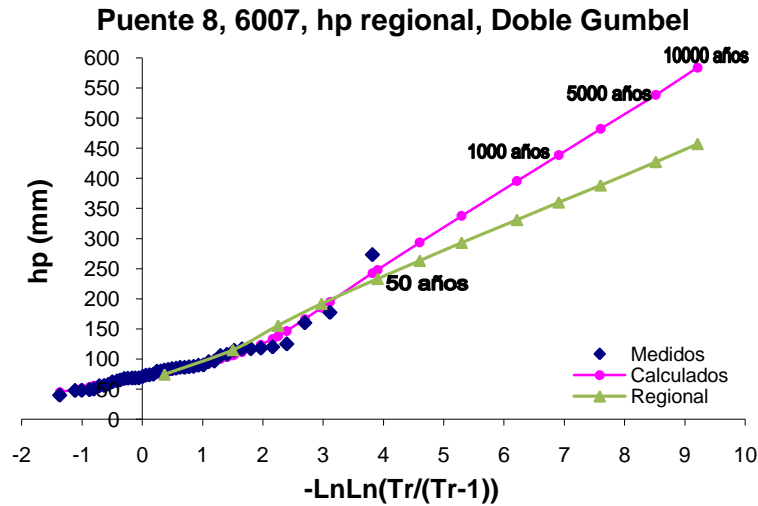


Figura 2.56. Gráfica del análisis regional de lluvias máximas de la estación Comala (6007)

Tabla 2.71. Resultados del análisis regional de lluvias máximas de la estación Comala (6007)

Tr (años)	hp (mm)	
	Individual	Regional
2	78	74.2
5	106	114.8
10	138	155.4
20	185	191.6
50	248	233.1
100	293	263.1
200	338	293.1
500	396	331.1
1000	439	360.2
2000	482	388.5
5000	538	427.3
10000	584	457.3

Siguiendo la misma metodología de cálculo, se realizó la regionalización de la región alta de la cuenca, los resultados que se obtuvieron son los siguientes:

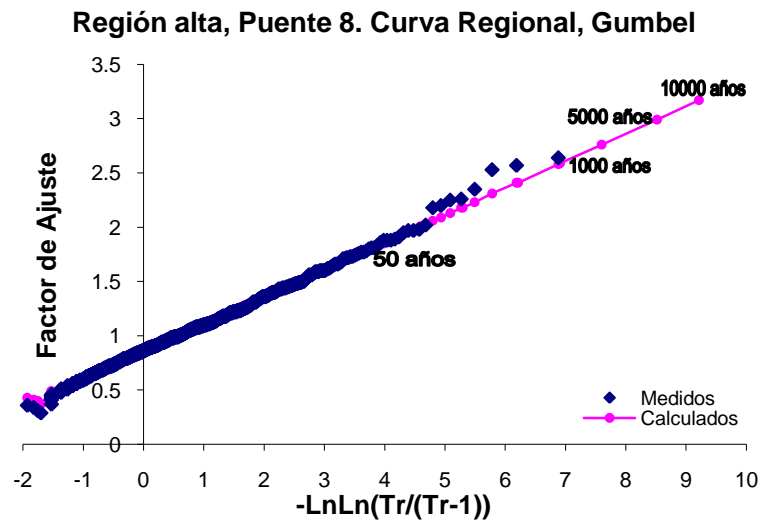


Figura 2.57. Gráfica del análisis estadístico regional para la región alta de la cuenca del Puente 8

Tabla 2.72. Resultados del análisis estadístico de la Curva Regional de la región alta del Puente 8

Tr (años)	Factor
2	0.95
5	1.23
10	1.42
20	1.6
50	1.83
100	2.01
200	2.18
500	2.41
1000	2.59
2000	2.76
5000	2.99
10000	3.17

Se empleó la curva regional anterior para calcular las lluvias individuales que toman en cuenta los efectos regionales de las estaciones que se encuentran en esta región. Los resultados de este análisis para la estación Atemajac de Brizuela (14013) se muestran en la figura 2.58 y en la tabla 2.73, donde se comparan los valores regionales con los individuales. Los resultados del análisis para las demás estaciones se muestran en el anexo G.

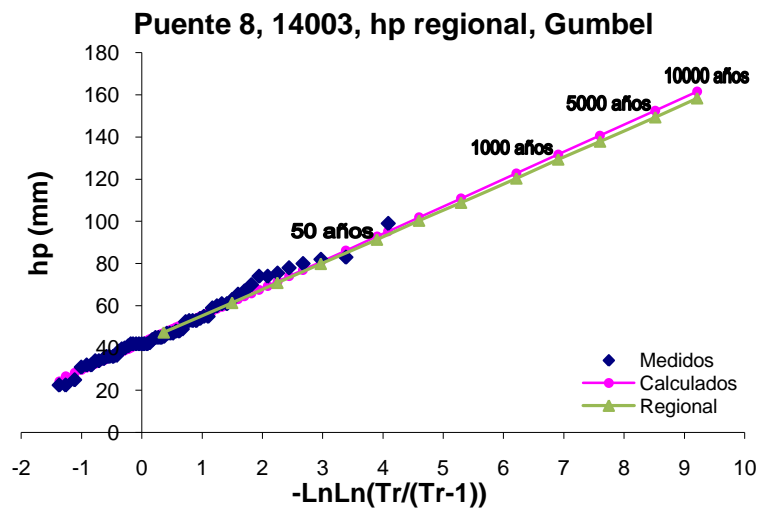


Figura 2.58. Gráfica del análisis regional de lluvias máximas de la estación Atemajac de Brizuela (14013)

Tabla 2.73. Resultados del análisis regional de lluvias máximas de la estación Atemajac de Brizuela (14013)

Tr (años)	hp (mm)	
	Individual	Regional
2	47	47.44
5	62	61.42
10	72	70.91
20	81	79.89
50	93	91.38
100	102	100.37
200	111	108.86
500	123	120.34
1000	132	129.33
2000	141	137.82
5000	153	149.30
10000	161	158.29

2.2.3.3. Simultaneidad de lluvias

Debido a que el análisis estadístico de las lluvias se realiza para cada estación sin tomar en cuenta si los valores máximos anuales se presentan simultáneamente (el mismo día) en las diferentes estaciones, si se promedian espacialmente los valores extrapolados correspondientes a un periodo de retorno dado, se obtiene un promedio para la cuenca mayor que el que realmente ocurrirá para ese periodo de retorno, dado que entre más separadas estén las estaciones entre sí, la probabilidad de que los valores máximos anuales se presenten el mismo día es menor, la sobreestimación será mayor entre más grande sea la cuenca.

Por este motivo, y tomando en cuenta, por otra parte, que generalmente no se puede contar con un registro extenso en el que se haya medido simultáneamente en todas las estaciones, se acostumbra trabajar por regiones, buscando años completos de registro simultáneo, para los cuales se calcula el promedio espacial de todos los días del año y analizando estadísticamente los máximos anuales de dichos promedios para ajustarles una función de distribución con la que se extrapole a distintos periodos de retorno.

En esas condiciones, el factor de reducción por área (FRA) se obtiene, para cada periodo de retorno, dividiendo los promedios obtenidos con el registro simultáneo entre los obtenidos al extrapolar los valores obtenidos de la regresión de la curva regional de cada estación por separado y después promediarlos. Como el registro simultáneo es generalmente poco extenso, se prefiere determinar la relación considerando un periodo de retorno chico (por ejemplo de 10 años)

En seguida se describen los cálculos realizados para las cuencas de los diferentes puentes

➤ **Puente 1, Río Escondido**

Dado que las dos estaciones climatológicas con las cuales se realizó la regionalización no cuentan con registros simultáneos no se puede llevar a cabo el análisis de simultaneidad en esta cuenca.

➤ **Puente 2, Río Ramos**

Para poder determinar los factores de reducción por área es necesario llevar a cabo un análisis de simultaneidad para estimar de manera más real cual es la lluvia máxima anual.

Con la finalidad de obtener la lluvia media máxima anual de los diferentes registros anuales se adoptó la consideración de que en los años seleccionados debe de haber como mínimo 8 mediciones con mediciones simultáneas; la metodología empleada para obtener el promedio espacial fue por medio de un promedio aritmético. Los años que tienen ocho o más estaciones con registros se enlistan en la siguiente tabla, donde también se presentan la lluvia promedio simultánea, el promedio de las lluvias máximas y los factores de reducción para cada uno de estos años.

Tabla 2.74. Resultados de lluvias medias simultáneas máximas anuales para la Cuenca del Puente 2

Año	Estaciones por año	Promedio hp simultánea (mm)	Promedio hp máxima (mm)	Factor de Reducción
1981	8	20.430	56.0	0.365

1982	8	16.955	63.0	0.269
1983	10	18.375	68.0	0.270
1984	13	10.650	55.0	0.194
1985	12	12.000	80.5	0.149
1986	9	11.121	105.2	0.106
1987	11	21.443	300.2	0.071
1988	10	50.914	210.0	0.242
1989	11	27.321	180.0	0.152
1990	8	14.607	200.0	0.073
1991	11	10.000	60.0	0.167
1992	11	21.667	47.0	0.461
1993	12	20.292	190.0	0.107
1994	11	12.100	56.0	0.216
1995	10	13.818	71.5	0.193
1996	11	14.136	64.0	0.221
1997	11	24.855	60.0	0.414
1998	10	18.700	110.0	0.170
Promedio				0.213

Con las lluvias medias simultáneas calculadas se realizó un análisis estadístico asociando a los datos medidos una función de distribución de ajuste, empleando el programa AX. La curva del ajuste se muestra en la figura 2.59 y los resultados de dicho análisis en la tabla 2.75.

