

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS GASTOS MÁXIMOS ANUALES REGISTRADOS EN LAS CUENCAS DEL BAJO GRIJALVA Y DE LAS DESCARGAS DE LA PRESA PEÑITAS

Ramón Domínguez Mora, Eliseo Carrizosa Elizondo,
Maritza Liliana Arganis Juárez y Gabriela Esquivel Garduño

Coordinación de Hidráulica

1. INTRODUCCIÓN

En este informe se presentan en forma agrupada los resultados del análisis estadístico realizado para cada una de las cuencas de la parte baja del Grijalva (es decir, las de los ríos de la Sierra, la del río Chilapa y la del Usumacinta), así como para la cuenca comprendida entre la presa Peñitas y las estaciones hidrométricas González y Samaria (a la que se denominó cuenca de la bifurcación). Adicionalmente se presenta un análisis de las descargas esperadas de la presa Peñitas y de su relación con las crecientes de la cuenca de la bifurcación.

Los avances correspondientes a cada una de estas cuencas fueron entregados previamente en informes parciales.

Adicionalmente, se proporcionan archivos con la información utilizada.

2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS AVENIDAS DE LOS RÍOS DE LA SIERRA

En este informe se presentan los resultados de la actualización del cálculo de las avenidas de diseño obtenidas para los ríos de La Sierra.

2.1 Análisis de cada estación por separado

Se consideraron los gastos medios diarios registrados en las estaciones hidrométricas Pichucalco, Teapa, Puyacatengo y Tapijulapa (ver esquema de la Fig. 4.1), proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).



Figura 4.1. Croquis de localización de las estaciones hidrométricas

Para cada una de ellas se calcularon los gastos promedio máximos anuales para duraciones de 1 a 60 días, tomando en cuenta que debido a la regulación que se tiene en la planicie Tabasqueña, las condiciones críticas se presentan para tormentas que duran varios días, e inclusive para sucesiones de tormentas.

A los gastos medios asociados a cada duración se les ajustó una función de distribución de probabilidades a partir de la cual se estimaron sus valores asociados a distintos periodos de retorno.

Los resultados obtenidos para cada estación hidrométrica se presentan en la secuencia siguiente:

1. Una tabla con los gastos medios, en $m^3 \cdot s^{-1}$, registrados para distintas duraciones, en la que además se indica con un sombreado los valores que no habían sido incluidos en el estudio previo del año 2000.
2. Una gráfica en la que se muestran los valores de los datos históricos, a los que se asoció una “probabilidad” empírica usando la fórmula de Weibull.

$$P(Q \geq q) = m/(n+1)$$

Donde N es el número de valores máximos anuales y m el orden de cada uno de ellos cuando se ordenan de mayor a menor.

En cada gráfica se comparan los resultados correspondientes a la duración de 1 día obtenidos en el estudio de 2000 con los obtenidos con esta actualización. Adicionalmente, en la gráfica correspondiente a los valores actualizados, se marca con un círculo el valor registrado para el evento de 2007.

3. Una tabla en la que se comparan los valores obtenidos para varios periodos de retorno y varias duraciones en el estudio de 2000 y en el actual.

En las tablas y figuras siguientes se muestran los resultados obtenidos para cada estación por separado.

Tabla 4.1. Estación Pichucalco. Gastos medios máximos anuales

Año	1 día m ³ /s	2 días m ³ /s	3 días m ³ /s	4 días m ³ /s	5 días m ³ /s	6 días m ³ /s	7 días m ³ /s	8 días m ³ /s
1956	400	301	238	204	181	177	175	164
1957	543	443	342	275	257	272	254	231
1958	417	362	290	242	217	202	210	201
1959	445	408	391	335	282	243	214	191
1960	276	216	193	166	145	130	121	115
1961	592	565	472	379	318	274	242	217
1962	276	236	202	174	153	137	123	117
1963	315	289	219	177	157	141	128	118
1964	707	646	469	366	301	259	236	213
1965	665	595	501	422	378	343	310	280
1966	226	206	198	174	153	136	128	129
1967	1090	981	797	636	526	448	391	348
1968	857	800	591	474	405	352	309	276
1969	950	695	574	463	383	328	286	254
1970	484	348	314	293	263	253	231	211
1971	281	191	155	136	117	105	102	94
1972	667	547	402	316	262	226	199	178
1973	734	555	451	397	380	371	339	308
1974	627	446	325	264	226	208	190	174
1975	462	453	381	312	262	260	247	229
1976	425	360	312	255	214	187	171	168
1977	561	486	372	304	253	218	191	170
1978	811	540	395	323	273	237	210	191
1979	526	394	347	292	267	243	221	204
1980	730	648	571	465	389	366	338	314
1981	454	397	407	397	341	301	270	245
1982	493	356	274	224	194	185	190	194
1983	276	254	202	173	155	150	155	140
1984	342	269	214	180	157	140	132	136
1985	305	273	218	186	202	189	173	159
1986	312	275	238	213	184	162	144	130
1987	263	221	211	219	210	187	168	153
1988	329	318	313	315	306	287	263	240
1989	523	415	368	303	256	224	202	194
1995	395	341	260	229	194	174	169	183
1996	261	189	143	119	102	97	99	96
1997	321	298	275	247	223	195	174	168
1998	242	220	189	180	161	145	132	120
1999	242	197	172	151	136	136	135	129
2001	337	306	254	223	184	165	150	137
2007	1920	1252	918	771	646	555	488	491
Media	514	422	345	292	254	229	210	195
Desviación St	308	223	167	134	111	96	83	77
Coef. Asim	3	2	2	2	1	1	1	2

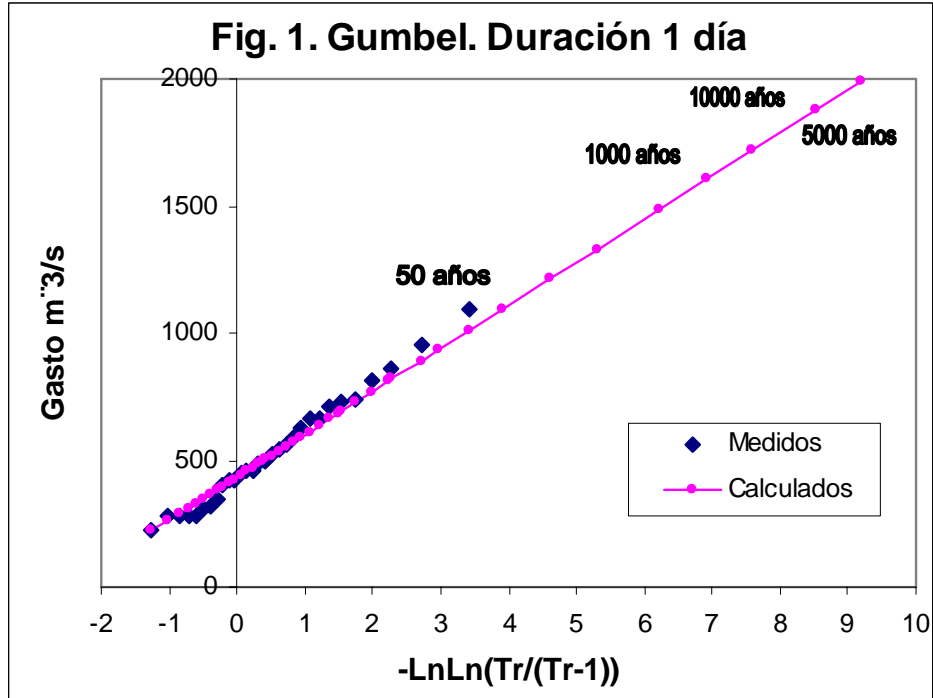


Figura 4.2. Estación Pichucalco estudio año 2000

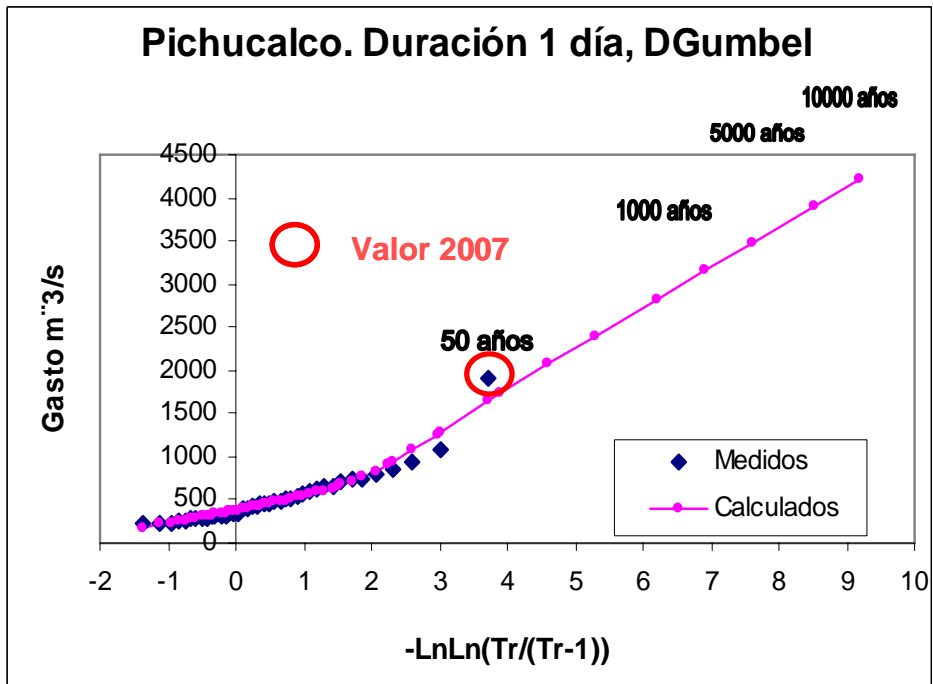


Figura 4.3. Estación Pichucalco estudio año 2008

Tabla 4.2. Estación Pichucalco. Periodos de Retorno, estudio año 2000

Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días
2	493	407	335	278	244	221	203	189
5	685	568	462	381	330	299	271	248
10	813	675	546	449	387	350	316	288
20	935	777	627	514	441	400	359	326
50	1093	909	731	598	512	463	415	375
100	1212	1008	810	661	565	511	457	411
200	1330	1107	888	724	618	559	499	448
500	1486	1237	991	806	687	621	554	496
1000	1604	1335	1069	869	740	669	595	532
2000	1721	1434	1146	932	792	716	637	569
5000	1877	1564	1249	1014	862	779	692	617
10000	1995	1662	1327	1077	914	826	733	653

Tabla 4.3. Estación Pichucalco. Periodos de Retorno, estudio año 2008

Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días
2	435	360	300	256	225	205	189	175
5	659	551	454	379	330	302	273	246
10	911	754	603	495	423	380	340	312
20	1267	968	745	611	514	450	399	378
50	1736	1227	917	754	625	534	470	461
100	2071	1414	1041	857	706	595	521	521
200	2399	1596	1163	958	786	655	571	580
500	2827	1834	1322	1090	891	733	638	658
1000	3149	2013	1442	1190	970	793	687	716
2000	3469	2193	1562	1289	1048	852	738	774
5000	3891	2434	1721	1420	1155	930	803	850
10000	4228	2611	1832	1525	1233	988	853	908

Tabla 4.4. Estación Teapa. Gastos medios máximos anuales

año	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días
	$m^3 \cdot s^{-1}$	$m^3 \cdot s^{-1}$	$m^3 \cdot s^{-1}$	$m^3 \cdot s^{-1}$	$m^3 \cdot s^{-1}$	$m^3 \cdot s^{-1}$	$m^3 \cdot s^{-1}$	$m^3 \cdot s^{-1}$
1950	664	545	403	321	270	236	213	195
1951	934	817	685	540	449	460	417	378
1952	916	726	645	541	467	471	462	425
1953	788	768	605	484	403	367	343	315
1954	500	408	347	310	276	252	231	220
1955	901	780	649	514	426	408	393	358
1956	536	398	309	274	262	273	271	256
1957	582	520	381	305	334	362	335	304
1958	482	443	370	338	296	284	269	251
1959	562	449	352	288	245	214	192	175
1960	240	211	193	173	158	144	132	124
1961	622	541	451	374	317	279	248	224
1962	256	244	190	164	145	139	129	119
1963	487	363	295	249	214	189	170	155
1964	602	454	333	262	217	187	165	156
1965	491	481	388	313	261	225	198	181
1966	310	243	217	190	165	148	134	135
1967	716	537	465	395	345	308	278	253
1968	444	346	266	217	184	160	143	130
1969	474	458	385	324	279	245	220	199
1970	397	344	305	282	264	246	227	211
1971	223	186	144	118	100	89	80	75
1972	1066	693	530	437	371	322	287	259
1973	989	978	730	625	613	556	501	458
1974	847	696	540	435	367	326	292	265
1975	852	597	447	358	307	307	287	264
1976	486	452	370	304	257	223	198	179
1977	664	460	381	317	271	237	210	190
1978	560	422	346	290	255	226	207	192
1979	619	424	357	301	275	251	232	217
1980	521	494	397	330	285	284	272	263
1981	381	312	295	278	251	228	209	193
1982	339	231	201	169	147	138	125	123
1983	289	236	208	167	147	149	153	137
1984	381	274	223	191	167	151	149	156
1985	478	332	250	202	169	153	143	132
1986	469	426	341	295	254	222	197	178
1988	339	314	282	281	283	262	241	222
1989	464	316	254	214	195	188	197	191
1992	452	444	438	381	336	300	270	253
1993	320	253	203	181	178	173	169	167
1994	480	399	354	300	256	223	196	176
1995	314	246	199	206	200	184	173	161
1997	306	214	218	198	173	153	136	124
1998	258	228	193	172	156	156	154	151
1999	449	406	340	298	261	231	207	188
2000	497	397	339	283	241	220	199	187
2001	238	227	193	184	166	149	135	124
2002	563	440	348	352	344	339	307	278
2003	372	269	230	195	166	165	154	141
2004	332	284	222	182	186	172	154	140
2005	501	389	300	238	199	171	151	135
2007	971	869	802	643	558	477	415	370
Media	527	433	357	301	266	246	226	208
Desv St	216	185	150	119	104	99	91	82
Coef as	1	1	1	1	1	1	1	1

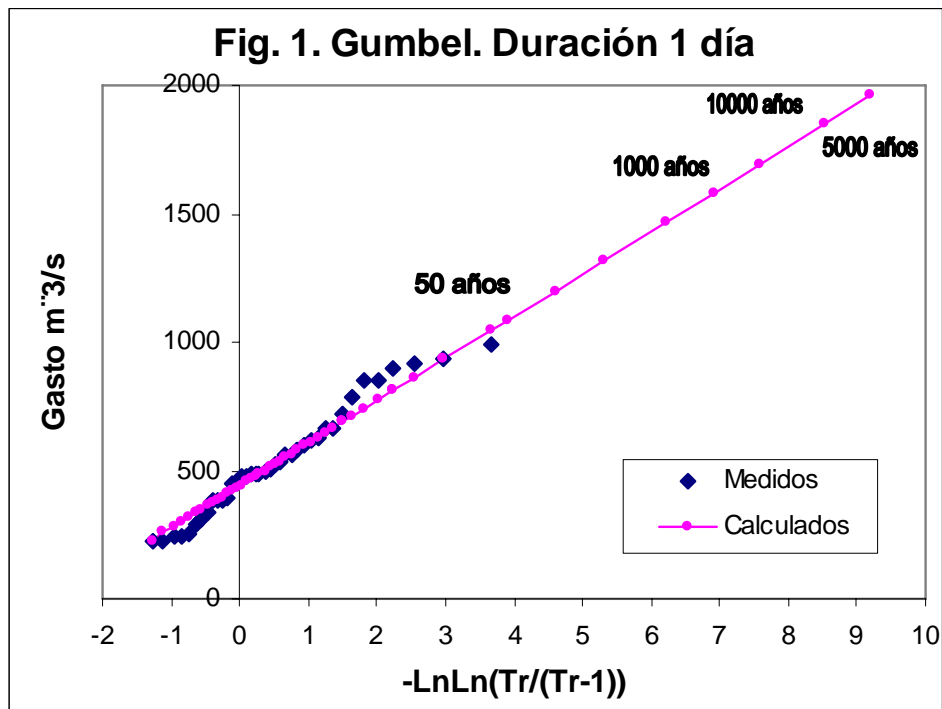


Figura 4.4. Estación Teapa estudio año 2000

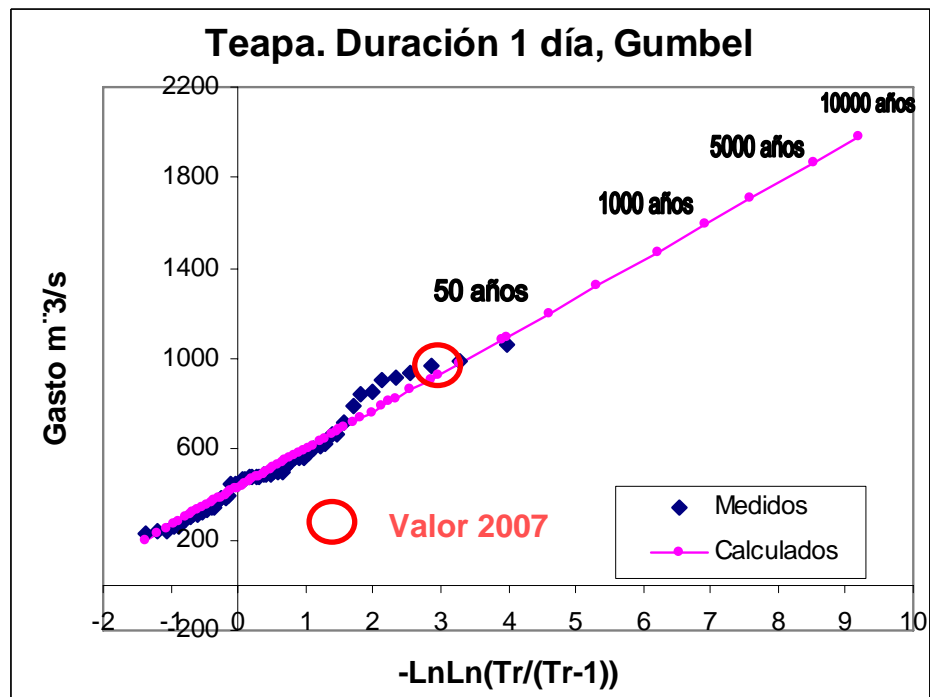


Figura 4.5. Estación Teapa estudio año 2008

Tabla 4.5. Estación Teapa. Periodos de Retorno, estudio año 2000

Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	500	411	336	282	247	228	212	198	186	176
5	687	579	467	386	340	320	297	274	255	240
10	811	690	553	456	402	380	353	324	301	283
20	930	796	636	522	461	438	407	372	344	324
50	1084	934	744	608	537	513	476	434	401	377
100	1200	1037	824	672	595	570	528	481	444	416
200	1315	1140	905	736	652	626	580	527	486	456
500	1466	1276	1011	821	727	700	649	589	542	508
1000	1581	1378	1091	885	784	756	700	635	584	547
2000	1696	1481	1171	949	841	812	752	682	626	587
5000	1847	1616	1276	1033	917	886	820	743	682	639
10000	1962	1718	1356	1097	974	942	872	789	724	678

Tabla 4.6. Estación Teapa. Periodos de Retorno, estudio año 2008

Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	491	403	332	282	249	229	211	195	182	172
5	682	567	465	387	341	317	291	267	249	234
10	808	675	553	457	403	375	344	315	292	275
20	929	779	637	523	461	430	395	361	334	315
50	1086	914	746	610	537	502	461	420	389	366
100	1203	1015	828	675	594	555	510	465	430	404
200	1320	1115	910	739	651	609	560	509	470	442
500	1474	1248	1017	824	725	680	625	567	524	493
1000	1591	1348	1098	889	782	733	674	611	565	531
2000	1707	1448	1180	953	838	786	723	656	605	569
5000	1862	1580	1287	1038	913	857	788	714	659	619
10000	1978	1681	1368	1102	969	910	837	758	699	657

Tabla 4.7. Estación Puyacatengo. Gastos medios máximos anuales

Año	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días
	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
1951	556	365	283	228	192	174	159	147
1952	200	159	118	94	93	92	88	82
1953	162	111	90	75	64	56	50	47
1954	188	122	91	90	83	77	69	63
1955	270	214	162	130	142	134	126	117
1956	249	243	216	176	152	134	118	106
1957	145	106	85	70	71	79	74	68
1958	198	191	158	138	123	114	106	100
1959	322	207	155	132	113	99	88	80
1960	155	118	103	104	90	80	73	67
1961	269	206	166	136	116	102	90	81
1962	103	97	84	79	83	76	69	63
1963	179	119	91	98	90	81	72	66
1964	263	188	140	112	95	83	74	68
1965	262	189	155	125	105	95	89	82
1966	95	79	74	65	59	53	49	50
1967	395	269	197	157	130	112	99	88
1968	277	200	150	123	104	91	80	72
1969	210	166	138	114	96	83	73	66
1970	176	151	117	98	89	84	78	72
1971	105	68	60	54	49	46	44	42
1972	220	164	125	104	89	78	69	63
1973	192	187	149	142	141	138	128	119
1974	258	179	133	110	101	90	81	74
1975	260	185	140	114	97	102	100	93
1976	218	188	149	121	102	88	78	76
1977	284	207	169	139	117	102	90	81
1978	292	195	154	140	121	106	98	91
1979	169	129	100	81	71	65	61	60
1980	169	159	125	104	91	99	97	94
1981	153	145	131	129	117	108	100	94
1982	192	129	104	91	80	75	70	64
1983	156	125	112	92	81	82	83	74
1984	104	94	85	74	65	60	59	59
1986	233	183	151	125	106	92	82	75
1987	141	97	91	88	81	74	67	61
1992	218	181	159	144	129	117	106	99
1993	113	95	81	74	68	62	58	54
1994	167	150	141	123	106	93	82	74
1995	155	110	85	70	71	72	67	65
1996	143	122	92	83	73	65	65	62
1997	197	142	148	130	111	96	85	78
1998	130	102	87	75	68	65	64	62
1999	161	159	150	138	120	108	97	88
2000	689	430	298	273	226	194	200	180
2003	186	120	92	73	60	52	47	43
2007	806	526	386	324	271	233	205	206
Media	229	171	138	118	104	95	87	81
Desv S	138	85	61	51	42	36	33	31
Coef asim	3	2	2	2	2	2	2	2

