

Tabla 6.9. Hidrogramas (m³/s) para diferentes periodos de retorno

día\Tr años	Hidrogramas (m ³ /s) para diferentes periodos de retorno					
	Tr=2	Tr=5	Tr=10	Tr=20	Tr=50	Tr=100
1	632.65	797.2	1026.46	1250	1520.58	1714.3
2	550.14	793.75	1053.01	1284	1560.87	1760
3	686.47	885.63	1163.08	1492	1894.3	2185.59
4	706.94	970.11	1171.02	1286	1415.64	1507.47
5	692.39	1051.48	1294.3	1349	1392.13	1422.16
6	766.12	996.29	1276.92	1549	1869.82	2099.73
7	1287.68	1662.92	2094.82	2513	3012	3371.06
8	1453.02	1754.98	2311.68	2921	3625.95	4130.93
9	1363.37	1694.32	2208.46	2737	3353.28	3795.75
10	1176.1	1525.21	1919.77	2288	2729.53	3046.77
11	1101.07	1394.85	1686.48	2018	2428.69	2724.84
12	945.31	1171.91	1418.95	1667	1967.25	2184.65
13	852.88	1081.11	1317.22	1580	1907.2	2143.42
14	781.8	1114.77	1328.41	1497	1722.35	1888.12
15	750.64	1100.02	1290.88	1335	1386.42	1428.96
16	665.75	787.12	1004.77	1364	1819.71	2151.66
17	640.88	747.62	978.7	1330	1767.14	2082.46
18	608.48	732.24	923.33	1203	1552.41	1806.81
19	631.29	812.49	902.36	983.4	1101.68	1188.09
20	644.32	921.51	1010.15	998.6	994.07	996.85
21	700.07	938.54	1014.14	998.8	984.8	976.65
22	674.79	915.67	936.2	879.6	820.27	784.94
23	660.14	909.39	924.55	884.5	852.44	835.61
24	611.45	841.25	881.09	908.2	965.36	1016.75
25	594.14	821.8	954.34	1095	1288.45	1435.83
26	618.95	865.85	904.03	929.6	988.3	1040.42
27	564.31	832.94	944.44	988.7	1031.81	1063.92
28	515.87	753.71	845.68	871.1	889.53	903.41
29	504.06	653.78	743.48	810.6	892.02	950.13
30	527.57	755.11	789.94	769.1	737.93	715.98
31	517.51	855.68	886.41	778	608.81	484.14
32	537.34	811.81	979.63	1104	1249.45	1352.83
33	614.52	761.97	951.14	1140	1370.49	1543.08
34	572.94	780.71	908.38	1006	1124.81	1209.79
35	535.65	676.95	793.2	911.6	1061.59	1170.3
36	527.96	629.61	693.76	778.2	896.7	983.55
37	493.15	644.66	674.35	701.4	741.68	782.21
38	474.67	659.42	696.3	699	699.66	699
39	490.95	622.32	699.44	790.2	914.96	1007.56
40	487.31	572.13	691.04	867	1111.64	1294.61
41	503.04	534.94	605.72	744.5	948.82	1108.31
42	501.74	512.75	545.67	643.5	793.29	911.84
43	537.56	616.38	641.19	708.3	821.7	917.05
44	588.36	759.58	780.69	802.1	849.45	889.97
45	607.97	695.05	700.14	725	777.13	818.11
46	608.25	662.16	641.85	638.5	649.46	669.28
47	572.41	617.86	593.26	586.5	598.61	612.37
48	563.1	632.78	610.02	592.6	585.43	589
49	560.11	698.55	681.73	644.6	602.39	575.02
50	516.6	735.16	736.1	676.3	577.55	496.42
51	480.36	640.13	692.5	709.1	715.14	719.64
52	459.82	560.96	655.09	742.1	847.69	927.24
53	465.97	538.77	612.39	692.1	799.23	876.51
54	475.14	563.54	615.8	661.8	714.41	756.63
55	450.49	531.94	598.34	661.9	744.31	799.13
56	427.87	528.11	591.4	648.8	720.62	776.5

La Figura 6.7 muestra los hidrogramas para los diferentes periodos de retorno de la EH 29005 Las Perlas y en la Figura 6.8 los de la EH 29008 Tierra Morada.