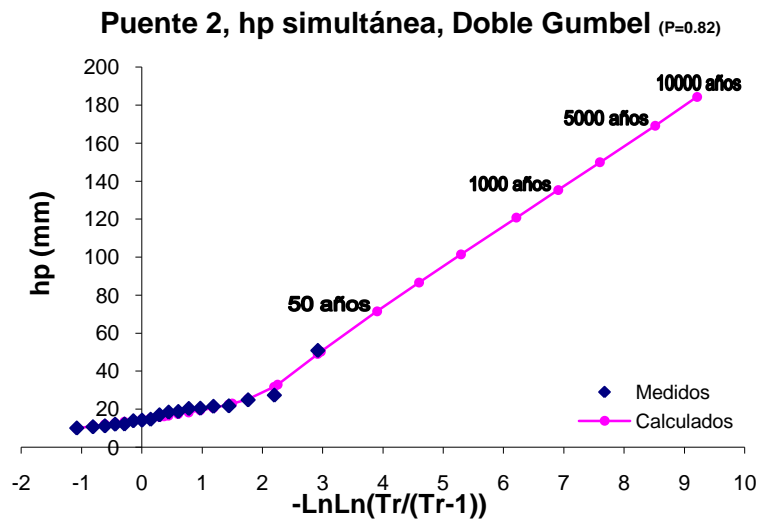


Figura 2.59. Gráfica del análisis estadístico de simultaneidad para la cuenca del Puente 2

Tabla 2.75. Resultados del análisis estadístico de lluvia simultánea del Puente 2

Tr (años)	hp (mm)
2	16.26
5	22.88
10	32.86
20	50.29
50	71.53
100	86.66
200	101.45
500	120.75
1000	135.32
2000	149.89
5000	169.17
10000	184.41

A fin de calcular el factor por reducción por área se divide el valor de la lluvia media simultánea calculada con el promedio aritmético, entre el promedio de la lluvia de los registros individuales

obtenidos con la curva regional de los mismos años empleados en la simultaneidad. En la siguiente tabla se muestran los valores de lluvia individual regionalizada para 10 años de periodo de retorno para las estaciones que se emplearon en el análisis de simultaneidad.

Tabla 2.76. Lluvia regional para 10 años de periodo de retorno de las estaciones de la simultaneidad del Puente 2

Clave	$h_{p_{regional}} 10 \text{ años (mm)}$
5003	89.442
5016	73.558
5032	62.761
5048	73.724
5060	98.137
5130	72.614
5140	98.830
5142	44.247
5145	76.274
5151	47.161
5160	90.968
5162	89.183
5170	153.367
5174	53.384
Promedio	80.261

Este factor se obtuvo empleando los valores calculados de lluvia para un periodo de retorno simultáneo de 10 años. La lluvia media obtenida a partir de los datos de los ajustes regionales es calculada con un promedio de las catorce estaciones de la región, para 10 años el valor obtenido fue de 80.26 mm. Por lo que el factor de ajuste de reducción por área para la cuenca del Puente 2 vale 0.41

$$Fa = \frac{\bar{h}_{p_{simult\ \acute{a}rea}}}{\bar{h}_{p_{individual}}}$$

$$Fa_{tr\ 10} = \frac{32.86}{80.26} = 0.409$$

➤ **Puente 3, Río Aguanaval**

Al aplicar la metodología de simultaneidad a los registros de lluvia de esta cuenca, se estima la lluvia promedio que fue medida por varias estaciones al mismo tiempo, lo que quiere decir que se está corrigiendo la sobreestimación de lluvia que se tiene de los procesos anteriores. Con la lluvia regional se puede estimar el factor de reducción por área, con el cual se pueden corregir las lluvias extrapoladas a varios periodos de años, teniendo como resultado una lluvia más probable.

En este caso, para obtener la lluvia media máxima anual para diferentes años se tomó en consideración que se deben de tener por lo menos 14 registros por año, el método que se empleó para obtener la lluvia media anual fue por medio de promedios aritméticos. Los años considerados para este análisis, así como los valores promedios de la lluvia simultánea y máxima anuales y los factores de reducción asociados a cada año se enlistan en la siguiente tabla.

Tabla 2.77. Resultados de lluvias medias simultáneas máximas anuales para la Cuenca del Puente 3

Año	Estaciones por año	Promedio hp simultánea (mm)	Promedio hp máxima (mm)	Factor de Reducción
1969	19	12.763	61.5	0.208
1970	20	33.930	120.0	0.283
1972	20	26.015	58.0	0.449
1973	19	25.937	77.5	0.335
1974	21	12.810	57.5	0.223
1975	22	26.286	86.0	0.306
1976	22	32.359	82.8	0.391
1977	22	15.291	67.0	0.228
1978	23	20.917	88.0	0.238
1979	23	18.896	63.5	0.298
1980	24	12.483	50.0	0.250
1981	23	19.770	78.5	0.252
1982	25	25.028	65.0	0.385
1983	25	21.556	74.5	0.289
1984	25	14.804	75.0	0.197
1985	20	11.685	85.0	0.137
1987	19	20.710	78.5	0.264
1988	20	13.676	71.7	0.191
1989	23	25.913	87.0	0.298
1990	22	16.073	70.3	0.229
1991	23	22.695	77.2	0.294
1992	24	19.917	96.3	0.207
1993	25	16.460	62.8	0.262
1994	23	12.922	58.0	0.223
1995	23	20.004	60.8	0.329
1996	22	45.305	100.2	0.452
1997	25	14.656	55.5	0.264
1998	23	19.326	65.5	0.295
1999	23	15.413	65.0	0.237
2000	24	20.146	85.0	0.237
2001	20	11.405	76.9	0.148
2005	19	17.100	82.0	0.209
2006	22	16.977	86.2	0.197
			Promedio	0.267

A las precipitaciones promedio de los años seleccionados se les ajustó una función de distribución de probabilidad, utilizando el programa AX para poder obtener la lluvia simultanea extrapolada a diferentes de periodo de retorno, los resultados de este análisis se muestran a continuación.

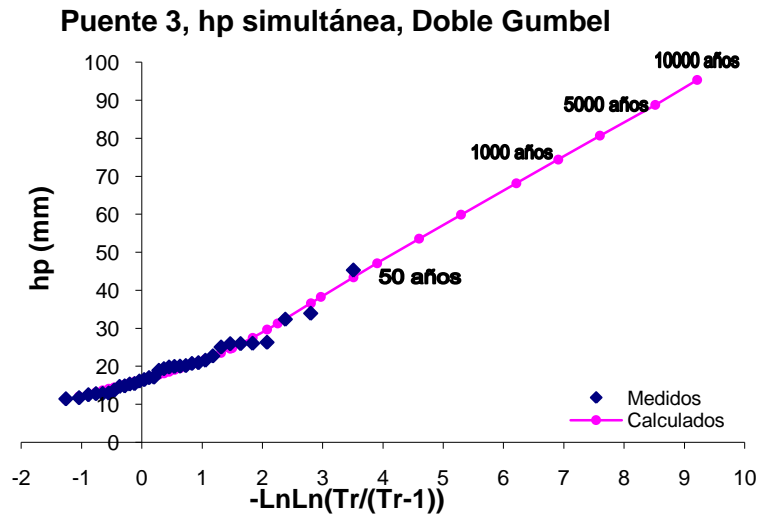


Figura 2.60. Gráfica del análisis estadístico de simultaneidad para la cuenca del Puente 3

Tabla 2.78. Resultados del análisis estadístico de lluvia simultánea del Puente 3

Tr (años)	hp (mm)
2	18.16
5	24.82
10	31.25
20	38.24
50	47.11
100	53.56
200	59.89
500	68.19
1000	74.4
2000	80.67
5000	88.78
10000	95.35

Finalmente, para terminar con este análisis se procedió a calcular el factor de reducción por área, para el cual se necesitó calcular la media de las lluvias de los registros individuales regionalizados para un periodo de retorno de 10 años de todas las estaciones que se tomaron en cuenta en la simultaneidad. En la siguiente tabla se muestran dichos valores.

Tabla 2.79. Lluvia regional para 10 años de periodo de retorno de las estaciones de la simultaneidad del Puente 3

Clave	hp _{regional} 10 años (mm)
5029	46.871
5184	58.066
10059	63.194
10067	46.311
10070	66.577
10074	67.678
10080	69.324
10099	64.226
10187	69.431
32003	62.030
32005	63.908
32006	61.150
32009	57.388
32018	57.383
32020	63.638

32021	69.135
32023	64.821
32028	67.969
32034	64.996
32038	53.205
32045	60.903
32046	69.290
32049	59.230
32050	51.480
32053	62.980
32092	47.500
32096	64.172
32110	59.280
32116	61.553
32129	71.213
32144	61.025
Promedio	61.481

La lluvia media de los datos de los ajustes regionales para 10 años el valor es de 61.48 mm.