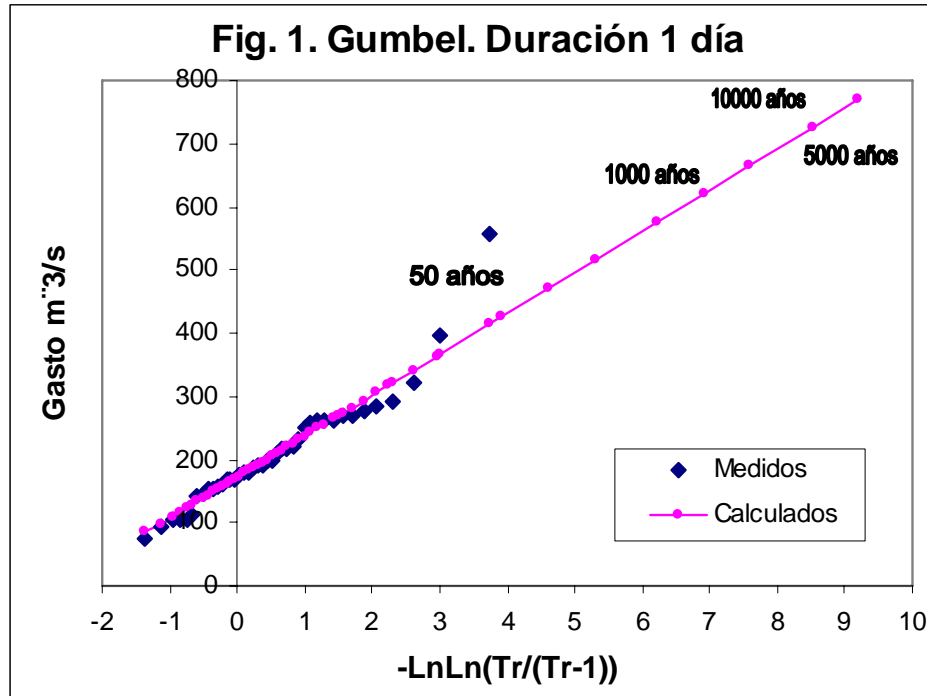


Figura 4.6. Estación Puyacatengo estudio año 2000

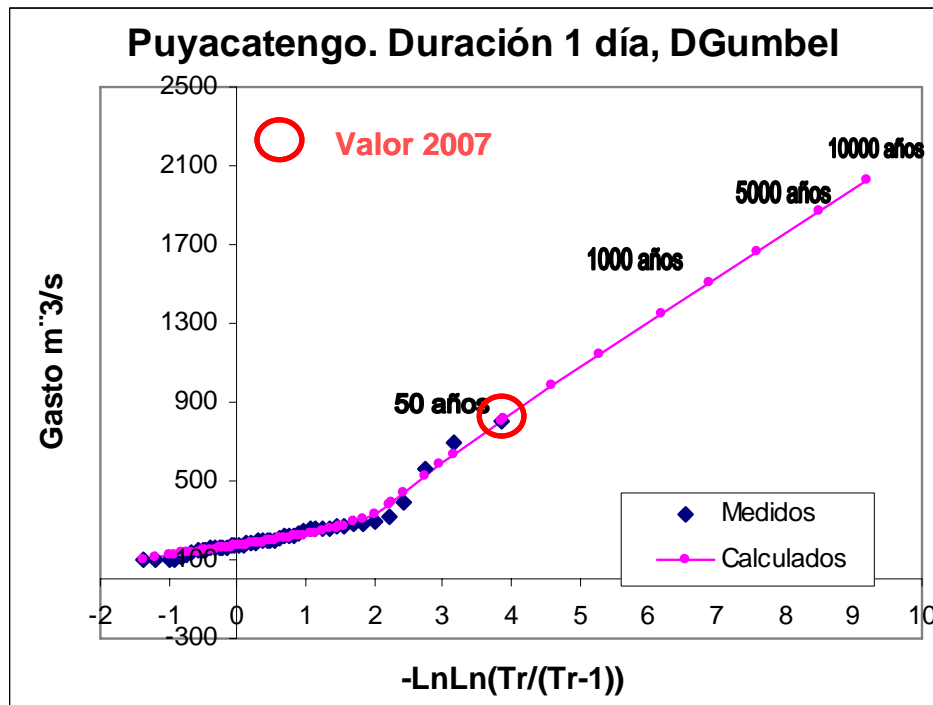


Figura 4.7. Estación Puyacatengo estudio año 2008

Tabla 4.8. Estación Puyacatengo. Periodos de Retorno, estudio año 2000

Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	195	150	121	104	93	86	78	73	68	64
5	269	205	163	137	119	111	101	93	87	81
10	318	241	190	160	136	129	117	107	99	92
20	364	276	216	181	153	145	132	120	111	102
50	425	321	250	208	174	167	151	137	126	115
100	470	355	276	229	190	183	165	150	138	125
200	516	389	301	250	206	198	179	163	149	135
500	575	434	334	277	227	220	198	179	164	149
1000	620	467	359	297	243	235	213	192	176	159
2000	665	501	385	318	259	251	227	205	187	169
5000	725	545	418	345	280	272	246	222	202	182
10000	770	579	443	365	296	288	260	234	214	192

Tabla 4.9. Estación Puyacatengo. Periodos de Retorno, estudio año 2008

Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	190	148	122	105	93	85	78	72	68	64
5	267	205	166	141	125	113	103	95	88	83
10	388	277	217	182	160	145	134	123	114	106
20	586	384	286	241	206	182	170	160	148	140
50	817	518	374	318	263	227	212	204	190	181
100	980	613	437	373	304	259	243	235	220	210
200	1140	706	498	426	343	290	272	265	249	238
500	1348	828	577	496	396	331	311	305	287	275
1000	1505	918	637	549	435	362	340	335	316	303
2000	1659	1010	698	601	474	393	369	365	344	331
5000	1866	1129	776	670	527	434	408	405	382	368
10000	2025	1225	835	722	565	464	437	432	410	395

Tabla 4.10. Estación Tapijulapa. Gastos medios máximos anuales

	1 día $m^3 \cdot s^{-1}$	2 días $m^3 \cdot s^{-1}$	3 días $m^3 \cdot s^{-1}$	4 días $m^3 \cdot s^{-1}$	5 días $m^3 \cdot s^{-1}$	6 días $m^3 \cdot s^{-1}$	7 días $m^3 \cdot s^{-1}$	8 días $m^3 \cdot s^{-1}$
1964	986	724	616	535	474	423	396	383
1965	815	734	608	544	480	438	421	405
1966	1084	1079	1013	908	818	736	678	627
1967	2626	1899	1456	1170	997	861	772	701
1968	651	617	543	494	449	411	384	357
1969	1405	1059	918	774	666	589	560	560
1970	955	930	794	691	625	593	561	542
1971	1027	730	575	476	419	383	354	354
1972	948	824	638	518	436	377	333	300
1973	2596	1993	1747	1661	1579	1465	1351	1246
1974	2587	1779	1488	1222	1039	917	824	757
1975	1718	1480	1178	958	814	756	702	648
1976	871	801	697	612	549	494	454	419
1977	926	725	561	456	387	337	300	272
1978	1599	1241	966	863	763	694	636	585
1979	1169	839	666	608	554	534	506	491
1980	634	568	523	504	464	449	427	394
1981	897	676	605	604	559	525	509	513
1982	759	742	688	648	596	560	532	502
1983	810	757	663	592	548	535	519	483
1984	1133	906	769	667	584	518	493	517
1985	490	442	405	380	361	343	319	304
1986	1270	989	751	607	519	453	404	366
1987	941	653	543	488	443	404	373	346
1988	845	729	649	669	662	630	618	591
1989	1182	1083	916	829	745	663	597	548
1990	1646	1229	1014	966	1023	964	909	836
1991	667	518	495	435	407	406	391	383
1992	930	851	851	782	725	681	642	598
1993	857	770	718	642	596	556	522	485
1994	754	664	611	528	460	413	373	341
1995	1072	877	802	772	713	658	602	586
1996	1858	1250	942	767	660	691	708	700
1997	1161	764	620	544	485	426	397	408
1998	1177	1134	799	708	664	596	546	520
1999	1319	1031	1066	1026	1006	928	868	881
2000	2267	1566	1188	1004	888	796	729	674
2001	837	826	652	540	457	419	441	406
2002	640	590	480	400	340	307	291	284
2003	1034	691	516	417	352	309	295	271
2004	838	629	522	432	364	315	277	248
2005	565	455	411	341	290	255	231	212
2007	3201	2906	2708	2405	2110	1845	1640	1482
Media	1203	971	823	725	653	597	555	524
Desv st	621	474	415	370	336	300	270	247
Coef asi	2	2	3	3	3	2	2	2

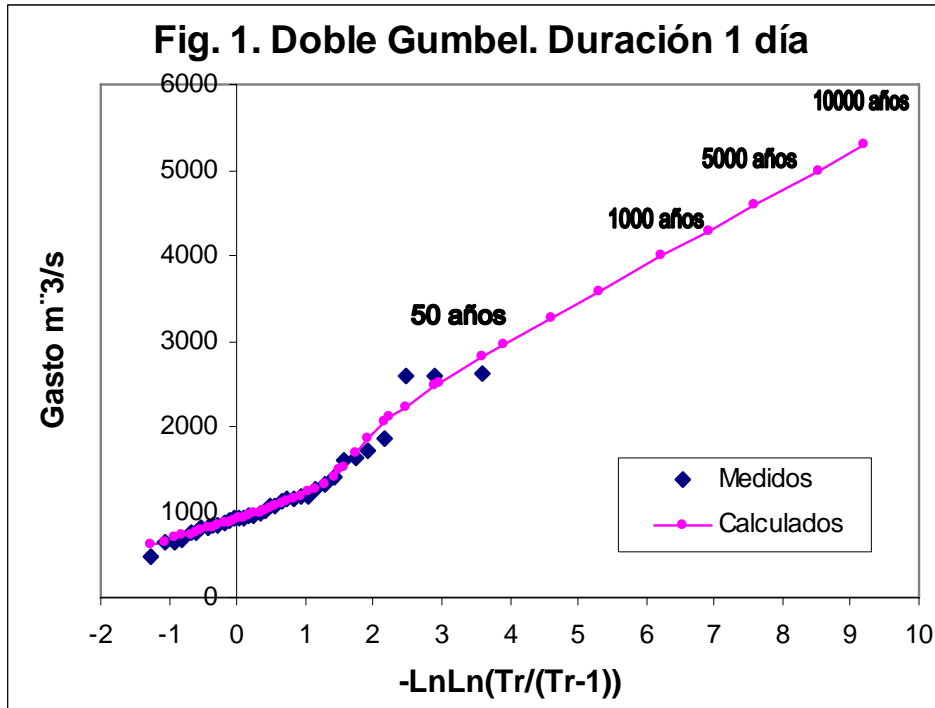


Figura 4.8. Estación Tapijulapa estudio año 2000

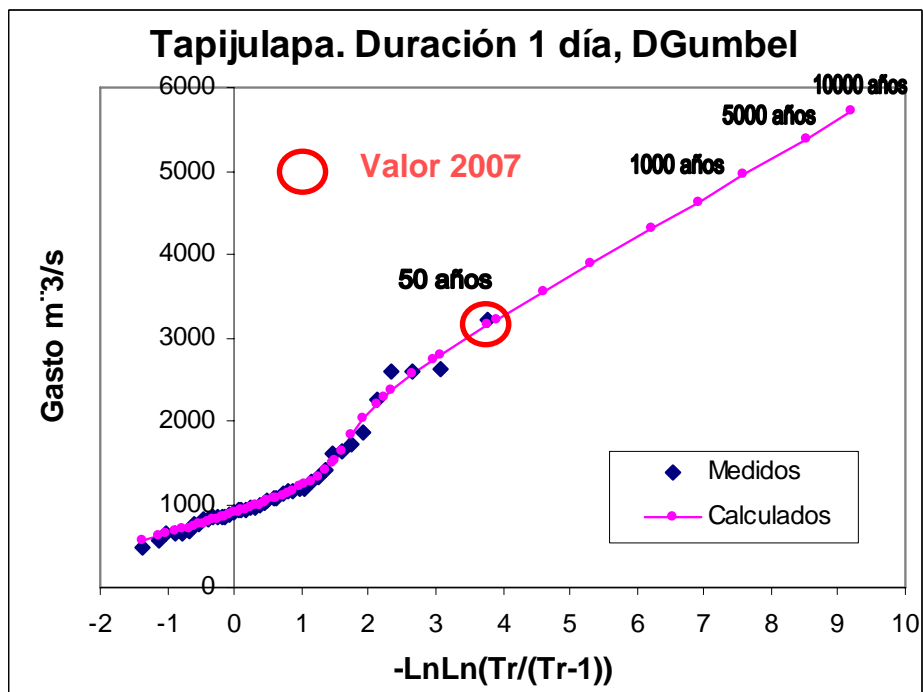


Figura 4.9. Estación Tapijulapa estudio año 2008

Tabla 4.11. Estación Tapijulapa. Periodos de Retorno, estudio año 2000

Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	1006	838	717	670	606	558	521	495	474	453
5	1480	1184	988	899	823	757	705	666	638	610
10	2100	1547	1277	1052	966	889	827	779	746	714
20	2507	1834	1532	1197	1104	1015	944	888	849	814
50	2956	2161	1826	1386	1282	1179	1095	1029	984	943
100	3273	2394	2036	1528	1416	1302	1209	1135	1084	1039
200	3583	2622	2242	1669	1549	1424	1322	1240	1184	1135
500	3987	2920	2510	1855	1724	1585	1471	1379	1317	1262
1000	4291	3144	2712	1995	1857	1707	1584	1484	1416	1358
2000	4593	3370	2916	2136	1990	1829	1696	1589	1516	1454
5000	4999	3662	3185	2321	2165	1990	1845	1728	1648	1581
10000	5300	3898	3373	2462	2297	2112	1958	1832	1748	1677

Tabla 4.12. Estación Tapijulapa. Periodos de Retorno, estudio año 2008

Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	996	827	708	624	563	517	485	456	441	424
5	1517	1192	988	872	801	737	691	654	631	603
10	2295	1696	1372	1185	1096	999	923	869	827	790
20	2734	2179	1879	1644	1488	1338	1214	1126	1058	1015
50	3211	2723	2478	2216	1969	1760	1582	1449	1353	1306
100	3548	3108	2902	2621	2310	2060	1846	1681	1565	1517
200	3876	3484	3316	3017	2644	2354	2104	1908	1774	1724
500	4307	3975	3856	3533	3078	2737	2441	2205	2046	1994
1000	4629	4342	4261	3922	3406	3026	2692	2429	2251	2197
2000	4955	4713	4668	4312	3734	3312	2946	2652	2457	2400
5000	5385	5203	5200	4827	4163	3686	3286	2948	2722	2673
10000	5705	5545	5601	5210	4507	3970	3536	3155	2937	2873

En las tablas siguientes se resumen los valores obtenidos en el año 2000 y ahora, para un periodo de retorno de 100 años y duraciones de 1, 5 y 10 días (todos los valores están en $m^3 \cdot s^{-1}$).

Tabla 4.13. AÑO 2000

Estación hidrométrica	Duración 1 día	Duración 5 días	Duración 10 días
Pichucalco	1212	565	400
Teapa	1200	595	416
Puyacatengo	470	190	125
Tapijulapa	3273	1416	1039
Total	6155	2766	1980

Tabla 4.14. AÑO 2008

Estación hidrométrica	Duración 1 día	Duración 5 días	Duración 10 días
Pichucalco	2071	706	510
Teapa	1203	594	404
Puyacatengo	980	304	210
Tapijulapa	3548	2310	1517
Total	7802	3914	2641

En las tablas anteriores se observan incrementos muy importantes en los casos siguientes:

- a) En Pichucalco, para 1 día, 71% y para 5 días, 25%
- b) En Tapijulapa, para 5 días, 63% y para 10 días, 46%
- c) En el total, para 1 día, 27%, para 5 días, 41%, y para 10 días, 33% (como se mostrará adelante, los valores indicados como "total" no necesariamente son simultáneos)

2.2 Análisis del conjunto de los ríos de La Sierra

Como se comentó al final de la Sección anterior, los escurrimientos medios diarios no necesariamente se presentan simultáneamente en todas las estaciones. Por lo que se procedió a obtener los valores máximos anuales de la suma de los gastos medios diarios simultáneos registrados en las 4 estaciones. Debido a que no en todos los años se registró en las cuatro estaciones, el tamaño de la muestra es menor que el correspondiente a cada muestra individual.

Los resultados se presentan en seguida, en la misma secuencia que los del capítulo anterior.

Tabla 4.15. Tapijulapa+Puyacatengo+Teapa+Pichucalco.
Gastos medios máximos anuales, m³·s⁻¹

	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
1964	2289	1984	1507	1205	1009	873	782	723	676	640
1965	2107	1623	1371	1195	1107	1028	955	886	830	781
1966	1628	1573	1488	1326	1184	1055	965	896	829	772
1967	4401	3275	2531	2138	1825	1588	1419	1284	1185	1108
1968	2013	1734	1330	1081	963	873	803	740	684	638
1969	3038	2285	2015	1673	1424	1238	1098	990	902	831
1970	1777	1696	1485	1335	1214	1122	1074	1006	958	912
1971	1636	1137	882	754	654	581	526	498	492	495
1973	4478	3467	2959	2698	2643	2529	2319	2126	1985	1897
1974	4251	2949	2476	2024	1714	1504	1347	1235	1141	1066
1975	3272	2713	2145	1741	1479	1424	1335	1234	1138	1053
1976	1883	1799	1527	1277	1114	988	888	811	749	706
1977	2436	1860	1433	1201	1023	892	792	713	687	669
1978	2944	2346	1790	1568	1379	1247	1142	1051	978	920
1979	1952	1586	1352	1238	1167	1066	1009	944	901	869
1980	1978	1868	1551	1278	1088	1071	1035	1013	947	879
1981	1565	1368	1225	1210	1075	958	867	793	751	728
1982	1368	1154	1056	993	919	883	841	807	770	763
1983	1066	976	890	794	721	711	690	650	624	595
1984	1687	1456	1251	1085	948	851	820	865	862	838
1986	2097	1873	1462	1240	1064	928	826	745	681	627
1995	1309	996	948	890	903	917	878	825	778	777
1997	1512	1095	956	891	790	698	625	613	616	595
1998	1314	1138	1025	929	977	974	968	924	875	832
1999	1579	1506	1384	1252	1136	1097	1104	1093	1099	1077
2007	6103	5109	4743	4061	3572	3110	2748	2470	2372	2297
Media	2372	1945	1645	1426	1273	1162	1071	998	943	899
Desv St	1222	933	822	695	618	547	484	431	407	392
Coef asin	2	2	2	3	3	3	2	2	2	3

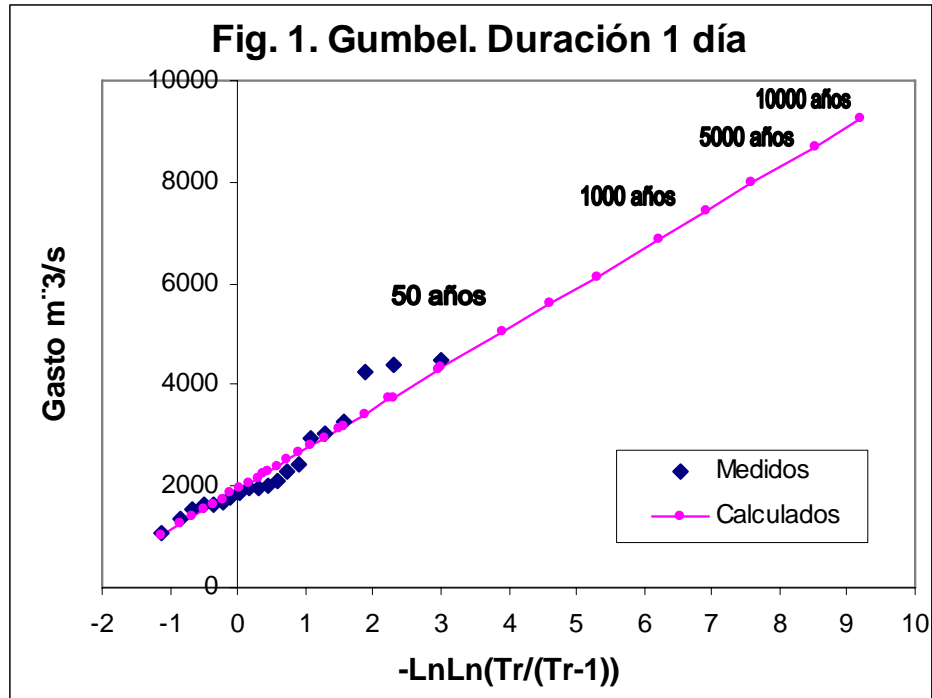


Figura 4.10. Tapijulapa+Puyacatengo+Teapa+Pichucalco, año 2000

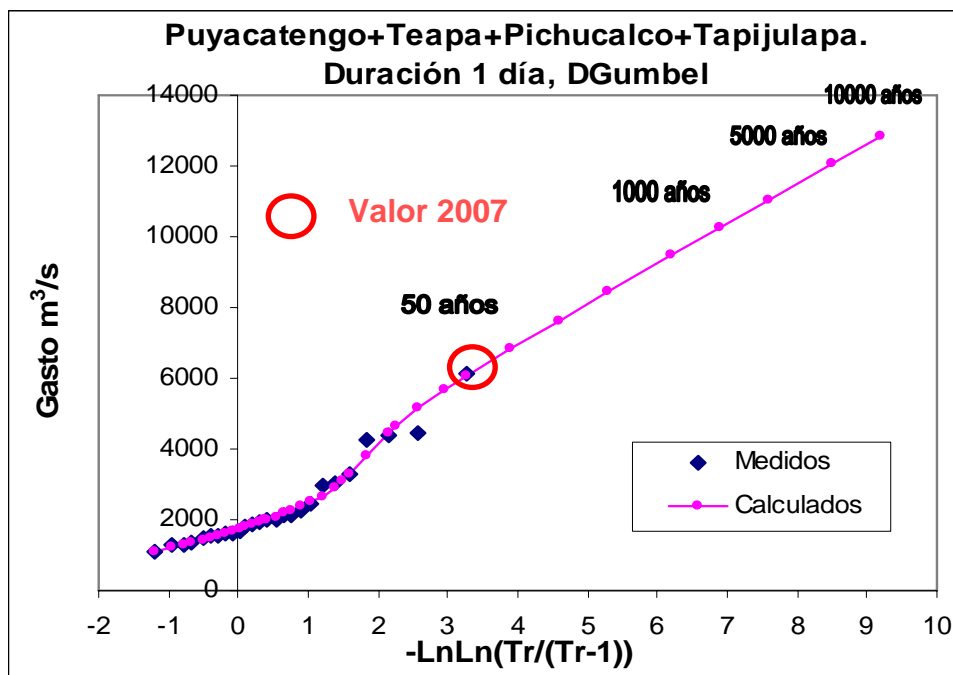


Figura 4.11. Tapijulapa+Puyacatengo+Teapa+Pichucalco, año 2008

Tabla 4.16. Tapijulapa+Puyacatengo+Teapa+Pichucalco, año 2000

Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	9 días	10 días
2	2221	1828	1522	1313	1160	1056	973.43	853	810
5	3122	2445	2011	1729	1551	1424	1306.65	1129	1069
10	3718	2853	2335	2005	1809	1667	1527.27	1311	1240
20	4290	3245	2646	2269	2058	1901	1738.89	1486	1404
50	5030	3753	3048	2611	2379	2204	2012.81	1712	1617
100	5584	4133	3349	2867	2620	2431	2218.08	1881	1776
200	6137	4511	3649	3122	2860	2657	2422.6	2050	1935
500	6866	5011	4045	3459	3176	2955	2692.42	2273	2144
1000	7417	5389	4344	3714	3415	3180	2896.35	2442	2302
2000	7968	5766	4644	3968	3654	3405	3100.18	2610	2460
5000	8696	6265	5039	4305	3970	3703	3369.66	2832	2670
10000	9247	6642	5338	4559	4209	3928	3573.36	3001	2828

Tabla 4.17. Tapijulapa+Puyacatengo+Teapa+Pichucalco, año 2008

Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	9 días	10 días
2	1977	1675	1415	1221	1085	993	931	874	785
5	3102	2479	2010	1674	1449	1314	1227	1145	1009
10	4655	3454	2821	2410	2135	1925	1743	1595	1406
20	5694	4509	3904	3517	3195	2860	2553	2304	2113
50	6835	5750	5188	4783	4375	3899	3467	3115	2913
100	7642	6634	6096	5677	5207	4632	4111	3686	3478
200	8431	7496	6984	6548	6019	5347	4740	4244	4029
500	9459	8622	8139	7685	7077	6278	5563	4972	4748
1000	10234	9468	9012	8542	7872	6983	6176	5516	5290
2000	11012	10312	9884	9392	8670	7675	6794	6065	5823
5000	12041	11436	11011	10512	9737	8604	7622	6799	6539
10000	12807	12273	11870	11356	10474	9295	8231	7305	7072

En la siguiente tabla se comparan los resultados obtenidos para el conjunto simultáneo con los correspondientes al total de la suma de los valores de cada estación, para un periodo de retorno de 100 años.

Valores simultáneos			Suma de los valores individuales		
D = 1 día	D = 5 días	D = 10 días	D = 1 día	D = 5 días	D = 10 días
7642	5207	3478	7802	3914	2641

En la tabla anterior se muestra que los gastos medios estimados para duraciones de 5 y 10 días resultan mayores al considerar los simultáneos que al considerar la suma de los individuales. Este resultado, es ilógico, y probablemente se debe a que el tamaño de la muestra de los valores simultáneos es bastante menor que el de las muestras de cada estación por separado, como se observa si se compara la Tabla 4.15 con las Tablas 4.1, 4.4, 4.7, y 4.10.