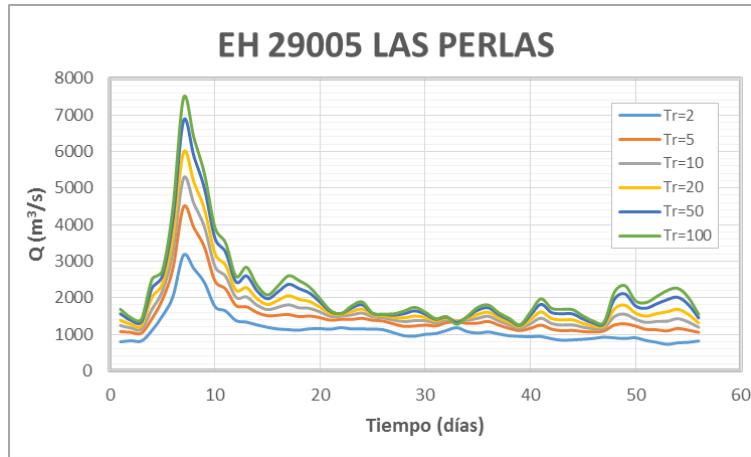


Figura 6.7. Hidrogramas para diferentes periodos de retorno de la EH 29005

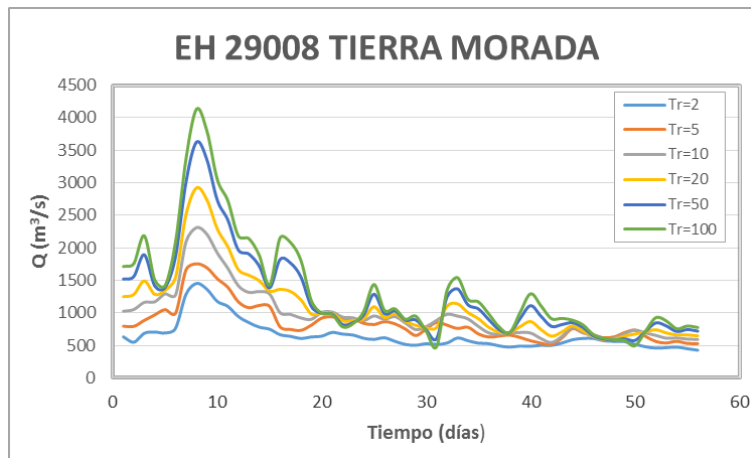


Figura 6.8. Hidrogramas para diferentes periodos de retorno de la EH 29008

4.6.2.2 Hidrogramas de la cuenca Chalchijapa (C1)

En el análisis del registro histórico de la estación hidrométrica 29005 se detectó gastos mayores de 6000 m³/s, el mayor de ellos, de 6737.36 m³/s, se presentó el 2 de septiembre de 1973, el segundo en magnitud (6497.67 m³/s) se presentó el 24 de septiembre de 1963,

el tercero (6399.94 m³/s) el 29 de septiembre del 2010 y el cuarto (6336.78 m³/s) el 23 de septiembre de 1978.

Con la finalidad de encontrar simultaneidad entre lluvia y escurrimiento se analizó los registros de las estaciones climatológicas y se encontró que del 19 al 28 de septiembre de 1978 varias estaciones registraron lluvias mayores de 100 mm.

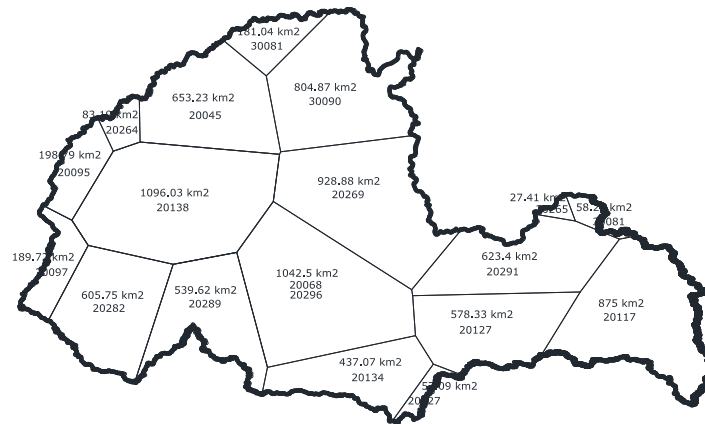


Figura 6.9. Estaciones climatológicas que influyen en la cuenca Coatzacoalcos – Jaltepec (C0)

La estación Las Perlas registra los escurrimientos de la cuenca Coatzacoalcos – Jaltepec (C0) que se muestra en la Figura 6.9. En la misma figura se muestran las estaciones climatológicas que influyen directamente en la cuenca según los polígonos de Thiessen.