El factor por reducción por área se calcula de la misma manera que en el Puente 2, dividiendo el valor de la lluvia media simultánea entre el promedio de la lluvia de los registros individuales regionalizados de los mismos años empleados en la simultaneidad. El factor de reducción por área para esta cuenca vale 0.508.

$$F_{a_{tr\ 10}} = \frac{31.25}{61.48} = 0.508$$

➤ Puente 4, Río Quelite

Las dos estaciones climatológicas que se tomaron en cuenta para todo el análisis, a diferencia de las del puente 1, si tienen registros simultáneos, por lo que este análisis si se pudo llevar a cabo.

A diferencia de las cuencas de los puentes 2 y 3, para esta cuenca el promedio de la lluvia simultánea se calculó por medio de polígonos de Thiessen, ya que así se determina con mayor exactitud la influencia que tiene cada estación en la cuenca. Se empleó al programa *ArcView GIS 3.2* para definir el área de influencia de cada una de las estaciones, para posteriormente calcular la lluvia media anual para el periodo de años seleccionados, que en este caso va de 1980 a 1983 y de 1985 a 1990. Los resultados de las lluvias medias para estos años con la metodología descrita, así como el promedio de las lluvias máximas y los factores de reducción para cada uno de estos años se muestran en la tabla 2.80.

Tabla 2.80. Resultados de lluvias medias simultáneas máximas anuales para la Cuenca del Puente 4

Año	Promedio hp simultánea (mm)	Promedio hp máxima (mm)	Factor de Reducción
1980	129.49	143	0.906
1981	160.00	160	1.000
1982	42.88	58.5	0.733
1983	72.04	109.6	0.657
1985	94.32	99	0.953
1986	80.99	105.5	0.768
1987	55.38	58	0.955

1988	73.83	82.8	0.892
1989	88.71	95.8	0.926
1990	92.36	101.5	0.910
Promedio			0.870

A las lluvias medias calculadas se les ajustó una función de distribución, empleando el programa AX, para poder obtener la lluvia simultánea de la cuenca y proyectarla a periodos de retorno grandes. Los resultados de este análisis se presentan en la tabla 2.81 y la curva del ajuste en la figura 2.61.

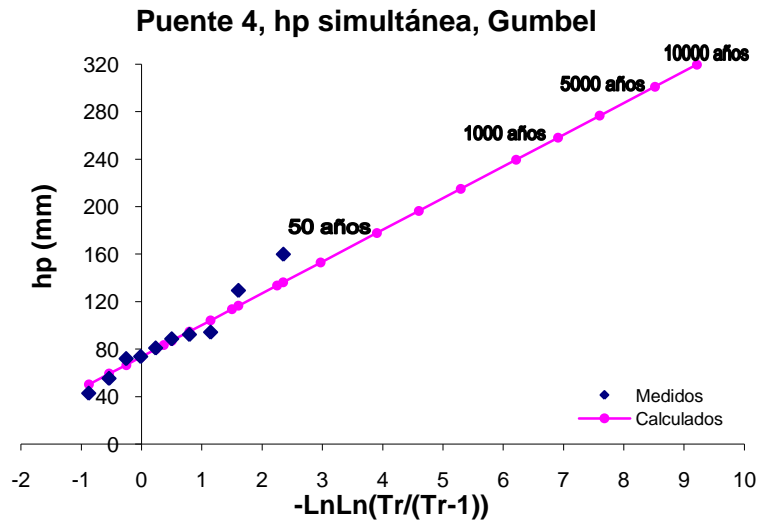


Figura 2.61. Gráfica del análisis estadístico de simultaneidad para la cuenca del Puente 4

Tabla 2.81. Resultados del análisis estadístico de lluvia simultánea del Puente 4

Tr (años)	hp (mm)
2	83.37
5	113.65
10	133.69
20	152.91
50	177.8
100	196.45
200	215.03
500	239.54
1000	258.07
2000	276.58
5000	301.06
10000	319.57

Para calcular el factor por reducción por área se calculó la media de la lluvia de los registros individuales obtenidos con la curva regional para 10 años de periodo de retorno, estos datos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2.82. Lluvia regional para 10 años de periodo de retorno de las estaciones de la simultaneidad del Puente 4

Clave	hp _{regional} 10 años (mm)
25031	149.39
25176	126.79
Promedio	138.09

APLICACIONES

El factor se calculó dividiendo la lluvia simultánea entre la media de las lluvias regionales, ambas calculadas para un periodo de retorno de 10 años. El factor resultante para esta cuenca vale 0.968

$$Fa_{tr\ 10} = \frac{\bar{h}_{p\ simult\ ánea}}{\bar{h}_{p\ individual}} = \frac{133.69}{138.09} = 0.968$$

➤ **Puente 5, Río Baluarte**

El análisis de simultaneidad de esta cuenca se llevó a cabo contemplando que los años seleccionados, debe de haber como mínimo 7 mediciones, y la metodología empleada para obtener los valores máximos anuales fue calculado el promedio aritmético de los registros. Los años que cumplieron con este criterio y los resultados de la lluvia media simultánea y la de las lluvias máximas, así como los factores de reducción para cada año se enlistan en la tabla siguiente.

Tabla 2.83. Resultados de lluvias medias simultáneas máximas anuales para la Cuenca del Puente 5

Año	Estaciones por año	Promedio hp simultánea (mm)	Promedio hp máxima (mm)	Factor de Reducción
1964	7	47.750	160.0	0.298
1965	7	90.013	252.8	0.356
1966	7	49.188	132.0	0.373
1968	7	126.513	300.0	0.422
1969	8	74.022	200.7	0.369
1970	8	51.333	193.0	0.266
1971	8	43.322	150.3	0.288
1972	8	71.056	268.0	0.265
1973	8	35.700	111.5	0.320
1974	9	70.050	194.5	0.360
1975	9	55.200	155.0	0.356
1976	9	41.680	144.0	0.289
1977	8	37.710	95.0	0.397
1978	8	35.220	100.5	0.350
1979	9	69.990	285.0	0.246
1980	9	26.250	128.0	0.205
1981	8	60.190	181.0	0.333
1982	9	50.120	109.7	0.457
1983	8	60.922	200.0	0.305
1985	8	72.144	180.0	0.401
1986	8	94.989	217.3	0.437
1987	7	33.722	161.5	0.209
1988	7	35.667	180.0	0.198
Promedio				0.326

A la precipitación promedio simultánea se le ajustó una función de distribución de probabilidad para así estimar la lluvia regional para varios periodos de retorno, la función que mejor representa la muestra es la función Doble Gumbel. La gráfica de este análisis se muestran en la figura 2.62 y los valores de lluvia extrapolados a diferentes periodos de retorno se enlistan a en la tabla 2.84.

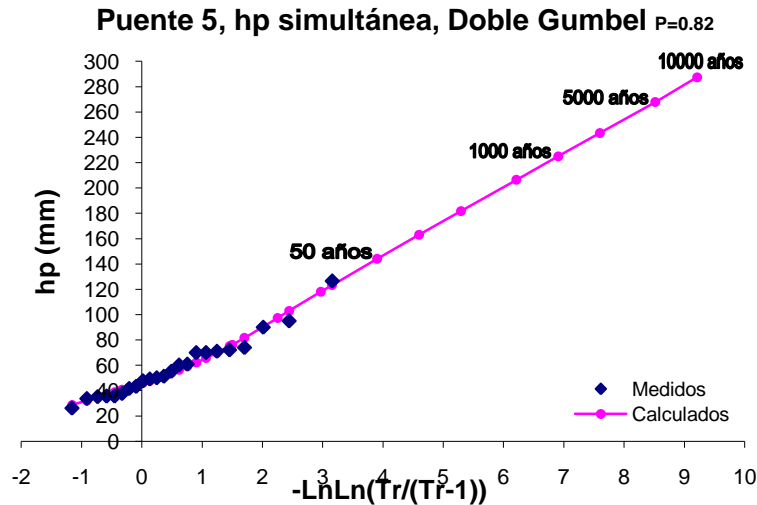


Figura 2.62. Gráfica del análisis estadístico de simultaneidad para la cuenca del Puente 5

Tabla 2.84. Resultados del análisis estadístico de lluvia simultánea del Puente 5

Tr (años)	hp (mm)
2	51.88
5	76.21
10	97.34
20	118.08
50	144.05
100	163.06
200	181.83
500	206.45
1000	224.96
2000	243.48
5000	267.88
10000	287.4

La lluvia regional promedio para 10 años de retorno de las estaciones que se tomaron en cuenta para la simultaneidad es de 161.08 mm, los datos con los cuales se calculó este valor se muestran a continuación.