Considerando que el análisis de los eventos históricos muestra que los escurrimientos máximos prácticamente siempre se presentan al mismo tiempo en

todas las cuencas (Tabla 4.18), se recomienda tomar como base inicial para el diseño a la suma de los valores individuales (con lo que, como se muestra en la tabla, se estaría ligeramente del lado de la seguridad). De cualquier forma se realizará un análisis regional para afinar los resultados.

Tabla 4.18. Análisis de simultaneidad de los gastos máximos anuales registrados para una duración de 1 día

Año	Pichucalco	Teapa	Puyacatengo	Tapijulapa	Suma	Simultáneos
1950		664			664	
1951		934	556		1490	
1952		916	200		1116	
1953		788	162		950	
1954		500	188		688	
1955		901	270		1171	
1956	400	536	249		1185	
1957	543	582	145		1270	
1958	417	482	198		1097	
1959	445	562	322		1329	
1960	276	240	155		671	
1961	592	622	269		1483	
1962	276	256	103		635	
1963	315	487	179		981	
1964	707	602	263	986	2558	2289
1965	665	491	262	815	2233	2107
1966	226	310	95	1084	1715	1628
1967	1090	716	395	2626	4827	4401
1968	857	444	277	651	2229	2013
1969	950	474	210	1405	3039	3038
1970	484	397	176	955	2012	1777
1971	281	223	105	1027	1636	1636
1972	667	1066	220	948	2901	
1973	734	989	192	2596	4511	4478
1974	627	847	258	2587	4319	4251
1975	462	852	260	1718	3292	3272
1976	425	486	218	871	2000	1883
1977	561	664	284	926	2435	2436
1978	811	560	292	1599	3262	2944
1979	526	619	169	1169	2483	1952
1980	730	521	169	634	2054	1978
1981	454	381	153	897	1885	1565
1982	493	339	192	759	1783	1368
1983	276	289	156	810	1531	1066
1984	342	381	104	1133	1960	1687
1985	305	478		490	1273	
1986	312	469	233	1270	2284	2097
1987	263		141	941	1345	
1988	329	339		845	1513	

Tabla 4.18. Análisis de simultaneidad de los gastos máximos anuales registrados para una duración de 1 día

Año	Pichucalco	Teapa	Puyacatengo	Tapijulapa	Suma	Simultáneos
1989	523	464		1182	2169	
1990				1646	1646	
1991				667	667	
1992		452	218	930	1600	
1993		320	113	857	1290	
1994		480	167	754	1401	
1995	395	314	155	1072	1936	1309
1996	261		143	1858	2262	
1997	321	306	197	1161	1985	1512
1998	242	258	130	1177	1807	1314
1999	242	449	161	1319	2171	1579
2000		497	689	2267	3453	
2001	337	238		837	1412	
2002		563		640	1203	
2003		372	186	1034	1592	
2004		332		838	1170	
2005		501		565	1066	
2006						
2007	1920	971	806	3201	6898	6103

2.3 Análisis regional

El análisis regional del conjunto de los escurrimientos máximos de los ríos de La Sierra permite aprovechar toda la información disponible sin la necesidad de que se haya medido simultáneamente; adicionalmente conduce a resultados más estables y congruentes.

La idea principal es normalizar la información de las distintas estaciones para conformar una sola muestra con tantos valores como estaciones-año disponibles.

En el caso de los ríos de La Sierra, la normalización se realizó dividiendo cada uno de los valores máximos anuales entre la media correspondiente a cada estación; dichas medias se presentan en la Tabla 4.19, para duraciones de 1 a 10 días.

Tabla 4.19. Medias de los valores máximos anuales

	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
Teapa	527	433	357	301	266	246	226	208	195	183
Tapijulapa	1203	971	823	725	653	597	555	524	501	481
Puyacatengo	229	171	137	117	104	95	87	81	76	72
Pichucalco	514	422	345	292	254	229	210	195	183	172
Simultaneidad	2372	1945	1645	1426	1273	1162	1071	998	943	899
Suma individuales	2474	1997	1662	1436	1277	1166	1079	1009	954	907
Proporción	0.96	0.97	0.99	0.99	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99

En la Tabla 4.19 se observa que al trabajar con las medias (que son valores menos sujetos a variaciones derivadas del tamaño de las muestras), se obtienen ya valores ligeramente menores para la muestra de simultáneos que para la suma de las medias individuales.

La estandarización mediante la división entre las medias se justifica por la similitud en la forma de incidencia de las aportaciones de humedad a las 4 cuencas y se comprueba con los datos de la Tabla 4.20 en la que se muestra que los coeficientes de variación son similares en las distintas cuencas (aunque también en los 4 casos tienden a disminuir con la duración).

Tabla 4.20. Coeficientes de variación de los gastos máximos anuales para distintas duraciones

COEF VAR	Duración	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	10 días
Puya	Cvar	0.60	0.50	0.44	0.43	0.40	0.38
Tapi	Cvar	0.52	0.49	0.51	0.51	0.51	0.46
Pichu	Cvar	0.61	0.54	0.50	0.48	0.46	0.33
Teapa	Cvar	0.43	0.44	0.44	0.41	0.41	0.40
Simultáneos	Cvar	0.52	0.48	0.50	0.49	0.49	0.44

Una vez estandarizados los gastos máximos anuales de las 4 estaciones se formaron muestras (una para cada duración) de 184 valores correspondientes a la suma de los registrados en cada estación hidrométrica. A dichas muestras se le ajustaron funciones Doble Gumbel como se muestra a manera de ejemplo en la Fig. 4.12. Los resultados correspondientes a varios periodos de retorno y duraciones de 1 a 10 días se muestran en la Tabla 4.21.

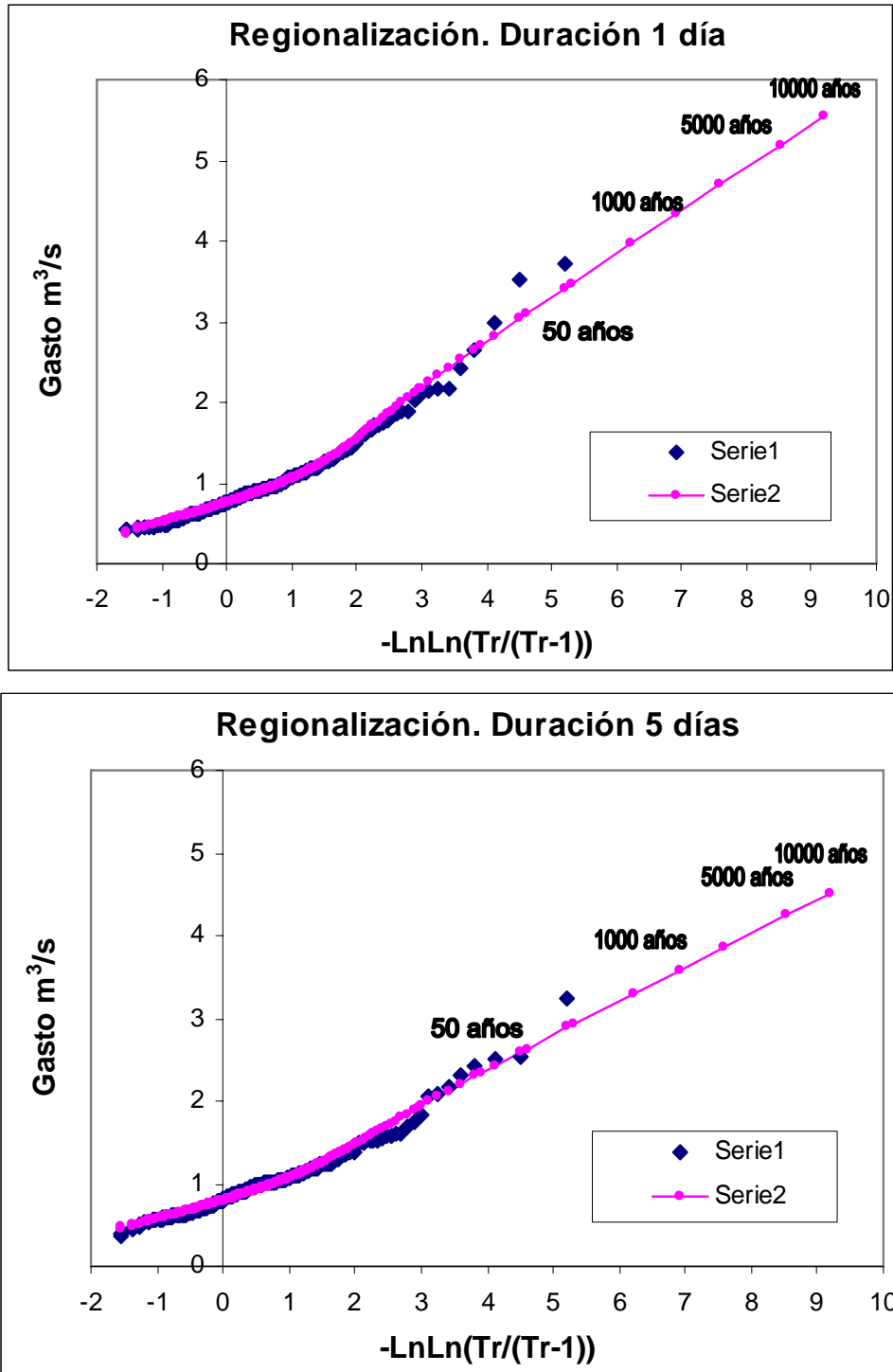


Figura 4.12. Funciones de distribución ajustadas a las muestras regionales de 1 y 5 días

Tabla 4.21. Resultados de la extrapolación de las funciones de distribución regionales

Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.89	0.89	0.89	0.9	0.9
5	1.26	1.27	1.26	1.25	1.25	1.26	1.26	1.25	1.24	1.23
10	1.71	1.68	1.63	1.6	1.59	1.59	1.59	1.57	1.55	1.54
20	2.16	2.06	1.99	1.94	1.92	1.9	1.89	1.88	1.85	1.84
50	2.7	2.5	2.41	2.37	2.33	2.27	2.26	2.26	2.22	2.22
100	3.09	2.81	2.71	2.67	2.63	2.54	2.52	2.53	2.49	2.5
200	3.46	3.12	3.01	2.97	2.92	2.81	2.78	2.8	2.75	2.78
500	3.96	3.53	3.4	3.36	3.3	3.16	3.12	3.15	3.1	3.13
1000	4.33	3.83	3.7	3.66	3.58	3.42	3.37	3.41	3.36	3.4
2000	4.7	4.14	3.99	3.96	3.87	3.69	3.63	3.68	3.62	3.67
5000	5.19	4.54	4.38	4.34	4.25	4.04	3.97	4.02	3.96	4.02
10000	5.55	4.86	4.65	4.63	4.52	4.3	4.22	4.28	4.24	4.29

Una vez realizados los ajustes para la muestra regional se obtuvieron los valores correspondientes a cada estación y a los datos simultáneos multiplicando los valores de la Tabla 4.21 por las medias correspondientes (ver Tabla 4.19). Los resultados se presentan en las tablas siguientes.

Tabla 4.22. Resultados regionales

a) Teapa Regional

Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	448	373	310	265	237	219	201	186	175	165
5	664	550	450	377	333	309	285	261	241	225
10	901	728	582	482	423	390	359	327	301	282
20	1138	893	710	585	511	467	427	392	360	337
50	1423	1084	860	714	620	557	510	471	432	407
100	1628	1218	967	805	700	624	569	527	484	458
200	1823	1352	1074	895	777	690	628	584	535	510
500	2086	1530	1213	1013	879	776	705	657	603	574
1000	2281	1660	1320	1103	953	840	761	711	654	623
2000	2476	1794	1424	1193	1030	906	820	767	704	673
5000	2734	1968	1563	1308	1131	992	897	838	770	737
10000	2924	2106	1659	1395	1203	1056	953	892	825	786

b) Tapijulapa Regional

2	1023	835	716	638	581	531	494	466	450	432
5	1516	1233	1036	907	816	752	700	655	621	591
10	2058	1631	1341	1160	1038	949	883	822	776	740
20	2599	2000	1637	1407	1253	1133	1050	985	926	884
50	3249	2427	1982	1719	1521	1354	1255	1184	1111	1067
100	3719	2728	2229	1936	1717	1515	1400	1325	1246	1201
200	4164	3029	2476	2154	1906	1676	1544	1467	1376	1336
500	4766	3427	2797	2437	2154	1885	1733	1650	1552	1504
1000	5211	3719	3044	2654	2337	2040	1872	1786	1682	1634
2000	5656	4020	3282	2872	2526	2201	2016	1928	1812	1764
5000	6246	4408	3603	3148	2774	2410	2205	2106	1982	1932
10000	6679	4719	3825	3358	2951	2565	2344	2242	2122	2061

c) Puyacatengo Regional

Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	195	147	119	103	93	84	78	72	69	64
5	289	218	173	147	130	119	110	101	94	88
10	392	288	224	188	166	151	139	127	118	110
20	496	353	273	228	200	180	165	153	141	132
50	620	429	331	278	243	215	197	183	169	159
100	709	482	372	314	274	241	220	205	190	179
200	794	535	413	349	304	266	243	227	209	199
500	909	605	467	395	343	299	273	256	236	224
1000	994	657	508	430	373	324	294	277	256	244
2000	1079	710	548	465	403	350	317	299	276	263
5000	1191	778	601	510	442	383	347	326	301	288
10000	1274	833	638	544	470	408	369	347	323	307

d) Pichucalco Regional

Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	437	363	301	257	226	204	187	174	165	155
5	648	535	435	365	318	289	265	244	227	211
10	879	708	563	467	404	365	334	307	283	265
20	1111	868	687	566	488	436	397	367	338	316
50	1388	1054	832	692	592	521	474	441	406	382
100	1589	1185	936	779	668	583	529	494	455	430
200	1779	1315	1040	867	742	645	584	547	503	478
500	2036	1488	1174	981	838	725	655	615	567	538
1000	2226	1615	1278	1068	909	785	707	666	614	585
2000	2417	1745	1378	1156	983	846	762	719	662	631
5000	2669	1914	1513	1267	1080	927	833	785	724	691
10000	2854	2049	1606	1351	1148	986	886	836	775	738

e) Simultáneos Regional

Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	2017	1673	1432	1255	1133	1034	954	888	848	809
5	2989	2470	2073	1783	1591	1464	1350	1247	1169	1105
10	4057	3267	2682	2282	2024	1847	1704	1566	1461	1384
20	5124	4006	3274	2767	2444	2207	2025	1875	1744	1654
50	6406	4862	3966	3380	2965	2637	2421	2254	2093	1995
100	7331	5465	4459	3808	3347	2951	2700	2524	2347	2247
200	8209	6068	4953	4235	3716	3265	2978	2793	2593	2498
500	9395	6865	5595	4792	4200	3671	3343	3142	2923	2813
1000	10273	7449	6088	5219	4556	3973	3611	3402	3168	3056
2000	11150	8052	6565	5647	4925	4287	3889	3671	3413	3298
5000	12313	8829	7207	6189	5409	4694	4253	4010	3733	3613
10000	13167	9452	7651	6603	5753	4996	4521	4269	3997	3855

Como se comentó, al estar basados en toda la información disponible en la región de los ríos de La Sierra y utilizar las respectivas medias de los valores máximos anuales registrados se obtienen valores congruentes entre sí y menos dependientes de los tamaños de cada muestra individual. En la siguiente sección se presenta una comparación, para el periodo de retorno de 100 años, entre los resultados obtenidos trabajando regionalmente y los obtenidos al manejar cada estación por separado.

2.4 Comparaciones

En la Tabla 4.23 se muestra una comparación entre los resultados obtenidos, para un periodo de retorno de 100 años siguiendo dos caminos: el primero, al que se denominó “individuales” corresponde al estudio de los valores máximos de cada cuenca y de la simultánea, por separado, y el segundo a los resultados obtenidos con el procedimiento de regionalización.

Tabla 4.23. Comparación entre los resultados obtenidos en el estudio individualizado y el regional (para un periodo de retorno de 100 años)

Tr = 100										
	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
Teapa										
Individual	1203	1015	828	675	594	555	510	465	430	404
Regional	1628	1218	967	805	700	624	569	527	484	458
Tapijulapa										
Individual	3548	3108	2902	2621	2310	2060	1846	1681	1565	1517
Regional	3719	2728	2229	1936	1717	1515	1400	1325	1246	1201
Puyacatengo										
Individual	980	613	437	373	304	259	243	235	220	210
Regional	709	482	372	314	274	241	220	205	190	179
Pichucalco										
Individual	2071	1414	1041	857	706	595	521	521	343	318
Regional	1589	1185	936	779	668	583	529	494	455	430
Simultáneos										
Individual	7642	6634	6096	5677	5207	4632	4111	3686	3571	3478
Regional	7331	5465	4459	3808	3347	2951	2700	2524	2347	2247
Suma 4 cuencas										
Individual	7802	6150	5207	4525	3914	3469	3120	2902	2558	2449
Regional	7645	5613	4504	3834	3359	2962	2718	2552	2376	2268
Factores										
Individual	0.98	1.08	1.17	1.25	1.33	1.34	1.32	1.27	1.40	1.42
Regional	0.96	0.97	0.99	0.99	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99

Lo primero que se observa es que con la regionalización ya no se llega a la incongruencia de que los valores simultáneos sean mayores que la suma de los individuales.

En el caso de la estación Teapa, donde lo registrado en 2007 fue relativamente “menos extraordinario” (ver Fig. 4.5) los valores regionales resultaron significativamente mayores que los individuales.

En las otras 3 estaciones y en la de valores simultáneos, los valores registrados en 2007 fueron mayores que todos los registrados anteriormente, como se muestra en las Figs. 4.3, 4.7, 4.9 y 4.11. Este efecto es menos significativo en las medias que sirven de base para el estudio regional, por lo que estos últimos valores (los regionales) son en general menores que los obtenidos individualmente, con las excepciones de Tapijulapa para la duración de 1 día y Pichucalco para duraciones mayores a 7 días.

2.5 Comparación entre la avenida de 2007 y las regionales de T = 100 años

2.5.1 Cálculo de los valores individuales

Dado que los gastos promedio para una duración cualquiera, d, se expresan como

$$\bar{Q}_d = (q_1 + q_2 + \dots + q_d)/d \quad (1)$$

donde \bar{Q}_d es el gasto medio para una duración de d días y q_d el gasto medio en el día d, éste último se puede obtener con las ecuaciones recursivas:

$$q_1 = \bar{Q}_1 \quad (2)$$

$$q_d = d(\bar{Q}_d) - \sum_{k=1}^{K=d-1} q_k \quad (3)$$

Así, si se consideran los valores de la Tabla 4.24, para la estación Teapa y para un periodo de retorno de 100 años, se tendría:

$$q_1 = 1628$$

$$q_2 = 2 \times 1218 - 1628 = 808$$

$$Q_3 = 3 \times 967 - (1628 + 808) = 465$$

y, así sucesivamente, hasta obtener los valores que se muestran en la Tabla 4.24, en la que también se muestran los valores ordenados.

Tabla 4.24. Gastos medios, individuales e individuales ordenados cuenca de la estación Teapa

Día	Valores Medios	Individuales	Individuales Ordenados
1	1628	1628	101
2	1218	808	140
3	967	465	112
4	805	318	465
5	700	282	1628
6	624	242	808
7	569	241	318
8	527	235	282
9	484	140	242
10	458	223	241
11	433	184	235
12	405	99	140
13	383	112	223
14	366	140	184
15	348	101	99

En las Figs. 4.13 a 4.17 se muestra una comparación entre las avenidas registradas en 2007 y las que se obtienen para 100 años de periodo de retorno con el método regional.

