



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

**TORMENTAS SINTÉTICAS EN LA CUENCA
DEL RÍO CHURUBUSCO Y COMPARACION CON FACTORES
DE AJUSTE REGIONALES EN EL VALLE DE MÉXICO.**

T E S I N A

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA

PRESENTA:

ING. ARIADNE SOFÍA DRUST NACARINO

DIRECTOR DE TESINA: **DRA. MARITZA LILIANA ARGANIS JUÁREZ**

MÉXICO, D.F.

NOVIEMBRE 2014

Índice

Capítulo 1. Introducción	2
1.1 Introducción.....	2
1.2 Descripción de capítulos de la tesis	5
Capítulo 2. Antecedentes.....	6
2.1 Introducción.....	6
2.2 Descripción del sitio de estudio	7
2.3 Generación de tormentas sintéticas.....	9
2.4 Factores de ajuste.....	11
Capítulo 3. Metodología	12
3.1 Tormentas sintéticas para 10 estaciones cercanas al Río Churubusco.....	12
3.2 Obtención de precipitaciones máximas horarias anuales, medias diarias máximas anuales y precipitaciones máximas anuales por estación	16
3.3 Ajuste de distribución de probabilidad	30
Capítulo 4. Comparación y análisis de resultados	49
4.1 Distribución Gumbel	49
4.2 Comparación de factores por duración y periodo de retorno	53
Capítulo 5. Conclusiones.....	56
Capítulo 6. Bibliografía	59

1.1 Introducción

En la actualidad existen diversas metodologías para analizar series de tiempo y para la obtención de registros sintéticos a partir de registros históricos, tanto de series anuales como de series periódicas (semestrales, mensuales, diarias); entre esos métodos cabe destacar los modelos autor regresivos de promedios móviles ARMA (p,q) (Salas *et al.*, 1988), modelos ARIMA y de Thomas Fiering (Yurekly *et al.*, 2004), el método de Fragmentos de Svanidze (Svanidze, 1980).

Los modelos ARMA tienen el inconveniente de que su aplicación se limita a series de datos cuya distribución debe ser normal y aunque existen técnicas para efectuar una transformación normalizante a la serie original, tales como el cálculo del logaritmo natural o el método de Box y Cox (Escalante, 2002), por tratarse de transformaciones no lineales, al aplicar la transformación inversa se incurre en una deformación de los resultados finales.

Para el estudio y análisis de eventos extremos aplicados en el campo de la hidrología, el contar con registros de precipitaciones históricas, estos registros se obtienen de estaciones pluviográficas que registran información en tiempo real; la desventaja es que los datos no siempre son continuos; para resolver este problema y poder generar series de tiempo más largas que permitan simular el posible comportamiento de un sistema hidrológico se ha empleado el método de Svanidze Modificado para generar tormentas sintéticas en la ciudad de México (Domínguez *et al.*, 2002, Domínguez *et al.*, 2005, Arganis *et al.*, 2008).

Los registros sintéticos pueden usarse posteriormente para simular el comportamiento del sistema hidrológico analizado, siempre será necesario estudiar las lluvias de gran magnitud puntual, y tampoco hay que descartar aquellas que por su extensión espacial pueden causar problemas al sistema general de drenaje y control de crecientes.

Domínguez et al., (2012) realizaron una selección de tormentas medidas en los años 1988 y 1993 a 2008 obtenidos de las 49 estaciones del sistema de aguas de la Ciudad de México; las lluvias pertenecientes a los años 1988 y 1999 a 2005 fueron validadas con información de los boletines hidrológicos de la Comisión Nacional del Agua y del año 1993 a 1998 con lluvias máximas seleccionadas de un estudio previo (Domínguez et al., 2004).

En los trabajos realizados aplicaron un modelo de generación de tormentas basado en el método de Svanidze en el que con un doble procedimiento seleccionaron, aleatoriamente, por un lado, un valor de la precipitación máxima sintética obtenida a partir de la función de distribución que se determina de los registros de precipitaciones máximas anuales y, por otro lado, eligieron aleatoriamente una tormenta histórica y escalaron multiplicando los valores registrados en cada estación por una constante tal que en el centro de la tormenta se obtuviera la precipitación máxima sintética.

El método de Svanidze modificado, ha sido utilizado con éxito en la generación sintética de los volúmenes de escurrimiento de sistemas de presas que operan en cascada (Domínguez et al., 2001, 2002); la ventaja de este método es que no es necesario que los datos sean normales y que logra reproducir las correlaciones y correlaciones cruzadas. El problema que tiene es la preservación de la correlación entre el último periodo del año t y el primer periodo del año $t+1$, pero lo anterior se resuelve identificando los periodos de más baja correlación y redefiniendo los años (en lugar de usar años cronológicos, se utilizan años hidrológicos).

Los datos de entrada al proceso son las n series periódicas históricas analizadas. Para cada año del registro histórico se calculan los totales de cada serie y la suma de los n totales; adicionalmente, para cada una de las series se obtiene la fracción del ingreso mensual con respecto al total anual y se determina, para cada total anual de cada serie, el porcentaje con respecto al total suma. A la serie anual

formada por la suma de los n totales se le hace un análisis estadístico para determinar la función de distribución de probabilidades de mejor ajuste.

La generación sintética se realiza mediante un doble procedimiento aleatorio; el primero consiste en utilizar la función de distribución de mejor ajuste, con la que se obtienen m valores aleatorios con la función de distribución de la suma de los n totales. El segundo procedimiento es la selección aleatoria de entre m años históricos para obtener el porcentaje sintético tanto de los totales anuales de cada serie, como las fracciones mensuales correspondientes. Se obtienen los totales anuales sintéticos para cada serie multiplicando el total suma aleatorio por el porcentaje correspondiente al año seleccionado aleatoriamente. Se multiplica el total anual sintético de cada serie por las fracciones mensuales correspondientes al año seleccionado, con lo que se determinan las m series periódicas sintéticas.

Por otro lado el Método propuesto por Franco y Domínguez (1982), considera conveniente utilizar un estudio regional que permite aprovechar las características comunes de las precipitaciones en el Valle de México, desarrollaron un método para determinar la precipitación de diseño y obtuvieron factores de reducción por duración tomando en cuenta las lluvias convectivas y las lluvias con larga duración. Los resultados obtenidos del estudio mostraron que el valor promedio de los factores de ajuste para distintas duraciones era prácticamente el mismo en toda el área de la cuenca.

Tomando en cuenta el aporte de los dos métodos mencionados anteriormente, el objetivo de este trabajo es obtener las tormentas sintéticas de las estaciones cercanas al río Churubusco obteniendo sus factores por periodo de retorno y por duración, y compararlos contra los factores obtenidos en el análisis regional de lluvias convectivas aplicadas al Valle de México.

1.2 Descripción de capítulos de la tesis

En el capítulo 1 se da una breve introducción de los trabajos realizados por Domínguez et al, aplicando el método Svanidze modificado para la generación de tormentas sintéticas, y del método Franco y Domínguez 1982 para determinar precipitaciones de diseño donde obtuvieron factores de ajuste por duración y por periodo de retorno para la cuenca del valle de México.

En el capítulo 2 se describe la utilidad de la generación de tormentas sintéticas, una breve descripción del sitio de estudio que en este caso es el Rio Churubusco y descripción de los factores de ajuste.

El capítulo 3 se realizó una selección de las estaciones cercanas al Rio Churubusco para lograr obtener los datos de tormentas sintéticas; obteniendo así los máximos anuales; promedio, diario y por estación para realizar los ajustes de probabilidad necesarios y así lograr el mejor ajuste.

El capítulo 4 con los datos obtenidos del análisis de tormentas sintéticas del Rio Churubusco, y tomando en cuenta los resultados del trabajo de análisis regional de lluvias convectivas se hizo una comparación de los factores por duración y periodo de retorno obtenidos en ambos casos.

En el capítulo 5 con los datos de las comparaciones obtenidas en los trabajos y capítulos anteriores se presentan las conclusiones de los factores de reducción y periodo de retorno.

2.1 Introducción

La precipitación como tal, es una variable hidrológica que puede ser caracterizada por medio de su distribución espacio-temporal, intensidad y la probabilidad de ocurrencia o frecuencia. Su caracterización depende de las mediciones realizadas en pluviógrafos para deducir su patrón de comportamiento en una zona determinada y llevar a cabo un análisis a posteriori. Sin embargo, no siempre se dispone de datos de intensidades para precipitaciones máximas de corta duración, por lo que es común el uso de registros pluviométricos para determinar las intensidades por medio de ecuaciones diseñadas para tal fin. (González y Domínguez, 2013)

Varela (2003) ha analizado variables: intervalo de tiempo entre tormentas, duración de la tormenta, intensidad máxima, intensidad media, posición del baricentro de la tormenta respecto de la duración total y posición de la máxima intensidad respecto de la duración total del evento.

Los modelos matemáticos que permiten realizar simulaciones en el largo plazo., usualmente emplean información de entrada generada en forma sintética ante la falta de datos de gran extensión temporal. Generalmente se formulan modelos probabilísticos para la generación sintética de tormentas puntuales (Zimmerman et al., 1996, 1998-9. Normalmente las series generadas de esta forma, son expandidas uniformemente hacia toda la superficie de captación de una cuenca. (Zimmerman, 2000).

2.2 Descripción del sitio de estudio

El Río Churubusco es una corriente de agua ubicada en el Distrito Federal (México). Fue entubado como parte de las obras de modernización de la Ciudad de México emprendidas desde el inicio de la década de 1960. A los costados del cajón por el que todavía corre el río se construyó la parte sur y oriente del Circuito Interior, que es una de las principales arterias viales de la zona metropolitana del valle de México.

El Río Churubusco es un cauce artificial, se formó después de la desecación del Valle de México, siguiendo aproximadamente la antigua ribera sudoccidental del lago de Texcoco. Se encuentra dentro de la subcuenca de Texcoco-Zumpango, de la cuenca hidrológica del río Pánuco. El Churubusco recibe las aguas de los ríos que bajan de la sierra de las Cruces y desembocaban en ese cuerpo de agua, entre ellos el Magdalena y el Mixcoac. A través del Churubusco, la cuenca desembocaba hacia los remanentes del lago, que se encuentran al oriente de la zona urbana.

En lo referente a la hidrografía, dos son los ríos que cruzan la demarcación: el río Magdalena (casi totalmente entubado) penetra en la Delegación Coyoacán por el sureste, cerca de los Viveros de Coyoacán se le une el río Mixcoac (entubado), para juntos formar el río Churubusco que sirve como límite natural con la Delegación Benito Juárez, al norte.

El esquema general de hidrografía ubica a estos ríos como las corrientes principales. También al interior de la demarcación se localiza el canal Nacional. De acuerdo con la carta hidrográfica de Aguas Superficiales, el 100% de la Delegación Coyoacán se encuentra en la Región del Pánuco, en la Cuenca Rey Moctezuma y en la Sub cuenca Lago Texcoco Zumpango.

El río artificial de Churubusco, que conduce sus aguas hacia el oriente, desagua en los vasos reguladores de la ciudad y sale de la cuenca por el sistema de drenaje profundo y el Gran Canal.

Actualmente hay pocos ríos que circulan a cielo abierto por la cuenca del Valle de México sobreviviendo al proceso de expulsión de lagos, de entubamiento de los ríos, del crecimiento urbano que los deteriora y elimina.

El exceso de agua en la ciudad generó una constante movilización para eliminar las constantes inundaciones, construyéndose obras de drenaje cada vez más complejas que modificaron la naturaleza lacustre en una ciudad con escasez de agua, imposibilitada a cubrir su propia demanda de agua potable.

Los Ríos Magdalena y Eslava, afluentes del Río Churubusco al sur poniente de la cuenca son hoy los únicos ríos vivos del sistema natural. Estos ríos que nacen en la sierra de las cruces y siguiendo las pendientes naturales incorporaban su caudal al río Churubusco a través de cañadas de bosques, conformaban un ecosistema de galera en torno a sus márgenes proporcionando el abastecimiento de asentamientos prehispánicos como la Magdalena Atlitlic o coloniales como las haciendas de Chimalistac y del Batán y de Convento del Carmen en San Ángel, conocido por sus huertos que ocupaban ambas márgenes del río.

Actualmente Río Churubusco constituye la infraestructura básica para el drenaje de las cuencas de la zona situada al sur de su trayectoria y descarga las crecientes en los nuevos lagos de Texcoco (el Churubusco y el de Regulación horaria), que las regulan antes de descargarlas en el Dren General del Valle.

El Río Churubusco es el principal elemento del sistema de drenaje (Figura 1) y control de avenidas en la zona sur. Recibe las aportaciones de una cuenca total de 119.2 km² de los cuales 110 km² corresponden a zonas urbanizadas. (Disponible en internet Delegación Coyoacán).

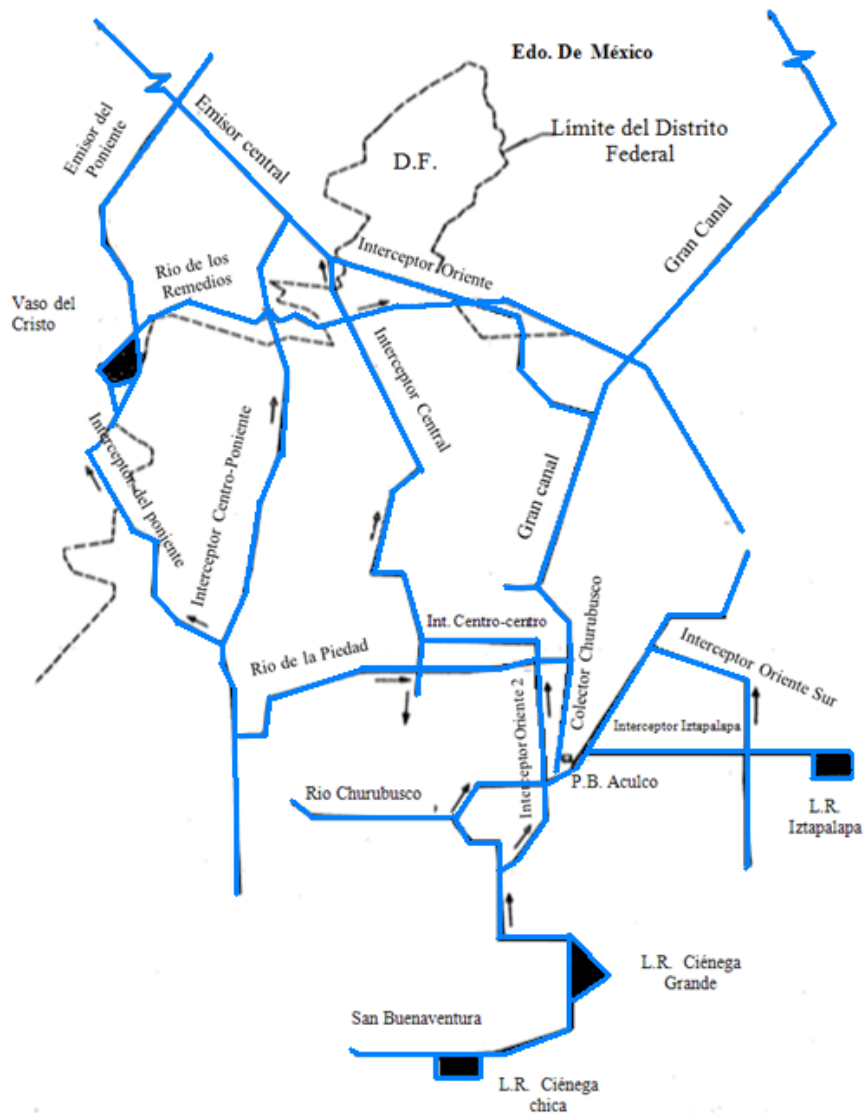


Figura 1. Red de drenaje

2.3 Generación de tormentas sintéticas

Por 22 años el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM) ha operado una red de 49 estaciones pluviográficas que registran información en tiempo real. De ellos sólo 12 años de información son continuos. El crecimiento acelerado de la ciudad de México hace necesario estudiar tanto las lluvias de gran magnitud puntual, como aquellas que por su extensión espacial pueden causar problemas al sistema general de drenaje y control de crecientes. (Domínguez et al, 2012)

Las estadísticas de lluvias en 24 horas pueden considerarse confiables, pero no abarcan suficientes escenarios extremos. Los modelos de generación de tormentas deben considerar la posible dependencia entre el máximo puntual y la extensión espacial de las tormentas o la persistencia temporal. Es importante contar con modelos que constituyan una herramienta práctica y sencilla para generar eventos de tormentas que pueden tener condiciones más extremas que los históricos.

A continuación se muestran los números de las tormentas sintéticas que se asignaron a cada año, tomados de la aplicación del método Svanidze para la generación de tormentas sintéticas en la ciudad de México.

Tabla 1. Tormentas sintéticas correspondientes a cada año.

Año	Tormentas	Año	Tormentas	Año	Tormentas	Año	Tormentas	Año	Tormentas
1	1 a 5	30	290 a 296	59	564 a 577	88	853 a 860	117	1107 a 1114
2	6 a 18	31	297 a 304	60	578 a 584	89	861 a 866	118	1115 a 1124
3	19 a 31	32	305 a 315	61	585 a 589	90	867 a 872	119	1125 a 1131
4	32 a 38	33	316 a 320	62	590 a 597	91	873 a 882	120	1132 a 1140
5	39 a 48	34	321 a 327	63	598 a 600	92	883 a 889	121	1141 a 1151
6	49 a 57	35	328 a 342	64	601 a 606	93	890 a 898	122	1152 a 1163
7	58 a 64	36	343 a 352	65	607 a 616	94	899 a 908	123	1164 a 1174
8	65 a 77	37	353 a 363	66	617 a 632	95	909 a 916	124	1175 a 1181
9	78 a 88	38	364 a 370	67	633 a 644	96	917 a 920	125	1182 a 1189
10	89 a 96	39	371 a 379	68	645 a 651	97	921 a 930	126	1190 a 1207
11	97 a 105	40	380 a 387	69	652 a 658	98	931 a 936	127	1208 a 1214
12	106 a 112	41	388 a 396	70	659 a 665	99	937 a 943	128	1215 a 1229
13	113 a 123	42	397 a 400	71	666 a 675	100	944 a 955	129	1230 a 1235
14	124 a 132	43	401 a 410	72	676 a 686	101	956 a 963	130	1236 a 1244
15	133 a 137	44	411 a 417	73	687 a 694	102	964 a 977	131	1245 a 1255
16	138 a 149	45	418 a 426	74	695 a 701	103	978 a 986	132	1256 a 1264
17	150 a 159	46	427 a 437	75	702 a 716	104	987 a 997	133	1265 a 1273
18	160 a 164	47	438 a 441	76	717 a 728	105	998 a 1004	134	1274 a 1280
19	165 a 174	48	442 a 446	77	729 a 745	106	1005 a 1013	135	1281 a 1287
20	175 a 191	49	447 a 458	78	746 a 765	107	1014 a 1022	136	1288 a 1297
21	192 a 202	50	459 a 468	79	766 a 778	108	1023 a 1029	137	1298 a 1308
22	203 a 208	51	469 a 472	80	779 a 789	109	1030 a 1038	138	1309 a 1319
23	209 a 220	52	473 a 481	81	790 a 799	110	1039 a 1046	139	1320 a 1331
24	221 a 230	53	482 a 492	82	800 a 813	111	1047 a 1061	140	1332 a 1337
25	231 a 238	54	493 a 504	83	814 a 820	112	1062 a 1065	141	1338 a 1342
26	239 a 250	55	505 a 524	84	821 a 827	113	1066 a 1073	142	1343 a 1350
27	251 a 263	56	525 a 540	85	828 a 838	114	1074 a 1079		
28	264 a 278	57	541 a 550	86	839 a 845	115	1080 a 1087		
29	279 a 289	58	551 a 563	87	846 a 852	116	1088 a 1106		

2.4 Factores de ajuste de probabilidad

La Cuenca del Valle de México tiene un área aproximada de 9 600 Km²; la planicie central se encuentra rodeada de montañas y tiene una altitud de 2 240 m en el sur y 2 390 m en el Norte.

Esta cuenca cuenta con un amplio periodo de registros; se encuentra instrumentada con más de 60 estaciones climatológicas en el Distrito Federal, operadas por la dirección General de construcción y Operación hidráulica y con más de 70 estaciones operadas por la comisión Nacional del Agua.

Los factores de ajuste por periodo de retorno y duración fueron obtenidos por Franco (1998) a través de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica con ayuda de datos recopilados de 49 pluviógrafos, donde se obtuvieron los valores máximos de intensidad de lluvia para cada año de registro, para cada estación y para 5 distintas duraciones.

Franco utilizó el programa AX, elaborado por el Centro Nacional de Prevención y Desastres para poder ajustar distintas funciones de probabilidad a la muestra de datos que obtuvo y así calcular el error cuadrático de cada una de ellas con respecto a la muestra.

El programa AX contempla las funciones de probabilidad Normal, Log Normal, Exponencial, Gamma, Gumbel y Doble Gumbel; utilizando los parámetros por momentos y por máxima verosimilitud.