La Tabla 6.8 muestra los datos de lluvia registrados entre el 19 y 28 de septiembre de 1978.

Tabla 6.8. Registros de lluvia (mm) de las estaciones climatológicas que influyen directamente en la cuenca Coatzacoalcos – Jaltepec (C0)

Estación	Datos de lluvia (mm) de 1978									
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
20238	45.5	44	145	158	12	50	32	1.5	46	0
20264	37.2	33.5	146.7	140	12.4	21	140.8	0.3	18.2	0
20045	46.7	54.2	152	137.2	25.8	34.3	89.6	11.2	36.4	0
20095	77	59.6	120	56.2	4	60.4	15.4	1.4	5	0
20097	91.4	148	115	21	165	33.6	102.3	63.5	83.7	21
20138	52	248	162	196	3.5	26	37.5	4.5	0	4
20282	44	52.5	46	38	41	47	51	34	10	0
20289	105	80	80.5	260	7	0	2.5	2.5	1	1.5
20068	70	80	5	82	75	0	68	35	20	0
20296	0	103	82	20	230	3	8	16	3	0
20134	48	94.1	7.5	304	21.4	2.3	0	0	0	0
20127	0	87.5	44.5	34	70.1	1.5	10	7.5	3	0
20269	132	30	34.3	160	26	17.4	10.3	9.5	5	17.1
20291	2.2	87.4	38.2	21.8	42.6	2	21.6	2.8	0	0
20117	35.5	15.3	0	200	0	0	0	0	0	0
20027	21	7	7.5	21.5	2.5	0	0	0	0	0
Promedio	50.5	76.5	74.1	116	46.1	18.7	36.8	11.9	14.5	2.73

De los registros de la Tabla 6.8 se obtuvo el hietograma promedio (hietograma de lluvia total). Del hietograma de lluvia total mediante el método del número de curva (N=80) se obtiene el hietograma de lluvia efectiva el cual se muestra en la Figura 6.10.

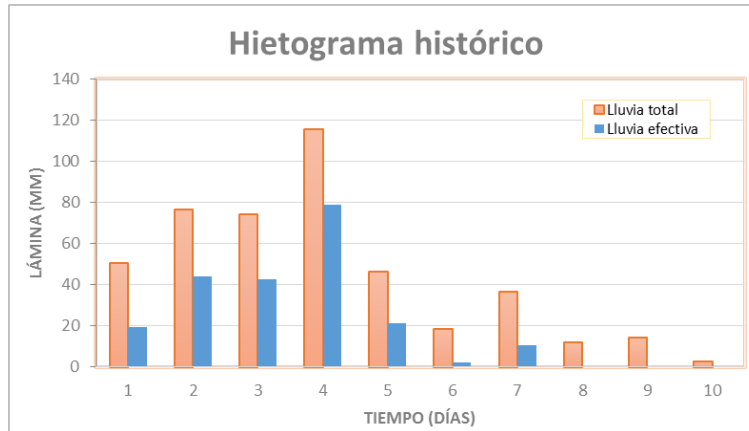


Figura 6.10. Hietogramas de lluvia total y efectiva

En la Tabla 6.9 se muestran los hietogramas de lluvia total y de lluvia efectiva. Los datos de la columna 3 de la Tabla 6.9 corresponden a la lluvia efectiva obtenida mediante el método del número de curva. Los de la columna 4 son la lluvia efectiva que resulto al distribuir los 0.49 mm del día 9 entre la lluvia de los días del 1 al 7.

Tabla 6.9. Datos históricos de lluvia total y de lluvia efectiva

Tiempo (días)	Lluvia total (mm)	Lluvia efectiva (mm)	Lluvia efectiva (mm)
1	50.47	19.31	19.36
2	76.51	43.91	46.00
3	76.14	42.42	42.51
4	115.61	78.64	78.82
5	46.14	21.18	21.23
6	18.66	2.23	2.23
7	36.81	10.48	10.51
8	11.86	0.00	0.00
9	16.46	0.49	0.00
10	2.73	0.00	0.00
suma		218.65	218.65