Tabla 2.85. Lluvia regional para 10 años de periodo de retorno de las estaciones de la simultaneidad del Puente 5

Clave	hp _{regional} 10 años (mm)
10036	146.657
10038	141.707
25029	166.906
25058	138.579
25070	202.695
25073	179.089
25074	156.148
25150	162.396

APLICACIONES

25186	155.542
Promedio	161.08

El factor de reducción por área se calculó dividiendo la lluvia simultánea entre el promedio de la lluvia regional, el cual vale 0.604

$$Fa_{tr\ 10} = \frac{97.34}{161.08} = 0.604$$

➤ **Puente 8, Río Armería**

En la región baja de esta cuenca el método que se empleó para el cálculo de la lluvia media fue el de Polígonos de Thiessen, tomando como parámetro que en los años contemplados en este análisis deben tener por lo menos 8 mediciones, los polígonos se calcularon empleando el programa *ArcView GIS 3.2*. Asociando los valores de las áreas de influencia de cada uno de los polígonos y los registros diarios de cada una de las estaciones, se procedió a calcular la precipitación media para cada día como un promedio pesado de las precipitaciones registradas en cada estación. El promedio de la lluvia simultánea y de las lluvias máximas para cada uno de los años que cuentan con los registros necesarios y los factores de reducción se reportan en la siguiente tabla.

Tabla 2.86. Resultados de lluvias medias simultáneas máximas anuales de la región baja del Puente 8

Año	Estaciones por año	Promedio hp simultánea (mm)	Promedio hp máxima (mm)	Factor de Reducción
1970	8	73.97	115.96	0.638
1971	8	65.07	104.08	0.625
1972	8	50.08	114.93	0.436
1973	8	41.21	62.43	0.660
1977	8	35.56	78.25	0.454
1978	8	41.18	71.76	0.574
1979	8	44.40	67.25	0.660
1980	8	61.08	91.44	0.668
1981	8	48.19	70.66	0.682
1982	8	57.39	110.46	0.520
1983	8	112.12	110.93	1.011
1984	8	33.34	61.02	0.546
1990	11	33.02	60.63	0.545
1991	11	24.36	59.46	0.410
1999	9	257.56	275.10	0.936
		Promedio		0.624

Con las lluvias medias calculadas se hizo un análisis estadístico asociando a los datos medidos las funciones de distribución de ajuste Gumbel y Doble Gumbel, utilizando el programa *AX*, la función que mejor representa a esta población es la función Gumbel. La curva de este ajuste se muestra en la figura 2.63 y las lluvias medias simultáneas de esta región extrapoladas a varios periodos de retorno se muestran en la tabla 2.87.

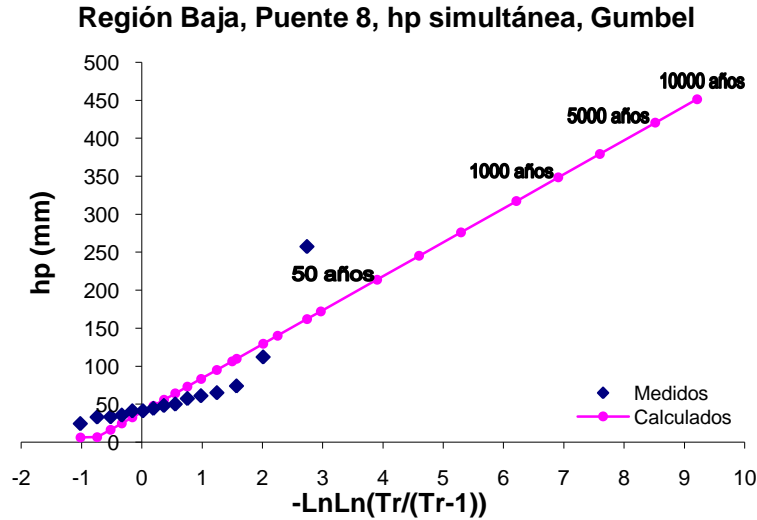


Figura 2.63. Gráfica del análisis estadístico de simultaneidad para la región baja de la cuenca del Puente 8

Tabla 2.87. Resultados del análisis estadístico de lluvia simultánea de la región baja de la cuenca del Puente 8

Tr (años)	hp (mm)
2	55.82
5	106.51
10	140.07
20	172.26
50	213.93
100	245.16
200	276.27
500	317.32
1000	348.34
2000	379.35
5000	420.34
10000	451.34

A fin de calcular los factores por reducción por área se emplean los valores de lluvia asociados a los periodos de retorno simultáneos de 10 y 50 años que se obtuvieron con el análisis de la lluvia media y se calculan los valores medios empleando Polígonos de Thiessen de la lluvia regional de cada una de las estaciones.

La lluvia media obtenida a partir de los datos de los ajustes regionales es calculada como un promedio ponderado de todas las estaciones de la región, para 10 años el valor obtenido fue de 179.09 mm y para el periodo de retorno de 50 años fue de 268.63 mm.

Tabla 2.88. Lluvia regional para 10 y 50 años de periodo de retorno de las estaciones de la simultaneidad de la región baja del Puente 8

Clave	Porcentaje del Área total	hp _{regional} 10 años (mm)	hp _{regional} 50 años (mm)
6007	8.69%	155.38	233.08
6008	7.15%	167.98	251.96
6014	21.63%	177.61	266.42
6015	2.96%	155.95	233.92
6017	17.74%	200.39	300.58
6052	3.13%	158.42	237.63

APLICACIONES

6056	12.28%	188.57	282.85
6066	22.67%	174.81	262.21
6023	3.74%	193.28	289.91
Porcentaje		179.09	268.63

Para calcular los factores se divide el valor de la lluvia media simultánea calculada con los polígonos de Thiessen, entre la lluvia media de los registros individuales obtenidos con la curva regional.

$$Fa_{tr 10} = \frac{140.07}{179.09} = 0.782$$

$$Fa_{tr 50} = \frac{213.93}{268.63} = 0.796$$

Teniendo como valor promedio de los dos factores $Fa = 0.789$

En el caso de la región alta de la cuenca para obtener la lluvia media máxima simultánea anual el método que se empleó fue el promedio aritmético y se fijó que en los años seleccionados debe de haber por lo menos 15 mediciones. Los años y los valores de lluvia media simultánea y media máxima anuales resultantes se enlistan en la siguiente tabla junto con los factores de reducción para cada año.

Tabla 2.89. Resultados de lluvias medias simultáneas máximas anuales de la región alta del Puente 8

Año	Estaciones por año	Promedio hp simultánea (mm)	Promedio hp máxima (mm)	Factor de Reducción
1961	15	46.380	62.187	0.746
1962	15	25.587	53.533	0.478
1963	15	51.140	67.447	0.758
1964	15	20.267	49.513	0.409
1965	16	40.931	51.575	0.794
1966	17	30.329	55.094	0.551
1967	17	66.253	81.665	0.811
1968	16	82.263	92.325	0.891
1969	17	74.724	87.835	0.851
1970	18	21.433	59.589	0.360
1971	18	62.361	79.544	0.784
1972	18	39.122	59.767	0.655
1973	17	26.588	66.453	0.400
1974	18	30.772	58.256	0.528
1975	19	20.589	57.089	0.361
1976	20	65.170	72.750	0.896
1977	20	26.110	48.060	0.543
1978	20	27.015	49.410	0.547
1979	16	31.419	58.525	0.537
1980	22	45.755	61.755	0.741
1981	23	45.239	64.117	0.706
1982	21	64.286	74.143	0.867
1983	21	56.948	66.033	0.862
1984	20	27.410	57.240	0.479
1985	19	22.042	53.063	0.415
1986	20	33.175	59.510	0.557

1987	21	55.443	72.924	0.760
1988	19	32.105	57.600	0.557
1989	17	22.682	56.259	0.403
1991	15	28.840	58.133	0.496
1992	15	58.840	83.240	0.707
1994	15	38.687	53.853	0.718
1995	15	26.893	55.653	0.483
1996	16	27.456	59.238	0.463
1997	16	31.031	63.244	0.491
1998	15	21.887	54.347	0.403
Promedio				0.611

Al igual que en el análisis de simultaneidad de la otra región de la cuenca, con las lluvias medias calculadas se hizo un análisis estadístico. La curva de este ajuste se muestra en la figura 2.64 y los resultados de dicho análisis en la tabla 2.90.