Con los datos ajustados se puede realizar una extrapolación para la obtención de cualquier periodo de retorno requerido.

3.1 Tormentas sintéticas para 10 estaciones cercanas al Rio Churubusco

Para poder localizar las estaciones cercanas al sitio de estudio utilizamos el google Earth para ver la ubicación geográfica del Rio Churubusco dentro del Distrito Federal. (Figura 2).

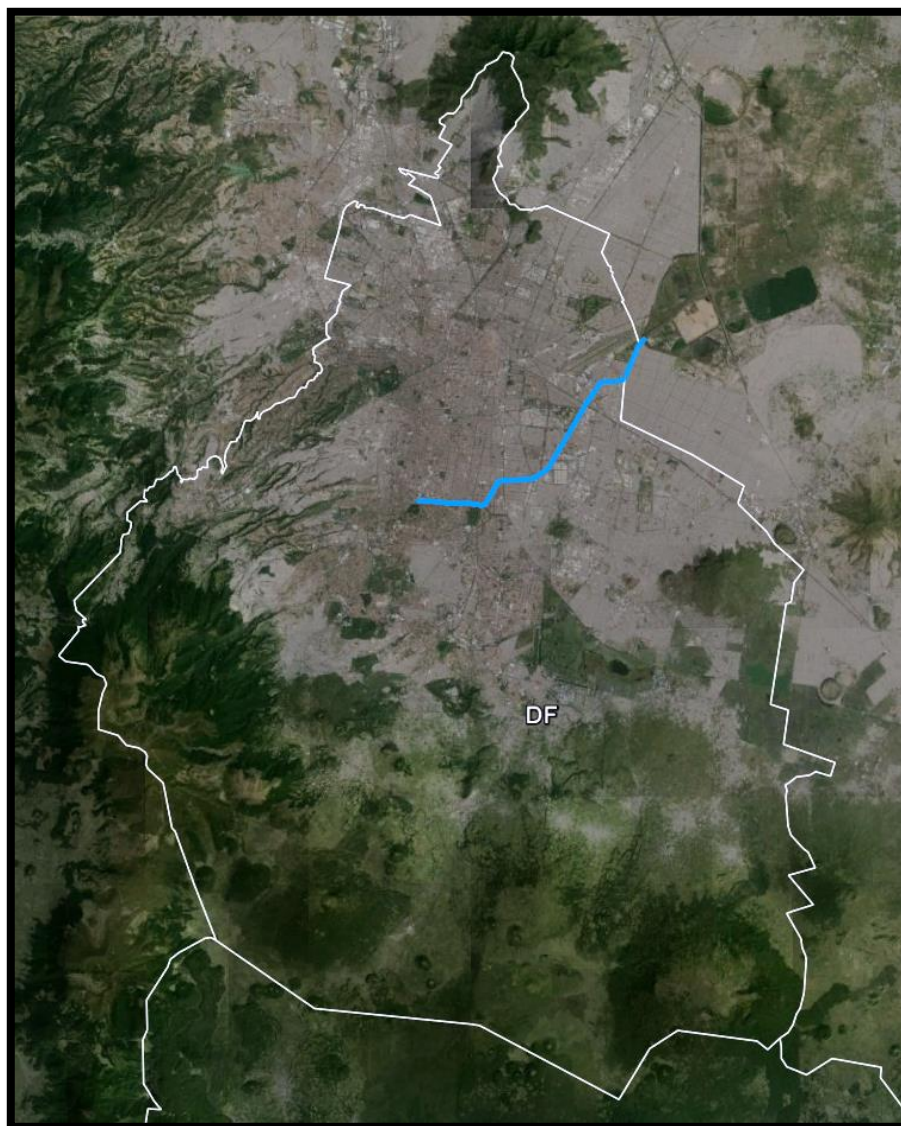


Figura 2. Ubicación del Rio Churubusco

Desde el año de 1988, el Sistema de Aguas de la Ciudad de México opera una red de estaciones pluviográficas en 49 sitios de la ciudad (Figura 3), las cuales transmiten la información en tiempo real cada que los equipos emiten un pulso equivalente a 0.25 mm.

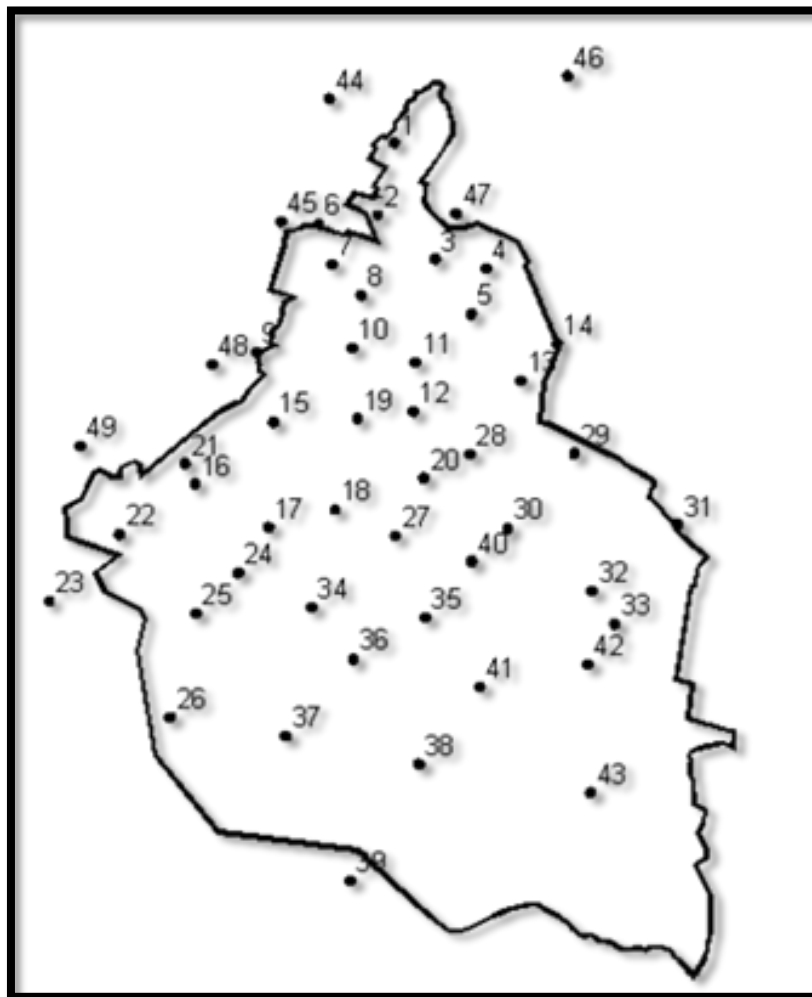


Figura 3. Estaciones pluviométricas del distrito Federal

En la tabla 2 se muestran las coordenadas geográficas de las 49 estaciones obtenidas del boletín meteorológico 46 y se destacan las 10 estaciones cercanas al Río Churubusco.

Tabla 2. Coordenadas geograficas de 49 estaciones en el D.F.

ESTACION		LATITUD			LONGITUD		
		°	'	"	°	'	"
1	TANQUES CHALMITA	19	33	0	99	8	20
2	O.T. RIO REMEDIOS	19	30	30	99	9	0
3	P.B. LINDAVISTA	19	28	30	99	7	30
4	COYOL	19	28	0	99	5	30
5	P. GENERADORA 101	19	27	15	99	6	0
6	P.T. ROSARIO	19	30	0	99	11	34
7	CAMPO MECOAYA	19	29	15	99	11	8
8	P.B. NVA SANTA MARIA	19	27	0	99	10	10
9	TANQUE SAN JOAQUIN	19	25	45	99	14	55
10	P.B. TIZOC	19	26	0	99	10	35
11	DEPTO DEL D.F	Sin coordenada					
12	SANTA CRUZ ACATLAN	19	24	45	99	7	15
13	P.B. LOPEZ MATEOS	19	24	0	99	3	30
14	P.B. CHURUBUSCO L.	19	25	15	99	3	0
15	TRIANGULO	19	23	0	99	14	5
16	TRIF, SANTA LUCIA	19	20	50	99	16	10
17	TANQUE EL LIENZO	19	20	15	99	14	7
18	CENTRO UNIVERSIDAD	19	20	45	99	11	5
19	RADIOCOMUNICACION	19	23	25	99	10	30
20	P.B. MUNICIPIO LIBRE	19	21	25	99	8	0
21	TANQUE EL CARTERO	19	22	30	99	17	0
22	LA VENTA	19	20	0	99	20	35
23	EL ZARCO	19	17	58	99	22	15
24	T SAN FRANCISCO	19	19	0	99	14	55
25	P.T. RIO MAGDALENA	19	17	16	99	15	53
26	MONTE ALEGRE	19	12	45	99	18	0
27	PLANTA XOTEPINGO	19	19	50	99	3	30
28	P.B. ACULCO	19	22	40	99	6	30
29	P.B. U.E. DE OTE	19	25	15	99	2	0
30	P.T. LA ESTRELLA	19	19	35	99	5	40
31	S. ELEC. S . CATARINA	19	18	15	98	57	30
32	P.T. STA CATARINA	19	17	0	99	0	30
33	SN PEDRO TLAHUAC	19	15	40	99	0	20
34	REBOMBEO BOSQUE T	19	17	45	99	13	0
35	P.B. VILLA COAPA	19	16	15	99	8	25
36	T.SN PEDRO MARTIR	19	14	36	99	10	30
37	AJUSCO	19	13	7	99	13	20
38	TOPILEJO	19	10	30	99	9	51
39	CASETA FORESTAL	19	5	20	99	12	30
40	OFIC, GAVM SUR	19	17	30	99	6	30
41	PLANTA NATIVITAS	19	13	50	99	6	10
42	PLANTA SAN LUIS	19	14	0	99	3	0
43	MILPA ALTA	19	9	20	99	3	0
44	P. BARRIENTOS	19	34	30	99	10	30
45	VASO DE CRISTO	19	30	0	99	13	30
46	P. CHICONAUTLA 1	19	35	36	99	2	7
47	P. CHICONAUTLA 2	19	30	49	99	6	29
48	PALMAS	19	24	30	99	16	0
49	EL VENADO	19	22	56	99	20	3

Con ayuda de las coordenadas geográficas de cada estación pluviométrica, se representan gráficamente las estaciones más cercanas al Río Churubusco; como observamos en la figura se consideraran las estaciones:

Tabla 3. Estaciones cercanas al Río Churubusco

12	SANTA CRUZ ACATLAN
13	P.B. LOPEZ MATEOS
14	P.B. CHURUBUSCO LAGO
18	CENTRO UNIVERSIDAD
19	RADIO COMUNICACIÓN
20	P.B. MUNICIPIO LIBRE
27	P.B. XOTEPINGO
28	P.B. ACULCO
29	P.B. EJERCITO DE ORIENTE
30	P.T. C. DE LA ESTRELLA

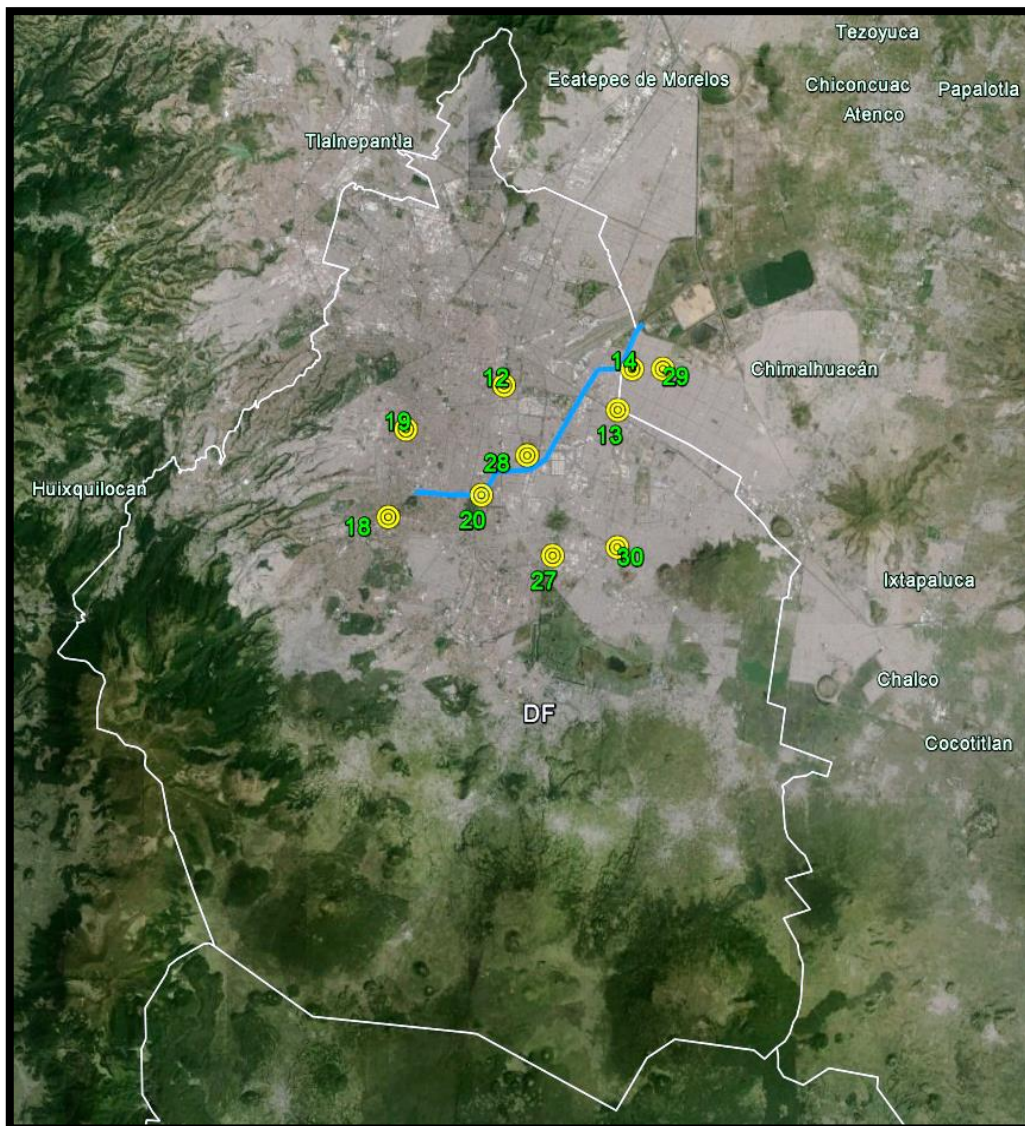


Figura 4. Localización de estaciones cercanas a Río Churubusco

3.2 Obtención de precipitaciones máximas horarias anuales, medias diarias máximas anuales y precipitaciones máximas anuales por estación

Para cada uno de los 142 años se consideraron solo las estaciones 12, 13, 14, 18, 19, 20, 27, 28, 29 y 30. A continuación se muestra el ejemplo para el año 1.

Tabla 4. Precipitaciones sintéticas para el año 1.

Año sintético 1. Precipitaciones en mm.											
Fecha Estación	12	13	14	18	19	20	27	28	29	30	Promedio
6:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17:00	0	0	0	3.57E-02	0	0	0	0	0	0	0.00357181
18:00	0	0.1595	1.6246	0.2679	0	0	8.02E-02	0.4876	1.3453	0.227	0.41920913
19:00	1.34529	1.9908	1.871	1.0417	0.4277	3.9008147	19.559	7.3194	10.939	21.919	7.03133511
20:00	3.307703	4.4702	4.1074	1.3122	4.2367	2.1914383	1.8288	3.9345	1.6401	4.5288	3.15577498
21:00	1.130702	3.4051	2.9607	5.8464	6.0085	3.7237939	4.2878	3.7121	2.7094	3.7956	3.75801713
22:00	7.735424	2.0793	1.7205	5.6513	8.1612	6.0626418	6.8238	4.9907	2.2887	4.4003	4.99138344
23:00	1.589124	0.8077	0.6285	1.1832	2.4258	1.874932	1.3176	1.3453	0.452	0.6472	1.22713223
24:00	8.22E-02	0	0	0	0	0	0	0	0.2648	0	0.03470342
25:00	8.22E-02	0	0	0.2648	0	0	0	0	0	0	0.03470342
26:00	6.58E-02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00657705
27:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Con cada una de las tormentas seleccionadas para los 142 años, se obtuvo el máximo anual promedio diario, el máximo anual promedio en una hora y el máximo horario en una estación; además de estos máximos promedio, se pone el máximo horario de la estación en la que dicho máximo fue más grande. (Tabla 5) el resumen de los datos recopilados se muestra a continuación en las siguientes tablas.

Tabla 5. Precipitaciones máxima anual promedio diario, máxima anual promedio en una hora y máxima horaria en una estación.

Tormenta	máximo anual promedio diario	máximo anual promedio en 1 hora	máximo horario en 1 estación
AÑO 1			
1	20.7	7.0	21.9
2	12.4	6.5	32.4
3	25.6	14.6	32.9
4	14.6	4.8	21.4
5	9.5	3.9	36.5
	25.6	14.6	36.5
AÑO 2			
6	6.2	1.2	5.8
7	11.5	4.5	9.4
8	12.6	2.8	17.6
9	16.4	7.7	16.0
10	20.7	7.0	20.7
11	22.1	6.9	17.7
12	16.0	5.1	15.0
13	19.3	6.9	32.8
14	9.2	4.1	24.8
15	7.3	2.8	16.0
16	9.9	4.7	20.1
17	7.6	2.9	16.5
18	1.0	0.5	3.2
	22.1	7.7	32.8
AÑO 3			
19	5.9	2.0	11.2
20	13.6	5.9	56.1
21	9.5	3.9	36.7
22	12.6	6.6	32.8
23	20.7	5.5	22.7
24	13.9	4.1	9.7
25	7.8	3.0	12.9
26	7.5	1.9	6.0
27	11.6	3.4	13.5
28	8.0	3.7	16.2
29	8.2	3.4	26.1
30	11.7	3.6	23.1
31	16.1	5.0	19.4
	20.7	6.6	56.1
AÑO 4			
32	11.1	3.3	11.7
33	23.8	7.4	19.0
34	5.7	2.4	6.3
35	15.6	5.6	26.5
36	7.3	5.6	8.2
37	8.4	2.1	6.7
38	5.2	1.3	5.9
	23.8	7.4	26.5
AÑO 5			
39	16.7	4.8	12.0
40	5.7	1.5	6.5
41	13.2	3.9	15.4
42	10.2	5.1	18.1
43	13.8	3.3	14.1
44	14.6	4.2	25.2
45	8.8	2.7	15.2
46	15.2	7.9	39.6
47	8.5	4.2	9.0
48	15.1	5.5	17.9
	16.7	7.9	39.6

Tormenta	máximo anual promedio diario	máximo anual promedio en 1 hora	máximo horario en 1 estación
AÑO 6			
49	15.4	6.3	16.6
50	4.5	2.8	10.5
51	12.0	2.7	12.1
52	18.6	4.7	12.0
53	17.5	9.8	25.3
54	1.4	0.7	5.7
55	26.3	12.4	51.9
56	21.3	6.7	17.0
57	7.8	3.1	7.6
	26.3	12.4	51.9
AÑO 7			
58	21.2	4.9	23.0
59	10.4	8.0	11.8
60	24.6	8.9	17.2
61	15.7	4.2	22.3
62	17.4	11.6	33.2
63	5.1	3.0	9.6
64	9.9	3.8	8.1
	24.6	11.6	33.2
AÑO 8			
65	21.4	7.8	34.8
66	14.0	3.3	17.5
67	6.5	1.9	9.4
68	26.1	11.5	30.5
69	2.7	1.7	5.4
70	11.1	4.8	46.0
71	13.4	4.6	14.1
72	24.0	12.9	28.5
73	3.9	2.4	9.1
74	7.1	4.2	13.3
75	17.4	10.6	21.5
76	21.2	9.3	17.1
77	18.4	8.5	22.3
	26.1	12.9	46.0
AÑO 9			
78	24.1	7.5	19.2
79	40.3	7.4	30.0
80	40.3	7.4	30.0
81	20.2	7.2	46.4
82	19.8	4.5	21.4
83	6.9	2.0	17.5
84	6.6	2.1	12.1
85	19.1	7.4	29.4
86	9.8	6.8	12.3
87	7.3	3.1	8.2
88	28.9	10.3	66.3
	40.3	10.3	66.3
AÑO 10			
89	4.6	1.4	6.7
90	13.2	6.9	34.4
91	10.1	5.2	10.9
92	12.1	5.7	24.7
93	4.0	1.5	3.1
94	7.6	4.6	14.4
95	7.6	4.6	14.4
96	4.3	4.3	14.9
	13.2	6.9	34.4