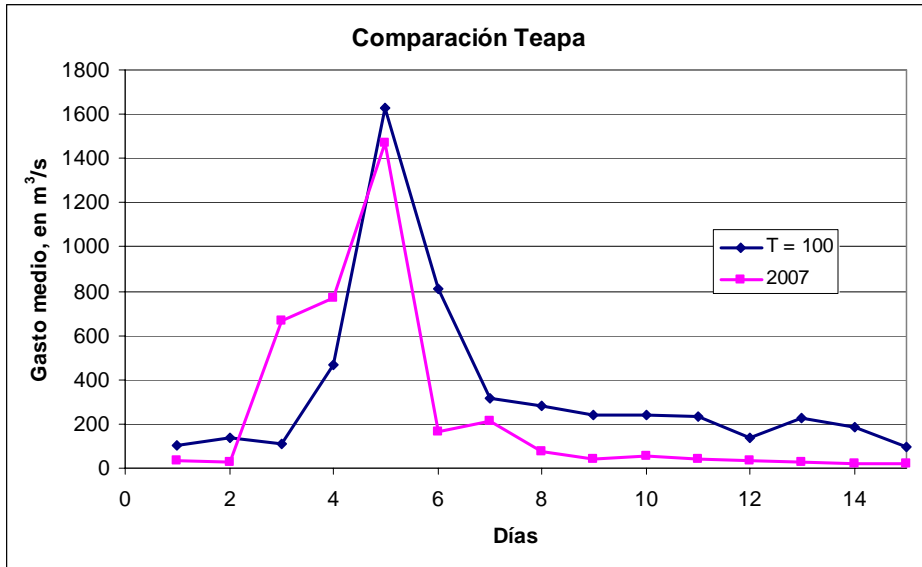


Figura 4.13. Comparación Estación Teapa

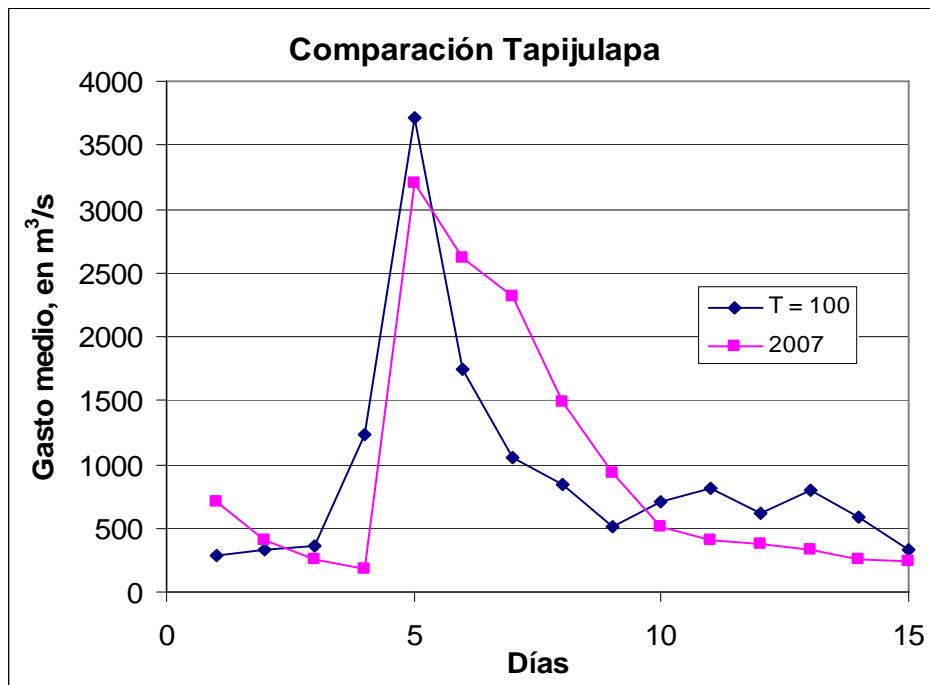


Figura 4.14. Comparación Estación Tapijulapa

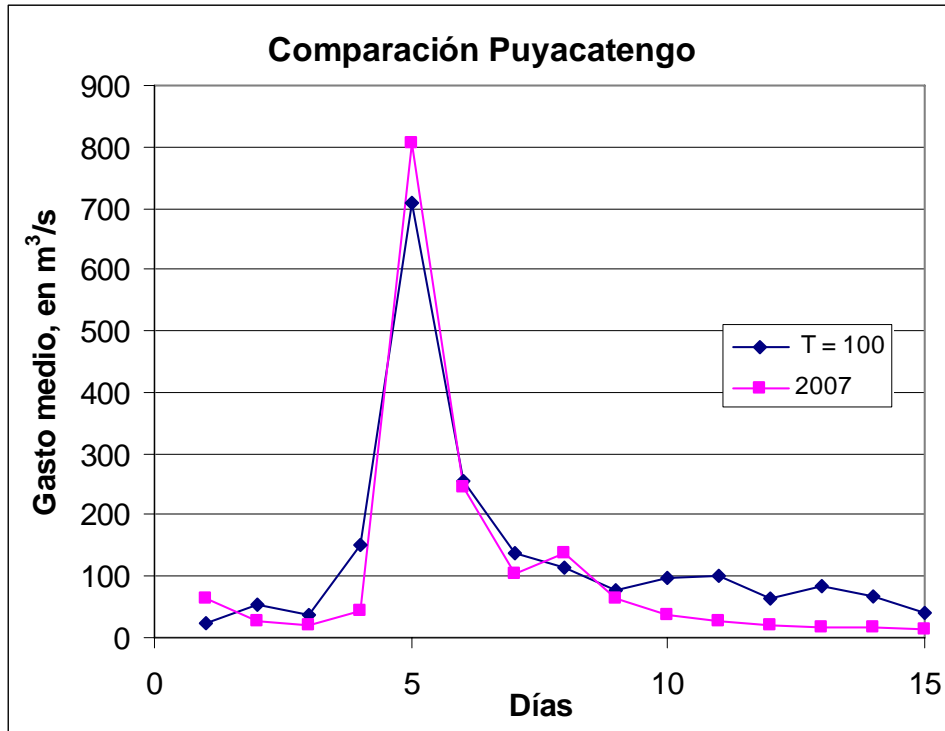


Figura 4.15. Comparación Estación Puyacatengo

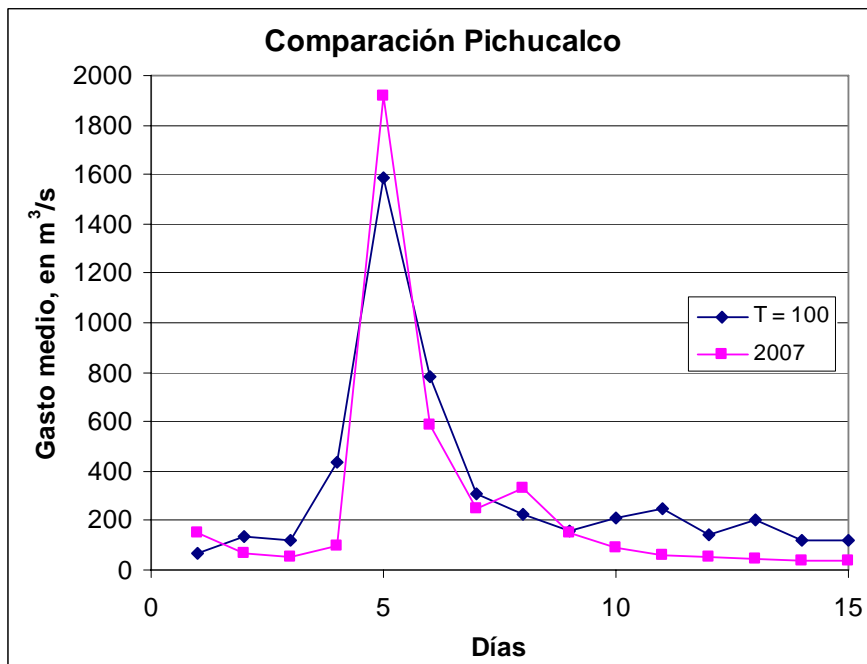


Figura 4.16. Comparación Estación Pichucalco

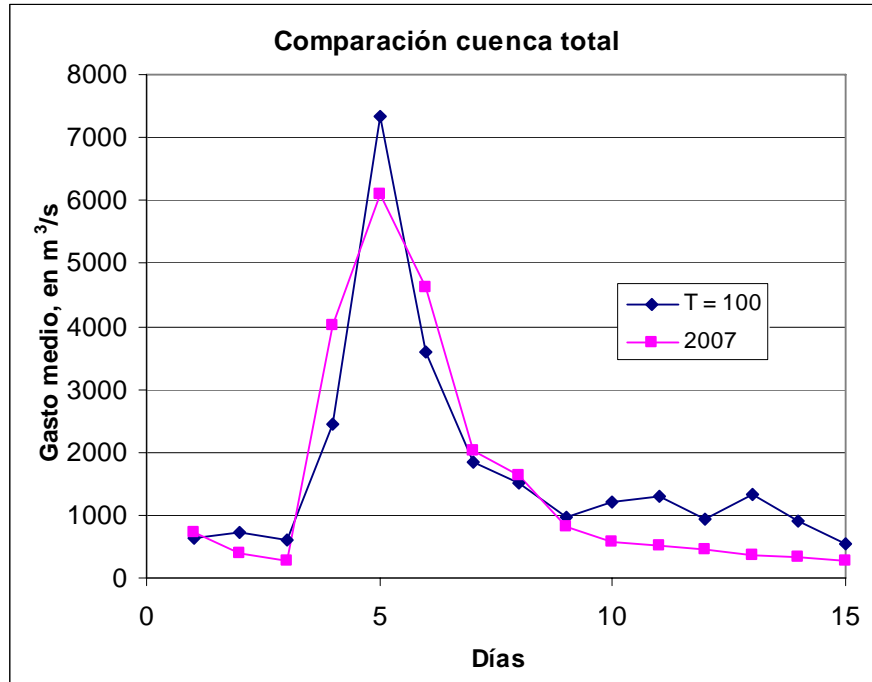


Figura 4.17. Comparación Cuenca Total

Finalmente, en la Tabla 4.25 se presentan los gastos diarios correspondientes a las avenidas con periodo de retorno de 100 años.

Tabla 4.25. Gastos diarios correspondientes a las avenidas con periodo de retorno de 100 años

Teapa		Tapijulapa	
Día	Gasto m ³ /s	Día	Gasto m ³ /s
1	101	1	281
2	140	2	336
3	112	3	361
4	465	4	1231
5	1628	5	3719
6	808	6	1738
7	318	7	1058
8	282	8	839
9	242	9	507
10	241	10	707
11	235	11	805
12	140	12	614
13	223	13	796
14	184	14	580
15	99	15	334

Puyacatengo		Pichucalco	
Día	Gasto m ³ /s	Día	Gasto m ³ /s
1	24	1	70
2	52	2	137
3	38	3	119
4	152	4	439
5	709	5	1589
6	255	6	780
7	139	7	309
8	114	8	223
9	76	9	156
10	96	10	207
11	102	11	249
12	63	12	146
13	85	13	200
14	68	14	119
15	39	15	118

Cuenca Total Simultáneos	
Día	Gasto m ³ /s
1	621
2	730
3	617
4	2448
5	7331
6	3599
7	1853
8	1506
9	970
10	1193
11	1290
12	938
13	1340
14	910
15	538

3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS GASTOS MÁXIMOS ANUALES REGISTRADOS EN LOS AFLUENTES DEL RÍO CHILAPA

3.1 Introducción

Las descargas del río Chilapa al Grijalva se presentan al oriente de la ciudad de Villahermosa. Las principales aportaciones a esas descargas se miden en las estaciones hidrométricas de Macuspana y Salto de Agua.

En este informe se presenta el análisis estadístico de los gastos medios máximos anuales registrados en las estaciones mencionadas (Macuspana y Salto de Agua) y en una cuenca virtual en la que se considera la suma, día a día, de los escurrimientos registrados simultáneamente en ambas.

En cada uno de los tres casos: Macuspana, Salto de Agua y cuenca virtual, la presentación incluye la información básica de gastos medios diarios máximos anuales para distintas duraciones, dos figuras en las que se muestra gráficamente, una comparación entre los periodos de retorno estimados directamente de los datos con la fórmula de Weibull y los estimados con la función de distribución de probabilidades ajustada. Para dichas gráficas se escogieron, a manera de ejemplo, las duraciones de 1 día y 5 días.

Adicionalmente, también para los tres casos, se comparan los resultados obtenidos con la información más reciente, con los obtenidos en el estudio realizado en el año 2000.

3.2 Estación hidrométrica MACUSPANA

3.2.1 Datos básicos

La información diaria de gastos medios fue obtenida de la base de datos BANDAS, complementada con información proporcionada directamente por la CONAGUA. Así, se logró un registro continuo para cada uno de los años 1956 a 1986 y 2001 a 2007.

A partir de la información de gastos medios diarios se obtuvieron, para cada año, los gastos medios máximos, en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, para duraciones de 1 a 60 días; en la Tabla 4.26 se muestran los valores obtenidos para duraciones de 1 a 10 días. Los valores correspondientes a los eventos más importantes están marcados con rojo y la información nueva, con respecto a la usada en el año 2000, se sombreó con amarillo.

Tabla 4.26. Gastos medios diarios registrados en la estación Macuspana

MACUSPANA										
Año	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
1956	910	896	890	862	845	817	792	771	750	730
1957	574	572	565	561	556	551	544	537	530	523
1958	635	630	628	621	613	603	593	581	572	561
1959	619	613	609	598	586	572	559	551	542	532
1960	529	522	516	511	505	496	486	477	467	458
1961	635	635	629	623	616	603	591	572	554	536
1962	456	453	448	439	432	427	420	408	401	399
1963	431	431	428	424	419	414	409	406	403	400
1964	542	539	533	528	519	512	503	493	485	478
1965	477	476	473	469	463	457	447	437	426	413
1966	459	459	455	454	450	444	431	420	412	406
1967	1278	1237	1214	1154	1092	1037	992	954	917	882
1968	563	557	552	539	526	516	504	495	482	471
1969	475	474	473	470	468	466	464	462	459	456
1970	433	433	432	431	428	423	418	412	407	400
1971	452	452	449	447	437	429	415	410	407	404
1972	543	542	537	531	523	511	501	486	464	438
1973	1015	1011	1006	1000	988	978	967	956	942	925
1974	561	560	553	544	532	517	504	482	467	455
1975	776	761	754	733	716	701	686	673	661	649
1976	639	637	629	624	615	601	592	579	567	554
1977	586	585	577	570	554	537	521	503	481	460
1978	920	913	888	864	844	818	792	771	751	734
1979	632	627	624	614	601	590	581	580	580	578
1980	648	640	636	625	614	602	592	583	574	566
1981	669	666	665	663	660	658	656	651	647	642
1982	531	527	525	522	517	511	504	497	490	483
1983	442	437	426	412	398	386	375	363	351	339
1984	553	550	549	543	539	531	524	515	507	498
1985	388	375	370	357	351	341	331	320	309	299
1986	397	396	395	393	391	387	384	378	370	363
2001	1006	998	987	980	961	826	845	858	862	865
2002	1010	1003	996	988	979	967	951	946	944	942
2003	1075	1074	1069	1065	1058	1048	1039	1024	1012	1006
2004	908	902	892	880	863	827	799	769	740	709
2005	964	963	958	944	912	880	851	850	845	841
2006	1221	1218	1214	1212	1208	1203	1198	1191	1184	1178
2007	1173	1117	1113	1105	1096	1089	1080	1069	1056	1046

No se tiene información de los años 1987 a 2000, debido a que la estación hidrométrica Macuspana no tiene datos en estos años.

La Tabla 4.26 muestra que las crecientes más importantes, antes del evento de 2007 ocurrieron en los años 1967, 1973, 2001, 2002, 2003 y 2006, de los cuales, para 1 día el de 1967 y el de 2006 fueron mayores que el de 2007, y para 5 días lo fue el de 2006. Es interesante notar que de los 7 eventos mayores, dos fueron ya considerados en el estudio realizado en el año 2000 y 5, incluyendo el de 2007, ocurrieron después, también es importante resaltar que el año de 1999 fue un año bastante lluvioso, pero no se cuenta con la información hidrométrica correspondiente.

3.2.2 Análisis estadístico

Utilizando el programa AX desarrollado por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) se probaron distintas funciones de distribución de probabilidades para ajustarlas a los máximos anuales correspondientes a cada duración. Al comparar los resultados, se decidió utilizar la función de Gumbel que, como se observa en las figuras 4.18 y 4.19, se ajusta muy bien a los datos de la muestra.

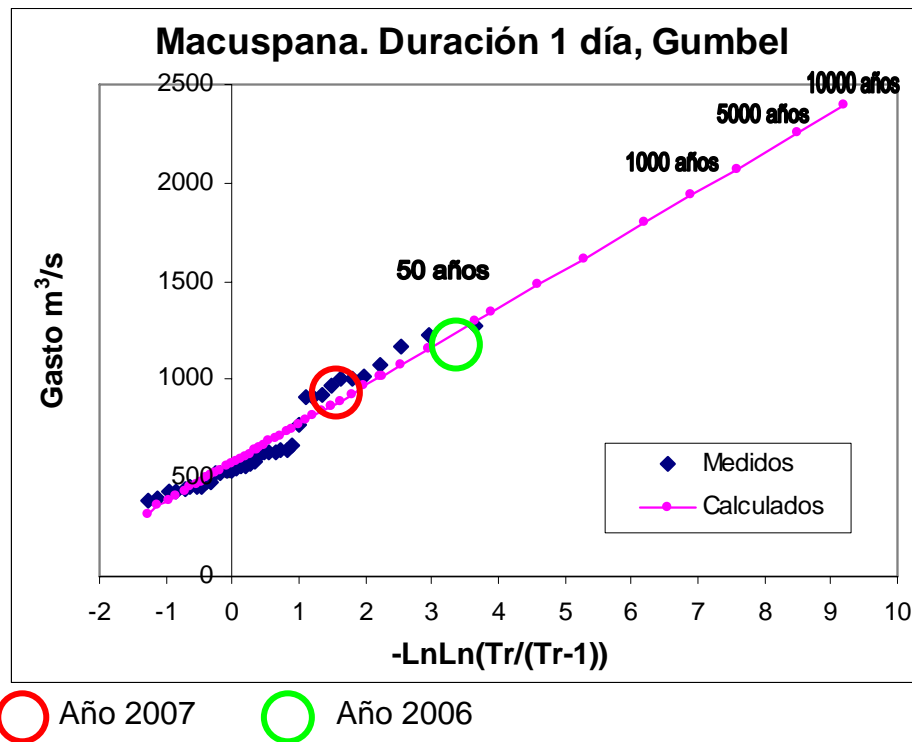


Figura 4.18 Ajuste de la función de Gumbel a la muestra de gastos máximos anuales correspondientes a la duración de 1 día

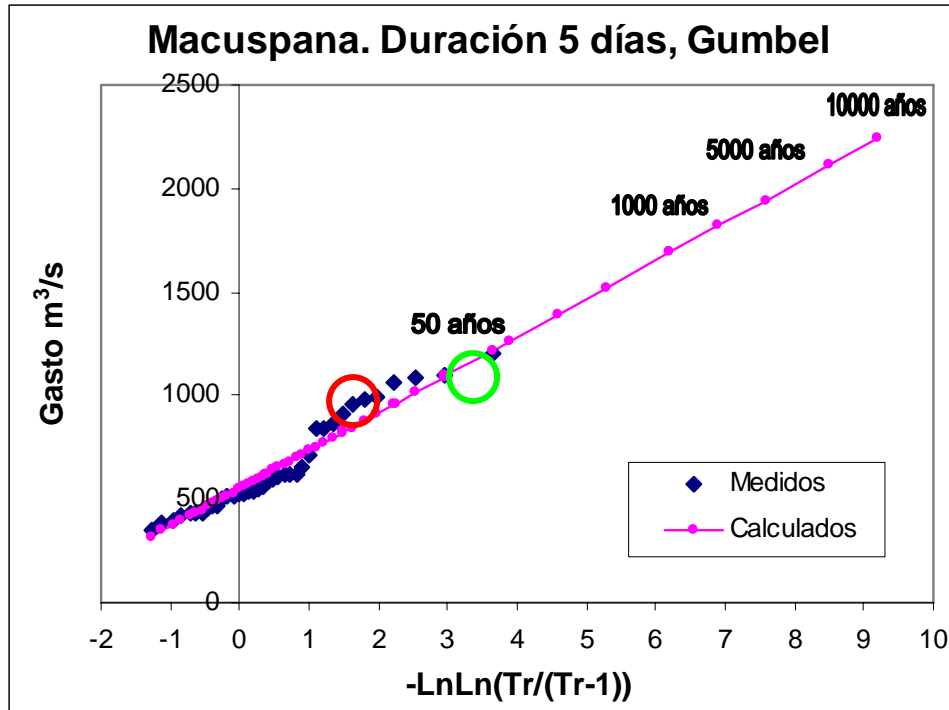


Figura 4.19 Ajuste de la función de Gumbel a la muestra de gastos máximos anuales correspondientes a la duración de 5 días

3.2.3 Resultados

En las Tablas 4.27 y 4.28 se muestra la relación estimada entre gasto medio, en $m^3 \cdot s^{-1}$, duración y periodo de retorno; la Tabla 4.27 corresponde a los resultados obtenidos en el estudio del año 2000, y la Tabla 4.28 a los obtenidos con la información adicional actualmente disponible (es decir, hasta el 2007).

Al comparar los valores que se muestran en las dos tablas, se observa que para 1 día de duración, los gastos estimados aumentaron para periodos de retorno entre 2 y 20 años y en cambio disminuyeron para periodos de retorno mayores que 50 años. Para una duración de 5 días o más, los gastos estimados con la información más reciente se incrementaron ligeramente (del orden de un 10%) para todos los periodos de retorno.

Tabla 4.27. Estación Macuspana, estudio del año 2000

MACUSPANA ESTUDIO AÑO 2000										
Tr	DOBLE GUMBEL						GUMBEL			
	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	555	551	547	539	532	522	530	519	509	498
5	727	723	717	705	696	682	669	654	640	626
10	932	923	910	888	868	843	761	744	727	710
20	1124	1102	1086	1049	1012	975	849	830	810	791
50	1344	1309	1288	1235	1177	1127	964	941	918	896
100	1500	1455	1432	1368	1294	1235	1049	1024	999	975
200	1653	1598	1573	1498	1409	1341	1135	1107	1080	1053
500	1853	1785	1757	1667	1560	1481	1247	1216	1186	1156
1000	2003	1926	1895	1794	1674	1585	1332	1299	1266	1235
2000	2154	2067	2032	1921	1786	1689	1417	1382	1347	1313
5000	2354	2255	2213	2087	1932	1827	1530	1491	1453	1416
10000	2503	2395	2350	2213	2045	1935	1615	1574	1533	1494

Tabla 4.28. Estación Macuspana, estudio del año 2008

GUMBEL										
Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	646	640	635	626	616	602	591	580	569	559
5	869	859	851	839	824	802	789	777	765	754
10	1017	1004	995	980	962	935	920	908	895	884
20	1159	1142	1132	1115	1094	1063	1046	1033	1020	1008
50	1343	1322	1310	1289	1265	1228	1209	1195	1181	1168
100	1481	1456	1443	1420	1393	1352	1332	1317	1301	1289
200	1618	1590	1576	1551	1521	1475	1453	1438	1422	1409
500	1799	1767	1751	1723	1689	1637	1614	1597	1580	1567
1000	1936	1901	1884	1853	1817	1760	1735	1718	1700	1686
2000	2072	2034	2016	1983	1944	1883	1857	1839	1820	1806
5000	2253	2211	2191	2155	2112	2046	2017	1998	1979	1964
10000	2390	2345	2324	2285	2240	2168	2138	2119	2099	2083

3.3 Estación Hidrométrica Salto de Agua

3.3.1 Datos básicos

La información diaria de gastos medios fue obtenida de la base de datos BANDAS, complementada con información proporcionada directamente por la CONAGUA. Así, se logró un registro continuo para cada uno de los años 1953 a 1986, de 1988 y de 1990 a 2007.

A partir de la información de gastos medios diarios se obtuvieron, para cada año, los gastos medios máximos, en $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, para duraciones de 1 a 60 días; en la Tabla 4.29 se muestran los valores obtenidos para duraciones de 1 a 10 días. Los valores correspondientes a los eventos más importantes están marcados con rojo y la información nueva, con respecto a la usada en el año 2000, se sombreó con amarillo. En la tabla se observa que hay muchos años en los que los gastos registrados fueron mayores que los de 2007

Tabla 4.29. Gastos medios diarios registrados en la estación Salto de Agua, $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$

SALTO DE AGUA										
año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1953	1450	1441	1286	1184	1069	1014	965	905	860	817
1954	894	767	743	710	708	690	670	644	621	604
1955	1424	1350	1317	1233	1230	1234	1204	1162	1106	1046
1956	1237	1220	1214	1209	1181	1143	1111	1085	1041	990
1957	1260	1056	972	879	787	725	672	622	578	542
1958	1189	1183	1106	1039	971	909	883	841	805	765
1959	1426	1343	1164	1028	908	808	730	669	620	580
1960	1081	974	843	787	720	669	635	619	596	568
1961	1328	1162	1084	957	846	757	709	667	654	641
1962	1050	1020	974	905	817	749	696	651	631	616
1963	1175	1160	1043	951	869	806	771	793	795	796
1964	1672	1605	1481	1238	1083	959	864	849	819	784
1965	877	863	767	712	665	641	640	650	659	651
1966	1144	1031	947	886	797	744	771	754	740	708
1967	2022	1984	1936	1862	1772	1604	1469	1336	1235	1177
1968	1536	1291	1079	880	788	740	684	635	595	562
1969	1273	1216	1154	1034	905	852	835	806	773	753
1970	1079	1051	907	829	785	737	710	674	645	655
1971	1359	1280	1151	1001	878	780	714	663	622	588
1972	1060	860	662	560	504	489	474	456	434	410
1973	1995	1945	1870	1804	1684	1574	1463	1352	1263	1194
1974	1429	1412	1288	1172	1047	1007	930	863	800	745
1975	2431	2067	1732	1553	1317	1189	1139	1109	1075	1008
1976	1023	939	793	696	622	586	556	530	512	502
1977	1091	1023	909	777	674	600	542	494	487	476
1978	1238	1145	1080	942	869	823	803	790	771	749
1979	1174	1044	934	816	748	716	689	670	649	629
1980	1091	1070	1051	1000	961	902	855	796	759	723
1981	1310	1233	1172	1089	1007	983	975	942	954	956
1982	1017	960	906	876	837	806	769	738	727	708
1983	986	924	898	829	781	704	642	595	559	528

Tabla 4.29. Gastos medios diarios registrados en la estación Salto de Agua, $m^3 \cdot s^{-1}$

SALTO DE AGUA										
1984	1238	1201	1172	1098	1030	967	908	868	840	827
1985	878	845	722	693	683	661	653	640	625	601
1986	1267	1266	1215	1172	1088	990	918	861	814	769
1988	2006	1971	1931	1870	1807	1753	1676	1596	1511	1440
1990	1602	1572	1536	1459	1437	1412	1383	1335	1284	1235
1991	1157	1098	892	784	688	613	561	522	488	481
1992	1278	1268	1199	1164	1112	1055	989	938	885	831
1993	1060	942	815	714	634	590	557	532	509	505
1994	1034	1019	911	844	757	693	645	647	679	675
1995	1210	1103	987	903	829	766	735	729	721	702
1996	1036	957	827	735	691	643	637	633	619	594
1997	1230	1047	860	739	658	592	558	553	546	523
1998	1059	1048	974	927	889	872	848	807	768	729
1999	1815	1808	1706	1609	1536	1470	1484	1489	1434	1371
2000	1618	1285	1043	918	838	781	742	707	683	669
2001	2646	2525	2104	1823	1585	1387	1232	1148	1073	1006
2002	871	791	713	669	662	611	562	515	510	501
2003	1433	1413	1380	1266	1157	1078	999	935	879	829
2004	1523	1253	1082	904	803	841	819	774	747	725
2005	2252	1267	997	963	892	834	750	734	744	713
2006	1402	1393	1296	1182	1124	1108	1094	1073	1048	1040
2007	1544	1425	1207	1085	972	917	958	936	912	886

3.3.2 Análisis estadístico

Utilizando el programa AX se probaron distintas funciones de distribución de probabilidades para ajustarlas a los máximos anuales correspondientes a cada duración. Al comparar los resultados, se decidió utilizar la función de Gumbel que, como se observa en las Figs. 4.20 y 4.21, se ajusta bien a los datos de la muestra.