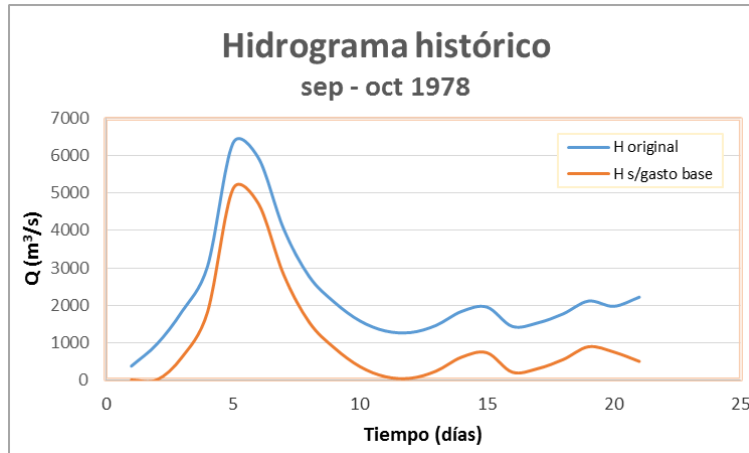
De acuerdo a los datos de la Tabla 6.9 la lluvia que origino escurrimiento fue de 218.65 mm, que si se multiplica con el área de la cuenca (8980.21 km²) se obtiene un volumen de escurrimiento del orden de 1963.52 hm³.

En la Tabla 6.10 se muestran los gastos registrados por la estación 29005 en el intervalo de tiempo del 19 de septiembre al 9 de octubre de 1978. A los datos del hidrograma histórico se le resto el gasto base (1224 m³/s) y se obtuvo el volumen que generó, Tabla 6.10.

Tabla 6.10. Volumen generado por hidrograma histórico

gasto base (m ³ /s)		1224	
días	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
1	369.15	0	
2	953.94	0	
3	1838.17	613.46	613.46
4	3042.23	1817.52	2430.98
5	6336.78	5112.07	7543.05
6	5949.88	4725.17	12268.22
7	4041.17	2816.45	15084.67
8	2772.61	1547.89	16632.56
9	2076.55	851.84	17484.4
10	1580.71	356	17840.4
11	1310.35	85.63	17926.03
12	1269.41	44.7	17970.73
13	1459.68	234.96	18205.69
14	1833.75	609.03	18814.72
15	1952.05	727.33	19542.05
16	1432.51	207.79	19749.84
17	1526.57	301.86	20051.7
18	1768.08	543.36	20595.06
19	2111.82	887.10	21482.16
20	1970.68	745.96	22228.12
21	2216.23	991.52	22723.87
Volumen (hm ³)			1963.26

Los datos generados con lluvia coinciden con los generados con escurrimientos, esto es posible por el gasto base utilizado, que si se checa la Figura 6.11 (gráfica del hidrograma histórico de 1978) es correcto.



6.11. Hidrograma histórico de EH 29005 Las Perlas

De esa forma se puede afirmar que los datos de lluvia registrados por las estaciones pluviométricas son los que generaron los escurrimientos registrados por la estación hidrométrica.

Con el hidrograma unitario, datos de lluvia y mediante la convolución se obtiene el hidrograma, de forma inversa, con los datos de lluvia (hietograma histórico) y los del hidrograma (hidrograma histórico) mediante el programa de hidrograma unitario de duraciones cortas, dese obtuvo el hidrograma unitario de esa cuenca.

En la Tabla 6.11 se muestran los datos obtenidos del hidrograma unitario (columna 2). Los datos de los días cinco, seis, ocho, nueve y doce son negativos, datos no lógicos, por lo cual, se modificó ayudados por la gráfica de la Figura 6.12.

Tabla 6.11. Hidrograma unitario de la cuenca Coatzacoalcos - Jaltepec (C0)

Día	HU obtenido	HU corregido	HU
0	0	0	0
1	17.9	17.9	17.93
2	31.42	31.42	31.48
3	26.76	26.76	26.82
4	12.26	12.26	12.28
5	-2.08	0	0
6	-0.57	0	0
7	3.16	3.16	3.17
8	-0.74	0	0
9	-3.24	0	0
10	2.47	2.47	2.47
11	7.24	7.24	7.26
12	-0.34	0	0
13	4.99	4.99	5