Tormenta	máximo anual promedio diario	máximo anual promedio en 1 hora	máximo horario en 1 estación
AÑO 11			
97	25.1	13.5	29.8
98	31.5	14.9	62.2
99	11.9	4.3	9.9
100	3.6	2.2	8.4
101	15.5	3.7	13.2
102	17.6	12.9	34.2
103	8.1	3.7	16.3
104	13.9	4.1	16.2
105	7.7	2.9	16.7
	31.5	14.9	62.2
AÑO 12			
106	13.4	3.2	11.4
107	14.0	5.7	15.1
108	17.4	9.9	22.3
109	14.5	5.2	24.6
110	21.7	7.8	18.1
111	14.5	7.5	15.6
112	15.7	6.2	25.6
	21.7	9.9	25.6
AÑO 13			
113	17.8	4.5	11.4
114	15.9	3.8	10.2
115	7.9	5.0	22.7
116	19.3	8.5	26.4
117	6.6	2.6	6.4
118	9.6	7.2	26.9
119	7.9	5.0	22.6
120	6.1	1.7	14.5
121	7.7	2.9	16.7
122	9.9	2.2	9.9
123	7.8	3.5	21.0
	19.3	8.5	26.4
AÑO 14			
124	4.5	2.6	23.1
125	7.8	3.8	8.2
126	18.5	6.8	30.1
127	13.9	7.3	36.3
128	16.1	11.8	31.2
129	17.6	10.8	21.8
130	12.1	4.1	15.6
131	14.1	6.6	13.8
132	23.8	12.8	28.3
	23.8	12.8	36.3
AÑO 15			
133	7.1	2.1	8.0
134	20.9	9.7	23.8
135	4.1	2.8	8.5
136	20.0	5.6	25.7
137	20.1	4.6	15.8
	20.9	9.7	25.7
AÑO 16			
138	11.7	2.9	20.8
139	16.0	5.6	20.4
140	8.8	3.6	27.8
141	4.8	4.3	8.0
142	24.3	7.6	19.4
143	15.3	5.1	13.5

Tormenta	máximo anual promedio diario	máximo anual promedio en 1 hora	máximo horario en 1 estación
AÑO 16			
144	5.3	1.4	6.1
145	18.6	7.7	20.2
146	28.7	12.8	26.1
147	18.8	6.7	43.2
148	20.9	4.8	22.6
149.0	10.35	4.9	21.1
	24.3	7.6	27.8
AÑO 17			
150	8.9	6.9	10.1
151	4.8	1.4	6.9
152	7.6	3.0	7.4
153	13.0	8.8	39.5
154	21.1	5.4	13.5
155	12.8	3.6	11.5
156	6.3	1.9	9.1
157	21.4	7.7	49.2
158	6.3	2.0	11.6
159	8.1	3.5	9.1
	21.4	8.8	49.2
AÑO 18			
160	14.9	5.0	13.1
161	6.4	4.8	15.9
162	14.0	3.4	18.4
163	17.0	5.3	20.5
164	22.9	4.2	17.0
	22.9	5.3	20.5
AÑO 19			
165	2.6	1.2	10.3
166	8.0	3.7	16.3
167	7.5	3.4	26.4
168	18.0	4.6	11.6
169	34.8	6.4	25.9
170	12.7	3.5	11.4
171	5.6	2.1	12.2
172	21.2	10.8	73.8
173	14.3	4.2	9.9
174	1.0	0.5	3.2
	34.8	6.4	26.4
AÑO 20			
175	18.8	5.0	20.6
176	16.0	4.5	30.0
177	17.2	4.3	18.1
178	20.3	7.4	18.4
179	18.3	3.9	11.2
180	14.3	4.8	12.6
181	11.2	5.6	19.9
182	8.3	2.1	6.7
183	12.4	5.4	51.2
184	13.6	3.3	11.6
185	20.8	9.1	16.8
186	4.9	4.4	8.2
187	14.4	5.2	24.5
188	16.2	7.0	19.5
189	7.3	1.7	7.5
190	22.0	9.6	17.8
191	12.9	8.9	16.1
	20.8	9.1	51.2

Tormenta	máximo anual promedio diario	máximo anual promedio en 1 hora	máximo horario en 1 estación
AÑO 21			
192	7.3	4.4	13.6
193	13.9	4.0	24.0
194	15.9	5.0	19.1
195	21.2	7.2	22.5
196	12.8	4.6	21.7
197	10.1	2.0	9.5
198	14.5	4.9	15.2
199	13.9	4.1	16.2
200	12.7	8.8	15.9
201	14.4	3.4	12.2
202	22.2	9.8	25.9
	22.2	9.8	25.9
AÑO 22			
203	7.2	3.0	22.9
204	5.2	1.6	5.8
205	7.7	2.6	9.9
206	16.8	4.0	10.7
207	10.3	5.3	35.9
208	19.1	5.1	20.9
	16.8	5.3	35.9
AÑO 23			
209	10.8	4.1	23.5
210	3.1	1.8	15.9
211	8.2	4.0	8.7
212	8.8	4.3	9.2
213	17.0	6.2	20.2
214	12.0	3.0	21.3
215	15.3	4.5	22.7
216	18.0	4.0	25.2
217	18.8	6.7	32.0
218	7.9	2.4	11.6
219	11.2	4.3	15.1
220	10.1	4.4	57.9
	18.8	6.7	57.9

AÑO 24			
221	11.6	5.9	40.4
222	17.8	4.1	11.1
223	21.2	9.2	17.1
224	18.8	7.2	28.8
225	15.3	4.1	21.8
226	0.9	0.4	2.8
227	12.4	3.5	21.3
228	16.8	11.2	32.0
229	7.5	1.8	7.7
230	8.4	5.1	15.8
	21.2	11.2	40.4
AÑO 25			
231	8.4	3.4	26.6
232	9.2	7.1	10.4
233	11.1	4.8	46.1
234	17.4	6.4	28.3
235	12.0	3.4	12.9
236	6.1	2.3	8.3
237	13.6	3.2	13.8
238	8.99	4.4	16.2
	17.4	7.1	46.1

Tormenta	máximo anual promedio diario	máximo anual promedio en 1 hora	máximo horario en 1 estación
AÑO 26			
239	4.0	1.2	10.1
240	39.2	17.5	35.7
241	12.4	3.0	16.4
242	19.8	5.0	12.7
243	8.8	3.4	7.1
244	5.6	1.0	8.8
245	11.9	5.4	24.1
246	9.0	3.0	9.0
247	13.5	4.5	12.0
248	12.0	4.6	16.2
249	22.5	5.2	17.7
250	9.1	3.0	13.3
	39.2	17.5	35.7
AÑO 27			
251	11.1	3.8	11.7
252	9.8	2.2	10.6
253	15.4	2.2	21.6
254	6.7	1.9	15.8
255	5.5	2.1	11.9
256	8.4	1.9	9.0
257	12.3	2.8	12.4
258	9.2	2.9	15.8
259	17.1	5.0	12.3
260	21.4	4.9	16.8
261	0.1	0.1	1.2
	21.4	5.0	21.6

AÑO 28			
264	12.6	5.9	12.3
265	9.0	7.7	23.9
266	1.4	0.5	2.4
267	20.8	4.0	19.4
268	11.7	4.0	12.4
269	12.5	3.7	14.6
270	7.4	3.7	7.9
271	15.5	10.4	47.0
272	6.3	2.4	4.9
273	20.8	4.0	19.3
274	5.8	2.2	7.9
275	6.1	4.5	15.0
276	6.1	4.3	18.2
277	11.0	6.7	19.6
278	20.9	2.9	18.4
	20.8	7.7	23.9
AÑO 29			
279	21.0	9.3	24.5
280	7.3	1.5	6.9
281	4.7	1.8	3.6
282	7.8	1.6	7.4
283	13.3	4.0	9.2
284	19.7	5.3	21.6
285	13.2	8.9	40.0
286	13.7	3.8	12.3
287	21.6	7.8	18.1
288	27.9	10.2	45.4
289	2.5	1.6	5.1
	27.9	10.2	45.4

Tormenta	máximo anual promedio diario	máximo anual promedio en 1 hora	máximo horario en 1 estación
AÑO 30			
290	14.5	8.2	18.5
291	15.4	7.5	21.7
292	7.0	4.2	13.2
293	13.0	4.4	13.7
294	5.8	2.4	6.3
295	11.0	9.4	29.0
296	22.8	12.3	27.1
	22.8	12.3	29.0
AÑO 31			
297	3.7	1.4	2.9
298	4.3	2.7	10.2
299	20.0	7.2	16.7
300	16.7	5.2	20.1
301	12.9	4.0	25.5
302	13.9	4.8	17.7
303	0.1	0.1	1.1
304	19.4	5.5	25.0
	20.0	7.2	25.5
AÑO 32			
305	9.8	4.2	40.4
306	30.9	11.2	28.0
307	16.3	9.8	28.7
308	7.3	5.4	20.3
309	5.7	1.7	8.3
310	6.9	1.6	7.1
311	19.5	5.0	12.5
312	13.6	7.0	14.7
313	49.5	9.1	36.8
314	27.4	6.3	21.6
315	37.6	6.9	27.9
	49.5	11.2	40.4
AÑO 33			
316	11.7	4.6	9.6
317	2.6	1.7	5.3
318	6.1	2.4	13.4
319	25.8	12.2	51.0
320	11.2	2.5	15.6
	25.8	12.2	51.0
AÑO 34			
321	16.8	4.5	23.9
322	20.3	3.9	18.9
323	22.5	5.2	14.1
324	7.0	2.8	6.8
325	19.3	4.4	15.2
326	6.4	4.8	15.8
327	8.2	6.3	9.3
	22.5	6.3	23.9
AÑO 35			
328	24.1	8.2	25.5
329	6.9	2.1	10.0
330	19.0	8.9	18.5
331	8.3	2.1	6.6
332	14.5	4.0	13.0
333	28.2	12.3	38.5
334	16.2	3.6	10.9
335	5.2	2.1	5.7
336	7.9	2.6	7.9

Tormenta	máximo anual promedio diario	máximo anual promedio en 1 hora	máximo horario en 1 estación
AÑO 35			
337	17.0	10.2	30.0
338	8.3	2.7	8.3
339	9.2	0.0	17.2
340	7.3	2.8	5.7
341	33.9	15.1	30.8
342	14.6	8.2	21.1
	33.9	15.1	38.5
AÑO 36			
343	9.3	3.6	7.6
344	1.1	0.4	1.9
345	12.7	6.3	26.4
346	13.4	4.0	9.3
347	7.2	2.1	8.1
348	5.3	2.0	11.5
349	20.2	11.5	25.9
350	5.3	3.2	10.0
351	18.8	4.8	12.1
352	16.4	3.7	11.1
	20.2	11.5	26.4
AÑO 37			
353	10.9	4.7	45.2
354	7.8	3.4	8.8
355	34.8	5.4	11.2
356	6.6	6.0	11.1
357	16.4	3.9	16.7
358	23.6	4.5	22.0
359	15.4	4.8	18.6
360	6.0	1.6	5.3
361	6.2	4.6	15.4
362	18.4	4.7	11.8
363	1.4	0.6	5.5
	34.8	6.0	45.2
AÑO 38			
364	12.5	4.8	10.2
365	11.5	3.2	12.3
366	20.6	9.6	23.5
367	10.4	8.9	27.7
368	3.7	1.9	18.6
369	17.4	4.4	15.0
370	15.3	4.5	22.7
	20.6	9.6	27.7
AÑO 39			
371	8.1	1.9	8.7
372	15.1	3.6	15.4
373	17.9	16.2	53.8
374	26.5	9.6	18.5
375	12.3	4.8	16.7
376	13.3	4.5	11.8
377	14.3	7.0	20.0
378	19.8	4.9	35.1
379	36.5	5.6	11.8
	36.5	16.2	53.8
AÑO 40			
380	10.0	3.9	8.1
381	19.2	8.4	26.3
382	5.8	3.5	10.9
383	12.8	4.3	11.3

Tormenta	máximo anual promedio diario	máximo anual promedio en 1 hora	máximo horario en 1 estación
AÑO 40			
384	5.8	2.0	12.8
385	14.1	3.8	20.1
386	16.7	4.9	12.0
387	6.2	2.0	11.3
	19.2	8.4	26.3
AÑO 41			
388	7.0	2.1	10.2
389	14.8	4.4	22.0
390	3.3	1.9	17.0
391	13.9	4.1	16.2
392	18.7	7.7	20.3
393	20.1	9.3	24.3
394	20.6	4.3	13.4
395	8.6	3.8	23.2
396	11.9	4.6	16.1
	20.6	9.3	24.3
AÑO 42			
397	16.5	6.0	21.5
398	6.2	1.9	9.0
399	27.8	5.9	17.1
400	9.8	3.0	16.9
	27.8	6.0	21.5
AÑO 43			
401	9.1	3.0	9.1
402	5.3	3.2	10.1
403	3.8	2.4	8.9
404	21.5	7.8	19.5
405	14.5	9.7	43.8
406	5.2	1.4	6.0
407	22.2	7.6	23.6
408	5.3	2.1	5.1
409	13.4	9.0	40.5
410	22.1	9.7	17.9
	22.2	9.7	43.8
AÑO 44			
411	12.3	3.5	21.2
412	14.7	4.2	25.3
413	16.1	14.5	48.4
414	6.9	4.1	13.1
415	17.9	11.9	34.2
416	20.5	8.9	16.5
417	17.6	5.6	18.3
	20.5	14.5	48.4
AÑO 45			
418	12.8	4.1	13.3
419	15.0	9.2	18.6
420	4.3	2.9	8.8
421	18.7	6.4	19.9
422	13.7	4.6	12.2
423	15.1	3.6	9.6
424	14.9	4.4	10.4
425	6.8	2.0	7.6
426	15.7	3.7	10.0
	18.7	9.2	18.7
AÑO 46			
427	12.5	6.4	43.5
428	12.3	6.1	25.7

Tormenta	máximo anual promedio diario	máximo anual promedio en 1 hora	máximo horario en 1 estación
AÑO 46			
429	5.8	3.5	10.9
430	33.7	16.2	49.2
431	12.1	2.9	16.0
432	16.2	3.9	13.8
433	19.0	8.2	22.9
434	18.6	6.7	15.5
435	4.5	2.4	17.5
436	8.6	3.5	33.1
437	5.3	2.8	20.6
	33.7	16.2	49.2
AÑO 47			
438	20.1	4.6	21.8
439	8.2	3.2	6.7
440	5.5	2.1	4.3
441	13.5	8.2	25.4
	20.1	8.2	25.4
AÑO 48			
442	8.0	3.0	6.3
443	2.6	1.7	5.2
444	24.1	8.7	16.8
445	13.9	6.8	19.5
446	13.7	4.0	14.3
	24.1	8.7	19.5
AÑO 49			
447	31.2	12.4	50.6
448	7.9	6.7	20.9
449	1.0	0.5	3.1
450	6.5	2.1	7.2
451	7.2	2.2	10.4
452	14.7	5.2	33.7
453	16.9	7.5	19.7
454	8.4	1.9	9.1
455	1.6	0.8	6.5
456	21.0	10.1	30.6
457	21.1	11.4	25.1
458	16.0	3.8	10.2
	31.2	12.4	50.6
AÑO 50			
459	16.8	4.9	12.1
460	6.2	1.9	6.8
461	17.0	9.5	24.5
462	14.6	9.3	38.2
463	14.8	10.8	28.7
464	3.3	1.9	16.8
465	14.7	6.8	16.7
466	23.7	8.1	25.2
467	8.0	1.6	7.5
468	17.8	4.6	15.4
	23.7	10.8	38.2
AÑO 51			
469	24.1	5.0	15.8
470	0.3	3.5	27.8
471	23.0	7.2	18.3
472	5.5	2.1	7.5
	24.1	7.2	27.8

Tormenta	máximo anual promedio diario	máximo anual promedio en 1 hora	máximo horario en 1 estación
AÑO 52			
473	19.9	8.7	16.1
474	9.6	4.6	19.6
475	15.8	7.7	22.2
476	5.9	3.5	11.1
477	14.3	4.2	9.9
478	18.8	8.9	37.2
479	10.2	4.4	11.5
480	12.7	2.8	17.8
481	23.2	9.3	37.8
	23.2	9.3	37.8
AÑO 53			
482	6.9	2.8	21.8
483	5.0	3.4	10.3
484	13.6	3.6	10.7
485	16.0	6.6	17.4
486	22.7	5.2	24.5
487	13.4	3.0	9.0
488	24.5	8.9	17.1
489	22.2	5.1	17.5
490	17.7	7.8	20.7
491	14.4	4.0	27.0
492	19.1	8.4	15.5
	24.5	8.9	27.0
AÑO 54			
493	4.0	2.8	8.3
494	4.1	1.3	10.3
495	4.2	2.8	8.6
496	14.5	3.9	20.6
497	13.6	3.2	8.7
498	7.0	2.1	10.2
499	7.9	6.0	8.9
500	21.1	11.4	25.1
501	29.2	12.8	40.0
502	8.4	0.0	8.4
503	13.2	9.2	16.5
504	9.2	5.0	23.8
	29.2	12.8	40.0
AÑO 55			
505	7.9	2.6	7.9
506	14.3	4.2	10.3
507	14.1	4.5	14.6
508	3.2	2.0	6.4
509	18.7	8.2	15.1
510	3.1	2.0	7.4
511	21.9	0.0	23.2
512	14.8	3.3	11.9
513	18.3	4.6	11.7
514	6.1	2.6	6.8
515	18.2	8.5	20.7
516	14.4	9.6	27.5
517	14.1	4.0	33.4
518	5.8	4.3	14.3
519	8.5	2.1	6.8
520	11.0	9.4	29.1
521	10.9	3.6	15.9
522	8.0	3.6	21.5
523	4.0	1.3	4.4

Tormenta	máximo anual promedio diario	máximo anual promedio en 1 hora	máximo horario en 1 estación
AÑO 55			
524	7.5	3.4	26.1
	21.9	9.6	33.4
AÑO 56			
525	5.1	3.0	9.6
526	10.3	2.0	5.6
527	0.2	0.2	2.0
528	7.0	2.3	12.9
529	20.3	5.4	22.2
530	18.3	5.2	23.6
531	9.8	4.8	10.3
532	24.2	5.0	15.8
533	22.2	9.7	17.9
534	8.1	3.7	28.3
535	3.5	1.8	17.9
536	4.5	1.3	6.5
537	11.0	5.6	38.2
538	19.9	7.2	18.0
539	13.7	3.0	19.2
540	15.8	5.0	19.1
	24.2	9.7	38.2
AÑO 57			
541	0.8	0.4	2.7
542	4.3	1.3	10.9
543	4.3	2.5	22.0
544	5.4	2.2	5.9
545	0.2	0.2	1.4
546	16.2	4.5	16.9
547	25.0	5.7	15.6
548	6.5	2.5	14.1
549	0.2	0.2	1.4
550	20.8	5.6	22.8
	25.0	5.7	22.8
AÑO 58			
551	23.0	12.4	27.4
552	14.4	9.2	37.7
553	19.7	4.1	12.8
554	1.8	0.6	3.0
555	23.6	9.4	38.3
556	7.5	1.5	4.1
557	16.3	4.2	14.1
558	11.3	3.5	22.3
559	24.5	10.8	28.7
560	16.9	4.4	20.8
561	11.0	5.5	23.0
562	9.6	6.1	27.7
563	11.9	3.8	12.3
	24.5	12.4	38.3
AÑO 59			
564	14.1	9.0	37.1
565	19.8	9.4	39.2
566	7.7	1.6	7.3
567	14.2	3.4	14.5
568	9.2	1.9	8.7
569	19.1	5.1	20.9
570	11.0	4.5	35.1
571	4.7	4.2	7.9
572	5.1	2.1	5.6

Tormenta	máximo anual promedio diario	máximo anual promedio en 1 hora	máximo horario en 1 estación
AÑO 59			
573	3.4	1.9	18.2
574	16.6	3.9	20.7
575	5.3	1.4	6.1
576	1.2	0.4	2.1
577	6.3	1.9	9.2
	19.8	9.4	39.2
AÑO 60			
578	24.2	8.8	16.9
579	13.6	5.4	22.2
580	6.5	2.7	7.2
581	28.6	12.8	26.0
582	26.7	5.1	24.9
583	7.6	3.1	24.2
584	7.9	2.3	19.9
	28.6	12.8	26.0
AÑO 61			
585	29.5	10.8	48.0
586	18.4	5.8	22.2
587	13.8	4.1	14.4
588	5.6	4.2	13.8
589	3.1	1.7	16.4
	29.5	10.8	48.0
AÑO 62			
590	3.5	1.9	18.8
591	13.8	3.8	25.8
592	4.4	2.2	22.1
593	16.4	4.0	29.1
594	15.6	9.4	27.5
595	15.9	5.5	20.2
596	16.0	6.9	19.3
597	6.7	1.4	6.3
	16.4	9.4	29.1
AÑO 63			
598	20.0	4.6	21.6
599	6.5	4.9	18.1
600	19.7	9.2	22.4
	20.0	9.2	22.4
AÑO 64			
601	23.2	12.5	27.6
602	9.4	1.9	5.1
603	15.4	6.1	25.1
604	17.1	11.3	32.6
605	8.5	3.7	9.6
606	15.5	5.0	16.1
	23.2	12.5	32.6
AÑO 65			
607	24.2	8.7	16.8
608	18.4	11.3	22.8
609	12.1	2.4	6.6
610	1.1	0.4	1.9
611	26.0	8.1	20.7
612	4.1	1.3	4.6
613	16.4	3.9	16.7
	26.0	11.3	22.8
AÑO 66			
617	21.1	7.6	35.9
618	8.1	3.1	6.6