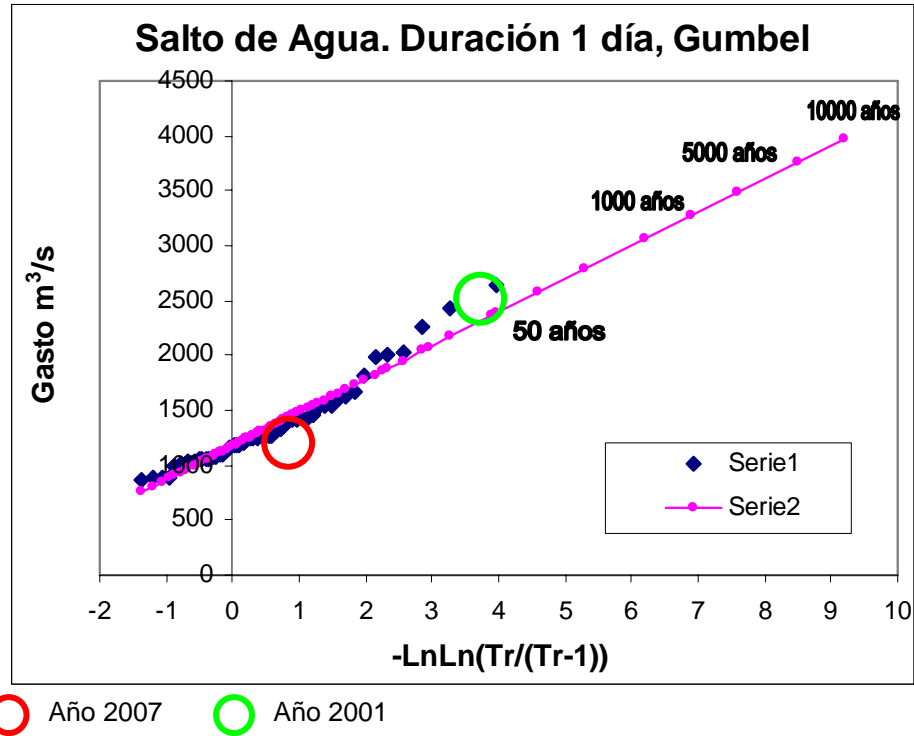


Figura 4.20. Ajuste de la función de Gumbel a la muestra de gastos máximos anuales correspondientes a la duración de 1 día

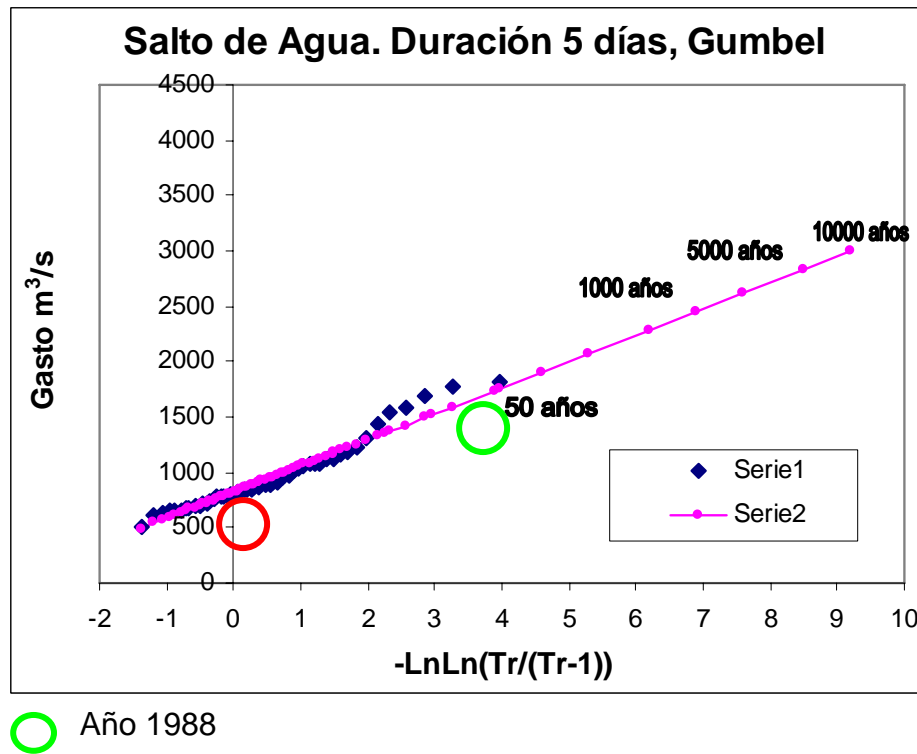


Figura 4.21. Ajuste de la función de Gumbel a la muestra de gastos máximos anuales correspondientes a la duración de 5 días

3.3.3 Resultados

En las Tablas 4.30 y 4.31 se muestra la relación estimada entre gasto medio, en $m^3 \cdot s^{-1}$, duración y periodo de retorno; la Tabla 4.30 corresponde a los resultados obtenidos en el estudio del año 2000 y la Tabla 4.31 a los obtenidos con la información adicional actualmente disponible (es decir, hasta el 2007).

Tabla 4.30. Estación SALTO DE AGUA, estudio del año 2000

Gumbel										
Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	1174	1088	1027	938	863	805	763	727	700	674
5	1445	1387	1292	1195	1108	1037	983	935	895	859
10	1734	1653	1467	1365	1270	1190	1128	1072	1024	981
20	2033	1881	1636	1529	1426	1338	1268	1203	1148	1099
50	2394	2150	1854	1740	1627	1529	1449	1374	1309	1251
100	2653	2343	2017	1898	1778	1672	1585	1501	1429	1364
200	2906	2533	2180	2056	1929	1814	1720	1628	1549	1478
500	3238	2781	2395	2264	2127	2002	1898	1796	1707	1628
1000	3487	2969	2557	2422	2277	2144	2032	1923	1827	1741
2000	3735	3155	2719	2579	2427	2287	2167	2050	1946	1854
5000	4064	3397	2933	2787	2626	2474	2345	2217	2104	2004
10000	4311	3596	3095	2944	2776	2616	2480	2344	2224	2117

Tabla 4.31. Estación SALTO DE AGUA, estudio del año 2008

Gumbel										
Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	1285	1189	1078	985	907	851	809	775	747	719
5	1629	1502	1373	1266	1174	1104	1051	1005	963	924
10	1856	1709	1568	1453	1351	1271	1211	1158	1107	1059
20	2075	1908	1756	1632	1520	1432	1365	1305	1244	1189
50	2358	2165	1998	1864	1740	1640	1564	1494	1422	1358
100	2570	2358	2180	2037	1904	1795	1713	1637	1555	1484
200	2781	2550	2361	2210	2068	1951	1862	1778	1688	1609
500	3059	2803	2600	2438	2285	2155	2058	1965	1864	1775
1000	3270	2994	2781	2611	2448	2310	2206	2106	1996	1900
2000	3480	3186	2961	2783	2611	2465	2354	2247	2129	2026
5000	3758	3439	3200	3011	2827	2670	2549	2434	2304	2191
10000	3969	3630	3380	3183	2990	2824	2697	2575	2436	2316

Al comparar los valores que se muestran en las dos tablas, se observa que para 1 día de duración los gastos fueron mayores en 2000 mientras que los gastos estimados aumentaron para periodos de retorno entre 2 y 20 años y disminuyeron para periodos de retorno mayores que 50 años. Para una duración de 5 días, en cambio, los gastos estimados con la información más reciente se incrementaron ligeramente (entre un 5% y un 8%) para todos los periodos de retorno.

3.4 Estación Hidrométrica virtual, MACUSPANA mas SALTO DE AGUA

3.4.1 Datos básicos

La información diaria de gastos medios fue obtenida de la base de datos BANDAS, complementada con información proporcionada directamente por la CONAGUA. Así, se logró un registro continuo para cada uno de los años 1956 a 1986 y de 2001 a 2007. En esos años se contó con información tanto de Macuspana como de Salto de Agua.

A partir de la información de gastos medios diarios se obtuvieron, para cada año, los gastos medios máximos, en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, para duraciones de 1 a 60 días; en la Tabla 4.32 se muestran los valores obtenidos para duraciones de 1 a 10 días. Los valores correspondientes a los eventos más importantes están marcados con rojo y la información nueva, con respecto a la usada en el año 2000, se sombreó con amarillo. En la tabla se observa que para la duración de 1 día, hay cinco años en los que los gastos registrados fueron mayores que los de 2007, de los cuales sólo 2 (1967 y 1973) fueron mayores también para la duración de 5 días.

Tabla 4.32. Gastos medios diarios registrados en la estación virtual, Macuspana más Salto de Agua, $m^3 \cdot s^{-1}$

SALTO DE AGUA + MACUSPANA										
año	1 Día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
1956	1973	1942	1903	1873	1855	1816	1765	1724	1680	1641
1957	1770	1565	1489	1379	1281	1193	1130	1068	1017	968
1958	1710	1697	1603	1521	1472	1439	1415	1383	1344	1304
1959	1965	1846	1700	1536	1413	1327	1255	1192	1135	1085
1960	1565	1412	1351	1258	1193	1154	1119	1096	1063	1026
1961	1724	1585	1470	1365	1268	1186	1118	1061	1016	993
1962	1429	1411	1335	1280	1206	1144	1088	1035	990	947
1963	1526	1521	1385	1303	1217	1161	1138	1179	1186	1178
1964	2151	2051	1952	1715	1547	1424	1332	1258	1199	1164
1965	1320	1305	1220	1150	1104	1056	1022	1016	1023	1026
1966	1507	1429	1332	1272	1194	1157	1138	1132	1105	1080
1967	3219	3168	3002	2897	2730	2548	2361	2215	2118	2017
1968	1834	1503	1342	1174	1130	1070	1045	1013	978	943
1969	1672	1635	1510	1418	1306	1269	1253	1230	1201	1185
1970	1441	1354	1243	1155	1099	1070	1047	1017	996	1020
1971	1703	1639	1460	1326	1187	1074	993	921	869	824
1972	1381	1254	1124	1034	968	915	870	827	782	746
1973	2822	2794	2731	2614	2535	2412	2290	2190	2110	2042
1974	1948	1893	1755	1620	1485	1431	1362	1285	1224	1163
1975	3043	2633	2324	2079	1879	1792	1749	1701	1661	1589
1976	1558	1406	1324	1241	1174	1117	1068	1048	1039	1024
1977	1541	1529	1342	1244	1165	1094	1031	975	926	880
1978	1886	1793	1735	1655	1599	1540	1497	1447	1414	1390
1979	1726	1569	1476	1369	1283	1231	1213	1190	1169	1157
1980	1633	1619	1596	1527	1464	1420	1364	1331	1290	1255
1981	1874	1766	1728	1623	1586	1583	1574	1570	1580	1575
1982	1497	1422	1381	1337	1309	1266	1230	1225	1198	1171
1983	1410	1346	1290	1223	1146	1070	1003	950	904	860
1984	1726	1682	1661	1572	1517	1438	1381	1325	1287	1258
1985	1156	1146	1051	1032	1002	980	949	927	903	879
1986	1651	1640	1596	1534	1458	1363	1290	1230	1171	1119
2001	3541	3446	2955	2658	2453	2137	1996	1939	1884	1832
2002	1868	1723	1613	1627	1620	1577	1513	1453	1410	1380
2003	2415	2377	2318	2162	2046	1964	1893	1831	1775	1713
2004	2365	2123	1841	1692	1590	1500	1428	1389	1354	1325
2005	2869	1906	1755	1661	1643	1584	1522	1473	1430	1400
2006	2318	2285	2250	2232	2213	2197	2187	2178	2171	2151
2007	2501	2316	2146	2049	1977	1931	1889	1880	1876	1863

3.4.2 Análisis estadístico.

Utilizando el programa AX del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) se probaron distintas funciones de distribución de probabilidades para ajustarlas a los máximos anuales correspondientes a cada duración. Al comparar los resultados, se decidió utilizar la función de Gumbel que, como se observa en las Figs. 4.22 y 4.23, se ajusta bastante bien a los datos de la muestra.

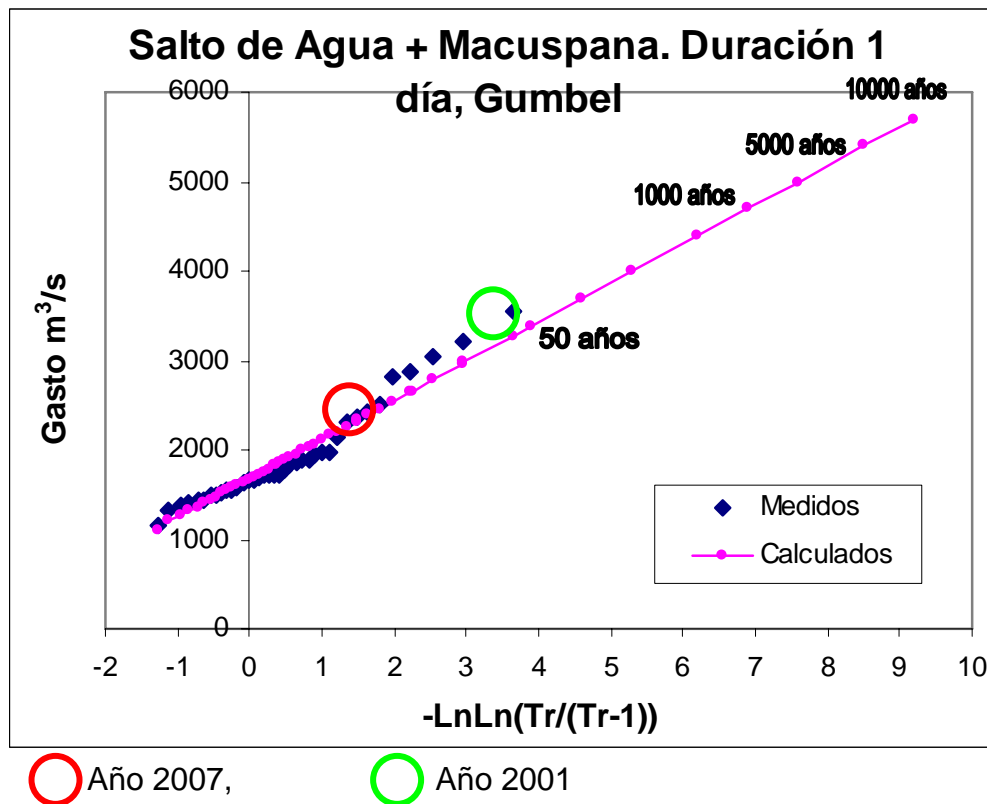


Figura 4.22. Ajuste de la función de Gumbel a la muestra de gastos máximos anuales correspondientes a la duración de 1 día

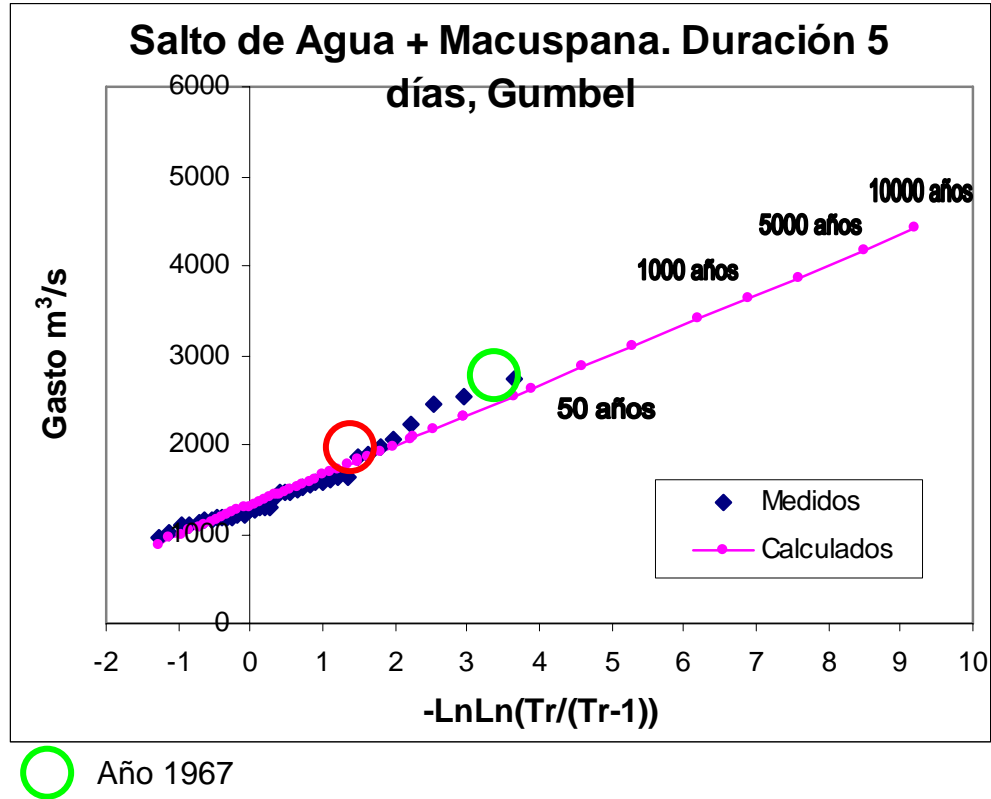


Figura 4.23. Ajuste de la función de Gumbel a la muestra de gastos máximos anuales correspondientes a la duración de 5 días

3.4.3 Resultados

En las Tablas 4.33 y 4.34 se muestra la relación estimada entre gasto medio, en $m^3 \cdot s^{-1}$, duración y periodo de retorno; la Tabla 4.33 corresponde a los resultados obtenidos en el estudio del año 2000 y la Tabla 4.34 a los obtenidos con la información adicional actualmente disponible (es decir, hasta el 2007).

Al comparar los valores que se muestran en las dos tablas, se observa que para 1 día de duración, los gastos estimados aumentaron para periodos de retorno entre 2 y 10 años y en cambio disminuyeron para periodos de retorno mayores que 20 años. Lo mismo ocurre para una duración de 5 días, pero, para la duración de 10 días, los gastos estimados con la información más reciente se incrementaron ligeramente (entre el 6 y el 11%) para todos los periodos de retorno.

Tabla 4.33. Cuenca virtual Salto de Agua+Macuspana, estudio del año 2000

GUMBEL										
Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	1654	1573	1481	1389	1313	1253	1206	1210	1173	1139
5	2002	1910	1821	1710	1632	1576	1536	1510	1464	1421
10	2499	2389	2256	2124	2037	1975	1908	1709	1657	1608
20	3050	2924	2754	2616	2477	2355	2215	1900	1843	1787
50	3679	3535	3339	3196	2990	2791	2564	2146	2082	2018
100	4123	3967	3754	3608	3354	3100	2812	2331	2262	2192
200	4558	4389	4160	4010	3710	3402	3054	2516	2441	2365
500	5122	4940	4689	4534	4173	3797	3371	2759	2677	2593
1000	5548	5355	5085	4929	4522	4094	3609	2942	2856	2766
2000	5971	5766	5486	5326	4871	4389	3850	3126	3034	2938
5000	6539	6312	6016	5840	5336	4785	4162	3369	3270	3166
10000	6936	6723	6387	6256	5683	5061	4407	3552	3449	3338

Tabla 4.34. Cuenca virtual Salto de Agua+Macuspana, estudio del año 2008

GUMBEL										
Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	1835	1724	1614	1516	1437	1371	1319	1278	1241	1208
5	2330	2182	2034	1913	1818	1729	1660	1610	1569	1529
10	2658	2485	2312	2176	2071	1966	1886	1830	1786	1742
20	2973	2777	2579	2428	2312	2193	2103	2040	1994	1946
50	3380	3153	2925	2755	2626	2487	2384	2313	2264	2211
100	3685	3436	3184	2999	2860	2708	2594	2518	2466	2409
200	3989	3717	3441	3243	3094	2927	2804	2722	2667	2606
500	4390	4088	3782	3564	3402	3217	3080	2990	2933	2866
1000	4693	4369	4039	3807	3635	3436	3289	3194	3133	3063
2000	4995	4649	4296	4050	3868	3655	3498	3397	3334	3260
5000	5396	5020	4636	4371	4176	3944	3774	3665	3599	3520
10000	5699	5300	4893	4614	4409	4163	3983	3868	3800	3716

3.4.4 Estimación de los gastos individuales

Siguiendo el procedimiento presentado en la Sección 2.5.1 para el cálculo de los valores individuales, se presentan las figuras siguientes donde se muestra una comparación entre las avenidas registradas en 2007 y las que se obtienen para 100 años de periodo de retorno.

Tabla 4.35. Gastos diarios correspondientes a las avenidas con periodo de retorno de 100 años

	Macuspana	Salto de agua	Virtual = suma
Día	T = 100, 2007	T = 100, 2007	T = 100, 2007
1	1181	845	1896
2	1212	1105	1986
3	1147	1250	1948
4	1351	1608	2444
5	1431	2146	3187
6	1481	2570	3685
7	1417	1824	2680
8	1285	1372	2304
9	1212	1221	1910
10	1173	899	2050

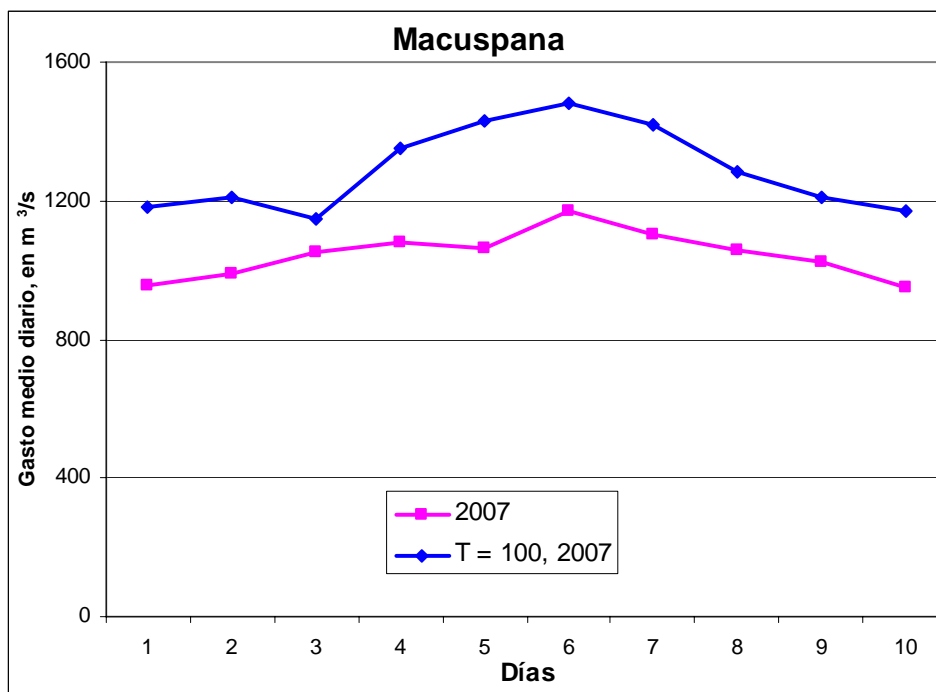


Figura 4.24. Comparación Estación Macuspana

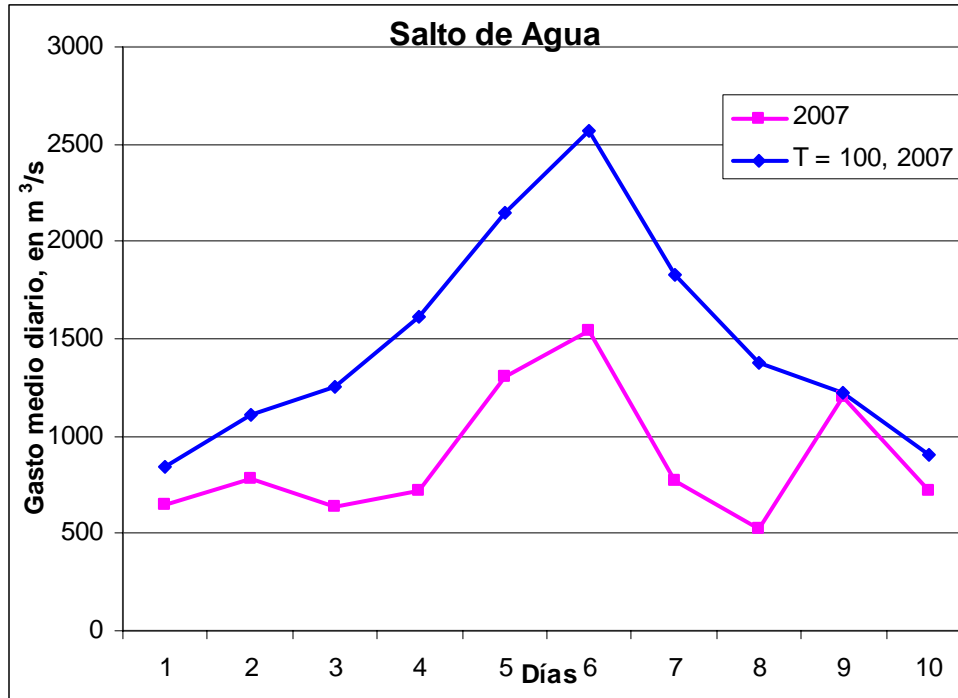


Figura 4.25. Comparación Estación Salto de Agua

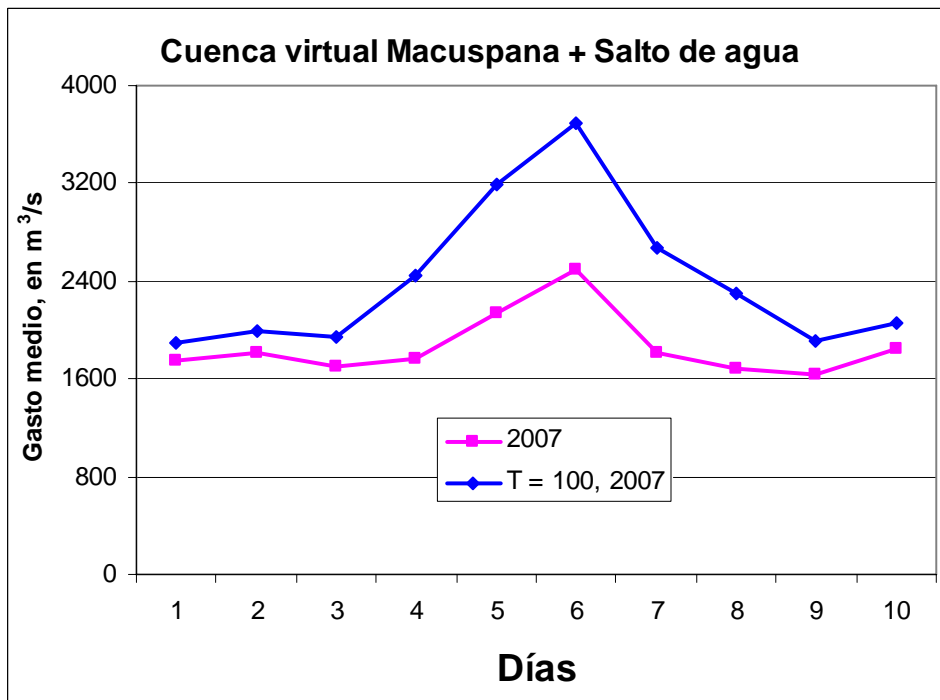


Figura 4.26. Comparación Cuenca Virtual

4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS AVENIDAS REGISTRADAS EN LA CUENCA DEL RÍO USUMACINTA (ESTACIÓN HIDROMÉTRICA BOCA DE CERRO)

4.1 Consideraciones generales

Para estudiar las aportaciones del río Usumacinta se utilizó la estación hidrométrica Boca del Cerro.