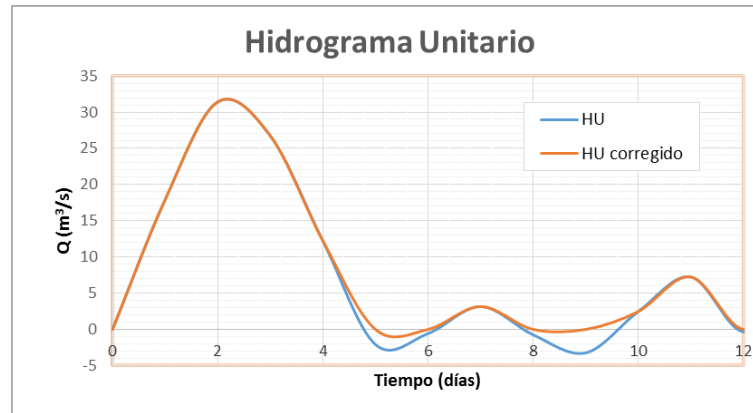


Figura 6.12. Hidrograma Unitario de la cuenca Coatzacoalcos - Jaltepec (C0)

En la gráfica de la Figura 6.12 se muestra que al convertir los datos negativos en cero la gráfica de HU corregido no resulta tan diferente que la gráfica del HU original.

Para ver que las correcciones realizadas no modificaran el concepto teórico se realizó lo siguiente:

Con el área de la cuenca y un milímetro de lluvia precipitado uniformemente en toda la cuenca se obtuvo un volumen de $8'980,210 \text{ m}^3$.

El área bajo la curva del hidrograma unitario debe ser igual al volumen unitario, sin embargo fue de $8'959,400 \text{ m}^3$. La diferencia fue de 0.2%, como ésta no fue muy grande se corrigió con un factor que se obtuvo con el cociente de $8'980,210 \text{ m}^3 / 8'959,400 \text{ m}^3 = 1.002$. Los datos del hidrograma unitario corregido se multiplicaron por el factor y se obtiene el hidrograma unitario, columna 4 de la Tabla 6.11.

Con el hidrograma unitario se obtiene el hidrograma unitario adimensional mediante el siguiente procedimiento:

Los gastos del hidrograma unitario se dividen entre su gasto pico y los tiempos (columna 1 de la Tabla 6.11) se dividen entre su tiempo pico. El resultado se muestra en la Tabla 6.12.

Tabla 6.12. Hidrograma unitario adimensional obtenido a partir del hidrograma unitario de la cuenca Coatzacoalcos - Jaltepec (C0)

t (días)	q _p (m ³ /s mm)
0	0
0.5	0.57
1.0	1
1.5	0.85
2	0.39
2.5	0
3.0	0
3.5	0.1
4	0
4.5	0
5.0	0.08
5.5	0.23
6	0
6.5	0.16

El hidrograma unitario de duraciones cortas (HUDC) obtenido además de cumplir con el concepto teórico del hidrograma unitario se comparó con el hidrograma unitario adimensional de SCS para dicha cuenca. Figura 6.13.

Tabla 6.13. Hidrograma unitario adimensional, cuenca Coatzacoalcos – Jaltepec (C0)

t (días)	q _p (m ³ /s mm)
0	0
0.5	0.57
1.0	1
1.5	0.85
2	0.39
2.5	0.1
3.0	0.08
3.5	0.23
4	0.16

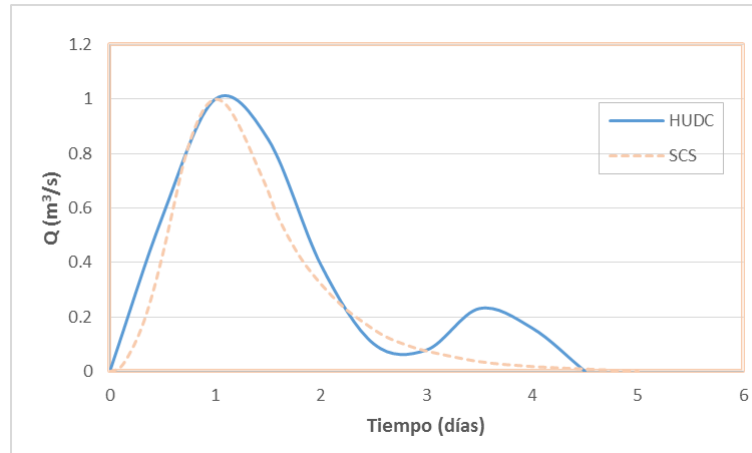


Figura 6.13. Hidrograma unitario de duraciones cortas e hidrograma unitario adimensional de SCS.