Tormenta	máximo anual promedio diario	máximo anual promedio en 1 hora	máximo horario en 1 estación
AÑO 66			
619	9.4	3.6	7.6
620	7.1	2.1	10.3
621	6.7	2.2	12.3
622	15.5	3.4	21.7
623	2.5	1.2	10.1
624	18.4	4.2	11.5
625	15.8	5.7	27.0
626	4.9	1.5	7.2
627	12.9	3.8	13.5
628	3.8	3.6	10.4
629	9.9	0.8	12.6
630	17.5	3.9	24.5
631	16.0	4.5	16.7
632	27.5	5.1	20.4
	27.5	7.6	35.9
AÑO 67			
633	7.1	3.2	24.7
634	6.7	2.2	12.3
635	8.5	2.8	8.5
636	3.9	2.0	19.8
637	8.8	3.4	14.6
638	15.1	3.6	15.4
639	17.2	4.1	11.0
640	9.2	1.8	5.0
641	19.3	5.1	21.1
642	3.9	1.5	3.0
643	36.7	16.4	33.4
644	8.2	6.1	22.9
	19.3	5.1	24.7
AÑO 68			
645	12.4	6.2	25.9
646	7.3	2.3	13.3
647	3.0	1.9	6.1
648	35.9	5.5	11.6
649	8.6	4.2	9.1
650	24.1	12.9	28.6
651	19.5	4.1	12.7
	35.9	12.9	28.6
AÑO 69			
652	29.6	5.7	27.6
653	27.6	5.9	17.0
654	8.9	7.6	23.5
655	10.0	3.1	17.3
656	8.1	6.9	21.5
657	10.9	4.7	45.3
658	23.4	8.5	16.3
	29.6	8.5	45.3
AÑO 70			
659	24.7	11.8	36.0
660	6.8	3.1	23.8
661	7.0	2.1	10.2
662	14.3	3.4	12.2
663	16.4	7.6	19.9
664	21.7	4.2	20.2
665	18.6	10.5	26.9
	24.7	11.8	36.0

Tormenta	máximo anual promedio diario	máximo anual promedio en 1 hora	máximo horario en 1 estación
AÑO 71			
666	16.4	5.3	17.0
667	9.8	2.9	10.3
668	0.8	0.4	2.7
669	2.4	1.6	4.9
670	11.5	2.6	11.6
671	13.1	3.9	15.3
672	16.6	5.9	38.0
673	22.8	8.2	19.0
674	19.2	9.1	37.9
675	1.9	0.9	7.6
	22.8	9.1	38.0
AÑO 72			
676	6.4	2.1	11.8
677	21.8	4.5	14.2
678	14.2	7.3	15.3
679	26.6	11.7	31.1
680	13.6	5.3	22.1
681	15.3	9.2	27.0
682	16.6	4.4	23.6
683	24.3	4.5	18.1
684	18.2	7.0	28.0
685	8.9	3.7	28.4
686	8.9	3.7	28.4
	26.6	11.7	31.1
AÑO 73			
687	10.1	2.3	10.2
688	9.5	2.3	7.6
689	15.5	10.5	47.1
690	14.9	5.3	34.2
691	26.6	9.6	18.6
692	10.3	4.2	32.8
693	7.2	2.3	13.1
694	5.4	1.0	8.6
	26.6	10.5	47.1
AÑO 74			
695	9.6	1.8	18.0
696	16.7	5.8	19.8
697	11.0	2.3	22.3
698	4.1	1.3	19.8
699	12.0	2.1	11.4
700	22.8	9.2	30.2
701	14.1	6.6	13.7
	22.8	9.2	30.2
AÑO 75			
702	10.5	4.5	11.8
703	23.4	9.4	38.1
704	13.8	7.1	48.2
705	18.8	4.9	23.2
706	3.1	1.8	16.0
707	6.9	2.2	12.6
708	8.4	2.8	10.9
709	14.6	4.9	12.9
710	20.2	8.8	10.6
711	16.1	4.7	9.5
712	8.3	1.9	4.7
713	8.9	2.1	5.1
714	32.7	6.0	24.3

Tormenta	máximo anual promedio diario	máximo anual promedio en 1 hora	máximo horario en 1 estación
715	18.6	5.9	19.3
716	14.9	3.3	10.0
	23.4	9.4	48.2
AÑO 76			
717	9.9	4.9	17.6
718	13.2	3.9	9.2
719	25.2	13.5	29.9
720	16.5	4.8	11.9
721	18.4	8.5	22.2
722	3.3	2.1	7.8
723	6.9	3.0	7.8
724	4.4	2.4	17.2
725	6.5	2.1	11.9
726	12.5	6.4	13.4
727	14.3	3.5	25.4
728	26.0	9.5	42.4
	26.0	13.5	42.4
AÑO 77			
729	14.0	3.3	14.3
730	16.1	5.6	20.5
731	16.7	6.4	25.7
732	4.8	1.5	12.1
733	9.9	3.2	14.4
734	11.5	2.7	14.4
735	9.8	3.0	16.9
736	9.6	3.0	16.6
737	9.1	4.1	31.7
738	8.5	2.0	9.2
739	18.1	6.6	29.4
740	18.9	6.9	30.8
741	26.3	4.9	19.6
742	9.6	3.0	16.6
743	9.1	3.6	15.1
744	8.6	4.1	17.5
745	8.4	2.8	8.4
	26.3	6.9	31.7
AÑO 78			
746	10.9	2.9	9.5
747	12.9	2.8	20.9
748	7.9	5.7	10.0
749	13.7	3.9	15.5
750	4.4	1.5	6.1
751	10.2	2.4	7.8
752	19.3	3.7	8.1
753	20.5	8.3	27.2
754	14.7	2.9	14.9
755	17.5	3.3	7.4
756	21.5	4.6	34.8
757	0.0	8.0	18.5
758	15.4	3.3	23.2
759	13.7	1.0	20.7
760	15.9	4.5	11.6
761	9.2	2.2	7.1
762	18.4	6.3	12.3
763	21.9	8.8	14.9
764	13.2	3.2	10.5
765	6.8	2.7	9.1
	21.9	8.8	34.8

Tormenta	máximo anual promedio diario	máximo anual promedio en 1 hora	máximo horario en 1 estación
AÑO 79			
766	5.0	1.3	5.7
767	7.6	3.0	12.7
768	14.2	3.4	14.5
769	16.7	4.8	12.0
770	10.1	3.3	14.7
771	21.0	6.7	19.7
772	0.2	0.2	1.8
773	3.5	1.9	18.4
774	15.3	6.0	25.0
775	1.1	0.4	2.0
776	3.4	1.9	18.4
777	4.5	0.8	7.1
778	21.8	5.6	18.9
	21.8	6.7	25.0
AÑO 80			
779	9.6	3.0	16.6
780	19.1	8.3	15.4
781	20.0	5.6	25.8
782	22.3	5.1	24.0
783	7.0	2.1	7.9
784	15.8	6.8	19.0
785	13.5	4.0	9.3
786	11.0	2.7	19.5
787	7.5	5.6	18.7
788	1.5	0.7	6.0
789	19.3	5.4	24.9
	22.3	8.3	25.8
AÑO 81			
790	11.1	5.4	50.6
791	11.2	3.6	22.8
792	11.9	4.5	19.5
793	13.9	2.3	8.8
794	14.1	3.7	17.3
795	15.2	3.5	9.6
796	19.5	4.9	10.9
797	9.1	2.8	3.1
798	6.6	2.2	50.4
799	10.5	3.3	27.8
	19.5	5.4	50.6
AÑO 82			
800	16.1	5.1	15.1
801	8.9	6.6	24.7
802	17.8	13.0	34.6
803	6.0	1.6	5.3
804	17.5	4.4	11.2
805	0.2	0.2	1.3
806	17.7	4.4	18.6
807	32.2	14.4	29.3
808	32.2	14.4	29.3
809	9.3	2.1	10.0
810	14.1	8.0	18.1
811	6.1	3.6	11.5
812	8.5	2.0	8.8
813	4.6	1.2	5.2
	32.2	14.4	34.6

Tormenta	máximo anual promedio diario	máximo anual promedio en 1 hora	máximo horario en 1 estación
AÑO 83			
814	15.0	3.7	26.6
815	14.0	3.7	11.1
816	16.3	3.9	16.6
817	3.4	1.8	18.0
818	16.8	6.0	28.6
819	10.3	3.5	13.3
820	12.3	6.1	25.7
	16.8	6.1	28.6
AÑO 84			
821	7.1	2.1	8.0
822	18.2	13.3	35.4
823	0.1	0.1	1.1
824	5.5	4.1	13.5
825	7.7	2.6	7.7
826	9.4	2.2	10.2
827	12.5	5.7	43.8
	18.2	13.3	43.8
AÑO 85			
828	7.8	2.6	7.8
829	15.1	10.1	45.6
830	12.1	4.7	9.9
831	16.7	7.2	20.1
832	19.0	8.3	15.3
833	14.3	6.7	13.9
834	8.6	2.6	12.5
835	1.4	0.7	5.6
836	13.3	4.5	14.0
837	21.8	11.7	25.9
838	14.3	3.4	14.6
	21.8	11.7	45.6
AÑO 86			
839	6.4	3.2	32.3
840	18.7	5.2	35.1
841	12.6	3.7	14.8
842	17.7	10.6	31.1
843	5.5	1.9	12.2
844	20.3	9.8	29.7
845	12.6	3.7	14.8
	20.3	10.6	35.1
AÑO 87			
846	19.0	4.6	16.2
847	15.0	7.3	21.1
848	0.1	0.1	1.2
849	15.8	6.2	25.8
850	17.4	6.1	22.2
851	16.4	5.2	15.4
852	17.2	6.2	14.3
	19.0	7.3	25.8
AÑO 88			
853	6.8	2.0	17.1
854	18.4	13.5	35.7
855	8.2	3.4	26.0
856	20.8	5.6	22.7
857	7.9	5.9	22.0

Tormenta	máximo anual promedio diario	máximo anual promedio en 1 hora	máximo horario en 1 estación
949	19.7	5.0	12.6
950	7.2	2.9	7.0
951	13.5	7.1	35.2
952	13.3	3.8	22.9
953	1.6	0.7	6.4
954	4.2	4.2	11.0
955	22.2	6.9	17.8
	34.9	13.9	56.7
AÑO 101			
956	22.9	10.0	31.3
957	4.8	1.5	12.2
958	8.0	2.3	20.1
959	14.3	3.8	11.3
960	10.5	3.6	11.0
961	14.3	9.5	27.3
962	22.1	11.9	26.3
963	7.6	1.5	7.2
	22.9	11.9	31.3
AÑO 102			
964	9.9	8.5	26.3
965	12.1	4.3	20.6
966	20.1	6.9	21.4
967	14.9	10.0	45.1
968	2.9	1.7	15.1
969	8.1	2.4	11.8
970	14.4	3.2	9.7
971	5.4	1.4	6.2
972	13.3	3.7	12.0
973	26.9	9.7	18.7
974	15.1	7.1	14.8
975	7.1	2.9	20.6
976	19.1	8.2	23.0
977	13.7	7.2	35.8
	26.9	10.0	45.1
AÑO 103			
978	9.4	4.7	19.6
979	7.7	2.2	19.5
980	4.0	1.5	3.1
981	14.8	10.0	44.9
982	12.0	3.0	21.3
983	2.9	1.8	5.7
984	4.0	2.0	20.3
985	7.1	1.4	6.7
986	1.4	0.5	2.5
	14.8	10.0	44.9
AÑO 104			
987	8.2	2.0	8.5
988	20.9	5.3	18.0
989	7.4	2.1	17.4
990	4.2	2.9	8.6
991	17.1	9.6	24.8
992	8.9	2.0	9.6
993	10.8	3.0	11.6
994	12.3	3.6	18.3
995	15.5	3.3	9.5
996	8.8	1.8	8.3
997	7.7	1.9	6.2
	20.9	9.6	24.8

Tormenta	máximo anual promedio diario	máximo anual promedio en 1 hora	máximo horario en 1 estación
AÑO 105			
998	18.8	3.6	17.5
999	5.3	3.6	10.8
1000	10.6	6.4	19.8
1001	11.2	5.6	20.0
1002	4.5	2.5	24.2
1003	4.7	4.2	7.8
1004	9.2	5.9	26.6
	18.8	6.4	26.6
AÑO 106			
1005	14.9	4.1	13.4
1006	11.5	0.0	20.5
1007	8.2	7.0	21.6
1008	10.6	4.1	8.6
1009	6.3	1.8	14.8
1010	10.8	3.5	11.3
1011	13.7	9.5	17.1
1012	8.0	2.7	8.0
1013	12.2	3.9	12.7
	14.9	9.5	21.6
AÑO 107			
1014	11.1	2.3	6.4
1015	7.0	0.0	16.3
1016	7.8	2.5	13.1
1017	13.8	3.2	13.2
1018	6.3	3.4	10.1
1019	25.3	9.7	16.6
1020	15.5	5.0	25.5
1021	13.6	6.4	18.4
1022	11.6	7.4	41.5
	25.3	9.7	41.5
AÑO 108			
1023	26.0	11.4	35.6
1024	23.1	0.0	16.1
1025	4.5	4.0	7.5
1026	19.2	6.9	44.0
1027	7.8	3.5	21.0
1028	9.3	3.1	9.3
1029	3.8	1.4	3.0
	26.0	11.4	44.0
AÑO 109			
1030	7.5	2.2	8.4
1031	21.8	5.0	13.6
1032	23.9	13.4	34.5
1033	4.9	3.4	10.1
1034	32.2	14.1	44.1
1035	36.1	5.6	11.6
1036	7.3	6.2	19.3
1037	11.6	2.6	11.7
1038	17.9	6.5	29.1
	36.1	14.1	44.1
AÑO 110			
1039	21.0	9.9	41.4
1040	13.8	9.3	41.8
1041	9.8	4.9	20.5
1042	11.2	2.7	14.8
1043	21.5	10.2	42.5
1044	16.2	4.7	11.7

Tormenta	máximo anual promedio diario	máximo anual promedio en 1 hora	máximo horario en 1 estación
AÑO 110			
1045	17.0	7.5	19.9
1046	12.1	4.1	15.6
	21.5	10.2	42.5
AÑO 111			
1047	5.4	1.4	6.2
1048	15.5	4.3	29.0
1049	5.1	4.6	8.5
1050	13.7	9.2	41.5
1051	13.1	8.0	24.5
1052	12.6	8.5	38.2
1053	20.7	5.8	26.7
1054	7.4	4.7	21.3
1055	17.3	11.5	33.0
1056	7.4	5.5	18.3
1057	20.5	8.9	16.5
1058	19.2	4.6	16.4
1059	14.8	4.4	22.0
1060	16.0	9.6	28.3
1061	13.7	4.5	20.0
	20.7	11.5	41.5
AÑO 112			
1062	21.0	9.9	41.4
1063	24.4	4.7	22.7
1064	14.3	5.2	17.0
1065	10.7	3.6	13.8
	24.4	9.9	41.4
AÑO 113			
1066	6.4	2.9	17.3
1067	8.7	2.9	12.7
1068	22.9	5.9	19.8
1069	26.1	9.4	23.6
1070	28.6	11.4	46.5
1071	15.8	4.0	16.6
1072	34.3	6.6	31.9
1073	17.2	6.0	34.4
	34.3	11.4	46.5
AÑO 114			
1074	1.2	0.4	2.1
1075	11.9	3.7	23.4
1076	10.8	2.6	14.3
1077	23.6	4.9	15.4
1078	39.7	6.1	12.8
1079	8.2	1.9	8.8
	39.7	6.1	23.4
AÑO 115			
1080	18.5	0.0	18.0
1081	17.1	6.3	27.8
1082	12.1	4.7	16.3
1083	18.5	6.7	22.0
1084	47.4	21.2	43.2
1085	9.7	3.3	21.4
1086	32.4	5.0	10.4
1087	12.3	3.6	14.4
	47.4	21.2	43.2
AÑO 116			
1088	11.2	0.0	11.3
1089	12.9	3.8	15.0

Tormenta	máximo anual promedio diario	máximo anual promedio en 1 hora	máximo horario en 1 estación
AÑO 116			
1090	10.7	2.6	14.2
1091	4.0	1.5	5.5
1092	50.8	9.4	37.8
1093	14.2	5.9	15.4
1094	15.2	4.9	15.8
1095	5.5	1.9	15.8
1096	15.1	10.2	12.2
1097	19.9	4.1	45.8
1098	4.2	2.3	13.0
1099	7.5	2.2	22.3
1100	12.2	3.0	10.8
1101	4.0	0.7	9.8
1102	4.5	1.4	6.3
1103	13.5	4.9	5.0
1104	9.8	1.9	23.0
1105	5.1	1.9	5.3
1106	14.4	3.2	6.9
	50.8	10.2	45.8
AÑO 117			
1107	14.3	0.0	15.4
1108	14.4	4.0	12.9
1109	14.2	3.5	25.3
1110	23.7	7.4	18.9
1111	6.1	2.1	13.6
1112	11.0	5.6	38.2
1113	14.2	3.8	20.2
1114	24.0	8.7	16.7
	24.0	8.7	38.2
AÑO 118			
1115	11.2	2.5	11.3
1116	12.9	3.8	15.0
1117	9.7	3.0	16.7
1118	14.3	3.4	12.2
1119	19.0	11.6	23.4
1120	4.8	2.6	18.9
1121	44.4	17.7	72.1
1122	18.7	6.7	15.6
1123	7.4	3.4	15.0
1124	18.7	6.7	15.6
	44.4	17.7	72.1
AÑO 119			
1125	17.7	4.5	11.3
1126	5.3	2.7	26.8
1127	19.9	5.0	12.8
1128	30.6	11.1	27.7
1129	6.6	2.0	9.5
1130	17.9	4.6	11.5
1131	8.5	6.3	21.0
	30.6	11.1	27.7
AÑO 120			
1132	14.1	3.1	19.8
1133	5.5	1.4	4.9
1134	16.0	10.3	42.0
1135	23.4	7.3	18.6
1136	4.1	2.4	21.3
1137	17.3	4.4	18.2
1138	4.8	2.6	25.8

Tormenta	máximo anual promedio diario	máximo anual promedio en 1 hora	máximo horario en 1 estación
1139	15.5	7.5	21.7
1140	13.8	3.8	12.4
	23.4	10.3	42.0
AÑO 121			
1141	12.6	9.3	24.5
1142	1.4	0.7	5.7
1143	6.7	1.6	6.9
1144	11.5	3.2	12.3
1145	7.1	3.2	24.8
1146	19.6	7.1	17.7
1147	16.3	3.9	16.6
1148	0.2	0.0	1.2
1149	19.0	0.0	22.8
1150	4.5	0.0	4.9
1151	11.6	0.0	16.9
	19.6	9.3	24.8
AÑO 122			
1152	7.6	1.5	7.1
1153	5.8	3.4	10.9
1154	10.1	2.5	8.1
1155	7.9	2.3	19.8
1156	8.2	7.0	21.6
1157	4.7	0.8	7.4
1158	4.4	4.0	7.4
1159	18.8	18.8	14.8
1160	6.4	6.4	11.7
1161	10.6	10.6	13.3
1162	11.5	11.5	30.1
1163	16.6	16.6	16.2
	18.8	18.8	30.1
AÑO 123			
1164	22.8	4.7	14.9
1165	25.2	9.1	17.6
1166	6.5	2.9	17.7
1167	1.8	0.9	5.9
1168	13.5	8.6	35.3
1169	10.8	5.4	19.2
1170	11.7	2.9	20.7
1171	6.0	2.6	6.8
1172	41.1	16.4	66.8
1173	22.1	9.6	17.8
1174	18.6	4.7	11.9
	41.1	16.4	66.8
AÑO 124			
1175	9.2	3.1	11.9
1176	20.6	9.0	28.2
1177	10.2	3.2	17.6
1178	18.2	5.1	34.2
1179	14.0	8.9	36.6
1180	13.5	12.2	40.6
1181	14.4	4.9	15.1
	20.6	12.2	40.6
AÑO 125			
1182	19.5	7.1	31.7
1183	16.6	7.3	19.4
1184	15.8	6.1	24.3
1185	15.2	13.7	45.6
1186	6.8	5.1	18.9