En este informe se comparan los resultados obtenidos en un estudio previo realizado en el año 2000, con los que se obtienen actualizando la información disponible hasta ahora y con los gastos medidos en el 2007.

4.2 Información básica

En la Tabla 4.36 se muestran los valores de los gastos medios máximos anuales registrados, para duraciones de 1 a 10 días. En la misma tabla se marcó con amarillo la información adicional respecto a la que se usó para el estudio realizado en el año 2000.

Tabla 4.36. Gastos medios máximos anuales para diferentes duraciones, en $m^3 \cdot s^{-1}$

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1949	4089	4074	4060	3990	3891	3762	3643	3531	3403	3279
1950	5157	5131	5101	5060	4986	4936	4827	4725	4620	4524
1951	3840	3754	3724	3620	3539	3442	3366	3280	3209	3139
1952	5539	5490	5454	5420	5351	5281	5197	5134	5075	5005
1953	5108	5108	5086	5061	5029	4990	4937	4888	4817	4726
1954	5239	5210	5193	5166	5140	5108	5080	5055	5039	5016
1955	5794	5786	5759	5738	5718	5695	5667	5639	5608	5556
1956	5425	5421	5390	5360	5329	5308	5267	5260	5220	5175
1957	4331	4282	4265	4273	4231	4157	4102	4014	3920	3825
1958	4236	4213	4195	4149	4086	4020	3955	3888	3838	3796
1959	3546	3510	3439	3349	3250	3185	3108	3035	2969	2931
1960	5225	5210	5194	5155	5101	5043	4991	4934	4945	4958
1961	3953	3939	3899	3844	3769	3689	3622	3565	3515	3473
1962	4566	4508	4462	4365	4278	4138	4016	3879	3744	3707
1963	5240	5174	5108	4977	4835	4714	4603	4519	4448	4397
1964	4118	4066	4022	3910	3826	3724	3630	3606	3616	3630
1965	5631	5483	5462	5462	5440	5391	5328	5279	5222	5173
1966	5815	5808	5659	5580	5485	5415	5364	5322	5287	5258
1967	6572	6425	6368	6258	6148	6071	5988	5911	5811	5710
1968	5306	5265	5241	5205	5144	5129	5124	5092	5055	5006
1969	6101	6101	6051	6004	5971	5949	5920	5873	5807	5738

Tabla 4.36. Gastos medios máximos anuales para diferentes duraciones, en $m^3 \cdot s^{-1}$

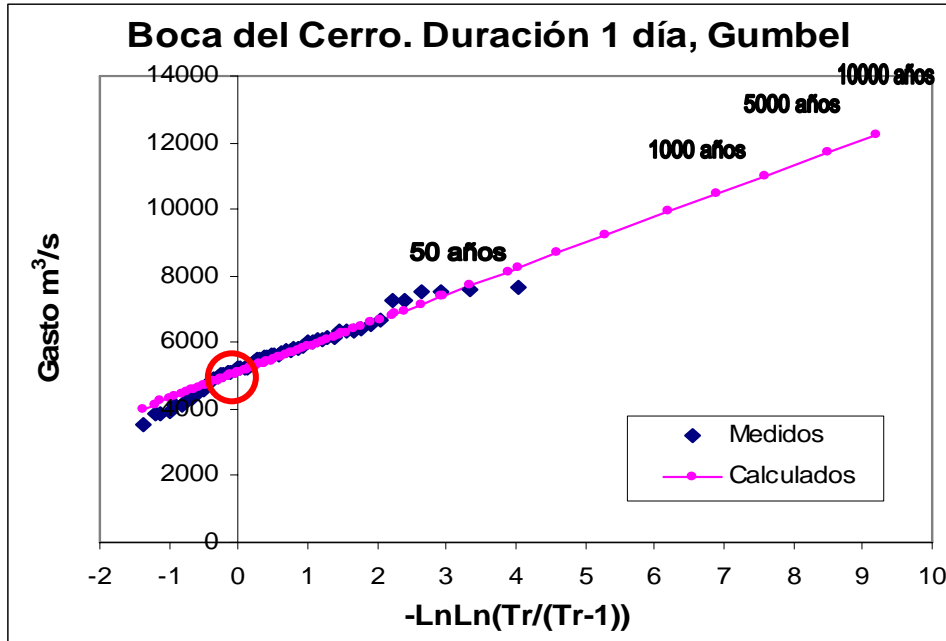
Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1970	5789	5766	5721	5692	5670	5654	5619	5573	5520	5443
1971	4531	4432	4321	4233	4240	4216	4174	4122	4125	4146
1972	6022	5966	5932	5918	5921	5912	5892	5856	5819	5765
1973	5894	5876	5869	5865	5850	5806	5747	5653	5577	5495
1974	6168	6150	6009	5936	5817	5734	5600	5482	5337	5194
1975	6401	6399	6328	6291	6218	6152	6054	5979	5879	5792
1976	4849	4844	4838	4828	4787	4751	4697	4650	4580	4514
1977	4689	4575	4529	4443	4356	4248	4132	4002	3894	3860
1978	6041	6031	6019	5970	5917	5872	5803	5738	5642	5563
1979	6376	6370	6367	6345	6315	6287	6266	6237	6184	6156
1980	5634	5615	5606	5591	5561	5540	5500	5455	5394	5329
1981	6642	6642	6624	6603	6572	6529	6487	6429	6377	6305
1982	7593	7586	7579	7575	7565	7517	7483	7439	7427	7413
1983	5251	5227	5214	5191	5153	5126	5088	5043	5007	4951
1984	5478	5467	5450	5439	5428	5420	5400	5383	5361	5344
1985	3852	3820	3737	3682	3621	3575	3530	3515	3549	3555
1988	7553	7524	7476	7442	7381	7330	7270	7208	7153	7089
1989	7231	7226	7191	7152	7096	7039	6984	6947	6923	6919
1990	7544	7515	7451	7383	7319	7216	7088	6991	6871	6760
1991	5031	4885	4833	4685	4558	4476	4421	4383	4355	4330
1992	5516	5502	5414	5333	5247	5133	5049	4972	4900	4843
1993	5774	5734	5713	5656	5592	5542	5498	5455	5407	5338
1994	4874	4813	4685	4553	4462	4379	4297	4219	4135	4046
1995	7622	7602	7595	7582	7566	7541	7519	7486	7442	7406
1996	5548	5406	5296	5195	5146	5114	5069	4971	4876	4790
1997	5605	5552	5529	5502	5474	5414	5365	5351	5343	5325
1998	7269	7239	7222	7167	7114	7035	6957	6864	6775	6676
1999	6357	6331	6314	6302	6281	6266	6236	6203	6172	6143
2000	5714	5703	5694	5665	5640	5601	5562	5511	5449	5384
2001	5042	5011	4933	4862	4789	4710	4620	4494	4401	4314
2002	4503	4483	4287	4246	4290	4258	4206	4142	4086	4041
2003	6085	5422	5150	4974	4888	4768	4717	4682	4625	4573
2004	5123	5082	5038	5021	5022	5038	5028	5002	4973	4933
2005	6319	6319	6319	6319	6316	6171	6192	6078	5943	5794
2006	6131	6123	5831	5680	5588	5486	5397	5270	5149	4985
2007	4944	4904	4799	4654	4577	4540	4542	4506	4451	4394

En la Tabla 4.36 se observa que los valores registrados en 2007 han sido superados en la mayoría de los años.

4.3 Resultados del análisis estadístico

En las figuras siguientes se muestran en forma gráfica los resultados obtenidos al ajustar una función de distribución de probabilidades a los gastos máximos para 1 y 5

días (encerrados en un círculo se muestran los valores correspondientes al año de 2007). Adicionalmente, en la Tabla 4.37 se indican los valores estimados para distintos periodos de retorno y duraciones.



○ Valor 2007

Figura 4.27. Función de distribución de probabilidades ajustada a los gastos máximos anuales registrados para una duración de 1 día

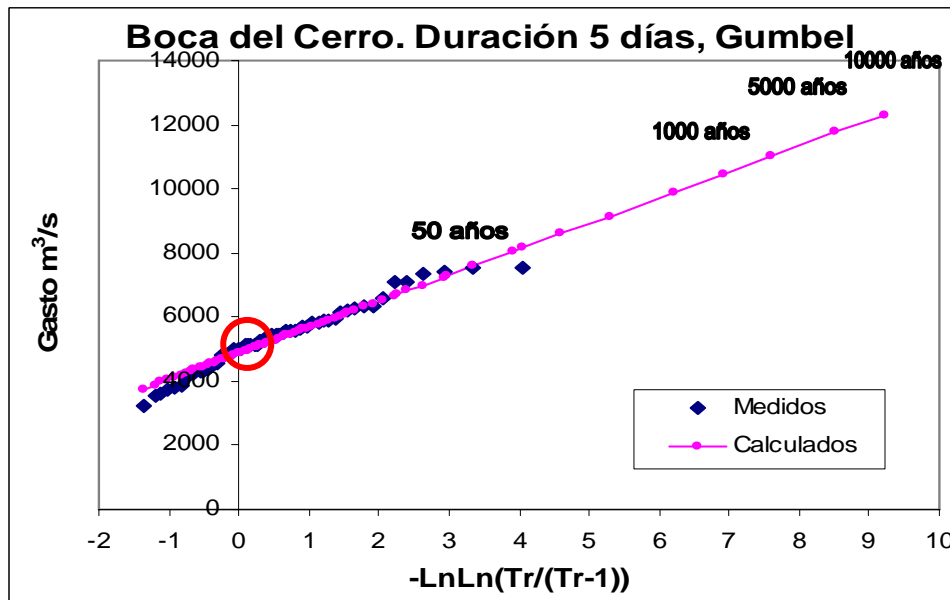


Figura 4.28. Función de distribución de probabilidades ajustada a los gastos máximos anuales registrados para una duración de 5 días

Tabla 4.37. Gastos medios estimados, en $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, para duraciones de 1 a 10 días y distintos periodos de retorno

1. Con los datos disponibles en el año 2000										
BOCA DEL CERRO ESTUDIO 2000, GUMBEL										
Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	5417	5359	5302	5236	5173	5110	5046	4983	4922	4865
5	6420	6335	6262	6194	6134	6076	6018	5960	5899	5838
10	7084	6981	6897	6828	6771	6716	6661	6607	6546	6482
20	7722	7600	7507	7436	7382	7330	7279	7228	7166	7100
50	8546	8402	8296	8223	8172	8125	8078	8031	7970	7900
100	9164	9003	8887	8812	8764	8721	8677	8633	8572	8500
200	9780	9602	9476	9400	9354	9314	9274	9232	9171	9097
500	10593	10392	10254	10175	10133	10097	10061	10024	9963	9885
1000	11207	10989	10841	10761	10721	10689	10656	10622	10561	10480
2000	11821	11586	11428	11347	11309	11280	11251	11219	11159	11075
5000	12632	12375	12204	12121	12087	12062	12037	12010	11949	11862
10000	13245	12971	12791	12706	12675	12653	12631	12607	12546	12457
2. Con los datos actualizados al 2007										
BOCA DEL CERRO ESTUDIO 2008, GUMBEL										
Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	5377	5328	5273	5216	5161	5101	5041	4979	4919	4861
5	6259	6216	6168	6124	6078	6025	5973	5915	5855	5793
10	6843	6803	6760	6725	6685	6637	6590	6535	6474	6411
20	7403	7367	7328	7302	7267	7224	7181	7129	7069	7003
50	8127	8096	8063	8048	8021	7984	7947	7898	7838	7770
100	8671	8643	8614	8607	8586	8554	8521	8475	8415	8344
200	9212	9187	9163	9165	9149	9121	9092	9049	8990	8917
500	9926	9906	9887	9900	9891	9870	9847	9807	9748	9672
1000	10466	10449	10434	10456	10452	10435	10417	10380	10320	10243
2000	11005	10992	10982	11011	11013	11001	10987	10952	10893	10814
5000	11718	11710	11705	11745	11755	11748	11740	11709	11650	11568
10000	12257	12252	12252	12301	12316	12314	12309	12281	12222	12138
10000/100	1.41		1.43							1.45

De las figuras se observa que los valores registrados en 2007 son de los más bajos dentro del registro histórico, no obstante los valores estimados al hacer la actualización son sólo ligeramente menores a los que se obtuvieron en el estudio de 2000.

Por último, conviene recalcar que en la cuenca del Usumacinta no se presentan picos aislados, de tal manera que los promedios para una duración de 10 días son sólo ligeramente menores que los correspondientes a un día.

4.4 Estimación de los gastos individuales

Siguiendo el procedimiento presentado en la Sección 2.5.1 para el cálculo de los valores individuales, se presentan las figuras siguientes donde se muestra una comparación entre las avenidas registradas en 2007 y las que se obtienen para 100 años de periodo de retorno.

Tabla 4.38. Gastos diarios correspondientes a las avenidas con periodo de retorno de 100 años

CUENCA	Boca del Cerro
Días	100 años
1	7705
2	8153
3	8394
4	8586
5	8615
6	8671
7	8556
8	8502
9	8323
10	7935

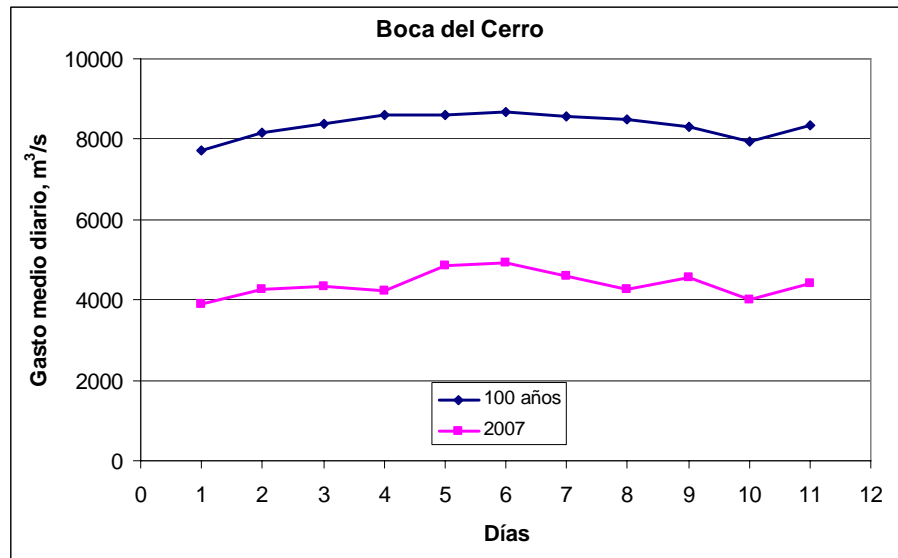


Figura 4.29. Comparación Estación boca del Cerro

5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS AVENIDAS REGISTRADAS EN LA CUENCA COMPRENDIDA ENTRE LA PRESA PEÑITAS Y LA BIFURCACIÓN DEL MEZCALAPA EN LOS RÍOS CARRIZAL Y SAMARIA

5.1 Consideraciones generales

Tomando en cuenta que en la cuenca comprendida entre La presa Peñitas y la bifurcación Carrizal-Samaria solamente se tienen datos (parciales) de las estaciones Paredón y Platanar, se prefirió caracterizar las aportaciones históricas sumando, día a día, los gastos medios registrados en las estaciones hidrométricas Samaria y Gonzalez (o Reforma cuando González no registró) y restando el valor correspondiente de las descargas de Peñitas, registrado en la estación del mismo nombre o bien obtenido del funcionamiento del vaso

5.2 Información básica

En la Tabla 4.39 se muestran los valores de los gastos medio máximos anuales registrados, para duraciones de 1 a 10 días. En la misma tabla se marcó con amarillo la información adicional respecto a la que se usó para el estudio realizado en el año 2000.

Tabla 4.39. Gastos medios máximos anuales para diferentes duraciones, en $m^3 \cdot s^{-1}$

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1954	568	438	406	372	333	290	277	268	256	245
1955	466	361	276	256	241	234	222	212	202	189
1956	1182	1004	919	846	780	716	633	539	490	460
1957	1251	1163	1047	937	840	762	694	635	585	543
1958	658	607	574	541	503	467	434	403	377	358
1959	943	882	797	706	626	571	524	473	441	413
1960	710	622	586	541	511	482	445	436	419	385
1961	708	700	649	596	538	486	443	405	373	343
1962	406	402	385	346	303	268	241	213	187	174
1963	525	445	391	348	328	305	283	268	254	227
1964	970	873	775	682	618	587	556	531	509	487
1965	1042	775	753	706	656	619	569	527	480	455
1966	1100	639	507	448	413	382	356	348	312	291
1967	2332	1899	1605	1393	1228	1091	976	882	799	764
1968	954	691	637	613	585	563	541	520	497	473
1969	982	953	764	632	546	484	433	412	409	399
1970	912	682	593	538	505	469	470	456	439	412
1971	514	429	343	308	298	305	286	270	252	258
1972	1073	834	749	661	550	500	476	440	404	375
1973	1231	1064	934	849	745	724	706	668	645	613
1974	1191	969	777	658	573	514	464	421	383	352
1975	1128	1118	1021	909	827	757	720	664	632	619
1976	1119	1011	947	866	784	712	573	565	577	582
1977	1476	1331	1094	904	784	686	632	562	525	481
1978	928	764	642	558	496	473	429	384	368	359
1979	1478	1087	907	801	711	636	597	542	433	465
1980	1620	1565	1408	1187	1074	999	934	867	807	758
1981	1236	1057	877	745	654	604	571	543	535	529
1982	1200	1035	918	796	709	629	563	507	474	428
1983	656	655	616	607	594	589	571	556	556	503
1984	704	595	474	454	389	337	300	312	287	300
1985	509	337	366	316	260	252	230	210	204	212
1986	1071	690	517	477	418	374	366	351	332	315
1993	828	815	815	754	718	693	663	616	580	591
1994	1380	1370	1360	1285	1203	1149	1145	1131	1110	1090
1995	697	585	442	448	435	417	394	372	346	331
1996	1392	1208	1190	1164	1126	1096	1063	1036	1013	995
1997	1139	1092	1035	1003	986	924	895	868	847	850
1998	1250	1211	1147	1011	865	782	762	687	677	646
1999	1581	1423	1289	1136	1017	905	816	750	706	675
2000	1116	1103	1083	1046	1016	963	927	909	876	859
2001	1184	1075	980	930	876	838	824	785	743	699
2003	681	665	535	479	454	427	410	434	437	429
2004	694	650	613	611	582	550	515	484	455	429
2007	2194	2152	2125	1982	1834	1704	1596	1462	1350	1253

En la Tabla 4.39 se observa que el valor registrado en 2007 para una duración de 1 día había sido superado ligeramente en 1967, pero el promedio para 5 días correspondiente a 2007 es bastante mayor que todos los anteriormente registrados.

5.3 Resultados

En las Figs. 4.30 y 4.31 se muestran en forma gráfica los resultados obtenidos al ajustar una función de distribución de probabilidades a los gastos máximos para 1 y 5 días, y en la Tabla 4.40 los valores estimados para distintos periodos de retorno y duraciones.