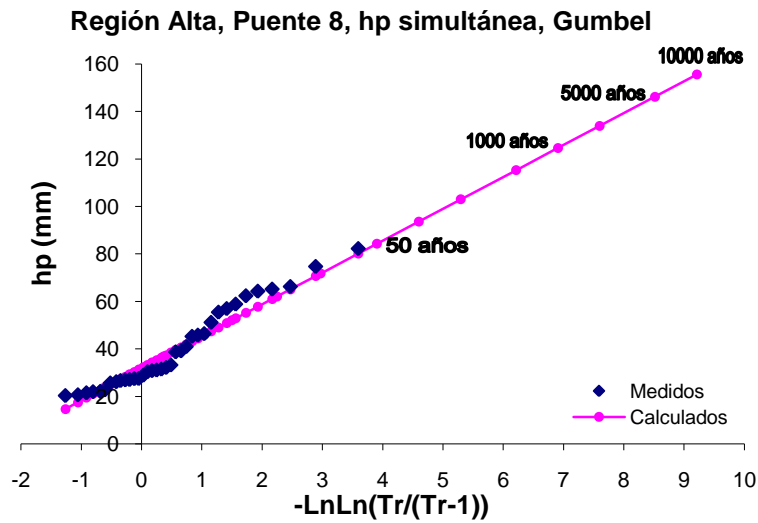


Figura 2.64. Gráfica del análisis estadístico de simultaneidad para la región alta de la cuenca del Puente 8

Tabla 2.90. Resultados del análisis estadístico de lluvia simultánea de la región alta de la cuenca del Puente 8

Tr (años)	hp (mm)
2	36.82
5	52.03
10	62.1
20	71.77
50	84.27
100	93.65
200	102.98
500	115.3
1000	124.61
2000	133.92
5000	146.22
10000	155.53

Con el fin de obtener el factor por reducción por área se divide el valor de la lluvia media simultánea calculada con el promedio aritmético, entre el promedio de la lluvia media de los

registros individuales obtenidos con la curva regional de los mismos años empleados en la simultaneidad que va de 1961 a 1989 y de 1991 a 1998.

Tabla 2.91. Lluvia regional para 10 años de periodo de retorno de las estaciones de la simultaneidad de la región alta del Puente 8

Clave	$h_{p_{regional}} 10 \text{ años (mm)}$
14013	70.906
14014	79.658
14019	96.593
14031	78.764
14041	81.341
14043	98.496
14046	86.705
14050	87.083
14051	107.306
14052	78.613
14078	78.523
14094	115.106
14139	82.096
14142	79.619
14143	86.434
14151	99.860
14155	92.306
14158	86.634
14184	87.237
14185	88.007
14190	81.770
14301	93.631
14311	78.911
14312	77.455
14343	91.740
14350	102.715
14390	80.806
14395	48.654
Promedio	86.320

Este factor se calcula utilizando los valores calculados de lluvia para un periodo de retorno simultáneo de 10 años. La lluvia media obtenida a partir de los datos de los ajustes regionales es calculada con un promedio de todas las estaciones de la región, para 10 años el valor obtenido fue de 62.1 mm.

$$Fa = \frac{\bar{h}_p_{simult\ \acute{a}nea}}{\bar{h}_p_{individual}}$$

$$Fa_{tr\ 10} = \frac{62.1}{86.32} = 0.719$$

2.3. Análisis de las cuencas que no cuentan con datos de escurrimientos

Como ya se mencionó en el subcapítulo 2.2 en las cuencas de los puentes 6 y 7 no se encontró ninguna estación hidrométrica sobre el cauce de estos dos ríos que pudiera emplearse para generar los hidrogramas de diseño que son el objetivo principal de este estudio.

La metodología que se adoptó para generar dichos hidrogramas consiste en transformar las lluvias registradas en estos sitios en gastos, por lo que es necesario llevar a cabo el mismo procedimiento realizado para las estaciones climatológicas que se encuentran en las cuencas de los demás puentes.

2.3.1. Análisis de precipitaciones máximas

Se analizaron los registros de lluvia de las estaciones que se muestran en la siguiente figura de forma individual y regional, después se determinó la lluvia simultánea para las cuencas, y así finalizar este análisis calculando los coeficientes de reducción por área de cada una de estas cuencas.

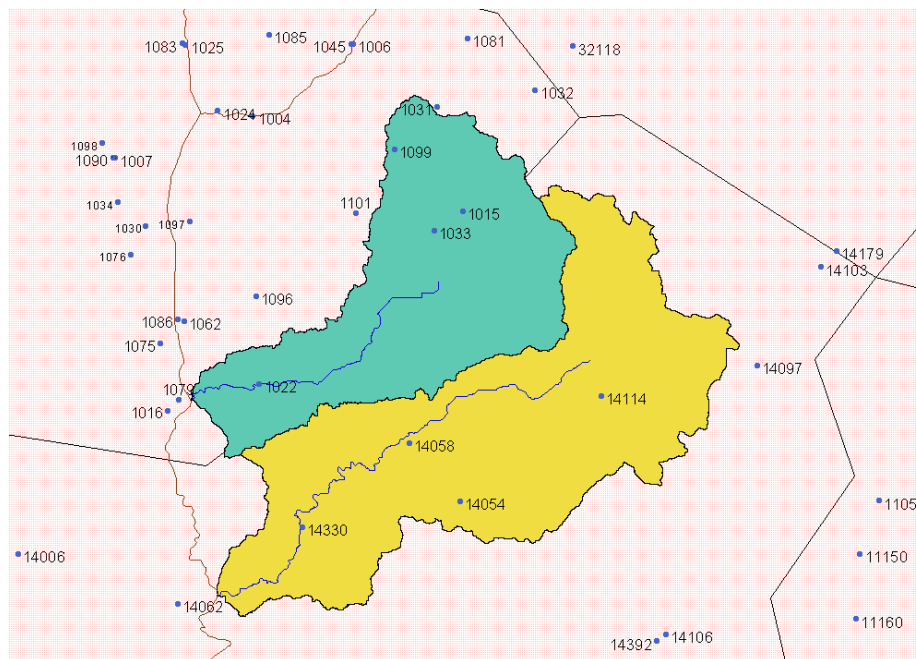


Figura 2.65. Cuencas de los Puentes 6 y 7 y localización de las estaciones climatológicas

La información climatológica empleada se extrajo, al igual que los registros de las demás estaciones climatológicas que se han utilizado en este estudio, de la base de datos CLICOM del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

Los datos generales de las estaciones que se tomaron en cuenta para el estudio de estas cuencas se muestran en la tabla 2.92.

Tabla 2.92. Datos generales de las estaciones climatológicas de las cuencas de los Puentes 6 y 7

Clave	Nombre	Latitud		Longitud		Años	Estado
		grados	minutos	grados	minutos		
1004	Cañada Honda, Aguascalientes	22	0	102	11	70-07	Aguascalientes
1006	El Tule, Asientos	22	5	102	6	41-88	Aguascalientes
1007	Jesús María, Jesús María	21	57	102	21	41-88	Aguascalientes
1015	Palo Alto, El Llano	21	54	101	58	67-07	Aguascalientes
1016	Ganadería Peñuelas	21	42	102	18	45-72/76	Aguascalientes
1022	San Bartolo, Aguascalientes	21	44	102	10	49-07	Aguascalientes
1024	San Isidro, El Llano	21	46	102	6	69-07	Aguascalientes
1025	San F. de los Romos (SMN)	22	15	102	17	26-32/41-83	Aguascalientes

APLICACIONES

1030	Aguascalientes, Aguascalientes	21	53	102	18	47-07	Aguascalientes
1031	El Novillo, El Llano	22	1	101	59	72-07	Aguascalientes
1032	Las Fraguas, El Llano	22	2	101	53	71-07	Aguascalientes
1033	Los Conos, El Llano	21	53	101	59	71-07	Aguascalientes
1034	Sandoval, Aguascalientes	21	53	102	6	72-07	Aguascalientes
1045	El Tule, Asientos	22	4	102	5	74-07	Aguascalientes
1062	Arellano, Aguascalientes	21	48	102	16	49-56/79-07	Aguascalientes
1063	Peñuelas, Aguascalientes	21	48	102	7	42-60	Aguascalientes
1075	Montoro, Aguascalientes	21	45	102	18	79-07	Aguascalientes
1076	Los Negritos, Aguascalientes	21	52	102	20	79-07	Aguascalientes
1079	Peñuelas, Aguascalientes	21	43	102	16	79-07	Aguascalientes
1081	Rancho Seco, El Llano	22	5	101	58	79-07	Aguascalientes
1083	San Fco. de los Romos, San Fco. de los R.	22	4	102	16	79-07	Aguascalientes
1085	Tepetatillo, San Fco. de los Romos	22	5	102	10	79-90-/94-07	Aguascalientes
1086	Arellano, Ags. (DGE)	21	48	102	16	79-90	Aguascalientes
1090	Jesús María, Jesús María	21	57	102	20	79-86/88-07	Aguascalientes
1096	Calvillito, Aguascalientes	21	50	102	10	83-07	Aguascalientes
1097	Aguascalientes 2, Aguascalientes	21	54	102	15	95-07	Aguascalientes
1098	La Posta UAA, Jesús María	21	58	102	21	86-07	Aguascalientes
1099	Jesús Terán (El Muerto)	21	58	102	3	85-07	Aguascalientes
1101	Las Presas, El Llano	21	54	102	5	86-07	Aguascalientes
11050	Ocampo, Ocampo (SMN)	21	38	101	31	51-70/74-07	Guanajuato
11150	San José el Alto, Abasolo	21	34	101	32	79-07	Guanajuato
11160	San Isidro, Ocampo	21	30	101	32	80-91/94-07	Guanajuato
14006	Ajojúcar, Teocaltiche	21	33	102	26	40-41/61-07	Jalisco
14054	El Puesto, I. de Moreno	21	38	101	57	65-74/76-07	Jalisco
14058	El Tecuán, E. de Díaz	21	35	102	12	70-90	Jalisco
14062	Encarnación de Díaz,	21	31	102	14	39-98	Jalisco
14097	Matanzas, Ojuelos de Jalisco	21	56	101	39	64-75	Jalisco
14103	Ocotlán, Ocotlán (SMN)	21	52	101	35	42-85	Jalisco
14106	Paso de Cuarenta	21	29	101	44	41-89	Jalisco
14114	Presa la Duquesa	21	44	101	49	59-07	Jalisco
14179	Ojuelos de Jalisco (DGE)	21	52	101	35	86-89/91-07	Jalisco
14330	Sauces Chicos, E. de Díaz	21	33	102	4	78-90	Jalisco
14392	Presa el Cuarenta, I. M.	21	29	101	45	90-08	Jalisco
32118	Los Campos, Villa García	22	1	101	51	79-06	Zacatecas