Tormenta	máximo anual promedio diario	máximo anual promedio en 1 hora	máximo horario en 1 estación
1187	18.7	5.7	36.7
1188	15.4	6.1	25.1
1189	1.7	0.8	6.7
	19.5	13.7	45.6
AÑO 126			
1190	14.7	8.3	18.9
1191	29.1	13.0	26.5
1192	16.6	6.1	27.0
1193	5.2	1.8	11.4
1194	11.7	5.8	20.8
1195	10.3	8.8	27.4
1196	14.9	4.4	22.1
1197	16.1	4.3	22.8
1198	7.6	3.3	8.6
1199	14.9	3.5	15.2
	29.1	13.0	27.4
AÑO 127			
1208	10.9	5.0	38.2
1209	9.3	4.2	32.7
1210	2.6	1.7	5.2
1211	20.2	6.9	21.4
1212	5.3	1.4	4.6
1213	3.1	2.0	6.3
1214	20.8	4.3	13.6
	20.8	6.9	38.2
AÑO 128			
1215	9.8	3.2	14.3
1216	14.3	8.0	20.7
1217	20.4	9.8	29.8
1218	20.8	7.4	47.6
1219	14.1	4.2	9.8
1220	4.4	2.2	22.1
1221	0.2	0.2	1.5
1222	27.9	5.2	20.8
1223	13.4	3.9	14.0
1224	24.0	8.7	21.8
1225	20.4	9.5	24.7
1226	6.1	2.5	6.7
1227	5.5	2.1	4.3
1228	6.9	2.0	17.5
1229	17.4	5.1	12.5
	27.9	9.8	47.6
AÑO 129			
1230	16.8	7.8	19.1
1231	0.2	0.2	2.0
1232	14.1	3.5	25.0
1233	11.9	3.3	12.7
1234	15.1	9.6	39.5
1235	10.4	4.7	36.4
	16.8	9.6	39.5
AÑO 130			
1236	15.5	4.5	11.2
1237	1.7	0.8	6.7
1238	6.7	2.2	12.3
1239	4.4	0.8	7.0
1240	6.4	1.9	7.2
1241	6.1	4.6	15.1
1242	14.1	4.2	20.9

Tormenta	máximo anual promedio diario	máximo anual promedio en 1 hora	máximo horario en 1 estación
1243	9.5	4.2	25.7
1244	11.8	5.8	20.9
	15.5	5.8	25.7
AÑO 131			
1245	7.6	3.4	20.5
1246	10.9	9.3	28.9
1247	20.8	9.7	20.2
1248	33.7	5.2	10.8
1249	18.0	6.9	27.7
1250	37.4	5.8	12.0
1251	41.1	6.3	13.2
1252	7.2	7.2	7.4
1253	27.0	27.0	24.6
1254	22.1	22.1	36.0
1255	16.9	16.9	26.0
	41.1	27.0	36.0
AÑO 132			
1256	19	4.9	18.8
1257	6.3	3	9.7
1258	14.5	3.8	10.5
1259	19.8	7.9	17.7
1260	14.5	4.9	10.1
1261	7.4	2.7	9.3
1262	10.5	3.2	10.5
1263	10.9	5.5	25.4
1264	13.4	4.5	13.7
	22.3	8.7	31.7
AÑO 133			
1265	11.0	7.0	31.7
1266	22.3	7.6	23.7
1267	19.9	8.7	27.2
1268	14.5	4.3	21.5
1269	20.3	5.2	13.1
1270	13.4	6.5	18.8
1271	5.9	1.8	8.5
1272	6.3	1.3	5.9
1273	4.8	3.3	9.9
	22.3	8.7	31.7
AÑO 134			
1273	29.7	14.0	58.6
1274	12.2	8.9	23.7
1275	19.1	4.8	12.3
1276	23.9	7.5	19.1
1277	13.1	4.4	11.6
1278	11.7	6.0	12.6
1279	7.4	6.0	23.5
1280	7.4	3.0	23.5
	29.7	14.0	58.6

AÑO 135			
1281	6.4	2.5	13.9
1282	5.1	2.6	25.5
1283	12.6	3.7	13.2
1284	12.3	4.4	20.8
1285	8.0	8.0	20.3
1286	3.6	3.6	8.4
1287	27.1	9.8	24.6
	27.1	9.8	25.5

Tormenta	máximo anual promedio diario	máximo anual promedio en 1 hora	máximo horario en 1 estación
AÑO 136			
1288	19.5	7.0	16.3
1289	14.4	9.6	27.5
1290	14.1	3.8	20.0
1291	9.8	3.2	14.4
1292	3.6	2.1	18.6
1293	12.9	6.0	12.5
1294	13.9	3.3	11.8
1295	13.2	3.2	17.4
1296	13.2	4.2	13.8
1297	30.8	13.8	28.1
	30.8	13.8	28.1
AÑO 137			
1298	24.0	8.7	21.7
1299	10.4	4.5	43.2
1300	5.5	1.9	12.2
1301	12.9	6.1	26.3
1302	8.7	2.2	7.0
1303	7.6	5.7	21.2
1304	20.4	6.5	19.1
1305	10.0	10.0	10.7
1306	9.2	9.2	9.9
1307	3.1	3.1	16.5
1308	17.6	17.6	21.8
	24.0	17.6	43.2
AÑO 138			
1309	8.5	4.2	9.0
1310	16.1	6.9	19.4
1311	7.0	1.7	7.2
1312	18.8	7.2	28.9
1313	15.3	3.3	9.4
1314	20.2	9.5	39.9
1315	15.4	4.1	21.9
1316	17.1	5.5	17.8
1317	19.8	5.6	25.5
1318	8.8	7.5	23.3
1319	14.4	7.5	37.5
	20.2	9.5	39.9
AÑO 139			
1320	16.1	5.0	19.4
1321	13.2	3.7	11.8
1322	17.6	3.9	24.6
1323	11.6	4.6	19.3
1324	9.5	3.1	13.9
1325	17.1	10.3	30.2
1326	20.7	5.8	26.6
1327	14.1	14.1	12.5
1328	13.2	13.2	16.5
1329	4.3	4.3	10.9
1330	5.6	5.6	12.3
1331	6.9	2.2	12.6
	20.7	14.1	30.2
AÑO 140			
1332	11.0	2.7	14.5
1333	4.5	1.7	3.5
1334	11.5	3.5	22.7
1335	18.3	5.2	23.6
1336	14.0	7.2	15.1

Tormenta	máximo anual promedio diario	máximo anual promedio en 1 hora	máximo horario en 1 estación
AÑO 140			
1337	14.6	5.2	33.5
	18.3	7.2	33.5
AÑO 141			
1337	20.8	10.0	30.4
1338	19.7	9.3	38.9
1339	14.1	3.1	19.7
1340	15.3	4.5	11.0
1341	11.5	5.3	23.3
1342	11.5	5.3	23.3
	20.8	10.0	38.9
AÑO 142			
1343	11.1	4.3	15.0
1344	12.7	3.5	11.4
1345	12.3	8.5	15.4
1346	9.5	4.7	10.0
1347	6.0	1.7	14.1
1348	9.4	3.1	9.4
1349	19.1	4.4	11.9
1350	11.5	11.5	40.2
	19.1	11.5	40.2

3.3 Ajuste de funciones de distribución

Como se puede apreciar para cada uno de los 142 años se indica el valor máximo ya sea anual promedio diario, máximo anual promedio en una hora y máximo horario por una estación; con este registro de datos procesados fue posible utilizar el programa AX para realizar una función de ajustes de probabilidad a la muestra de datos obteniendo el error estándar de ajuste de cada una de ellas. Para facilitar la manipulación de datos se agruparon como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Resumen de precipitaciones máxima anual promedio diario, máxima anual promedio en una hora y máxima horaria en una estación en mm.

AÑO	máximo anual promedio diario	máximo anual promedio en 1 hora	máximo horario en 1 estación
1	25.6	14.6	36.5
2	22.1	7.7	32.8
3	20.7	6.6	56.1
4	23.8	7.4	26.5
5	16.7	7.9	39.6
6	26.3	12.4	51.9
7	24.6	11.6	33.2
8	26.1	12.9	46.0
9	40.3	10.3	66.3
10	13.2	6.9	34.4
11	31.5	14.9	62.2
12	21.7	9.9	25.6
13	19.3	8.5	26.4
14	23.8	12.8	36.3
15	20.9	9.7	25.7
16	24.3	7.6	27.8
17	21.4	8.8	49.2
18	22.9	5.3	20.5
19	34.8	6.4	26.4
20	20.8	9.1	51.2
21	22.2	9.8	25.9
22	16.8	5.3	35.9
23	18.8	6.7	57.9
24	21.2	11.2	40.4
25	17.4	7.1	46.1
26	39.2	17.5	35.7
27	21.4	5.0	21.6
28	20.8	7.7	23.9
29	27.9	10.2	45.4
30	22.8	12.3	29.0
31	20.0	7.2	25.5
32	49.5	11.2	40.4
33	25.8	12.2	51.0
34	22.5	6.3	23.9
35	33.9	15.1	38.5
36	20.2	11.5	26.4
37	34.8	6.0	45.2
38	20.6	9.6	27.7
39	36.5	16.2	53.8
40	19.2	8.4	26.3
41	20.6	9.3	24.3
42	27.8	6.0	21.5
43	22.2	9.7	43.8
44	20.5	14.5	48.4
45	18.7	9.2	18.7
46	33.7	16.2	49.2
47	20.1	8.2	25.4
48	24.1	8.7	19.5

AÑO	máximo anual promedio diario	máximo anual promedio en 1 hora	máximo horario en 1 estación
49	31.2	12.4	50.6
50	23.7	10.8	38.2
51	24.1	7.2	27.8
52	23.2	9.3	37.8
53	24.5	8.9	27.0
54	29.2	12.8	40.0
55	21.9	9.6	33.4
56	24.2	9.7	38.2
57	25.0	5.7	22.8
58	24.5	12.4	38.3
59	19.8	9.4	39.2
60	28.6	12.8	26.0
61	29.5	10.8	48.0
62	16.4	9.4	29.1
63	20.0	9.2	22.4
64	23.2	12.5	32.6
65	26.0	11.3	22.8
66	27.5	7.6	35.9
67	19.3	5.1	24.7
68	35.9	12.9	28.6
69	29.6	8.5	45.3
70	24.7	11.8	36.0
71	22.8	9.1	38.0
72	26.6	11.7	31.1
73	26.6	10.5	47.1
74	22.8	9.2	30.2
75	23.4	9.4	48.2
76	26.0	13.5	42.4
77	26.3	6.9	31.7
78	21.9	8.8	34.8
79	21.8	6.7	25.0
80	22.3	8.3	25.8
81	19.5	5.4	50.6
82	32.2	14.4	34.6
83	16.8	6.1	28.6
84	18.2	13.3	43.8
85	21.8	11.7	45.6
86	20.3	10.6	31.7
87	19.0	7.3	25.8
88	20.8	13.5	35.7
89	17.2	9.9	40.5
90	24.9	7.8	24.6
91	23.8	7.8	25.8
92	35.0	6.8	27.2
93	22.3	9.8	46.4
94	21.7	8.9	37.5
95	20.5	12.4	33.3

AÑO	máximo anual promedio diario	máximo anual promedio en 1 hora	máximo horario en 1 estación
96	18.7	9.2	28.6
97	29.9	8.9	27.9
98	32.8	12.0	53.5
99	22.8	10.0	31.2
100	34.9	13.9	56.7
101	22.9	11.9	31.3
102	26.9	10.0	45.1
103	14.8	10.0	44.9
104	20.9	9.6	24.8
105	18.8	6.4	26.6
106	14.9	9.5	21.6
107	25.3	9.7	41.5
108	26.0	11.4	44.0
109	36.1	14.1	44.1
110	21.5	10.2	42.5
111	20.7	11.5	41.5
112	24.4	9.9	41.4
113	34.3	11.4	46.5
114	39.7	6.1	23.4
115	47.4	21.2	43.2
116	50.8	10.2	45.8
117	24.0	8.7	38.2
118	44.4	17.7	72.1
119	30.6	11.1	27.7
120	23.4	10.3	42.0
121	19.6	9.3	24.8
122	18.8	18.8	30.1
123	41.1	16.4	66.8
124	20.6	12.2	40.6
125	19.5	13.7	45.6
126	29.1	13.0	27.4
127	20.8	6.9	38.2
128	27.9	9.8	47.6
129	16.8	9.6	39.5
130	15.5	5.8	25.7
131	41.1	27.0	36.0
132	22.3	8.7	31.7
133	22.3	8.7	31.7
134	29.7	14.0	58.6
135	27.1	9.8	25.5
136	30.8	13.8	28.1
137	24.0	17.6	43.2
138	20.2	9.5	39.9
139	20.7	14.1	30.2
140	18.3	7.2	33.5
141	20.8	10.0	38.9
142	19.1	11.5	40.2

Como se mencionó en el capítulo 2.4, el programa AX contempla las funciones Normal, Log-Normal, Doble Gumbel, Exponencial, Gamma y Gumbel. Y dichos ajustes pueden ser usados individualmente o seleccionando la opción de cálculo global, la cual calcula errores cuadráticos de todas las funciones. Cuando los datos ya están ajustados a alguna función, se pueden extrapolar valores para obtener el periodo de retorno deseado.

Distribución Gumbel

En los estudios realizados para eventos hidrológicos extremos se incluye la selección de una secuencia de observación ya sean máximas o mínimas de un conjunto de datos, por ejemplo en el estudio de los gastos picos en una estación hidrométrica se utilizan solamente los valores máximos registrado cada año, entre todos los valores registrados. Es por ello que se utiliza la función de valores extremos I o también llamada Gumbel en hidrología, ya que esta función de distribución se utiliza para determinar la probabilidad de que se presenten grandes avenidas, debido a que se ha demostrado teóricamente que se ajusta a los valores máximos.

La función de distribución de probabilidad se representa por la siguiente ecuación:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad \text{Ecuación (1)}$$

La función de densidad de probabilidad es la siguiente:

$$f(x) = \alpha e^{-\alpha(x-\beta)-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

- α parámetro de forma
- β parámetro de escala
- X variable aleatoria

Los parámetros α y β se estiman por el método de momentos

$$\alpha = \frac{1.2825}{s} \quad \text{Ecuación (3)}$$

$$\beta = \bar{x} - 0.45s \quad \text{Ecuación (4)}$$

Donde:

S : Es la desviación estándar que se calcula con la siguiente ecuación

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \text{Ecuación (5)}$$

\bar{X} : Representa la media de la muestra, la cual se calculará con la siguiente expresión.

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n} \quad \text{Ecuación (6)}$$

La gráfica representativa de la función de distribución Gumbel se muestra en la figura 5.

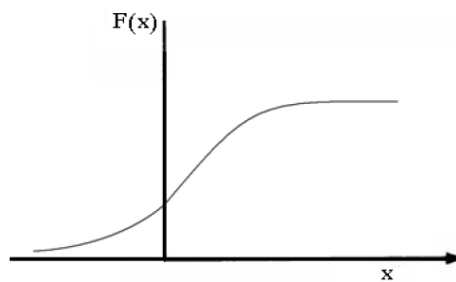


Figura 5. Gráfica de la Distribución Gumbel.

La distribución de probabilidad Gumbel se utiliza para el estudio de los gastos máximos anuales en un río o de precipitaciones máximas anuales en un sitio, y por lo tanto para la determinación de avenidas de diseño.

Se puede definir a una variable reducida y como:

$$y = -\alpha(x - \beta) \quad \text{Ecuación (7)}$$

Si sustituimos la variable reducida en la función de distribución de probabilidad se tiene que:

$$F(x) = e^{-e^y} \quad \text{Ecuación (8)}$$

Despejando “ y ” de la ecuación anterior, aplicando logaritmo natural en dos ocasiones se obtiene.

$$y = -\text{Ln} \left[\text{Ln} \left(\frac{1}{F(x)} \right) \right] \quad \text{Ecuación (9)}$$

Los valores x y y pueden graficarse en una recta, tal como se muestra en la figura 7

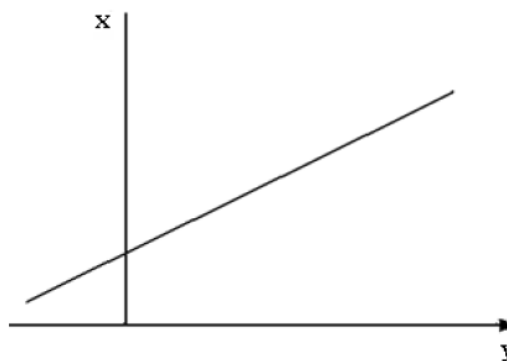


Figura 6. Distribución Gumbel, variable x contra variable reducida y .

Función Doble Gumbel

Esta función permite analizar muestras de datos formadas por dos poblaciones distintas, es útil cuando se tienen datos de gastos máximos, por ejemplo, en los que se registran gastos provocados por ciclones, los cuales sobresalen de lo demás ya que forman parte de otra población.

Es por ello que fue necesario desarrollar la función de distribución Doble Gumbel, dada por la siguiente expresión:

$$F(x) = p \left(e^{-e^{-\alpha_1(x-\beta_1)}} \right) + (1 - p) \left(e^{-e^{-\alpha_2(x-\beta_2)}} \right) \quad \text{Ecuación (10)}$$

donde α_1 y β_1 son los parámetros correspondientes a la población no ciclónica y α_2 y β_2 corresponden a la ciclónica, p es la probabilidad de que en un año cualquiera el gasto máximo no sea producido por una tormenta ciclónica.

Los valores α_1 y β_1 se obtienen ajustando por momentos una función Gumbel a los datos de la primera población y los valores de α_2 y β_2 ajustando otra función de Gumbel a los datos de la segunda población.

Los parámetros α_1 y α_2 definen una cierta inclinación de las curvas, entre más pequeñas más fuerte es la inclinación. Y β_1 , β_2 son parámetros de escala, el valor más grande que pueden tomar es el máximo valor de la muestra obtenido para las poblaciones 1 y la 2.

Para estimar los parámetros se recomienda minimizar el error cuadrático

$$z = \left[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_1)^2 \right]^{1/2} \quad \text{Ecuación (11)}$$

Donde X_i y \bar{X}_1 son los valores medidos y los valores estimados con la función de distribución de probabilidad, y n es el número de valores que contiene la muestra.

Para obtener la combinación de valores p , α_1 , β_1 , α_2 y β_2 que hacen mínima la función Z , se recomienda hacer primero una gráfica en la que se dibujen los puntos correspondientes a las parejas de valores $[Q_i, F(Q_i)]$. Para dibujar los puntos en la gráfica se utiliza el papel de Gumbel.

El papel de Gumbel tiene en el eje de las abscisas los valores de $y = -\text{LnLn} \left[\frac{F(x)}{F(x)-1} \right]$ y en las ordenadas los de x . Con esto se logra separar a las dos poblaciones que se agrupan en sendas rectas.

La figura 7 muestra un salto brusco en el gráfico, por los valores de los gastos no ciclónicos y los ciclónicos.

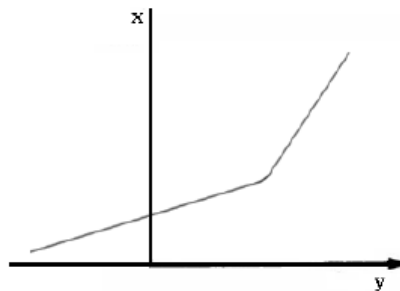


Figura 7. Función Doble Gumbel

No es posible determinar una ecuación para el cálculo de gastos máximos debido a que la función de distribución de probabilidad de Gumbel de dos poblaciones es implícita, eso implica que la solución de dicha ecuación debe realizarse a través de algún método para determinar raíces en una función.

Para poder utilizar esta función es necesario estimar p , lo cual se puede realizar de diferentes maneras, puede ser al consultar los boletines meteorológicos, preguntar a los habitantes de la zona o examinando los gastos máximos anuales.

El valor de p será entonces:

$$p = \frac{N_n}{N_T} \quad \text{Ecuación (12)}$$

Siendo N_n el número de años de registro en que el gasto máximo no se produjo por una tormenta ciclónica y N_T el número total de años de registro. De acuerdo con la experiencia en México, en el uso de esta distribución de probabilidad para los valores máximos anuales se ha utilizado una p de 0.84.

Para cada una de las columnas de la tabla anterior, se realizaron los ajustes Gumbel, Doble Gumbel Manual y Doble Gumbel Automática. A continuación se muestra la interfaz de los resultados generados para el ajuste de Doble Gumbel Manual para el caso de máximo anual promedio diario con el programa AX.