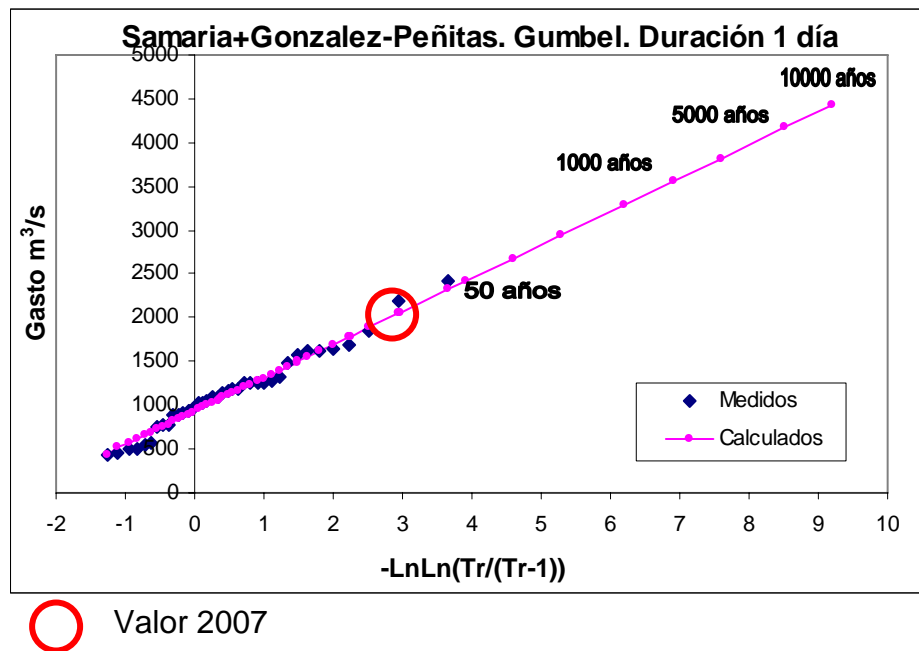


Figura 4.30. Función de distribución de probabilidades ajustada a los gastos máximos anuales registrados para una duración de 1 día

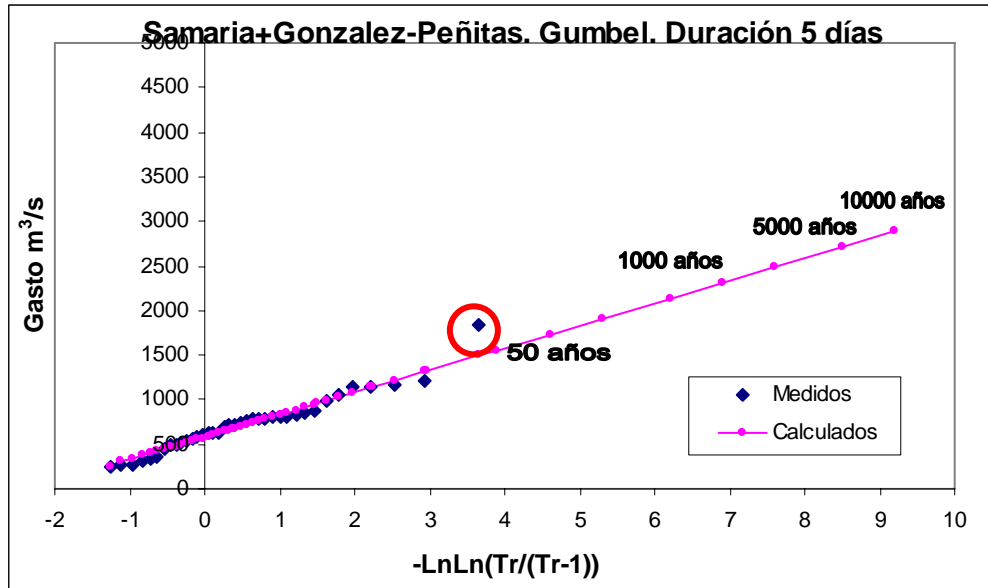


Figura 4.31. Función de distribución de probabilidades ajustada a los gastos máximos anuales registrados para una duración de 5 días.

Tabla 4.40. Gastos medios estimados, en $m^3 \cdot s^{-1}$, para duraciones de 1 a 10 días y distintos periodos de retorno

1. Con los datos disponibles en el año 2000										
SAMARIA+REFORMA_GONZALEZ-PEÑITAS, Gumbel, 2000										
Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	1047	902	800	714	647	588	534	505	483	467
5	1460	1273	1127	1003	912	817	739	698	670	646
10	1733	1518	1344	1195	1087	969	874	826	794	765
20	1995	1753	1551	1379	1255	1115	1004	949	913	880
50	2334	2058	1820	1617	1473	1303	1173	1107	1067	1027
100	2588	2286	2022	1795	1636	1445	1299	1226	1182	1138
200	2841	2513	2223	1973	1799	1585	1425	1345	1297	1248
500	3175	2813	2488	2208	2013	1771	1591	1501	1449	1394
1000	3427	3040	2688	2385	2175	1911	1716	1619	1563	1504
2000	3680	3266	2888	2562	2337	2052	1842	1737	1678	1613
5000	4013	3566	3152	2796	2551	2237	2007	1894	1829	1759
10000	4265	3792	3352	2973	2713	2377	2133	2012	1944	1869

Tabla 4.40. Gastos medios estimados, en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, para duraciones de 1 a 10 días y distintos periodos de retorno

2. Con los datos actualizados al 2007										
Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	1071	848	759	688	628	582	544	512	484	464
5	1502	1189	1084	983	901	836	787	739	701	673
10	1787	1415	1299	1179	1082	1004	947	890	845	812
20	2060	1632	1506	1366	1255	1166	1101	1034	983	945
50	2414	1912	1773	1609	1480	1375	1301	1221	1162	1118
100	2680	2122	1974	1790	1648	1531	1450	1361	1296	1247
200	2944	2332	2173	1972	1815	1687	1599	1501	1430	1375
500	3292	2608	2437	2210	2036	1893	1795	1685	1606	1545
1000	3556	2817	2636	2391	2204	2049	1943	1824	1739	1674
2000	3819	3026	2835	2572	2371	2204	2092	1964	1872	1802
5000	4167	3301	3098	2810	2591	2410	2288	2148	2048	1971
10000	4431	3510	3296	2991	2758	2565	2436	2287	2181	2100
10000/100	1.65		1.67							1.68

En las Tablas 4.40 se observa también que los valores correspondientes a 1 día no se modificaron sustancialmente respecto a los obtenidos en 2000, pero lo mismo ocurrió para duraciones mayores. Esto último (es decir que no se presentaron cambios muy importantes para duraciones mayores) se debe a que la función de distribución que mejor se ajustó siguió siendo una función Gumbel, como se observa en la Figura 4.31.

En resumen, se considera que los resultados que se presentan en la Tabla 4.40_2 son confiables dado que, como se muestra a manera de ejemplo en las Figs. 4.30 y 4.31, los ajustes de la función de distribución Gumbel son confiables y están basados en la información de un total de 45 años.

Es interesante observar que, en los 45 años para los que se cuenta con información, no se manifiestan valores que hagan pensar en que los gastos máximos anuales provienen de dos poblaciones, y a eso se debe que el evento de 2007, siendo muy importante, no modifica sustancialmente las estimaciones a las que se había llegado con la información disponible hasta el año 2000.

5.4 Estimación de los gastos individuales

Siguiendo el procedimiento presentado en la Sección 2.5.1 para el cálculo de los valores individuales, se presentan la Tabla 4.41 y la Fig. 4.32 donde se muestra una comparación entre las avenidas registradas en 2007 y las que se obtienen para 100 años de periodo de retorno.

Tabla 4.41. Gastos diarios correspondientes a las avenidas con periodo de retorno de 100 años

CUENCA	Bifurcación
Día	T = 100, 2007
1	806
2	738
3	946
4	1238
5	1564
6	2680
7	1678
8	1080
9	964
10	776

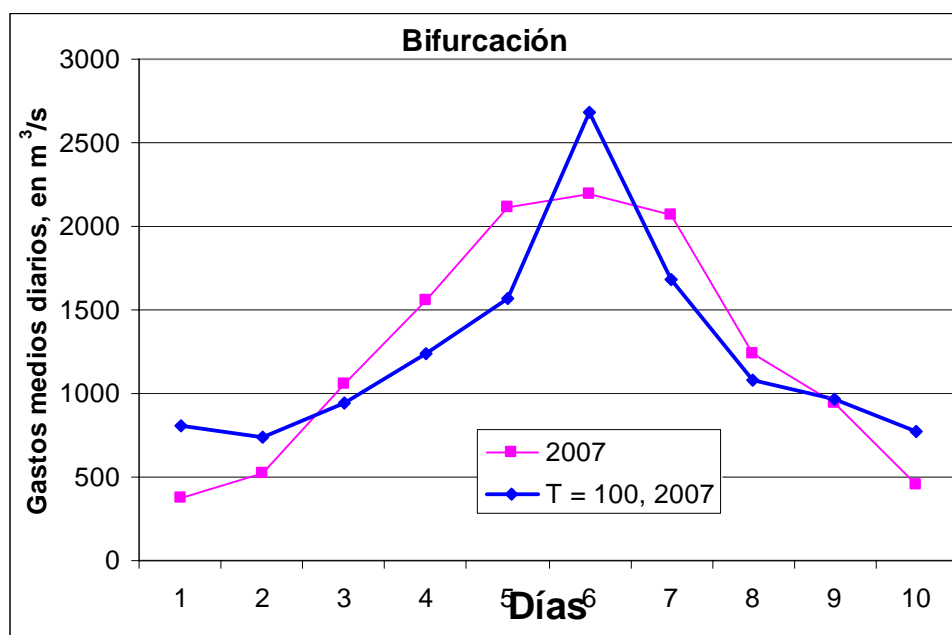


Figura 4.32. Comparación Bifurcación

6. AVENIDA DE DISEÑO DE LAS DESCARGAS DE PEÑITAS

6.1 Introducción

Las descargas de la presa Peñitas y particularmente su frecuencia, dependen de la operación de todo el sistema Grijalva situado aguas arriba (Fig. 4.33). Por ese motivo, en este informe se incluyen primero resultados obtenidos al simular diversas políticas de operación quincenal de las presas Angostura y Malpaso; se presentan después los resultados del tránsito de avenidas por la presa Malpaso para distintos periodos de retorno, las avenidas de diseño para la cuenca de Peñitas en su totalidad y para sus subcuencas correspondientes a los vasos superior e inferior que se formaron a raíz del caído en el cauce y; finalmente, se hace una recomendación relativa a los gastos que se deben considerar en la bifurcación del río Mezcalapa en el Samaria y el Carrizal.

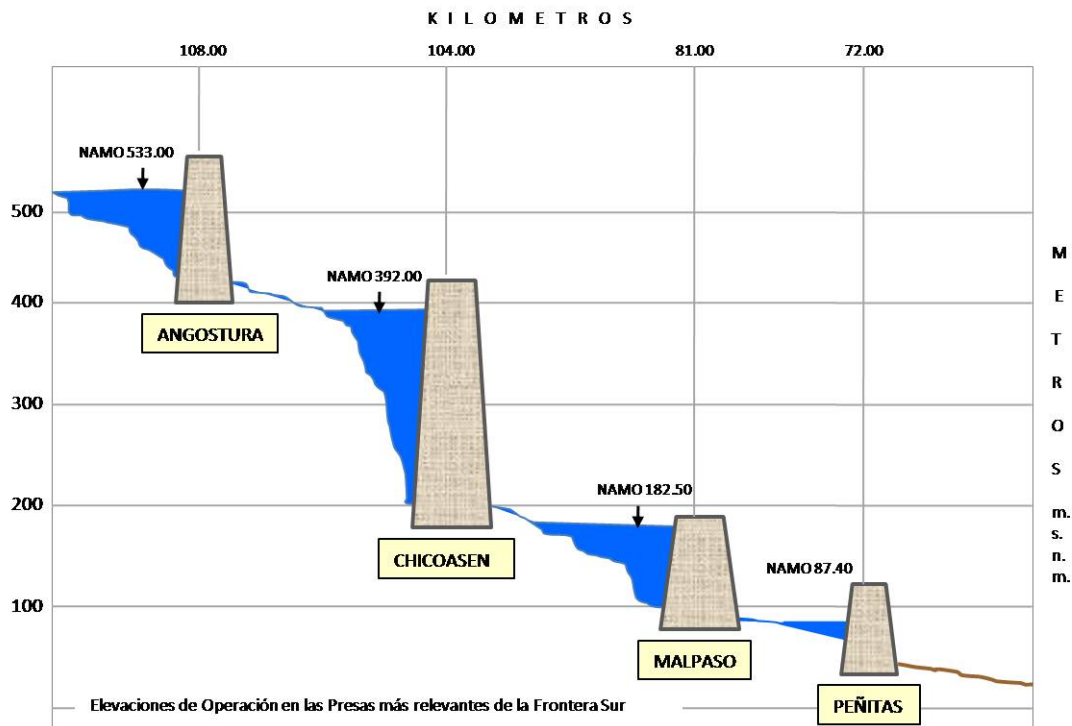


Figura 4.33. Perfil del sistema hidroeléctrico del río Grijalva

6.2 Resultados de la simulación del funcionamiento quincenal en el sistema angostura-malpaso, para varias políticas de operación.

En la Tabla 4.42, tomada de Domínguez et al. (2006), se presentan los resultados obtenidos de la simulación quincenal del funcionamiento del sistema Angostura Malpaso, para distintas políticas de operación, considerando el registro histórico.

Tabla 4.42. Simulación de distintas políticas de operación

Resumen de simulaciones variando coeficientes que afectan a la extracción adicional Delvol en La Angostura y Malpaso
Simulación con datos históricos
Datos quincenales

Política	Coeficiente afecta a delvol		Energía total GWh/quincena	Almacenamiento mínimo (10 ⁶ m ³)		Derrame (10 ⁶ m ³)	
	CDV(Ang)	CDV(Malp)		Suma	La Angostura	Malpaso	La Angostura
7*+	1	1	513.4	2032.31	5089.44	0	184.11 ⁽¹⁾
7*+	1	2	513.54	2047.68	5274.63	0	35.26 ⁽²⁾
7*+	1	1.5	513.46	2038.32	5209.59	0	87.72 ⁽³⁾
7*+	1	2.5	513.61	2058.74	5309.09	0	2.17 ⁽⁴⁾
7*+	0.75	1.5	513.36	1923.64	5236.11	0	0
7*+	0	0	513.08	1618.56	5090.94	286.09 ⁽⁵⁾	0
7*+	0.5	1	513.22	1821.68	5209.95	0	0
Nueva*+	1	1	514.53	1621.02	5834.87	0	518.76 ⁽⁶⁾
Nueva*+	1	2	514.61	1637.4	5854.03	0	395.72 ⁽⁷⁾
Nueva*+	1	1.5	514.56	1632.41	5832.43	0	434.69 ⁽⁸⁾
Nueva*+	1	2.5	514.6	1640.23	5891.13	0	348.34 ⁽⁹⁾
Nueva*+	0.75	1.5	514.64	1546.1	5824.47	0	6.97 ⁽¹⁰⁾
Nueva*+	0	0	514.34	1199.82	5690.94	0	0
Nueva*+	0.5	1	514.58	1430.07	5819.18	0	0

(1) derrame de 138.88 mill de m³ en 1969, 87.71 mill de m³ en la segunda quincena de septiembre y de 51.27 mill de m³ en la 1aQ de octubre derrame de 45.24 mill de m³ en la 1aQ de octubre en 1970

(2) Derrame de 32.98 mill de m³ en la 1aQ de octubre de 1969 y de 2.29 mill de m³ en la 1aQ de octubre de 1970

(3) Derrame de 74.28 mill de m³ en 1969, de 23.11 mill de m³ en la 2aQ de sep y 51.27 mill de m³ en la 1aQ de octubre derrame de 14.44 mill de m³ en la 1aQ de octubre de 1970

(4) Derrame en la 1aQ de octubre de 1970

(5) Derrame en la 2aQ de octubre de 1999

(6) Derrame de 353.95 en 1969 repartido en 302.77 millones de m³ en la 2aQ de septiembre y 51.17 mill de m³ en la 2aQ de octubre derrame de 164.82 millones de m³ en la 1aQ de octubre

(7) Derrame de 250.61 millones de m³ en 1969 repartido en 199.44 millones de m³ en la 2aQ de sep y 51.17 mill de m³ en la 1aQ de octubre derrame en 1970 de 145.10 millones de m³ en la 1aQ de octubre

(8) Derrame en 1969 de 301.13 mill de m³ repartidos en 249.96 mill de m³ en la 2aQ de sep y 51.17 mill de m³ en la 1aQ de octubre derrame en 1970 de 133.56 mill de m³ en la 1aQ de octubre

(9) Derrame en 1969 de 201.50 mill de m³ repartidos en 150.33 mill de m³ en la 2aQ de sep 51.17 mill de m³ en la 1aQ de octubre derrame en 1970 de 146.84 mill de m³ en la 1aQ de octubre

(10) Derrame en 1970 en la 1aQ de octubre

En la tabla anterior se observa que para cualquiera de las políticas simuladas, en los 45 años de registro histórico, prácticamente no se presentan derrames en la Angostura y se presentan con bastante poca frecuencia en Malpaso (es conveniente hacer notar que en las simulaciones se considera que ocurre un derrame cada que se alcanza la elevación del NAMO).

En particular, con la política denominada “nueva*+” que se muestra al final de la tabla, no se presentan derrames en ninguno de los años simulados.

Dado que la longitud del registro histórico es pequeña para obtener un buen análisis estadístico para eventos tan poco frecuentes, se generaron 10 series sintéticas, cada una con 100 años de longitud, y con cada una de ellas se simuló lo que hubiera sucedido si las presas se operan utilizando la política “nueva*+”. En la Tabla 4.43 se muestra un resumen de los resultados obtenidos.

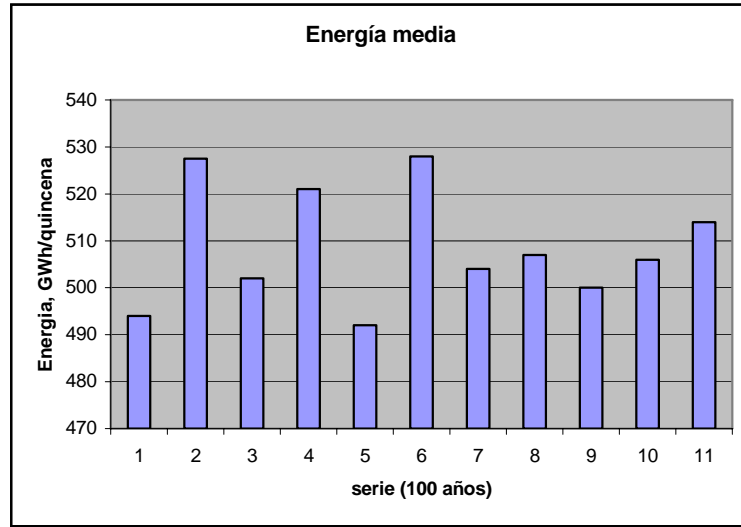
Tabla 4.43. Resumen de resultados de la simulación, usando 10 series sintéticas

	Energía total	Almacenamiento mínimo		Derrame		Déficit	
	GWh/quince	(106 m3)		(106 m3)		(106 m3)	
	Suma	La Angostura	Malpaso	La Angostura	Malpaso	La Angostura	Malpaso
Serie 1	493.82	0	4633.24	0	0	2944.57(1)	0
Serie 2	527.49	219.14	4646.77	0	337.64(2)	0	0
Serie 3	502.22	0	5235.31	0	63.37(4)	693.01(3)	0
Serie 4	521.28	0	5754.23	2598.68(5)	2497.46(7)	0.52(6)	0
Serie 5	491.93	0	4424.27	0	0	1798.04(8)	0
Serie 6	527.94	180.37	5378.75	2316.97(9)	3671.41(10)	0	0
Serie 7	503.54	0	5553.45	0	32.42(12)	446.21(11)	0
Serie 8	507.49	65.24	5882.46	599.57(13)	748.13(14)	0	0
Serie 9	499.7	0	4263.96	0	49.24(20)	1103.25(15)	0
Serie 10	505.53	0	3590.53	1692.33(17)	2618.9(19)	3059.91(18)	0
Promedio	508.094	46.475	4936.297	720.755	1001.857	1004.551	0

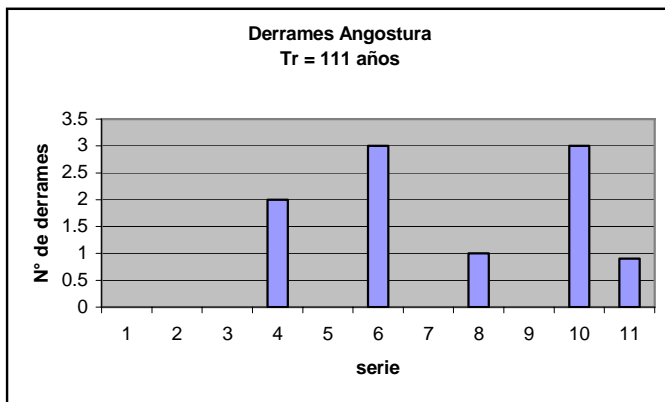
- (1) Años con déficit 74, 75 y 81 Quincenas con déficit: 24
- (2) Año con derrame 86, Quincenas con derrame : 2
- (3) Año con déficit 6 Quincenas con déficit: 6
- (4) Año con derrame 58 Quincenas con derrame: 1
- (5) Años con derrame 11 y 12 Quincenas con derrame: 3
- (6) Año con déficit 78 Quincenas con déficit: 1
- (7) Años con derrame 11,12, 73 y 96 Quincenas con derrame: 4
- (8) Años con déficit 6 y 37 Quincenas con déficit: 13
- (9) Años con derrame 66,67 y 82 Quincenas con derrame: 5
- (10) Años con derrame 46, 66 y 86 Quincenas con derrame:6
- (11) Año con déficit 99 Quincenas con déficit: 4
- (12) Año con derrame 77 Quincenas con derrame: 1
- (13) Año con derrame 71 Quincenas con derrame: 3
- (14) Año con derrame 70, 71 Quincenas con derrame: 3
- (15) Año con déficit 86 Quincenas con déficit: 7
- (16) Año con derrame 23 Quincena con derrame: 1
- (17) Años con derrame 3, 24 y 25 Quincenas con derrame: 4
- (18) Años con déficit 93,94 y 99 Quincenas con déficit: 18
- (19) Año con derrame 24, 25 Quincenas con derrame: 3
- (20) Año con derrame 23 Quincenas con derrame: 1

Como se muestra en la Tabla 4.43, del total de 1000 años simulados, en La Angostura se presentan 9 años con derrames y en Malpaso 15, de los cuales 3 son menores que 100 millones de m³, por lo que en la práctica podrían evitarse.

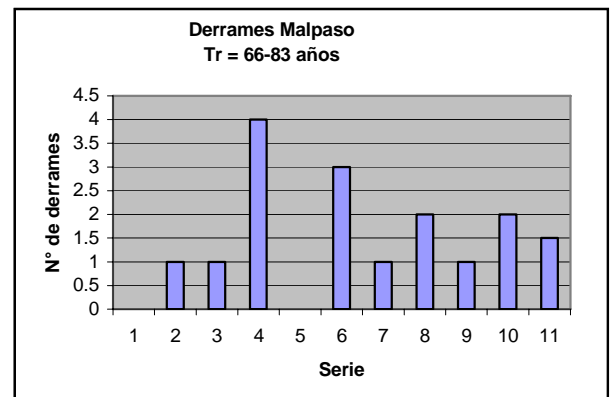
En las figuras siguientes (Figs. 4.34 a, b y c) se resumen gráficamente los resultados; en las 10 primeras columnas de cada figura se indican los valores correspondientes a cada serie de 100 años, y en la última su valor promedio.



a)



b)



c)

Figura 4.34. a) Energía generada b) y c) Derrames en el sistema La Angostura y Malpaso en 1000 años simulados

Los resultados muestran que en La Angostura ocurrieron 9 derrames en 1000 años, por lo que se estima que este evento (el derrame) se presenta con un periodo de retorno de 111 años. En Malpaso se presentaron derrames en 15 ocasiones, de las cuales en tres los derrames fueron muy pequeños, por lo que se estima que el periodo de retorno de los derrames está entre 66 y 83 años.

6.3 Avenidas de diseño para Malpaso

Se construyeron avenidas de diseño para la cuenca propia de Malpaso (desde La Angostura) y varios periodos de retorno (Domínguez et al., 2006); a dichas avenidas se les sumó un gasto constante de $2000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ al considerar, en forma conservadora, una extracción constante de esa magnitud, de la presa La Angostura

6.3.1 Tránsito de Avenidas

Para el tránsito de las avenidas en la presa Malpaso, se tomó como elevación inicial la del NAMO, $h=182.5 \text{ msnm}$, con un gasto de salida inicial de $1440 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

6.3.1.1 Simulación para avenidas con periodos de retorno mayores o iguales a 1000 años

Se simularon dos condiciones: *sin restricciones*, caso en el que se utilizaron las curvas elevaciones-capacidades-descargas que proporcionó la CFE, y *con las mismas curvas*, pero limitando la descarga máxima a $10,650 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ una vez que se alcanza la elevación 187.5 msnm . En la Tabla 4.44 se presenta un resumen de los resultados obtenidos para las dos condiciones y varios periodos de retorno.