2.3.1.1. Análisis individual de lluvias

A los registros de lluvia de cada una de las estaciones citadas se les ajustaron las funciones de distribución Gumbel y Doble Gumbel, para posteriormente determinar cual de las dos funciones genera el mejor ajuste a los datos medidos, este proceso se llevó a cabo empleando el programa AX. Los resultados del ajuste para los datos de la estación Cañada Honda, Aguascalientes (1004) se presentan a continuación, en la figura 2.66 se muestra la curva del ajuste obtenida con la función Doble Gumbel y en la tabla 2.93 se enlistan los valores de lluvia extrapolados a diferentes periodos de retorno significativos calculados con la función de ajuste. Los resultados de los análisis estadísticos de las demás estaciones se encuentran en el anexo F.

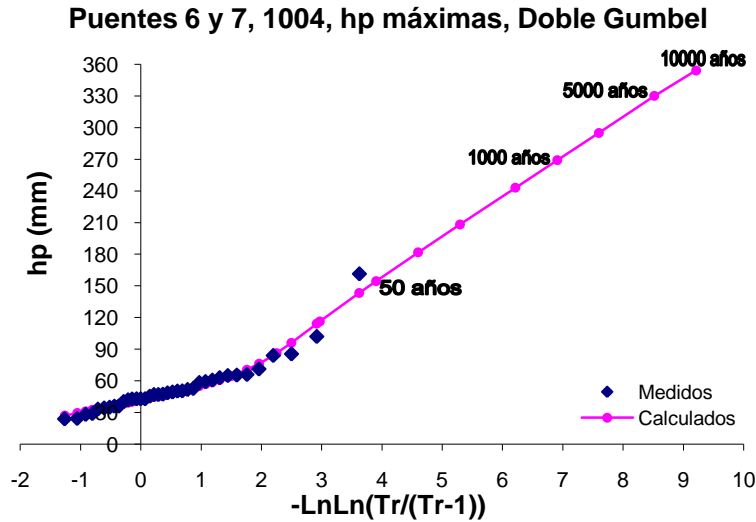


Figura 2.66. Gráfica del análisis estadístico de lluvias máximas de la estación Cañada Honda (1004)

Tabla 2.93. Resultados del análisis estadístico de lluvias máximas de la estación Cañada Honda (1004)

Tr (años)	hp (mm)
2	46.55
5	64.6
10	86.15
20	116.32
50	154.51
100	181.73
200	208.33
500	242.96
1000	269.1
2000	295.04
5000	330.03
10000	354.16

2.3.1.2. Regionalización de lluvias

El análisis regional se realizó conjuntamente ya que estas cuencas se encuentran juntas y sus áreas son pequeñas en comparación con las demás, el análisis regional de dichas cuencas por separado pudo haber sido muy similar al que se obtuvo haciendo el análisis para las dos cuencas juntas.

Los registros de lluvia de todas las estaciones se estandarizaron y a todos estos valores agrupados se les ajustaron las funciones de distribución Gumbel y Doble Gumbel para determinar cuál de las dos funciones genera la mejor curva regional. La curva regional más adecuada se determinó con la función Gumbel, la cual se muestra a continuación, en la tabla 2.94 se enlistan los factores de regionalización para los periodos de retorno más significativos.

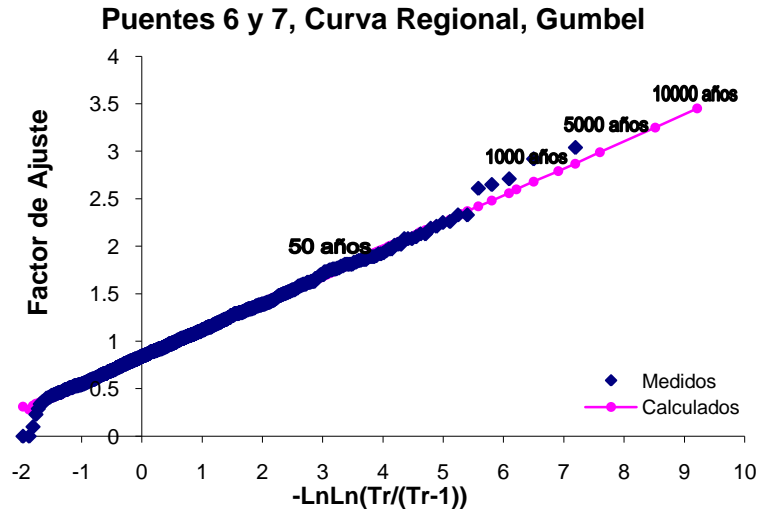


Figura 2.67. Gráfica del análisis estadístico regional para las cuencas de los Puentes 6 y 7

Tabla 2.94. Resultados del análisis estadístico de la Curva Regional de los Puentes 6 y 7

Tr (años)	Factor
2	0.94
5	1.26
10	1.47
20	1.68
50	1.94
100	2.14
200	2.34
500	2.6
1000	2.79
2000	2.99
5000	3.25
10000	3.45

Una vez obtenida la curva regional, se procedió a calcular la lluvia para cada una de las estaciones, multiplicando la lluvia media de cada estación por los factores regionales. Los resultados del ajuste regional para la estación Cañada Honda, Aguascalientes (1004) se muestran a continuación, en la figura 2.68 se presentan las curvas de las lluvias regional e individual a manera de comparación y en la tabla 2.95 se encuentran las lluvias extrapoladas por los dos métodos para distintos periodos de retorno. Los resultados de los análisis de las demás estaciones se presentan en el anexo F.

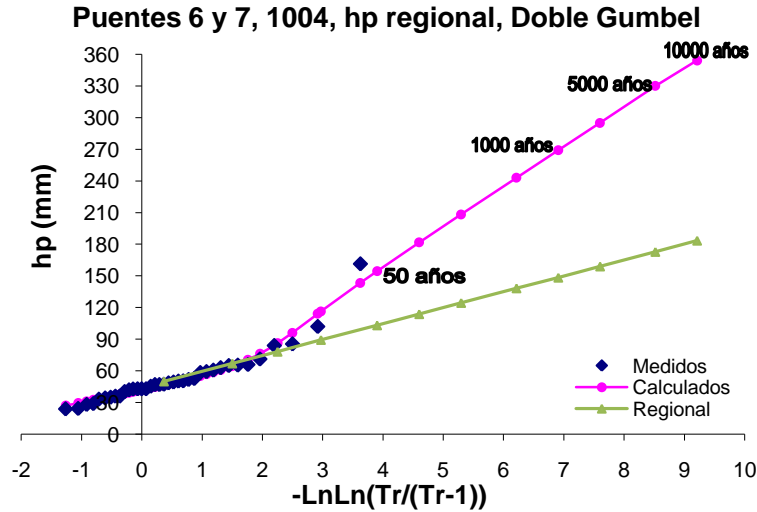


Figura 2.68. Gráfica del análisis regional de lluvias máximas de la estación Cañada Honda (1004)

Tabla 2.95. Resultados del análisis regional de lluvias máximas de la estación Cañada Honda (1004)

Tr (años)	hp (mm)	
	Individual	Regional
2	46.55	49.95
5	64.6	66.95
10	86.15	78.11
20	116.32	89.27
50	154.51	103.09
100	181.73	113.71
200	208.33	124.34
500	242.96	138.16
1000	269.1	148.25
2000	295.04	158.88
5000	330.03	172.70
10000	354.16	183.33

2.3.1.3. Simultaneidad de lluvias

Con el fin de obtener la lluvia media simultánea máxima anual de estas regiones se empleó el método del promedio aritmético. A diferencia de la regionalización, en el análisis de simultaneidad se calcularon las lluvias medias simultáneas independientemente, para la cuenca del puente 6 se decidió que deben de haber por lo menos 7 registros como mínimo por año y el periodo de años el cual cumple con este criterio es de 1985 a 2006. En la cuenca del puente 7, como se tienen menos estaciones dentro de la misma, el mínimo de registros por año que se estipuló fue de 4 y los años que se cumplen con este requisito son 1966, 1968 a 1975, y de 1977 a 1989. Los valores de las lluvias medias simultáneas, el promedio de las máximas anuales y los factores de reducción resultantes para los años mencionados para las dos cuencas se enlistan en las siguientes tablas.