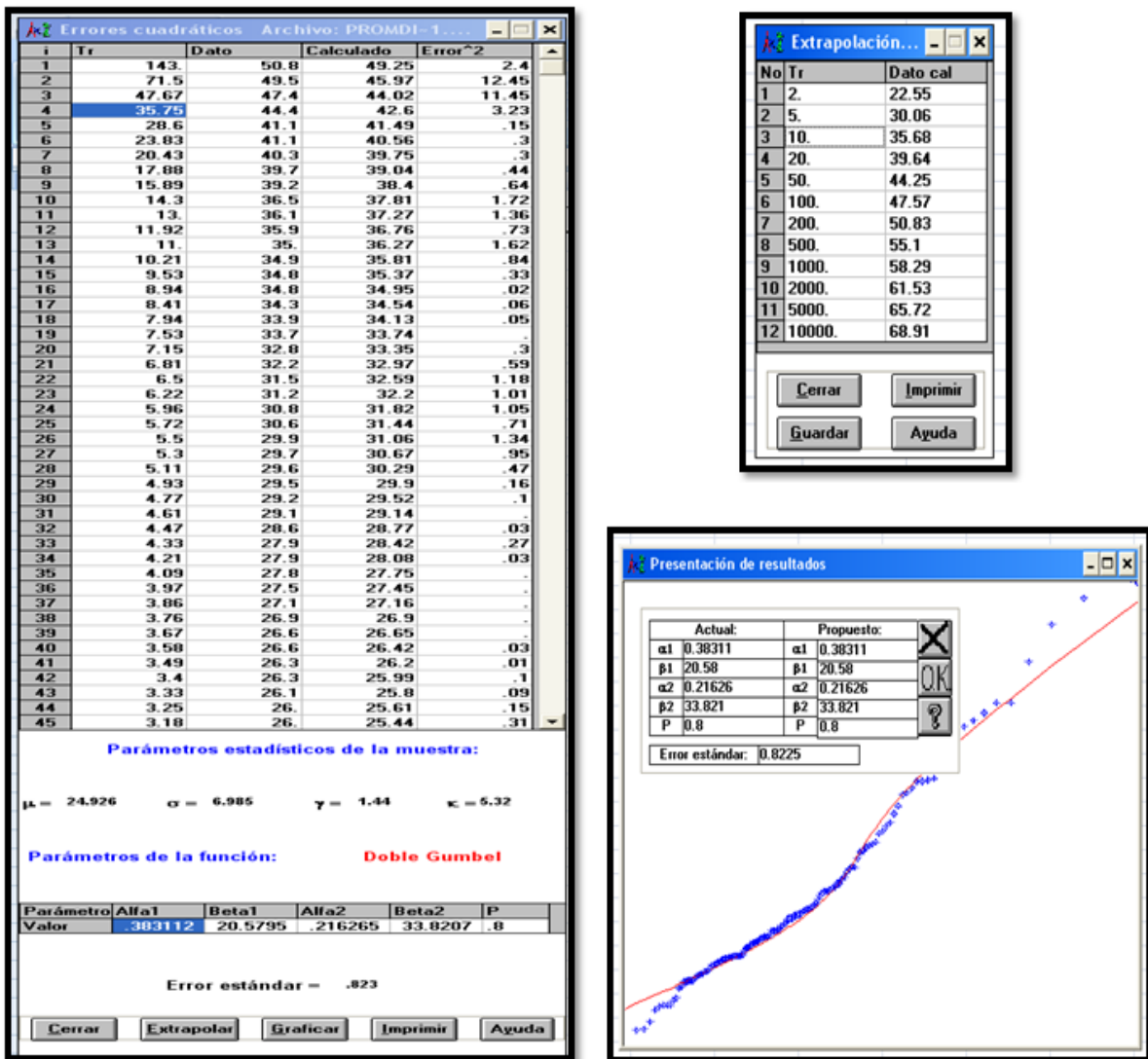


Figura 8. Interfaz gráfica del ajuste en el programa AX

Con los resultados obtenidos por el AX se prosiguió a extraer los datos extrapolados para periodos de retorno TR= 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200,500, 1000,2000, 5000 y 10000 años; para cada uno de los casos se graficaron los resultados.

AJUSTE FUNCIÓN DOBLE GUMBEL MANUAL
(Máximo anual promedio diario)

Tabla 7. Valores extrapolados de series sintéticas de precipitación anual, en mm.

Tr	Dato calculado
2	22.55
5	30.06
10	35.68
20	39.64
50	44.25
100	47.57
200	50.83
500	55.1
1000	58.29
2000	61.53
5000	65.72
10000	68.91

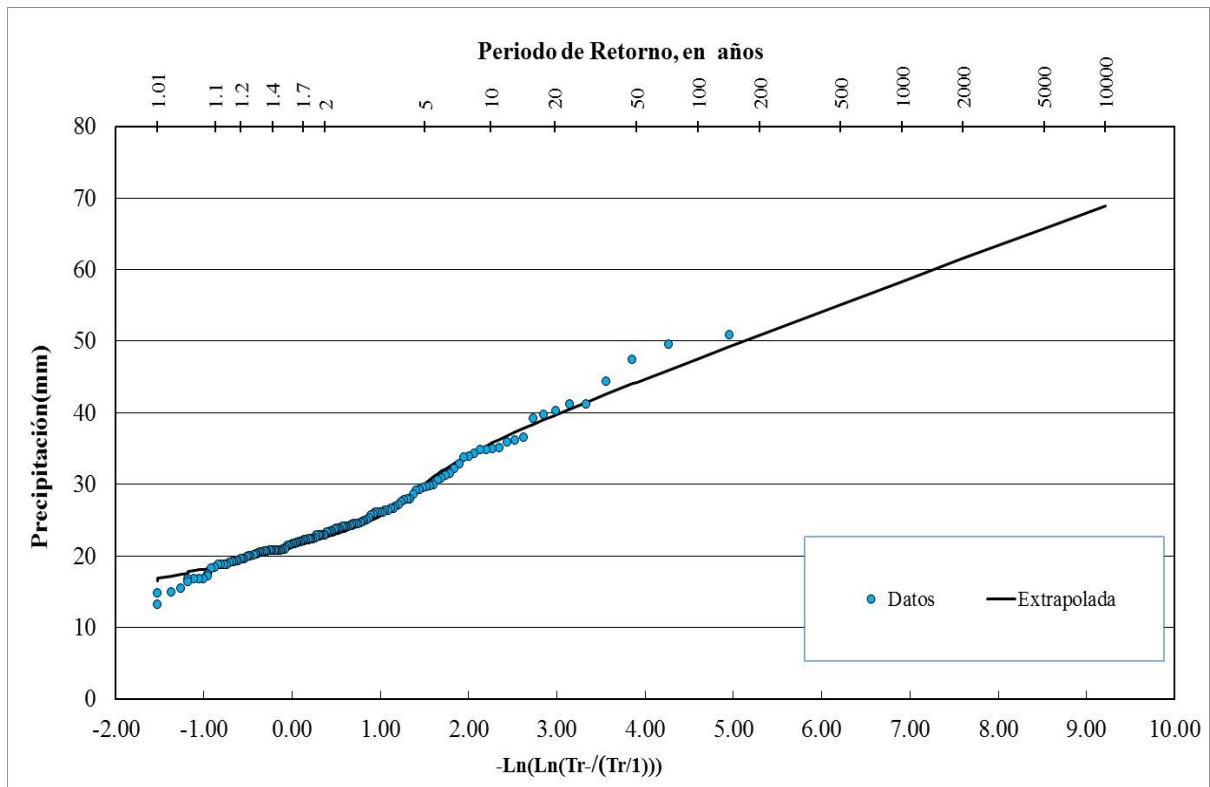


Figura 9. Precipitaciones sintéticas (máximo anual promedio diario).

**AJUSTE FUNCIÓN DOBLE GUMBEL AUTOMÁTICA
(Máximo anual promedio diario)**

Tabla 8. Valores extrapolados de series sintéticas de precipitación anual, en mm.

Tr	Dato calculado
2	23.16
5	29.2
10	35.58
20	40.64
50	45.9
100	49.53
200	53.06
500	57.64
1000	61.09
2000	64.55
5000	69.17
10000	72.39

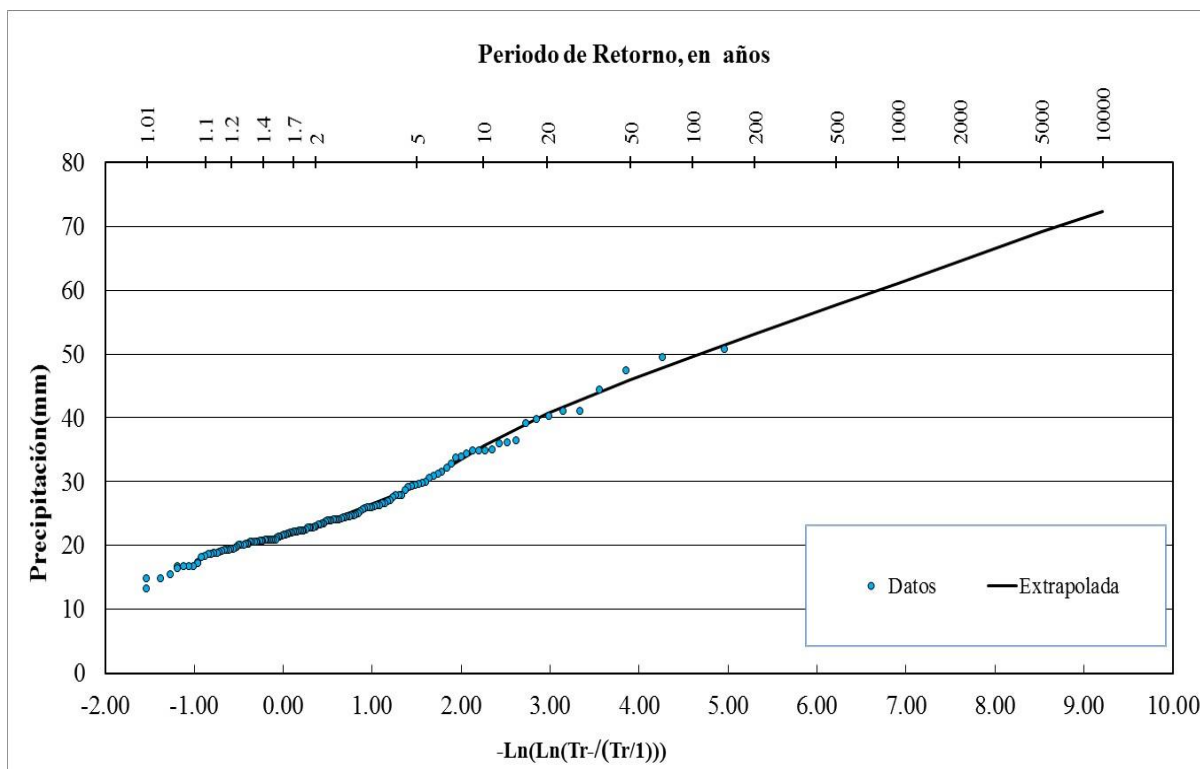


Figura 10. Precipitaciones sintéticas (máximo promedio diario anual).

AJUSTE FUNCIÓN GUMBEL MOMENTOS
(Máximo anual promedio diario)

Tabla 9. Valores extrapolados de series sintéticas de precipitación anual, en mm.

Tr	Dato calculado
2	23.78
5	29.95
10	34.04
20	37.96
50	43.03
100	46.84
200	50.63
500	55.62
1000	59.4
2000	63.18
5000	68.17
10000	71.94

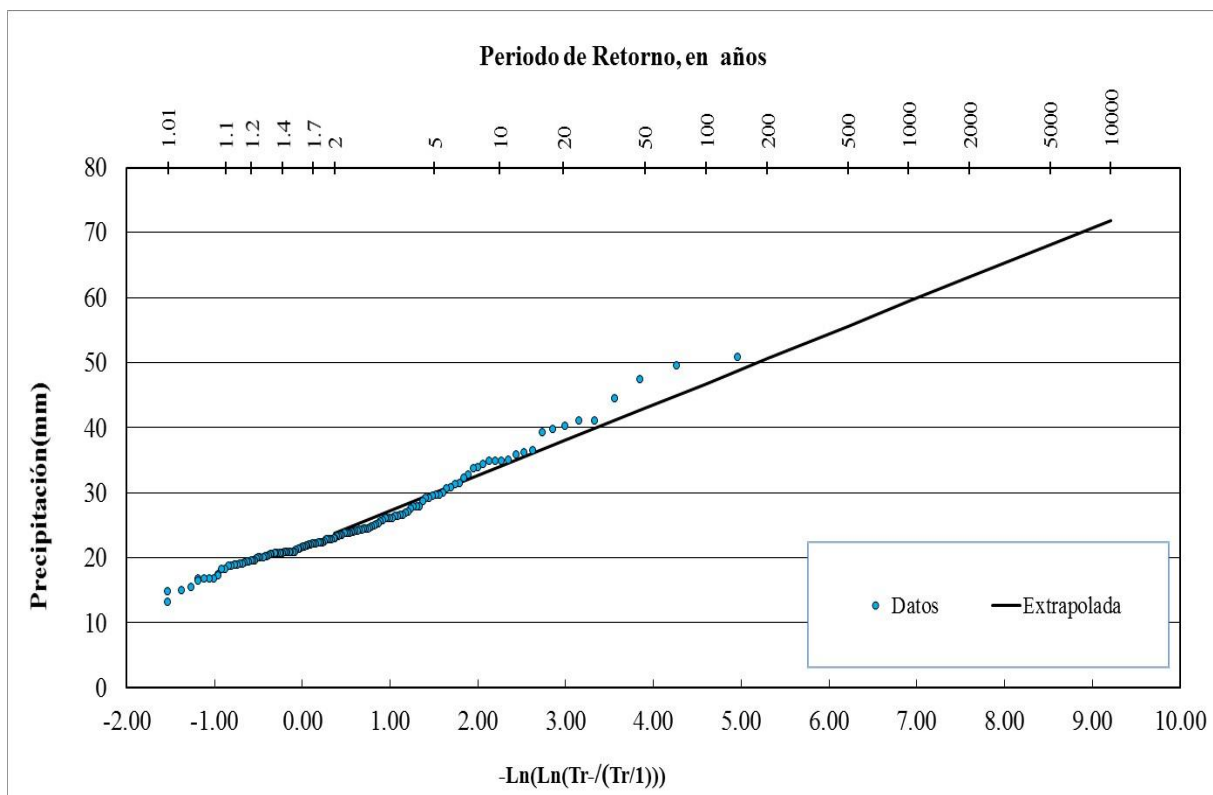


Figura 11. Precipitaciones sintéticas (máximo promedio diario anual).

AJUSTE FUNCIÓN DOBLE GUMBEL MANUAL
(Máximo anual promedio en 1 hora)

Tabla 10. Valores extrapolados de series sintéticas de precipitación anual, en mm.

Tr	Dato calculado
2	9.35
5	12.95
10	15.26
20	17.18
50	19.5
100	21.2
200	22.87
500	25.07
1000	26.72
2000	28.37
5000	30.58
10000	32.33

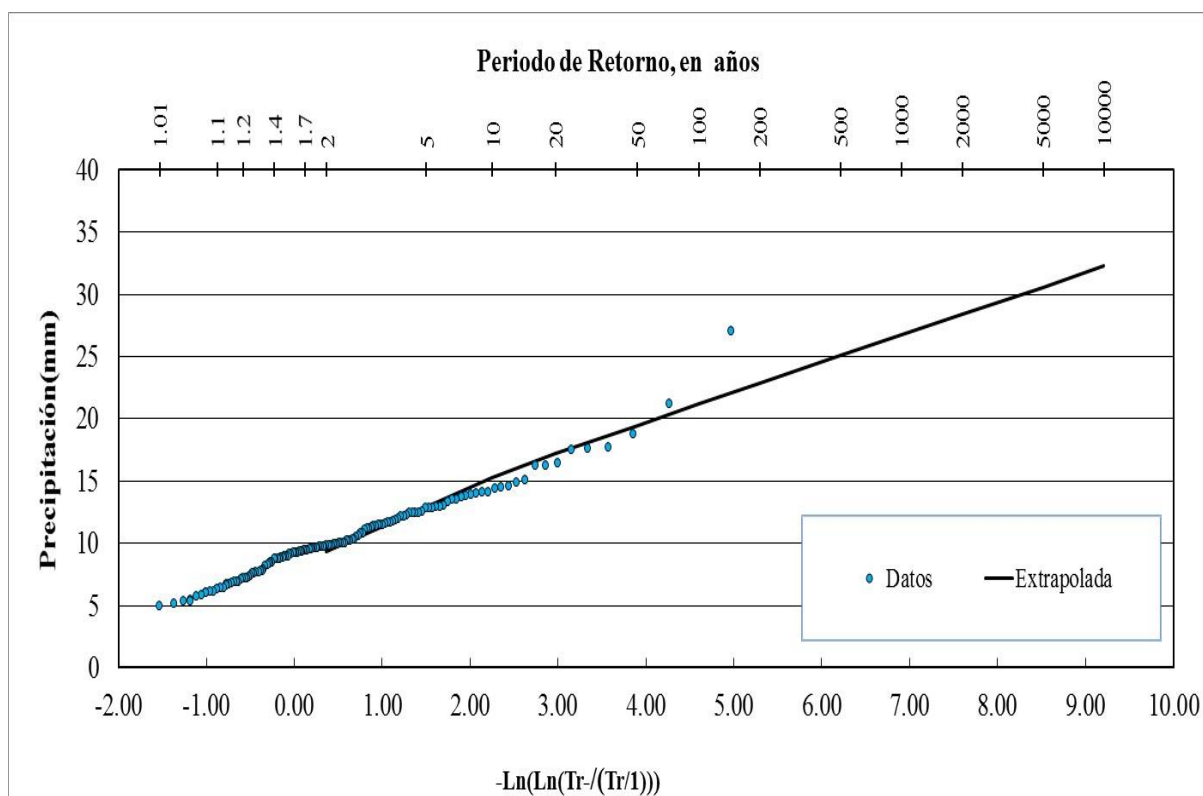


Figura 12. Precipitaciones sintéticas (máximo anual promedio en una hora).

AJUSTE FUNCIÓN DOBLE GUMBEL AUTOMÁTICA
(Máximo promedio en 1 hora)

Tabla 11. Valores extrapolados de series sintéticas de precipitación anual, en mm.

Tr	Dato calculado
2	9.57
5	12.76
10	15.11
20	17.35
50	20.15
100	22.22
200	24.27
500	26.99
1000	29.04
2000	31.09
5000	33.9
10000	35.98

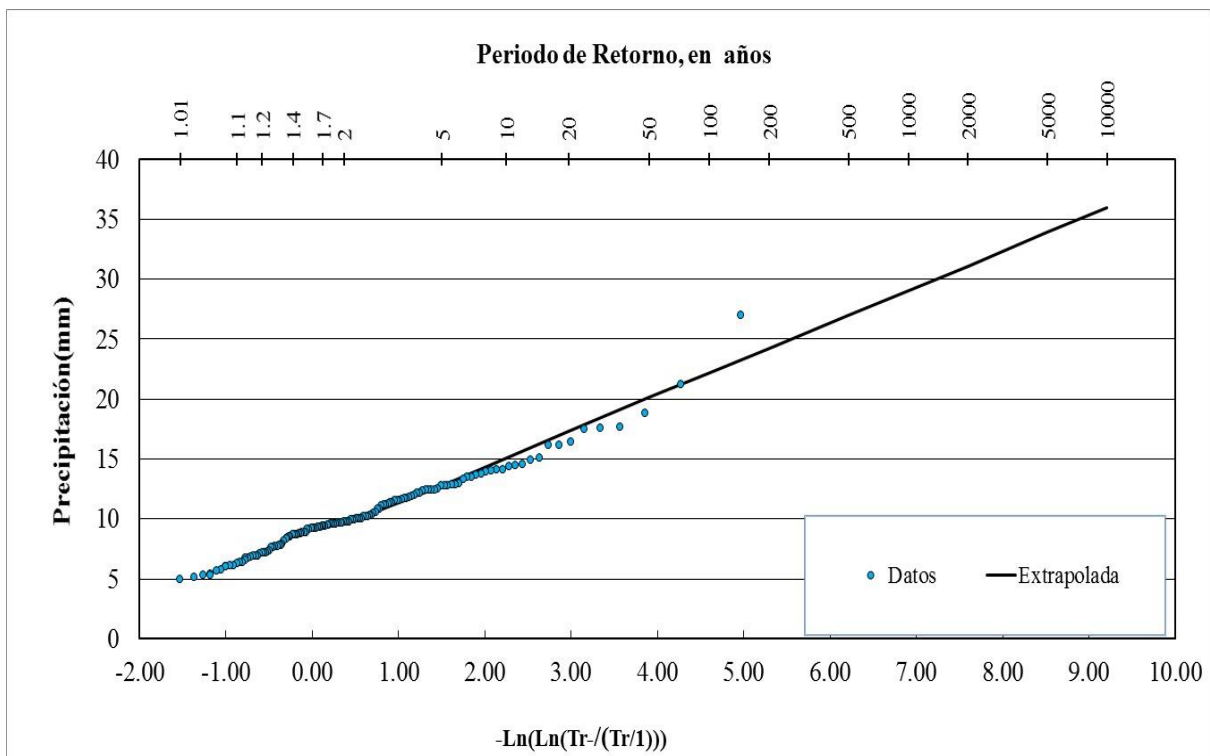


Figura 13. Precipitaciones sintéticas (máximo anual promedio en una hora).