Se utilizó el hidrograma unitario adimensional de la cuenca Coatzacoalcos - Jaltepec (C0) para obtener el hidrograma unitario de la cuenca Chalchijapa (C1) Figura 6.14, para lo cual, se utilizó el gasto y tiempo pico obtenidos con las características fisiográficas de la cuenca (Tabla 6.14) y las siguientes expresiones:

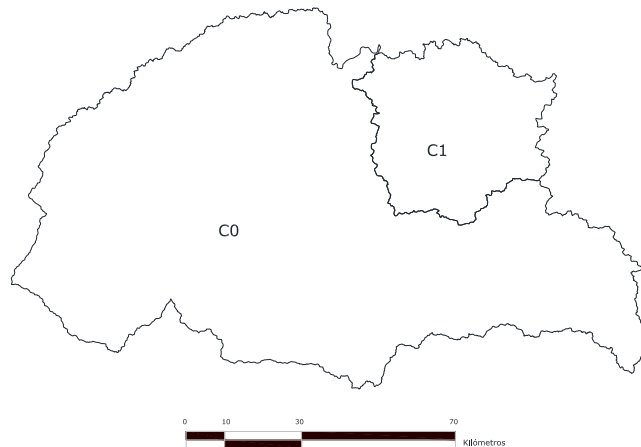


Figura 6.14. Cuencas bajo a análisis

$$t_c = 3.25 \times 10^{-4} \left(\frac{L}{\sqrt{Sc}} \right)^{0.77} \quad \text{tiempo de concentración (Kirpich)}$$

donde

$$S_c = \left[\frac{L}{\frac{I_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{I_2}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{I_m}{\sqrt{S_m}}} \right]^2 \quad \text{Taylor-Shwurz}$$

L – longitud del cauce principal

I_i – longitud del segmento i

s_i – pendiente del segmento i

$t_r = 0.6t_c$ tiempo de retraso

$t_p = \frac{de}{2} + t_r$ tiempo pico

$q_p = \frac{0.208A_c}{t_p}$ gasto pico

Tabla 6.14. Características fisiográficas de las cuencas Coatzacoalcos – Jaltepec (C1) y Chalchijapa (C2)

Cuenca	Área (km ²)	Tc (días)	Tp (días)	Qp(m ³ /s)
C1	1697.8	0.97	0.635	22.83

En la Tabla 6.15 se muestran los datos del hidrograma unitario para la cuenca Chalchijapa (C1).

Tabla 6.15. Hidrograma unitario de cuenca Chalchijapa (C1)

Cuenca Chalchijapa (C1)		
t (días)	q_p (m ³ /s)	q_p (m ³ /s)
0	0	0
0.318	13.006	10.43
0.635	22.832	18.31
0.953	19.448	15.59
1.27	8.908	7.14
1.588	2.299	1.84
1.906	1.794	1.44
2.223	5.265	4.22
2.541	3.627	2.91
2.858	0	0

Para checar que el hidrograma unitarios obtenido cumplan con la teoría se calcula el volumen unitario para la cuenca Chalchijapa (C1) y el volumen del hidrograma unitario correspondiente, en la Tabla 6.16 se muestran estos valores. Como el volumen unitario y el volumen del hidrograma no son iguales se obtienen un factor para corregir los gastos de los hidrogramas unitarios. En la columna 3 de las tablas 6.15 se consignan los gastos corregidos mediante este factor.

Tabla 6.16. Volúmenes unitarios para la cuenca Chalchijapa (C1)

	$V_{unit} (m^3)$	$V_{hid} (m^3)$	factor	$V_{hid} (m^3)$
Cuenca 1	1,697,880.00	2,117,806.98	0.8017	1,697,880.00

En el capítulo 4 de este documento se determinaron los hietogramas de las diferentes estaciones climatológica utilizadas en el análisis de lluvia. En éste se utilizan esos hietogramas.

En la Figura 6.15 se muestra la cuenca Chalchijapa (C1) y las estaciones climatológicas que influyen sobre ella según los polígonos de Thiessen.