Tabla 2.96. Resultados de lluvias medias simultáneas máximas anuales para la Cuenca del Puente 6

Año	Estaciones por año	Promedio hp simultánea (mm)	Promedio hp máxima (mm)	Factor de Reducción
1985	7	28.029	50.986	0.550
1986	8	29.438	50.375	0.584
1987	8	33.925	43.188	0.786
1988	7	43.186	57.243	0.754
1989	8	26.863	45.275	0.593
1990	7	55.414	64.414	0.860
1991	8	38.000	51.525	0.738
1992	8	50.125	59.188	0.847
1993	8	36.588	46.363	0.789
1994	8	21.613	39.150	0.552
1995	8	43.950	43.950	1.000
1996	8	24.713	47.288	0.523
1997	8	21.950	35.688	0.615
1998	8	27.125	47.125	0.576
1999	8	23.663	39.388	0.601
2000	8	27.675	44.263	0.625
2001	8	29.725	59.213	0.502
2002	8	45.263	53.538	0.845
2003	8	28.125	55.738	0.505
2004	8	36.588	49.213	0.743
2005	8	22.663	40.288	0.563
2006	8	33.175	45.325	0.732
Promedio				0.676

Tabla 2.97. Resultados de lluvias medias simultáneas máximas anuales para la Cuenca del Puente 7

Año	Estaciones por año	Promedio hp simultánea (mm)	Promedio hp máxima (mm)	Factor de Reducción
1966	4	39.400	56.325	0.700
1968	4	26.400	37.500	0.704
1969	4	30.775	43.375	0.710
1970	4	23.100	51.500	0.449
1971	5	33.020	48.720	0.678
1972	4	42.250	63.875	0.661
1973	5	27.620	49.880	0.554
1974	4	18.925	27.325	0.693
1975	4	32.300	60.025	0.538
1977	4	36.975	48.750	0.758
1978	4	29.025	52.725	0.550
1979	5	19.740	32.080	0.615
1980	5	23.960	41.640	0.575
1981	5	28.940	35.580	0.813
1982	5	49.900	63.900	0.781
1983	5	20.320	31.600	0.643
1984	5	33.120	39.960	0.829
1985	5	25.380	47.540	0.534
1986	5	28.400	52.100	0.545
1987	5	34.700	47.260	0.734
1988	5	34.520	62.000	0.557
1989	5	34.380	78.900	0.436
Promedio				0.639

A las lluvias medias simultáneas máximas anuales calculadas se les ajustaron varias funciones de distribución, empleando el programa AX, para poder determinar con que función se obtiene el mejor ajuste. Los resultados de los dos análisis realizados se muestran en la tabla 2.98 para el puente 6 y en la tabla 2.99 para el puente 7, y las curvas de estos ajustes se presentan en las figuras 2.69 y 2.70, respectivamente.

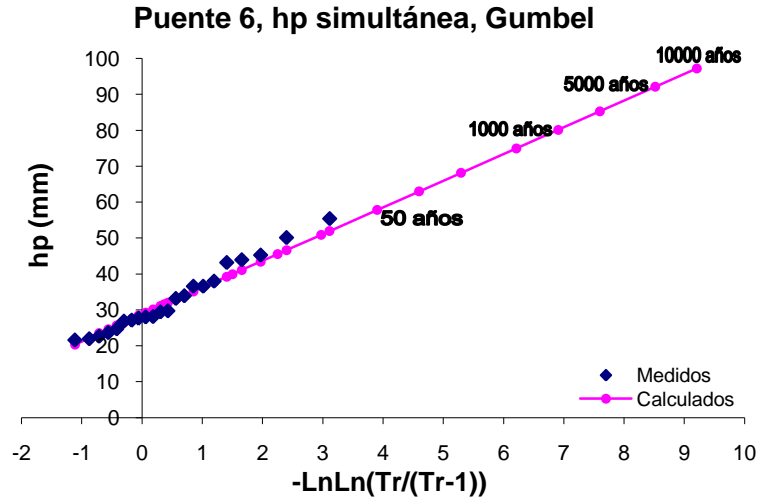


Figura 2.69. Gráfica del análisis estadístico de simultaneidad para la cuenca del Puente 6

Tabla 2.98. Resultados del análisis estadístico de lluvia simultánea del Puente 6

Tr (años)	hp (mm)
2	31.52
5	39.94
10	45.52
20	50.87
50	57.79
100	62.98
200	68.15
500	74.98
1000	80.13
2000	85.29
5000	92.1
10000	97.25

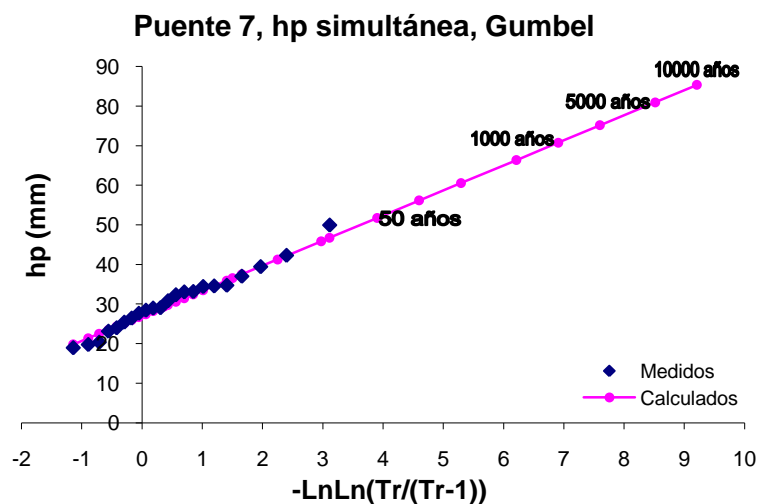


Figura 2.70. Gráfica del análisis estadístico de simultaneidad para la cuenca del Puente 7

Tabla 2.99. Resultados del análisis estadístico de lluvia simultánea del Puente 7

Tr (años)	hp (mm)
2	29.34
5	36.52
10	41.27
20	45.83
50	51.73
100	56.15
200	60.56
500	66.37
1000	70.76
2000	75.15
5000	80.96
10000	85.35

Una vez calculadas las lluvias medias simultáneas máximas para distintos periodos de retoños se procedió a determinar los factores de reducción por área, dividiendo los valores de la lluvia media simultánea para 10 años de periodo de retorno, entre el promedio de las lluvias máximas individuales obtenidas a partir de la curva regional de los mismos años empleados en el análisis de simultaneidad también para el mismo periodo de retorno.

La lluvia media obtenida a partir de los datos de los ajustes regionales es calculada con un promedio de las estaciones de la región. Para la cuenca del puente 6, para 10 años el valor obtenido fue de 69.57 mm, los valores empleados se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 2.100. Lluvia regional para 10 años de periodo de retorno de las estaciones de la simultaneidad del Puente 6

Clave	hp _{regional} 10 años (mm)
1015	68.062
1022	73.738
1031	76.508
1033	69.224
1062	57.211
1096	65.255
1099	71.653
1101	74.877
Promedio	69.57

El factor de reducción por área para esta cuenca vale 0.654

$$Fa_{tr\ 10} = \frac{\bar{h}_{p\ simult\ ánea}}{\bar{h}_{p\ individual}} = \frac{45.52}{69.57} = 0.654$$

Para la cuenca del puente 7, para 10 años la lluvia media obtenida a partir de los datos de los ajustes regionales fue de 71.58 mm y el factor de reducción por área obtenido vale 0.577. En la siguiente tabla se muestran los valores de lluvia regionales que se emplearon en el cálculo de este factor.

Tabla 2.101. Lluvia regional para 10 años de periodo de retorno de las estaciones de la simultaneidad del Puente 7

Clave	hp _{regional} 10 años (mm)
14054	75.831

14058	71.993
14062	73.390
14097	71.155
14114	69.101
14330	67.996
Promedio	71.58

$$Fa_{tr\ 10} = \frac{41.27}{71.58} = 0.577$$

2.4. Relación lluvia-escorrimento

La metodología para estimar y dibujar los hidrogramas de las cuencas de los puentes 6 y 7, que como ya se mencionó no cuentan con registros de gastos ya que no existe una estación hidrométrica sobre los cauces que cruzan dichos puentes, parte de la determinación de los coeficientes de escurrimiento y de los tiempos de concentración.

2.4.1. Relación de coeficientes de escurrimiento y cálculo del volumen de los hidrogramas

Para determinar los coeficientes de escurrimiento de cada una de las cuencas que cuentan con registros de gastos, se dividió el volumen de escurrimiento directo de los hidrogramas entre el volumen de lluvia de un día, para el mismo periodo de retorno. El volumen de lluvia se calculó multiplicando el área de la cuenca por la lluvia promedio en la cuenca, que anteriormente fue afectada por el factor de reducción por área.