Tabla 4.44. Resumen de resultados del tránsitos de las avenidas de diseño. Presa Malpaso

Elevación inicial (msnm)	Variable	Tr (años)					
		1000	5,000	10,000	1000*	5,000*	10,000*
182.5	$Q_{\text{máx Ingreso}} (\text{m}^3/\text{s})$	14713	17507	18691	14713	17507	18691
182.5	$Q_{\text{máx Salida}} (\text{m}^3/\text{s})$	12187.11	13834.93	14508.85	10650	10650	10650
182.5	$V_{\text{máx total almac}} (\text{millones de m}^3)$	10820.13	10977.47	11053.58	10921.1	11335.52	11523.67
182.5	$\text{Elev}_{\text{máx}} (\text{msnm})$	187.41	187.92	188.16	187.74	189.06	189.67

* Dando como restricción que el gasto máximo descargado sea de $10,650 \text{ m}^3/\text{s}$

Notas: En todos los casos se considera la condición conservadora de que la Angostura esté descargando en cualquier instante $2000 \text{ m}^3/\text{s}$

Tomando en cuenta los resultados de la función doble Gumbel para duraciones de 1 a 15 días y distribución Gumbel para 16 días en adelante

Los resultados de la Tabla 4.44 muestran que para periodos de retorno grandes (mayores que 1000 años) la restricción en el gasto de descarga hace que la elevación máxima del agua supere considerablemente el nivel del NAME (188 msnm).

6.3.1.2 Simulación del tránsito de las avenidas de menor periodo de retorno

En las Figs. 4.35 y 4.36 se muestra el funcionamiento de la obra de excedencias para una avenida con 100 años de periodo de retorno; en la primera considerando que La Angostura descarga 2000 m³·s⁻¹ y, en la segunda suponiendo que durante el tránsito de la avenida generada en la cuenca propia de Malpaso, se eliminan las descargas de La Angostura

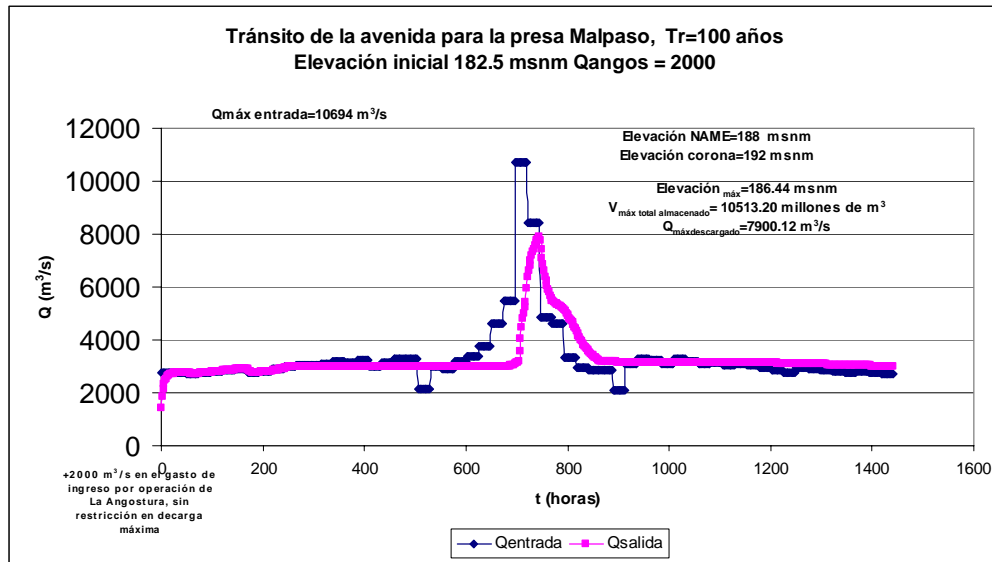


Figura 4.35. Tránsito de la avenida de 100 años con descarga de Angostura

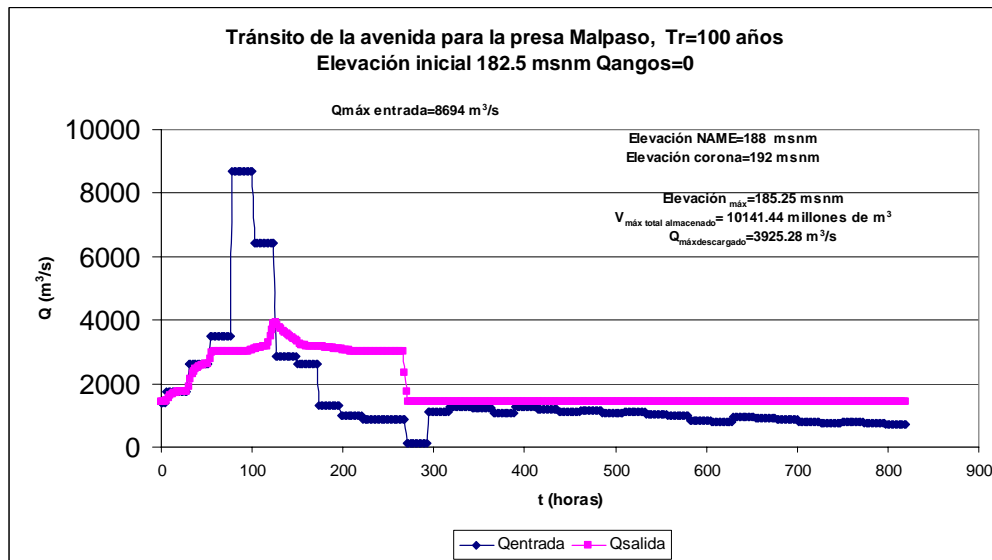


Figura 4.36. Tránsito de la avenida de 100 años sin descarga de Angostura

En la Tabla 4.45 se resumen los principales resultados obtenidos para avenidas de 50 y 100 años de periodo de retorno

Tabla 4.45. Resumen de resultados para avenidas $T_r=50$ y 100 años. Presa Malpaso

Caso		Resumen	50 y 100 años	
T (años)	Q_{an} (m^3/s)	$I_{m\acute{a}x}$ (m^3/s)	$O_{m\acute{a}x}$ (m^3/s)	$H_{m\acute{a}x}$ msnm
50	2000	9500	6500	186.2
100	2000	10700	7900	186.4
50	0	7500	3150	184.6
100	0	8700	3900	185.3

Los resultados obtenidos para periodos de retorno de 50 y 100 años muestran la importancia de contar con un buen sistema de medición y pronóstico, ya sea para cerrar oportunamente las descargas de La Angostura, y/o para limitar la descarga de Malpaso (aprovechando que el nivel del agua está todavía lejos del NAME cuando la avenida ya está en la etapa de descenso)

6.3.2 Recomendación

Tomando en cuenta que los derrames en Malpaso ocurren con un periodo de retorno del orden de 70 años, que es poco probable que sean simultáneos con los de Angostura y que con mediciones adecuadas puede limitarse el gasto máximo de descarga, se propone considerar una descarga de $3150 m^3 \cdot s^{-1}$ para un periodo de retorno de 100 años.

6.4 Avenidas de diseño en Peñitas

En lo que sigue se presenta un resumen de los resultados del tránsito de las avenidas de diseño por peñitas, los cuales fueron tomados de Domínguez et al., 2006.

En la Tabla 4.46 se presenta un resumen de los resultados obtenidos al simular el tránsito de las avenidas con periodos de retorno de 50, 100 y 10000 años. Para las avenidas de 50 y 100 años se consideró que Malpaso estaría descargando por las turbinas un gasto de $1440 m^3 \cdot s^{-1}$. Para la avenida de 10000 años se estudiaron dos alternativas: en la primera se simuló el tránsito de la avenida generada por la cuenca propia de Peñitas más la descarga de $1440 m^3 \cdot s^{-1}$ de Malpaso, y en la segunda se simuló el tránsito de las descargas de Malpaso correspondientes a 10000 años de periodo de retorno.

Tabla 4.46. Resumen de los resultados del tránsito de las avenidas de diseño por el vaso de la presa Peñitas (con salidas Malpaso)

Elevación inicial (msnm)	Variable	Tr (años)			
		50	100	10,000	10,000 (hidrograma de salida por Malpaso)
87.4	$Q_{\text{máx Ingreso}} \text{ (m}^3/\text{s)}$	9869	11354	21005	14509
87.4	$Q_{\text{máxSalida}} \text{ (m}^3/\text{s)}$	4717	5761.54	13518.98	14504.38
87.4	$V_{\text{máx total almac}} \text{ (millones de m}^3)$	313.31	332.43	422.02	431.55
87.4	$Elev_{\text{máx}} \text{ (msnm)}$	90.60	90.87	92.11	92.24

Las avenidas de diseño incluyen el gasto de 1440 m³/s descargado por Malpaso y la forma del pico de la avenida del 2003

Nota: Tomando en cuenta resultados proporcionados por la función Doble Gumbel para 1 día y Gumbel para duraciones de 2 a 10 días

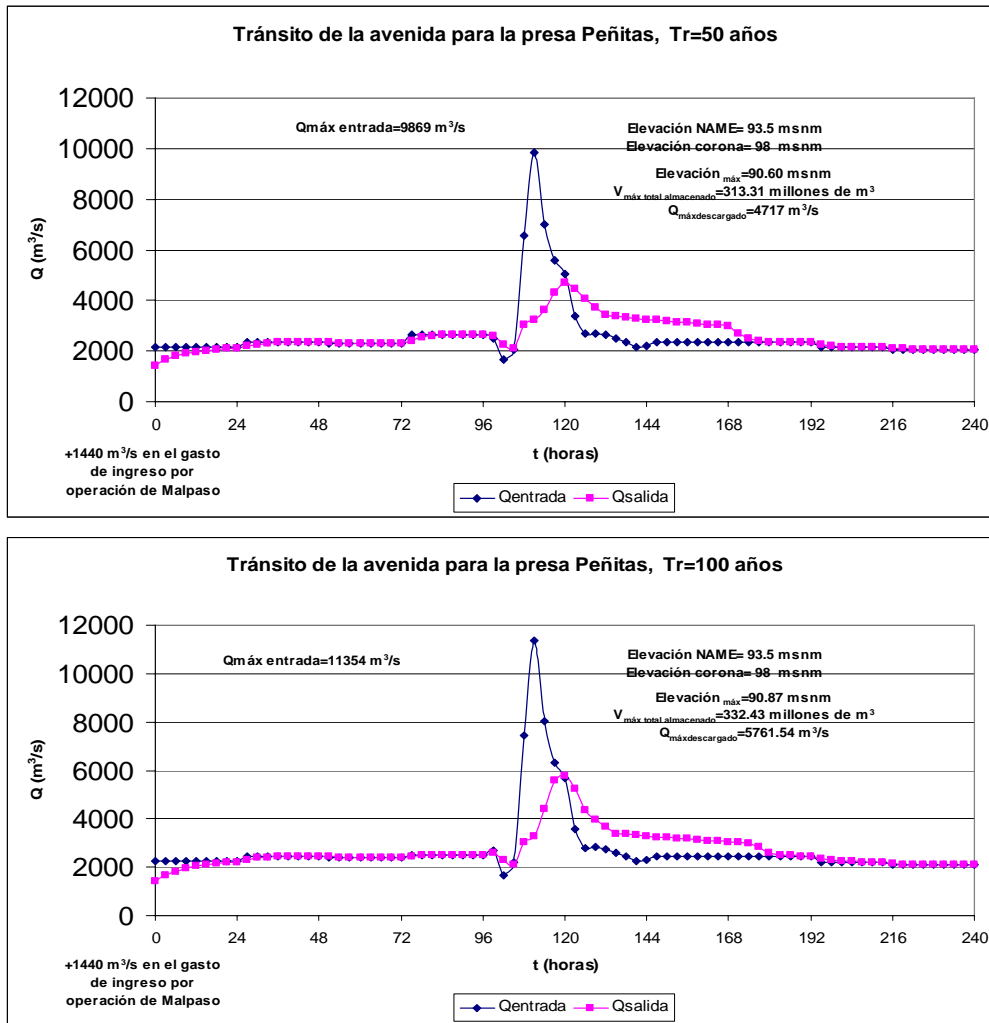
Los resultados de los tránsitos de avenidas muestran que, para avenidas con periodos de retorno hasta de 10000 años no se rebasaría el NAME.

Para la avenida por cuenca propia, de 10,000 años y una descarga de Malpaso de 1440 m³·s⁻¹, el nivel máximo del agua quedaría 1.4 m abajo del NAME.

Si se considera que al vaso de Peñitas ingresa la descarga de Malpaso correspondiente a su avenida de Tr = 10000 años, el nivel máximo quedaría 1.26 m. abajo del NAME.

6.4.1 Avenidas con periodos de retorno de 50 y 100 años

En la Fig. 4.37 se muestra el resultado de los tránsitos de las avenidas de 50 y 100 años, respectivamente. En ambos casos se consideró que al ocurrir las crecientes en la cuenca de Peñitas, la presa de Malpaso estaría descargando por las turbinas un gasto de 1440 m³·s⁻¹.



Figuras 4.37. Tránsitos de las avenidas de 50 y 100 años por el vaso de la presa Peñitas

6.4.2 Análisis de simultaneidad

La experiencia histórica muestra que cuando se han presentado crecientes importantes en la cuenca de Peñitas que han obligado a utilizar su vertedor, ha sido posible cerrar la obra de toma de Malpaso para evitar que sus descargas se sumen a dichas crecientes

Esto ha sido posible porque las crecientes que produce la cuenca de Peñitas son de corta duración, de forma que el volumen que se almacena en Malpaso al impedir que descargue no es muy importante en comparación con su volumen de regulación. Así, un gasto de 1440 m³·s⁻¹, durante un día equivale a 124.4 millones de m³.

Adicionalmente, la ocurrencia simultánea de crecientes importantes en las dos cuencas es poco probable, como se muestra en la Tabla 4.47. En dicha tabla se

observa que cuando en la cuenca de Peñitas ocurrieron gastos medios diarios mayores que $2\,000\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ (años 1967, 1979, 2000 y 1977), solamente en una ocasión (en 1979) se presentó un gasto relativamente importante ($3\,207\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$) en la cuenca de Malpaso, y que cuando ocurrieron gastos medios diarios mayores que $4\,000\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ en Malpaso, los gastos en Peñitas no pasaron de $1\,400\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$.

Tabla 4.47. Gastos medios diarios máximos anuales registrados para las cuencas de Malpaso y Peñitas

P E Ñ I T A S				MALPASO					
				ANUAL					
Q máximo	Año	Mes	Día	Qmed max diario	Año	Mes	Día	Peñitas	
Ordenado								Simultáneo	Fecha
4054	1967	12	23	7505	1980	9	25	1323	29-Sep
2749	1967	9	29	6436	1963	9	24	1153	08-Oct
2365	1979	9	16	4233	1986	5	31		
2012	2000	10	9	4117	1998	9	10	1609	21-Oct
2010	1977	11	11	3750	1973	9	3		
1913	1999	10	20	3602	2003	10	6		
1908	1972	12	16	3297	1989	9	23		
1892	1968	10	22	3207	1979	9	16		
1888	1959	10	16	2844	1978	3	22		
1868	1974	9	20	2689	1959	10	18		
1861	1970	9	29	2528	1970	9	12		
1849	1973	8	21	2473	1999	10	1		
1836	1961	10	16	2404	2005	10	5		
1797	1967	10	18	2304	1988	9	5		
1782	2004	1	10	2192	1965	10	23		
1759	1973	10	24	2130	1966	10	3		
1748	1979	12	18	2101	1969	9	30		
1691	2003	11	28	2007	1966	9	8		
1609	1998	10	21	1994	2001	9	29		
1583	1993	10	23	1978	1968	9	24		
1562	1989	10	19	1917	1973	8	31		
1561	1959	4	14	1904	1962	9	30		
1556	1988	10	4	1877	1984	9	13		
1549	1969	11	20	1818	1988	8	15		
1540	1990	12	4	1780	1988	10	4		
1527	1970	10	1	1774	1960	8	17		
1527	1978	12	10	1766	1986	6	1		

6.4.3 Resumen

- Para las descargas de Peñitas con periodos de retorno de 50 y 100 años, se obtienen gastos de $4,700$ y $5,700\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, respectivamente, si se considera que a su cuenca ingresan $1,440\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ descargados por las turbinas de Malpaso.
- Tomando en cuenta la poca simultaneidad de los escurrimientos máximos en las dos cuencas, se considera que estos valores pueden reducirse a $3\,700$ y $4\,700\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, respectivamente, si se garantiza un sistema de medición automática de al menos 6 a 8 estaciones pluviográficas en la cuenca de Peñitas más dos hidrométricas en la cuenca de Malpaso (Las Flores y Santa María)

6.4.4 Gastos de diseño para las subcuencas de Peñitas

Tomando en cuenta que el caído que se presentó en noviembre del año de 2007 provoca la formación de un vaso aguas arriba del caído, en seguida se presentan algunos resultados obtenidos del análisis estadístico de los gastos históricos estimados para las cuencas de aguas arriba y aguas abajo de dicho caído.

Tomando en cuenta que la información que se registra en las estaciones hidrométricas Tzimbac y Sayula corresponde a áreas de cuenca menores que las de aguas arriba y aguas abajo del caído (sobre todo en el caso de Tzimbac que controla una cuenca de menos de la tercera parte de la que está situada aguas arriba del caído), se realizó una calibración basada en los gastos medios diarios deducidos del funcionamiento del vaso de Peñitas. De acuerdo con esa calibración, se obtuvo que los gastos de aguas arriba se pueden estimar multiplicando los registrados en Tzimbac por 3 y los de aguas abajo multiplicando los de Sayula por 1.4.

En esas condiciones, en la Tabla 4.48 se presentan los valores de gastos medios estimados para distintas duraciones y periodos de retorno para el vaso de aguas arriba.

Tabla 4.48. Extrapolación probabilística para el vaso de aguas arriba (Tzimbac Multiplicado por 3)

Tr	Gastos medios diarios, en m ³ -s ⁻¹				
	Duración				
Años	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días
2	706.53	558.15	455.91	376.29	322.56
5	999.42	785.67	644.1	530.49	453.63
10	1193.34	936.3	768.69	632.58	540.42
20	1379.37	1080.78	888.21	730.5	623.64
50	1620.15	1267.8	1042.92	857.25	731.37
100	1800.6	1407.96	1158.84	952.23	812.13
200	1980.36	1547.58	1274.34	1046.88	892.56
500	2217.51	1731.81	1426.71	1171.74	998.7
1000	2396.76	1871.04	1541.88	1266.09	1078.89
2000	2575.95	2010.21	1657.02	1360.44	1159.08
5000	2812.8	2194.17	1809.18	1485.12	1265.04
10000	2990.0	2333.31	1924.29	1579.41	1345.2

Análogamente, los resultados correspondientes a la cuenca de aguas abajo se presentan en la Tabla 4.49.

Tabla 4.49. Sayula. Resultados de la extrapolación probabilística. Multiplicado por factor=1.4

Tr	Gumbel				
	Duración				
años	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días
2	1063	839	674	563	486
5	1565	1217	974	803	689
10	1897	1467	1173	962	823
20	2216	1707	1364	1114	952
50	2629	2018	1611	1312	1120
100	2938	2251	1796	1459	1245
200	3246	2483	1980	1607	1370
500	3652	2789	2224	1801	1534
1000	3959	3020	2407	1948	1659
2000	4266	3251	2591	2095	1783
5000	4672	3557	2834	2289	1947
10000	4979	3788	3018	2435	2072

De acuerdo con estos resultados, para una duración de 1 día y un periodo de retorno de 10 000 años, se tendrían gastos medios de $2\,990\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ para el vaso superior y de $4,980\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ para el vaso inferior.

Si estos valores se multiplican por la relación (2.34) que se obtuvo para Peñitas, se obtienen gastos instantáneos de: $7,000\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ para el vaso superior y de $1,1650\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ para el vaso inferior.

Si se consideran los valores obtenidos para un periodo de retorno de 100 años, se obtienen gastos medios diarios de $1\,800\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ para el vaso superior y de $2,900\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ para el vaso inferior; con valores máximos instantáneos de $4,200\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ para el vaso superior y de $6,870\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ para el vaso inferior.

7. RELACIÓN CON LOS GASTOS DE LA CUENCA DE LA BIFURCACIÓN

En este estudio se actualizaron las estimaciones de los gastos correspondientes a distintos periodos de retorno para la cuenca situada entre Peñitas y la bifurcación del río Mezcalapa en el Samaria y el Carrizal (cuenca de la bifurcación). Los valores obtenidos se muestran en la Tabla 4.50.

Tabla 4.50. Samaria+Gonzalez_Reforma - Peñitas 2008

Tr	1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días	8 días	9 días	10 días
2	1071	848	759	688	628	582	544	512	484	464
5	1502	1189	1084	983	901	836	787	739	701	673
10	1787	1415	1299	1179	1082	1004	947	890	845	812
20	2060	1632	1506	1366	1255	1166	1101	1034	983	945
50	2414	1912	1773	1609	1480	1375	1301	1221	1162	1118
100	2680	2122	1974	1790	1648	1531	1450	1361	1296	1247
200	2944	2332	2173	1972	1815	1687	1599	1501	1430	1375
500	3292	2608	2437	2210	2036	1893	1795	1685	1606	1545
1000	3556	2817	2636	2391	2204	2049	1943	1824	1739	1674
2000	3819	3026	2835	2572	2371	2204	2092	1964	1872	1802
5000	4167	3301	3098	2810	2591	2410	2288	2148	2048	1971
10000	4431	3510	3296	2991	2758	2565	2436	2287	2181	2100

Al tomar en cuenta los resultados de la sección 6.4.3, es decir, gastos instantáneos de descarga de Peñitas de $4\,700\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ y $3\,700\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ para 100 y 50 años de periodo de retorno, respectivamente, se recomienda considerar un gasto medio diario total para la bifurcación, de $6\,500\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ para un periodo de retorno de 100 años y de $3\,300\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ para un periodo de retorno de 50 años.

7.1 Resumen

En la Tabla 4.51 se presenta un resumen de los resultados de este estudio. Los valores recomendados, que se marcan con amarillo, implican el funcionamiento continuo y confiable de una red de mediciones de gastos y lluvias en las cuencas de Malpaso y de Peñitas. La Tabla 4.52 muestra un resumen de las avenidas para un periodo de retorno de 100 años.

Tabla 4.51. Resumen, gastos en $m^3 \cdot s^{-1}$

T R = 10 000 AÑOS		TR = 100 AÑOS	
MALPASO (descargas)			
DIRECTO	14 500	DIR CON ANG	8 000
OPERANDO	10 500	DIR SIN ANG	4 000
		OPERANDO	3 500
PEÑITAS (descargas)			
13 500 (incluye 1440 de Malpaso)		DIRECTO	5 700
		OPERANDO	4 700
VASO SUPERIOR, CUENCA PROPIA (ingresos)			
Q medio 3000; pico 7000		Qmed 1800; pico 4 200	
HASTA LA BIFURCACIÓN			
16 500		DIRECTO	8 000
		OPERANDO	6 500
VALORES RECOMENDADOS			

8. RESUMEN DE GASTOS MEDIOS DIARIOS CON PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS PARA LAS CUENCAS DE LA ZONA BAJA DE LA CUENCA DEL GRIJALVA

En la Tabla 4.52 se presenta un resumen de los gastos medios diarios para duraciones de 1 a 10 días asociados a un periodo de retorno de 100 años.

Tabla 4.52. Resumen de avenidas de 100 años de periodo de retorno

Días	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ríos de la Sierra										
Picucalco reg	70	137	119	439	1589	780	309	223	156	207
Teapa reg	101	140	112	465	1628	808	318	282	242	241
Puyacatengo reg	24	52	38	152	709	255	139	114	76	96
Tapijulapa reg	281	336	361	1231	3719	1738	1058	839	507	707
Total reg	621	730	617	2448	7331	3599	1853	1506	970	1193
Chilapa										
Macuspana	1181	1212	1147	1351	1431	1481	1417	1285	1212	1173
Salto de Agua	845	1105	1250	1608	2146	2570	1824	1372	1221	899
Total	1896	1986	1948	2444	3187	3685	2680	2304	1910	2050
Usumacinta										
Boca del Cerro	7705	8153	8394	8586	8615	8671	8556	8502	8323	7935
Bifurcación										
Gon+Sam-Peñi	806	738	946	1238	1564	2680	1678	1080	964	776

9. Referencias

Domínguez M. R., Arganis, J. M. L., Carrizosa E. E., Fuentes M. G. E., Echeverri V. C. A. (2006). Determinación de Avenidas de Diseño y Ajuste de los Parámetros del Modelo de Optimización de las Políticas de Operación del Sistema de Presas del Río Grijalva. Informe elaborado para la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Diciembre 2006.