AJUSTE FUNCIÓN GUMBEL MOMENTOS
(Máximo promedio en 1 hora)

Tabla 1 2. Valores extrapolados de series sintéticas de precipitación anual, en mm

Tr	Dato calculado
2	9.73
5	12.77
10	14.78
20	16.72
50	19.22
100	21.09
200	22.96
500	25.42
1000	27.29
2000	29.15
5000	31.61
10000	33.47

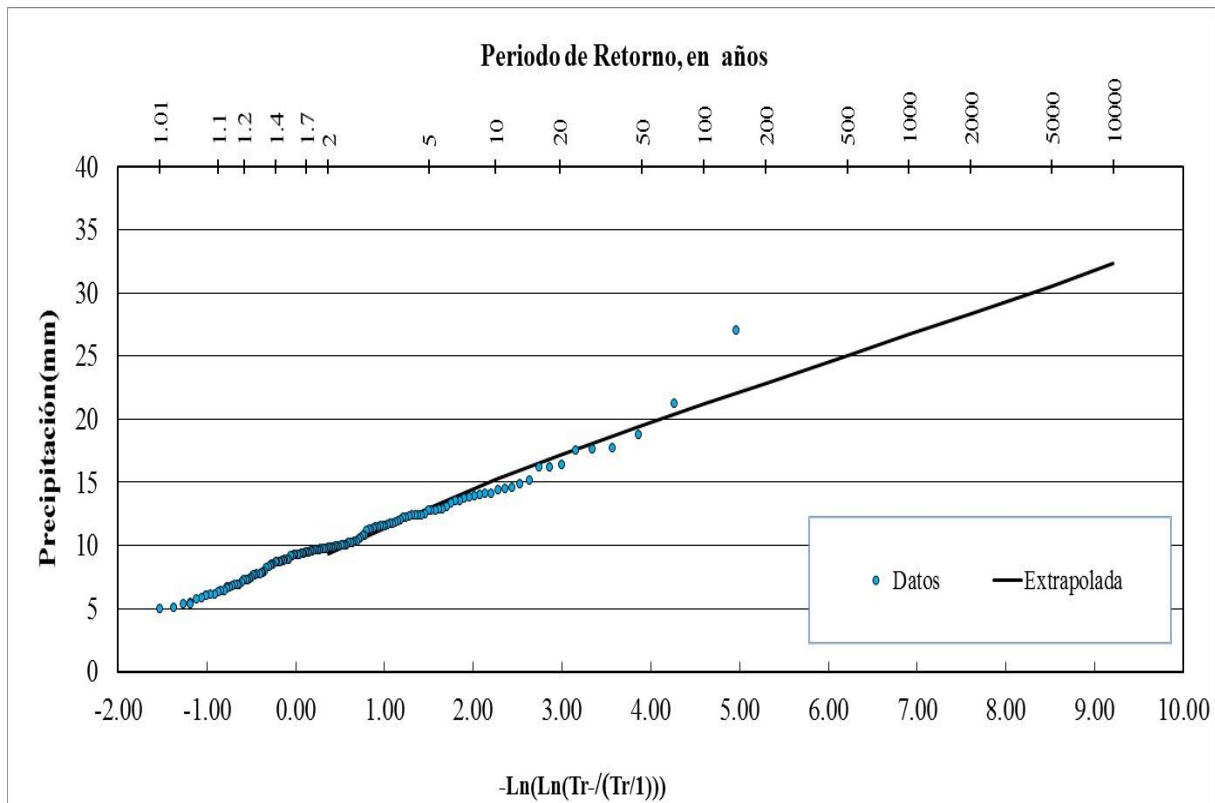


Figura 1 4. Precipitaciones sintéticas (máximo promedio en una hora).

AJUSTE FUNCIÓN DOBLE GUMBEL MANUAL
(Máximo horario en 1 estación)

Tabla 13. Valores extrapolados de series sintéticas de precipitación anual, en mm.

Tr	Dato calculado
2	33.39
5	46.89
10	52.8
20	57.39
50	62.9
100	66.91
200	70.87
500	76.07
1000	79.99
2000	83.98
5000	89.1
10000	92.91

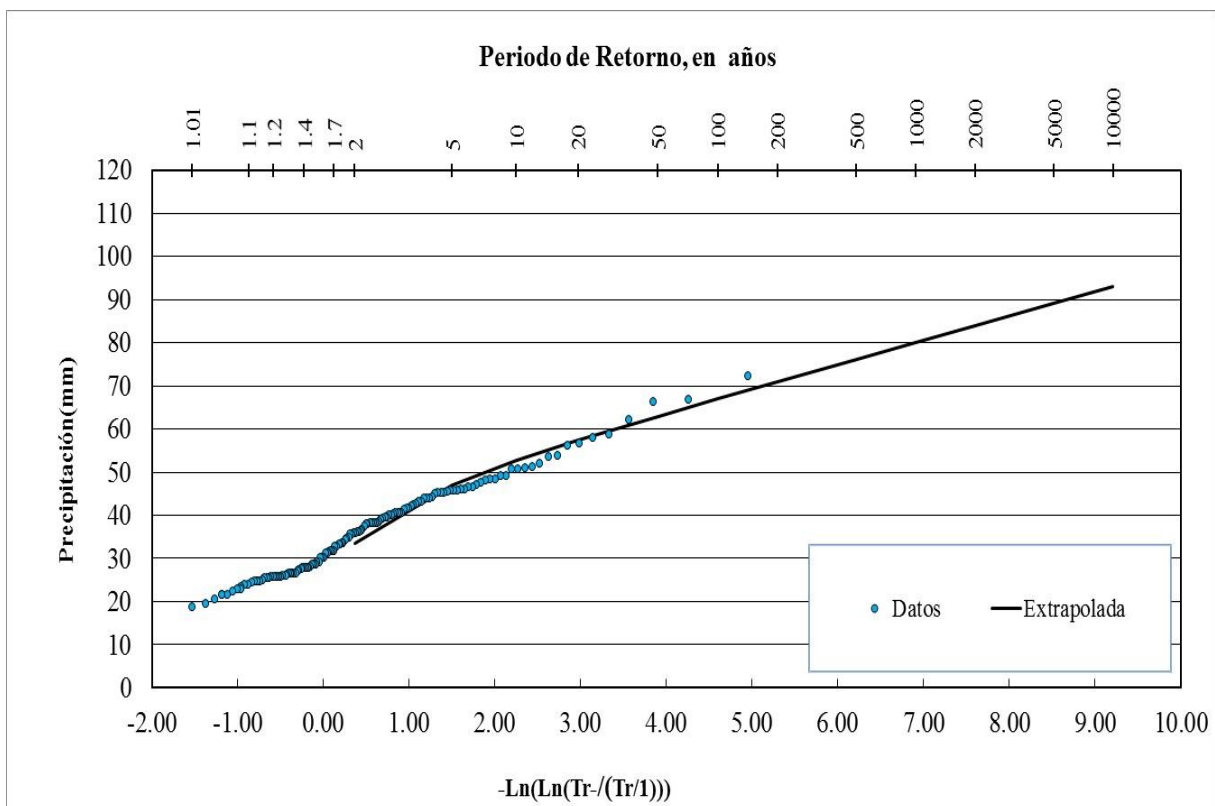


Figura 15. Precipitaciones sintéticas (máximo horario en una estación).

**AJUSTE FUNCIÓN DOBLE GUMBEL AUTOMÁTICA
(Máximo horario en 1 estación)**

Tabla 14. Valores extrapolados de series sintéticas de precipitación anual, en mm.

Tr	Dato calculado
2	34.26
5	46.78
10	52.72
20	57.79
50	64.07
100	68.72
200	73.32
500	79.41
1000	84.05
2000	88.68
5000	94.79
10000	99.35

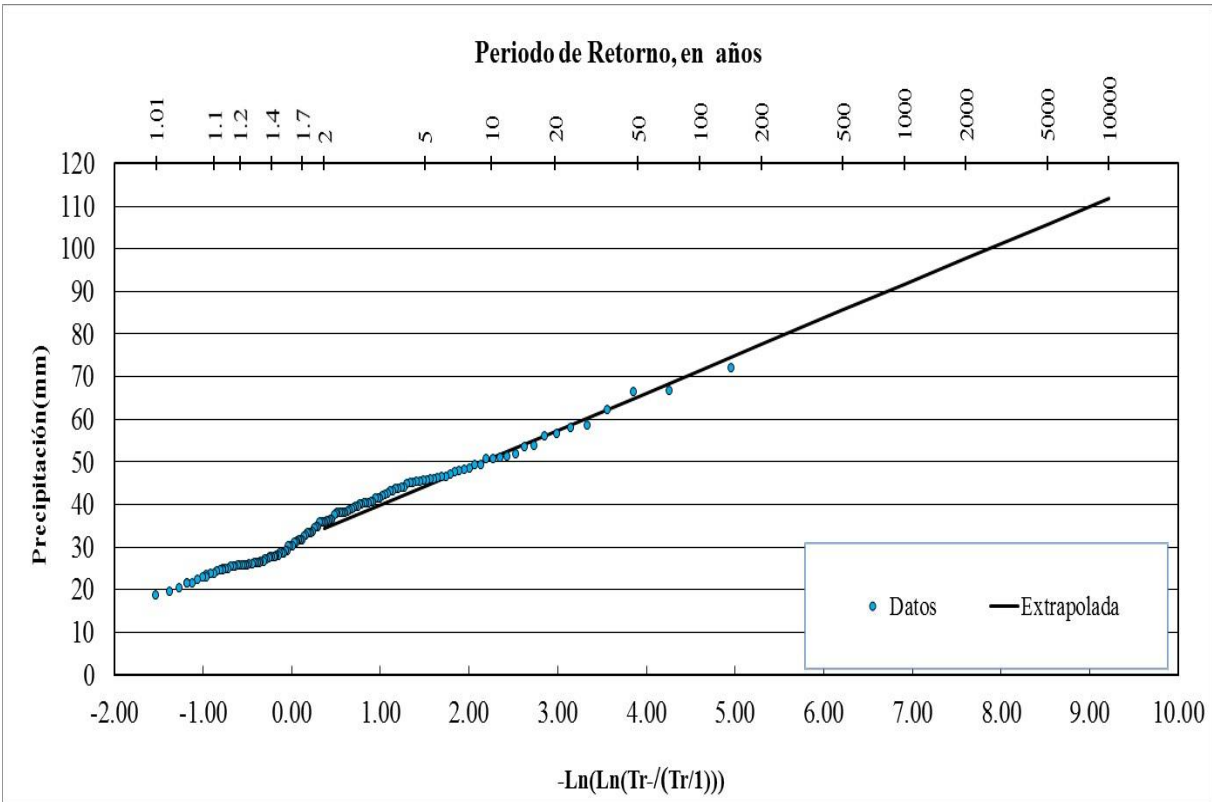


Figura 16. Precipitaciones sintéticas (máximo horario en una estación).

**AJUSTE FUNCIÓN GUMBEL MOMENTOS
(Máximo horario en 1 estación)**

Tabla 15. Valores extrapolados de series sintéticas de precipitación anual, en mm.

Tr	Dato calculado
2	34.46
5	44.38
10	50.94
20	57.24
50	65.39
100	71.5
200	77.59
500	85.62
1000	91.69
2000	97.75
5000	105.77
10000	111.84

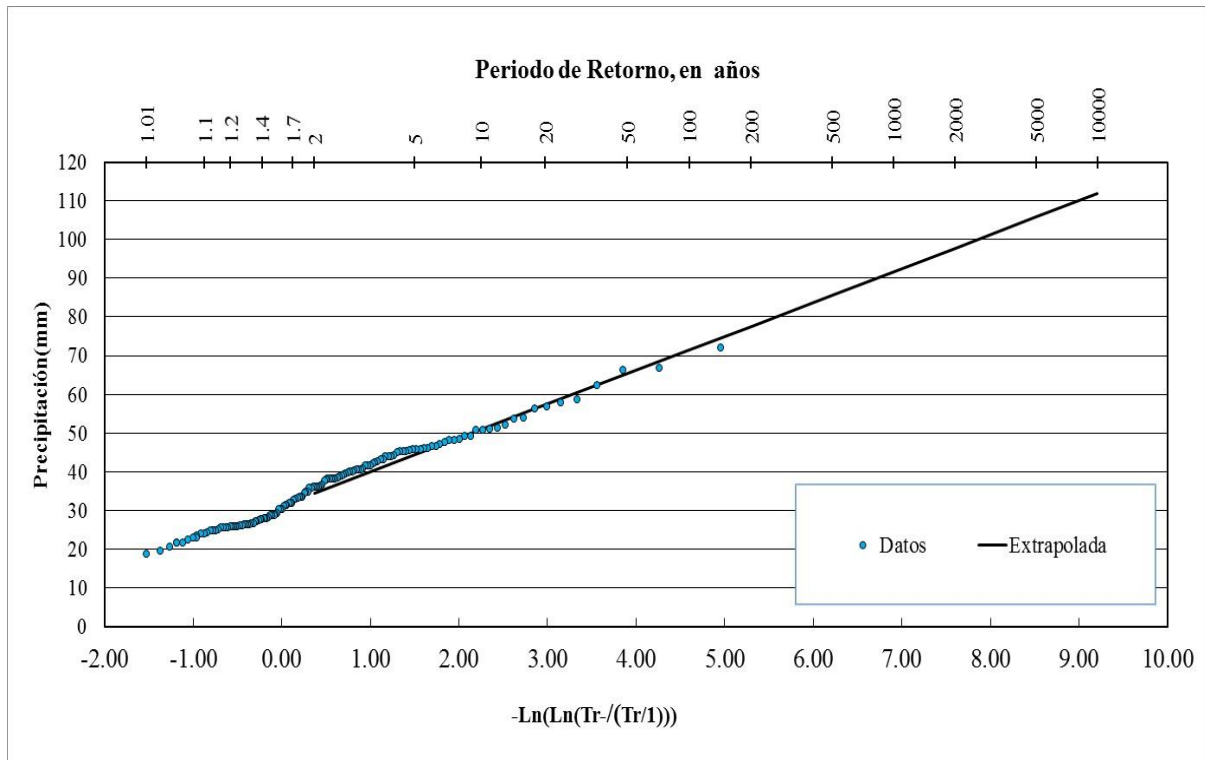


Figura 17. Precipitaciones sintéticas (máximo promedio diario anual).

4.1 Distribución Gumbel

Al probar distintas funciones de distribución se determinó que el mejor ajuste era con la función Gumbel por momentos.

Máximo anual promedio diario, ajuste con Gumbel por momentos:

Tabla 16. Valores extrapolados de series sintéticas de precipitación anual, en mm.

Tr	Dato calculado
2	23.78
5	29.95
10	34.04
20	37.96
50	43.03
100	46.84
200	50.63
500	55.62
1000	59.4
2000	63.18
5000	68.17
10000	71.94

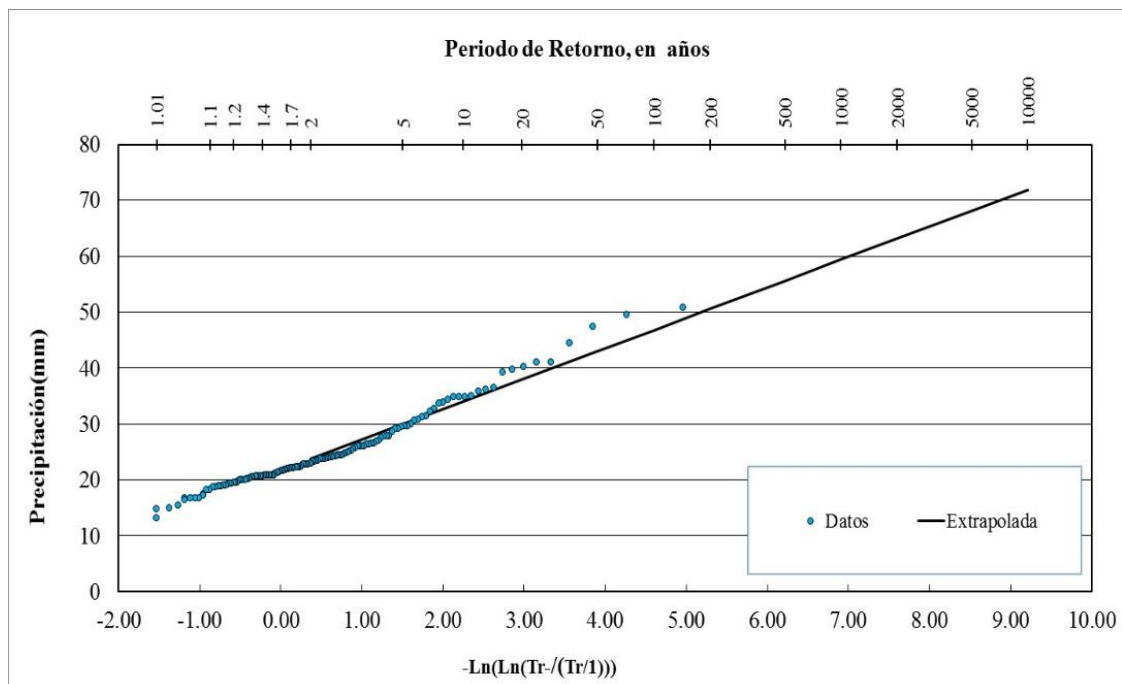


Figura 18. Precipitaciones sintéticas (máximo promedio diario anual).

Máximo promedio en una hora, ajuste Gumbel por momentos:

Tabla 17. Valores extrapolados de series sintéticas de precipitación anual, en mm

Tr	Dato calculado
2	9.73
5	12.77
10	14.78
20	16.72
50	19.22
100	21.09
200	22.96
500	25.42
1000	27.29
2000	29.15
5000	31.61
10000	33.47

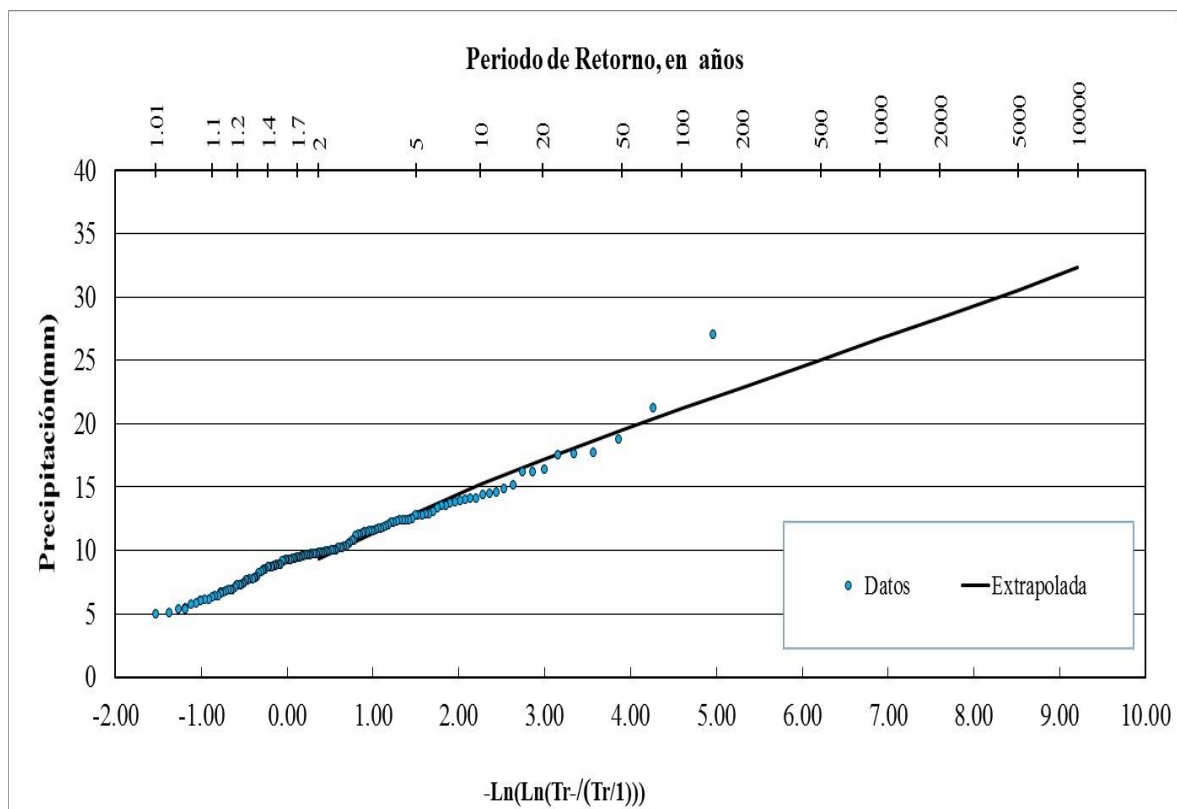


Figura 19. Precipitaciones sintéticas (máximo promedio diario anual).