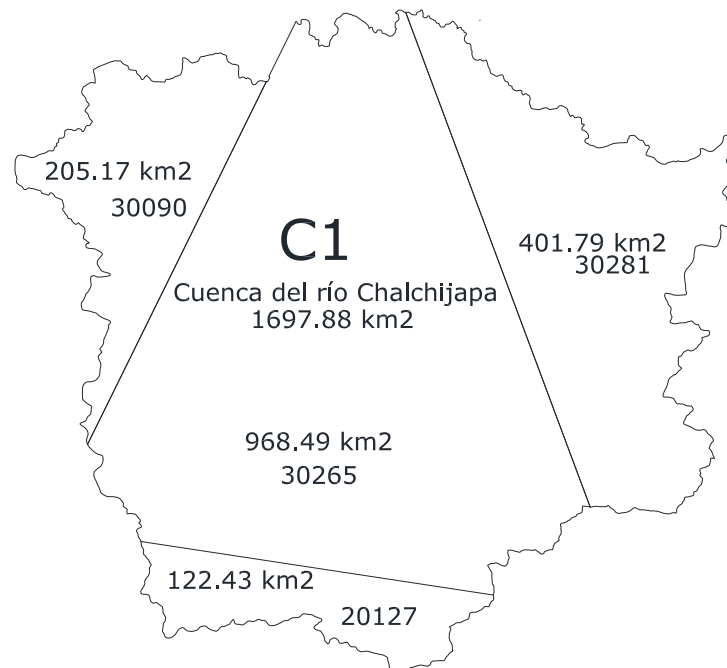


Figura 6.15. Polígonos de Thiessen de la cuenca Chalchijapa (C1)

Para la cuenca Chalchijapa (C1) las estaciones climatológicas que influyen son: 30090, 30265, 30281 y 20127. En la Figura 6.15 también se especifica el área parcial que cada estación ocupa de la cuenca. Los hietogramas de cada cuenca están conformados por un promedio ponderado de los hietogramas de cada estación influyente en cada cuenca. En la Tabla 6.17 se consignan los datos de los hietogramas de lluvia efectiva para diferentes periodos de retorno de la cuenca Chalchijapa (C1).

Tabla 6.17. Hietogramas (mm) de la cuenca Chalchijapa (C1)

Días	Hietogramas de lluvia efectiva					
	Periodos de retorno (años)					
	Tr=2	Tr=5	Tr=10	Tr=20	Tr=50	Tr=100
1	1.65	3.03	4.08	5.16	6.68	7.88
2	1.69	3.17	4.35	5.58	7.32	8.70
3	2.10	3.33	4.26	5.21	6.53	7.56
4	1.08	2.18	3.02	3.91	5.17	6.17
5	1.98	3.52	4.82	6.17	8.07	9.58
6	3.05	3.20	3.28	3.35	3.43	3.48
7	101.97	135.28	157.56	179.04	206.96	227.95
8	24.10	28.63	31.63	34.51	38.25	41.06
9	9.67	13.36	15.96	18.55	22.04	24.72
10	8.40	10.37	11.72	13.04	14.80	16.15
11	7.72	8.84	9.61	10.38	11.39	12.17
12	5.75	8.06	9.70	11.35	13.59	15.33
13	4.25	6.99	9.00	11.04	13.84	16.03
14	2.54	3.78	4.68	5.58	6.82	7.78
15	3.37	4.05	4.52	4.99	5.62	6.10
16	2.29	3.43	4.25	5.09	6.25	7.17
17	2.29	3.40	4.22	5.06	6.22	7.13
18	2.80	5.29	7.19	9.16	11.89	14.06
19	2.31	4.55	6.27	8.05	10.52	12.47
20	1.81	3.76	5.27	6.86	9.06	10.81
21	2.57	5.49	7.78	10.17	13.49	16.12
22	1.89	4.38	6.34	8.38	11.23	13.49
23	2.56	3.55	4.27	4.99	5.95	6.69
24	1.29	2.12	2.73	3.36	4.24	4.94
25	0.88	3.13	5.11	7.27	10.39	12.91
26	2.19	4.17	5.83	7.56	9.96	11.85
27	0.65	2.33	3.74	5.26	7.42	9.17
28	0.38	1.22	1.99	2.84	4.07	5.08
29	0.26	0.32	0.35	0.41	0.49	0.56
30	1.21	1.20	1.20	1.20	1.21	1.22
31	2.03	2.48	2.79	3.11	3.54	3.88
32	0.95	1.50	1.90	2.32	2.91	3.38
33	0.74	0.93	1.06	1.22	1.45	1.63
34	0.61	0.81	0.95	1.09	1.28	1.43
35	2.05	2.67	3.11	3.56	4.16	4.64
36	1.42	2.67	3.63	4.64	6.06	7.19
37	0.81	1.10	1.34	1.59	1.93	2.20
38	1.43	2.70	3.67	4.67	6.08	7.20
39	1.43	1.79	2.08	2.37	2.77	3.09
40	1.92	1.55	1.34	1.14	0.92	0.76
41	1.64	2.93	3.89	4.89	6.29	7.40
42	0.69	1.80	2.72	3.71	5.14	6.30
43	1.13	2.46	3.56	4.79	6.54	7.94
44	1.83	2.57	3.19	3.82	4.68	5.35
45	0.58	2.25	3.66	5.20	7.42	9.22
46	1.71	3.27	4.67	6.14	8.21	9.86
47	0.99	2.73	4.15	5.67	7.82	9.55
48	0.56	1.89	3.08	4.38	6.26	7.78
49	1.42	3.07	4.50	6.06	8.25	10.01
50	0.40	0.82	1.16	1.51	2.02	2.42
51	1.08	2.15	2.96	3.81	4.99	5.95
52	0.96	1.73	2.38	3.08	4.07	4.87
53	0.26	0.67	1.00	1.36	1.89	2.32
54	2.08	1.40	1.01	0.67	0.29	0.04
55	1.44	2.39	3.11	3.85	4.88	5.70
56	0.57	0.27	0.09	0.00	0.00	0.00