Posteriormente se calculó el coeficiente de escurrimiento teórico empleando el método de los números de escurrimiento, el cual toma en cuenta las características de la cuenca y relaciona el número de escurrimiento con la precipitación total para obtener la precipitación efectiva. El coeficiente de escurrimiento se obtuvo dividiendo la precipitación efectiva entre la precipitación total (ecuación 1.29). La precipitación efectiva se obtuvo con la ecuación sugerida por el USSCS (ecuación 1.28).

El número de escurrimiento de cada cuenca se determinó como el promedio pesado de los números de curva de cada parte de las cuencas, los cuales se establecen según el tipo de suelo y el uso de la tierra.

Analizando la relación entre los coeficientes de escurrimiento teóricos, obtenidos con base en el tipo y uso del suelo, y los calculados a partir de los hidrogramas, para las cuencas de los puentes 1, 2, 3 y 8, que se muestran en la tabla 2.102, se pueden estimar los valores de los coeficientes de escurrimiento de las cuencas que no tienen datos hidrométricos. Siendo conservadores los valores asignados fueron 0.14 y 0.12 para los puentes 6 y 7 respectivamente.

Los hidrogramas de las cuencas de los puentes 4 y 5 se calcularon para lluvias muy superiores a las de las cuencas 6 y 7, por lo que sus coeficientes de escurrimiento no pueden ser un parámetro de comparación para estimar los coeficientes de escurrimiento para las cuencas de los puentes 6 y 7.

En la tabla 2.102 se resumen los volúmenes calculados y los valores obtenidos de los coeficientes de escurrimiento para las cuencas de cada puente.

Tabla 2.102. Coeficientes de escurrimiento de las cuencas de los 8 puentes de ferrocarril

Puente	Área (km ²)	Precipitación Media (mm)	Volumen de Lluvia (Mm ³)	Volumen Escurrido (Mm ³)	Coefficiente de Escurrimiento	N	Lluvia Efectiva (mm)	Coefficiente de Escurrimiento teórico
1	2621.00	181.51	475.74	44.97	0.095	61.22	71.888	0.396
2	10975.73	73.17	803.12	43.46	0.054	60.79	7.994	0.109
3	21037.00	50.39	1060.02	71.54	0.067	69.22	5.491	0.109
4	1104.91	203.21	224.53	83.29	0.371	67.28	105.503	0.519
5	4785.48	219.42	1050.05	1217.12	1.159	67.45	119.659	0.545
6	740.00	64.90	48.02		0.140	81.94	26.291	0.405
7	1097.00	57.31	62.87		0.120	78.03	16.150	0.282
8	9743.69	125.51	1222.90	419.73	0.343	72.94	56.630	0.451
8 (sin Q _{base})	9743.69	125.51	1222.90	197.27	0.161	72.94	56.630	0.451

Con el fin de calcular el volumen de lluvia efectiva también llamado volumen de escurrimiento directo, se multiplicó el coeficiente de escurrimiento por el volumen de lluvia para las dos cuencas.

$$V_{esc} = V_{lluvia} \times C_{esc}$$

Para la cuenca del Puente 6 se obtuvo un volumen de escurrimiento de 6.723 Mm³ y para la cuenca del Puente 7 de 7.544 Mm³.

Dado que el volumen de escurrimiento directo es el área bajo la curva del hidrograma, para un hidrograma triangular este volumen se puede calcular con la fórmula: $V_{esc} = \frac{t_b \times Q_p}{2}$

Por otra parte, del análisis de los tiempos de concentración, tomando en cuenta las cuencas de área pequeña, se decidió que lo más conveniente es que los tiempos picos para estos hidrogramas sean iguales a los tiempos de concentración, los cuales se calcularon empleando la fórmula de Kirpich (ecuación 1.23). Para la cuenca del Puente 6 el tiempo de concentración es de 8.5 horas y para la cuenca del Puente 7 es de 15 horas.

En la siguiente tabla se muestran las características hidrológicas de cada una de las cuencas las cuales se emplearon para determinar los tiempos de concentración.

Tabla 2.103. Tiempos de concentración y de pico de los ríos de los 8 puentes de ferrocarril

Puente	Río	Área (km ²)	Longitud (km)	Cota más alta (m)	Cota más baja (m)	Pendiente	Tiempo de concentración (h)	Tiempo Pico (h)	Tp/Tc
1	Río Escondido	2,943.50	160.00	1055	220	0.00522	24.99	48	1.92
2	Río Ramos	10,975.73	144.75	3440	730	0.01872	14.15	6.40	0.45
3	Río Aguanaval	21,037.00	400.00	2200	1250	0.00238	68.52	8.99	0.13
4	Río Quelite	945.94	79.32	1479	10	0.01852	8.94	7.66	0.86
5	Río Baluarte	4,785.48	165.50	2920	10	0.01758	16.07	8.99	0.56
6	Río Peñuelas	739.54	55.00	2433	1872	0.01020	8.48		
7	Río San Pedro	1,097.02	92.00	2436	1837	0.00651	14.99		
8	Río Armería	9,743.69	230.00	2600	20	0.01122	24.62	8.99	0.37

2.4.2. Forma de los hidrogramas

Los hidrogramas de los ríos de estos dos puentes se generaron de la misma manera que los otros 6 hidrogramas, empleando la metodología del hidrograma triangular, para lo cual se calcularon los tiempos bases y los gastos pico para cada hidrograma como se describe a continuación.

El tiempo base se determinó con la ecuación de Mockus. Por lo tanto el tiempo base del hidrograma de la cuenca del Puente 6 es:

$$t_b = 2.67t_p = 2.67 \times 8.5 = 22.695 \text{ h} = 81\,702 \text{ s}$$

y para la cuenca del Puente 7:

$$t_b = 2.67 \times 15 = 40.05 \text{ h} = 144\,180 \text{ s}$$

El gasto pico se despeja de la ecuación del volumen de escurrimiento directo, por lo tanto:

$$Q_p = \frac{2V}{t_b}$$

Para la cuenca del Puente 6 se tiene que:

$$Q_p = \frac{2 \times (6.723 \times 10^6)}{81\,702} = 164.57 \text{ m}^3/\text{s}$$

y para la cuenca del Puente 7:

$$Q_p = \frac{2 \times (7.544 \times 10^6)}{144\,180} = 104.65 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dado que las lluvias que se presentan en estas cuencas tienen una duración menor a un día y las áreas de las cuencas son pequeñas, los hidrogramas se estimaron sin gasto base.

En las siguientes figuras se muestran los hidrogramas resultantes de los ríos de las cuencas de los puentes 6 y 7.

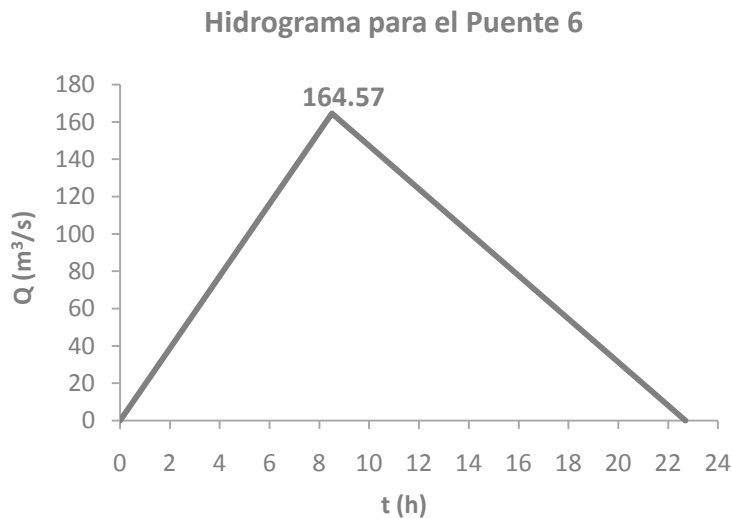


Figura 2.71. Hidrograma triangular del río Peñuelas para el Puente 6 (TR=100 años)

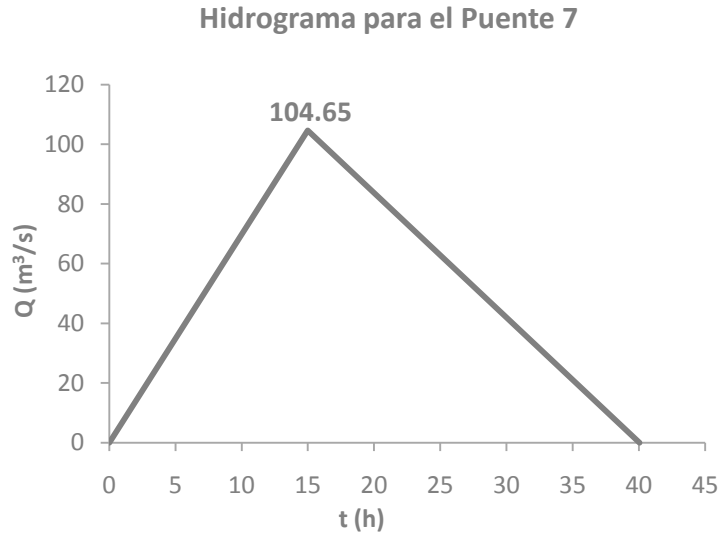


Figura 2.72. Hidrograma triangular del río San Pedro para el Puente 7 (TR=100 años)