Máximo horario en una estación, ajuste Gumbel por momentos:

Tabla 18. Valores extrapolados de series sintéticas de precipitación anual, en mm

Tr	Dato calculado
2	34.46
5	44.38
10	50.94
20	57.24
50	65.39
100	71.5
200	77.59
500	85.62
1000	91.69
2000	97.75
5000	105.77
10000	111.84

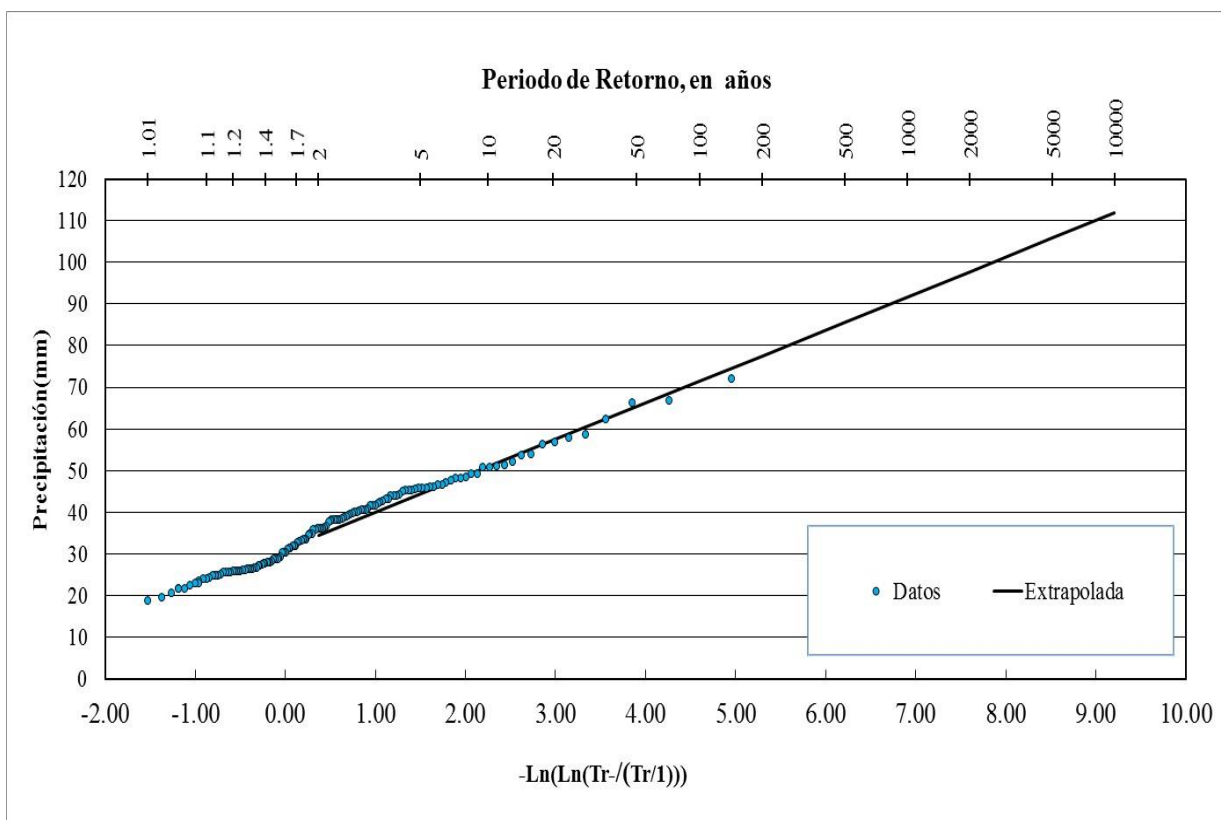


Figura 20. Precipitaciones sintéticas (máximo promedio diario anual).

Se muestra la tabla resumen con los resultados obtenidos para el ajuste de la función Gumbel por momentos (Tabla 19).

Tabla 19. Datos extrapolados para diferentes periodos de retorno.

Máximo anual promedio diario		Máximo anual promedio en 1 hora		Máximo horario en 1 estación	
AJUSTE FUNCION GUMBEL MOMENTOS		AJUSTE FUNCION GUMBEL MOMENTOS		AJUSTE FUNCION GUMBEL MOMENTOS	
Tr	Dato calculado	Tr	Dato calculado	Tr	Dato calculado
10000	71.94	10000	33.47	10000	111.84
5000	68.17	5000	31.61	5000	105.77
2000	63.18	2000	29.15	2000	97.75
1000	59.4	1000	27.29	1000	91.69
500	55.62	500	25.42	500	85.62
200	50.63	200	22.96	200	77.59
100	46.84	100	21.09	100	71.5
50	43.03	50	19.22	50	65.39
20	37.96	20	16.72	20	57.24
10	34.04	10	14.78	10	50.94
5	29.95	5	12.77	5	44.38
2	23.78	2	9.73	2	34.46

Para un periodo de retorno de 10 años, los datos obtenidos fueron:

Máximo anual promedio diario: 34.04

Máximo anual promedio en 1 hora: 14.78

Máximo horario en 1 estación: 50.94

Franco obtuvo las alturas de precipitación en mm para un periodo de retorno de 10 años y una duración de 24 horas para las 10 estaciones cercanas a Río Churubusco los datos registrados en la tabla 25.

Tabla 20. Extracto tabla 3.12 de Franco para un Tr= 10 años y duración= 24 hrs.

12	SANTA CRUZ ACATLAN	60.74
13	P.B. LOPEZ MATEOS	46.02
14	P.B. CHURUBUSCO LAGO	54.49
18	CENTRO UNIVERSIDAD	76.74
19	RADIO COMUNICACIÓN	65.12
20	P.B. MUNICIPIO LIBRE	60.95
27	P.B. XOTEPINGO	55.22
28	P.B. ACULCO	55.85
29	P.B. EJERCITO DE ORIENTE	54.66
30	P.T. C. DE LA ESTRELLA	56.1

4.2 Comparación de factores por duración y periodo de retorno

Para realizar la comparación con los resultados de Franco, los valores fueron expresados como proporción del correspondiente a 10 años de periodo de retorno.

Solo se consideraron los periodos de retorno para 2, 5, 10, 50, 100 y 500 años, para poder realizar la comparación con los obtenidos por Franco.

Tabla 21. Máximo anual promedio diario

Tr	Dato calculado	Tr (10 años)	Factor
2	23.78	34.04	= 0.70
5	29.95	34.04	= 0.88
10	34.04	34.04	= 1.00
50	43.03	34.04	= 1.26
100	46.84	34.04	= 1.38
500	55.62	34.04	= 1.63

Tabla 22. Máximo anual promedio en una hora

Tr	Dato calculado	Tr (10 años)	Factor
2	9.73	14.78	= 0.66
5	12.77	14.78	= 0.86
10	14.78	14.78	= 1.00
50	19.22	14.78	= 1.30
100	21.09	14.78	= 1.43
500	25.42	14.78	= 1.72

Tabla 23. Máximo horario en una estación

Tr	Dato calculado	Tr (10 años)	Factor
2	34.46	50.94	= 0.68
5	44.38	50.94	= 0.87
10	50.94	50.94	= 1.00
50	65.39	50.94	= 1.28
100	71.5	50.94	= 1.40
500	85.62	50.94	= 1.68

Tabla 24. Tabla resumen de los factores de ajuste para diferentes periodos de retorno.

Máximo anual promedio diario		Máximo anual promedio en 1 hora		Máximo horario en 1 estación	
AJUSTE FUNCION GUMBEL MOMENTOS		AJUSTE FUNCION GUMBEL MOMENTOS		AJUSTE FUNCION GUMBEL MOMENTOS	
Tr	Dato calculado	Tr	Dato calculado	Tr	Dato calculado
2	0.70	2	0.66	2	0.68
5	0.88	5	0.86	5	0.87
10	1.00	10	1.00	10	1.00
50	1.26	50	1.30	50	1.28
100	1.38	100	1.43	100	1.40
500	1.63	500	1.72	500	1.68

Los factores obtenidos por Franco fueron:

Por Periodo de Retorno	
Periodo (Tr) años	Factor (P^T / P^{10})
2	0.67
5	0.88
10	1.00
25	1.14
50	1.24
100	1.34
500	1.55

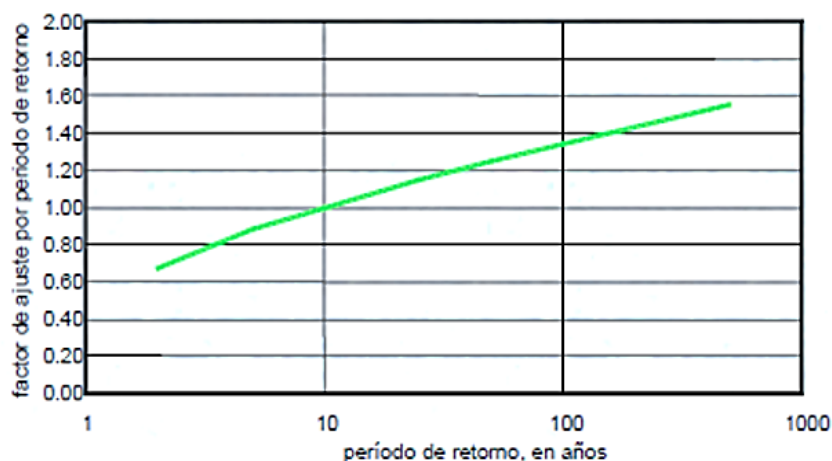


Figura 21. Factores de ajuste del Valle de México para diferentes duraciones, periodos de retorno y áreas, Franco (1998).

En este estudio los factores obtenidos para periodos de retorno grandes (100 y 500 años) resultaron mayores que los obtenidos por Franco; así, el promedio de los factores para 500 años mostrados en la tabla 24 (1.68) es mayor que el propuesto por Franco (1.55).

Además se hizo una comparación de los factores por duración, tomando en cuenta el máximo anual promedio diario y el máximo anual promedio en una hora.

Tabla 24. Comparación de los factores de duración.

Máximo anual promedio diario		Máximo anual promedio en 1 hora		Periodo de retorno	Máximo anual promedio diario	Máximo anual promedio en 1 hora	
AJUSTE FUNCION GUMBEL MOMENTOS		AJUSTE FUNCION GUMBEL MOMENTOS					
Tr	Dato calculado	Tr	Dato calculado	Tr	Dato calculado	Dato calculado	Factor
10000	71.94	10000	33.47	10000	71.94	33.47	= 2.149
5000	68.17	5000	31.61	5000	68.17	31.61	= 2.157
2000	63.18	2000	29.15	2000	63.18	29.15	= 2.167
1000	59.4	1000	27.29	1000	59.4	27.29	= 2.177
500	55.62	500	25.42	500	55.62	25.42	= 2.188
200	50.63	200	22.96	200	50.63	22.96	= 2.205
100	46.84	100	21.09	100	46.84	21.09	= 2.221
50	43.03	50	19.22	50	43.03	19.22	= 2.239
20	37.96	20	16.72	20	37.96	16.72	= 2.270
10	34.04	10	14.78	10	34.04	14.78	= 2.303
5	29.95	5	12.77	5	29.95	12.77	= 2.345
2	23.78	2	9.73	2	23.78	9.73	= 2.444

Por ejemplo para un periodo de retorno de 10 años se divide $71.94 / 33.47$, obteniendo un factor de 2.149 contra 1.52 que es el obtenido por Franco para 24 horas.

Por Duración	
Duración (hr)	Factor (Pd/ P1h)
0.5	0.78
1	1.00
2	1.17
24	1.52

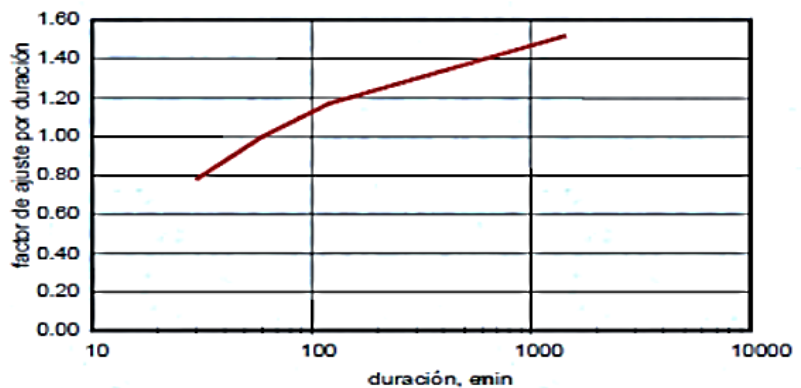


Figura 22. Factores de ajuste del Valle de México para diferentes duraciones, periodos de retorno y áreas, Franco (1998).

Franco para pasar de 1 h a 24h utiliza un factor de 1.52, es decir que en este estudio, si se trata de valores promedio el factor resulta más grande que el que obtuvo Franco para valores puntuales.

Las isoyetas obtenidas en la aplicación de un método regional para el valle de México de M.I. Franco para un $T_r = 10$ años y una duración = 24hrs, se presentan a continuación:

Con isoyetas:

$P_{d, 10 \text{ años}}: 55 \text{ mm}$

Aplicando el factor de ajuste
obtenido por Franco:

$P_{d, 10 \text{ años}}:$

$55/1.52 = 36.18 \text{ mm}$

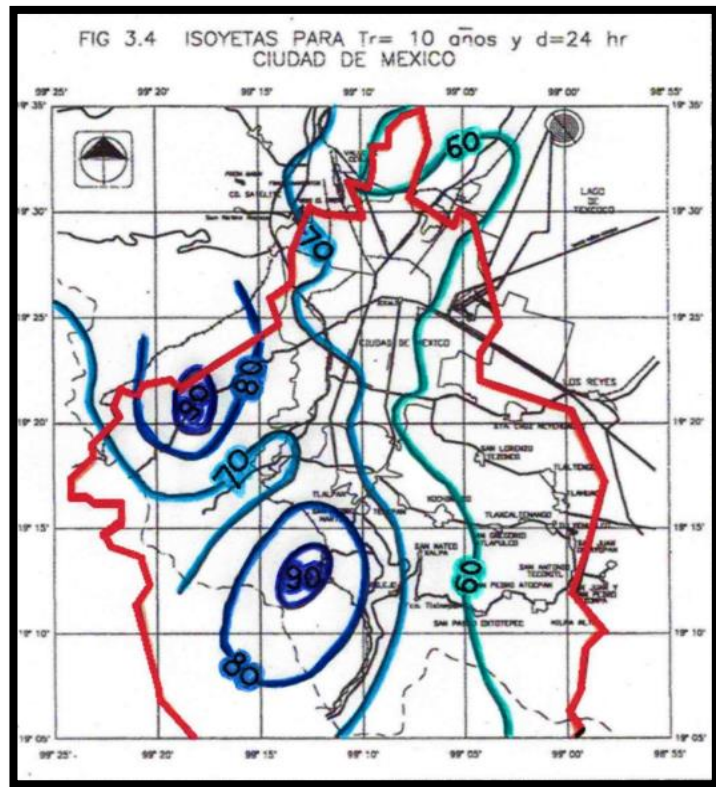


Figura 23. Isoyetas para T_r de 10 años y 24 horas de duración para la Ciudad de México.

Relacionando los factores de ajuste obtenidos para el máximo anual promedio diario y para el máximo anual promedio en una hora se obtuvieron los siguientes factores de ajuste (Tabla 28).

Tabla 28. Factores de ajuste para $T_r = 2, 5, 10, 50, 100$ y 500 años.

Tr	Máximo anual promedio diario		Máximo anual promedio en 1 hora		Factor
	Dato calculado		Dato calculado		
2	0.70	/	0.66	=	1.06
5	0.88	/	0.86	=	1.02
10	1.00	/	1.00	=	1.00
50	1.26	/	1.30	=	0.97
100	1.38	/	1.43	=	0.96
500	1.63	/	1.72	=	0.95

Capítulo 5. Conclusiones

En el campo de la hidrología es necesario realizar estudios y análisis de la información que se tiene de registros históricos con ayuda de las estaciones pluviométricas; el detalle es que no siempre estos registros están completos; para estos casos la generación de tormentas sintéticas resulta ser una herramienta de gran ayuda para lograr una simulación posible de algún sistema hidrológico y su comportamiento.

El análisis de registros hidrológicos facilita la reducción de una gran cantidad de datos a una sola función y a sus parámetros asociados, los cuales se derivan de las características estadísticas de la muestra.

Los factores de ajuste son útiles ya que permiten transformar el valor puntual a un promedio para la zona en estudio. Para el caso aplicado a Río Churubusco se obtuvieron factores de ajuste por periodo de retorno más altos a los obtenidos por Franco para el Valle de México; por ejemplo para el caso de un periodo de retorno de 50 años los factores obtenidos fueron 1.26 para máximo anual promedio diario, 1.30 para máximo anual promedio en una hora y 1.28 para máximo anual en una estación; el factor obtenido por Franco para el mismo periodo fue de 1.24.

Franco utiliza un factor por duración de 1.52 para pasar de 1h a 24h, mientras que para el Río Churubusco los factores son mayores a 2 para diferentes periodos de retorno; es decir que en este estudio, si se trata de valores promedio el factor resulta más grande que el que obtuvo Franco para valores puntuales.

Es importante destacar que el diseño de obras hidráulicas está asociado a la ocurrencia de un evento hidrológico del cierto periodo de retorno, ya sean extremos, como gastos máximos o mínimos en un cauce, precipitación máxima en un intervalo de tiempo, para esto se requiere contar con información disponible.

A partir de estimaciones del evento hidrológico que se pueda presentar se puede determinar el dimensionamiento de vertedores, diseño de un sistema de alcantarillado, la probabilidad de ocurrencia.

Se puede decir que los factores de ajuste para periodo de retorno son conservadores para el diseño de obras pues son similares a los obtenidos por el Maestro Franco.

Capítulo 6. Bibliografía

Arganis –Juárez M. L., R Domínguez- Mora, H. L. Cisneros-Iturbe and G. E. Fuentes-Mariles, 2008. Generación muestra sintética de las entradas mensuales en dos Presas Usando El Método svanidze modificado. J. Hydrological Sciences. 53, 130-141.

Consejo de cuenca del Valle de México. Disponible en: <http://cuencavalledemexico.com/consejo-de-cuenca-del-valle-de-mexico/historia/>

Domínguez M.R., Fuentes M.G. y Arganis J.M.L. (2001) *Procedimiento para generar muestras sintéticas de series periódicas mensuales a través del Método de Svanidze modificado aplicado a los datos de las presas La Angostura y Malpaso*. Series Instituto de Ingeniería. C1-19.

Domínguez, R. y Franco C., 2002, Análisis regional para la obtención de precipitaciones de diseño asociadas a duraciones menores de 2 h. Memorias del XX Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Ciudad de la Habana, Cuba, pp.234-241.

Domínguez M.R., Fuentes M.G.E. y Arganis J.M.L. (2002). Generación de muestras sintéticas de volúmenes de escurrimiento mensual de las presas La Angostura y Malpaso, Chiapas, utilizando el Método de Svanidze Modificado. XX Congreso Latinoamericano de Hidráulica., Ciudad de La Habana.

Domínguez R., E. Carrizosa, L. Cisneros, C. Bouvier (2004). “Procedimiento Simplificado de Generación de Tormentas y Análisis de las Consecuencias de la dependencia en las variables características”, XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, San Pedro, Brasil.

Domínguez et al., 2005. Importancia de la generación de muestras sintéticas en el análisis del comportamiento de políticas de operación de presas, fundación para el fomento de la ingeniería del agua. Ingeniería del agua 12, 13-25.

Domínguez-Mora R., M. L. Arganis Juárez I, A. Mendoza R., E. Carrizosa Elizondo, B. Echavarría S. (2012). Storm generator method that preserves their historical statistical characteristics. Application to Mexico City basin daily rainfall fields. Aceptado. *Atmósfera*.

Domínguez et al., 2013. Storm generator method applied to Mexican Valley’s data. *Atmosfera* 26. 27-43.

Escalante S.C.A y Reyes C.L. Técnicas estadísticas en hidrología. México. Facultad de Ingeniería, UNAM. 2002

Franco. D. C.G. Analisis regional de lluvias convectivas aplicación al Valle de México 1998. 43pp.

Gobierno del Distrito Federal. Delegación Coyoacán. Disponible en: <http://www.coyoacan.df.gob.mx/Delegacion/index.php>

Jiménez E.M. Programa AX. Área de riesgos hidrometeorológicos. Centro Nacional de Prevención de Desastres. México. 1996.

Svanidze G.G. *Mathematical Modeling of Hidrologic Series*. USA. Water Resources Publications. 1980.

Salas J.D., Delleur J.W., Yevjevich y Lane W.L. *Applied Modeling of Hydrological Time Series*. USA. Water Resources Publications. 1988.

Varela, C. 2003. Análisis de la Variabilidad Espacial de la Precipitación en la Cuenca del Arroyo del Azul. Tesis de Licenciatura en Diagnóstico y Gestión Ambiental, Facultad de Ciencias Humanas, UNCPBA, 93 págs.

Yurekly K., Kurunk A. y Simsek H. Prediction of Daily Maximum Streamflow Based on Stochastic Approaches. *Journal of Spatial Hydrology*, 4(2), 2004.

Zimmermann E. Modificaciones en los procesos hidrológicos provocados por el riego complementario en un área de llanura. (1998). XVII Congreso Nacional del Agua. Santa Fe. Argentina. Vol 2. Pp. 278-289.