La Figura 6.16 muestra los hietogramas de lluvia total con factor de simultaneidad (FS) y los hietogramas de lluvia efectiva para diferentes periodos de retorno de la cuenca Chalchijapa (C1).

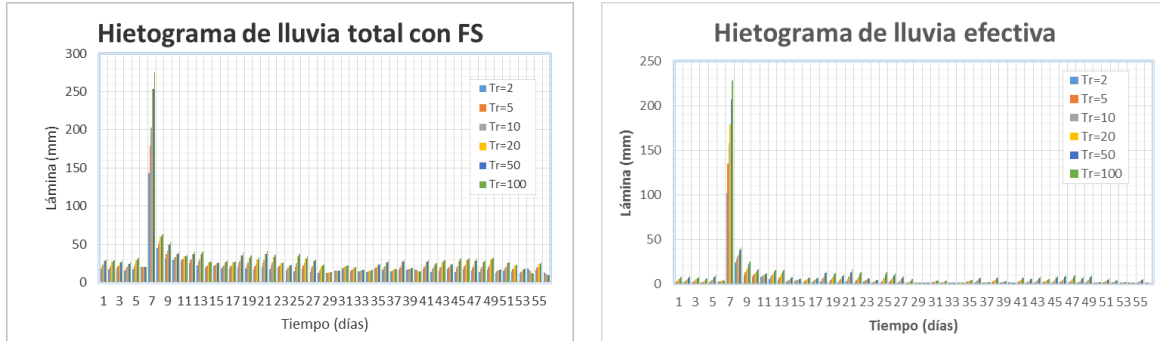


Figura 6.16. Hietogramas de la cuenca Chalchijapa (C1)

Se obtuvieron hidrogramas para la cuenca Chalchijapa (C1) en base a su hidrograma unitario y hietogramas de lluvia efectiva mediante la convolución, en la figuras 6.17 se muestran los hidrogramas para diferentes periodos de retorno de la cuenca Chalchijapa (C1).

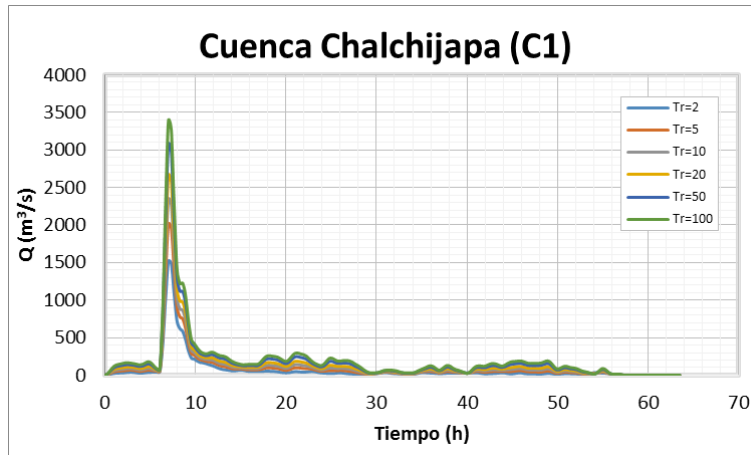


Figura 6.17. Hidrograma para diferentes periodos de retorno de la cuenca Chalchijapa (C1)