

Figura 3.5.1 Área de Influencia de las estaciones complementarias a la estación Centro

Tabla 3.5.2 Estaciones dentro del área de influencia a la estación central - Centro

Estación	¿A utilizar?
27055	Si
27092	Si
27039	Si
27036	Si
27029	Si
27010	Si
7138	Si

Como se explica en la metodología se utilizó el criterio del inverso cuadrado de la distancia de las estaciones complementarias a la central por lo que se obtuvieron las distancias obteniendo la Tabla 3.5.3

Tabla 3.5.3 Distancia de las estaciones complementarias a la central - Centro

Estación	Coordenadas en X (UTM)	Coordenadas en Y (UTM)	Distancia a la estación central (Km)
27054	507586.9653	1989818.2212	Estación central
27055	508822.7159	1988343.5893	1.92
27092	507416.4409	1974083.3502	15.74
27039	470504.9873	1989931.1094	37.08 *
27036	481422.2597	1997631.6003	27.31
27029	514985.0303	2006080.0045	17.87
27010	481480.992	1997570.0794	27.23
7138	485874.4036	1975439.2037	26.04

* Se utilizó una estación con una distancia mayor a los 30 kilómetros para poder utilizar los datos de precipitación en periodos de datos faltantes en las demás estaciones

Al tener las distancias se siguió el procedimiento descrito anteriormente para la obtención de los datos faltantes en la estación central. Una vez que se finalizó la metodología y se tenían al menos 30 años con datos completos, se obtuvo la precipitación máxima de cada año para formar la tabla 3.5.4, la cual nos indica los máximos anuales de la estación Centro.

Corrección por intervalo fijo de observación

L.L Weiss con base a un estudio de miles estaciones-año de datos lluvia, encontró que los resultados de un análisis probabilístico llevado a cabo con las lluvias máximas anuales tomadas en un único y fijo intervalo de observación, para cualquier duración comprendida entre 1 y 24 horas, al ser incrementados en un 13% conducían a magnitudes más aproximadas a las obtenidas en el análisis basado en lluvias máximas verdaderas. De acuerdo a lo anterior, el valor representativo adoptado para la cuenta deberá ser multiplicado por 1.13 para ajustarlo por intervalo fijo y único de observación, pues los

registros de lluvias máximas diarias, se toman de 8 A.M. de un día a 8 A.M. del día siguiente y entonces, con tal corrección la lluvia representativa se convierte en lluvia máxima en 24 horas de determinado periodo de retorno.

Tabla 3.5.4 Valores de precipitación máxima anual estación de Centro

Año	Valor máximo de precipitación anual	Lluvia máx. en 24 h.	Año	Valor máximo de precipitación anual	Lluvia máx. en 24 h.	Año	Valor máximo de precipitación anual	Lluvia máx. en 24 h.
1949	111.5	126.0	1972	227.0	256.5	1995	191.0	215.8
1950	59.3	67.0	1973	113.2	127.9	1996	81.0	91.5
1951	124.7	140.9	1974	89.7	101.4	1997	180.0	203.4
1952	111.5	126.0	1975	85.3	96.4	1998	89.5	101.1
1953	98.2	111.0	1976	228.0	257.6	1999	193.4	218.5
1954	90.0	101.7	1977	98.5	111.3	2000	117.8	133.1
1955	224.5	253.7	1978	90.5	102.3	2001	102.9	116.3
1956	94.2	106.4	1979	125e.6	141.9	2002	198.9	224.8
1957	200.0	226.0	1980	340.0	384.2	2003	117.0	132.2
1958	92.4	104.4	1981	132.5	149.7	2004	112.2	126.8
1959	187.0	211.3	1982	115.7	130.7	2005	134.2	151.6
1960	135.0	152.6	1983	109.5	123.7	2006	84.9	95.9
1961	80.0	90.4	1984	158.8	179.4	2007	132.3	149.5
1962	65.2	73.7	1985	106.6	120.5	2008	100.5	113.6
1963	121.6	137.4	1986	56.9	64.3	2009	71.0	80.2
1964	128.5	145.2	1987	124.1	140.2	2010	150.0	169.5
1965	133.5	150.9	1988	254.4	287.5	2011	144.0	162.7
1966	101.3	114.5	1989	137.2	155.0	2012	130.8	147.8
1967	174.5	197.2	1990	133.5	150.9			
1968	111.0	125.4	1991	174.5	197.2			
1969	92.1	104.1	1992	170.5	192.7			
1970	118.2	133.6	1993	107.5	121.5			
1971	67.8	76.6	1994	94.3	106.6			



Para el cálculo de las pruebas de homogeneidad y de independencia se utilizó el software computacional "AFA V.1.1." el cual fue desarrollado por la SEMARNAT y en específico por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

Los datos máximos anuales obtenidos anteriormente sirven como insumo para el programa el cual generó: el análisis de homogeneidad, el análisis de independencia, y las funciones de distribución.

Análisis de homogeneidad.

Los resultados del AFA fueron los siguientes:

Prueba de Helmert	
Número de datos de la muestra N	64.0
Media de la muestra	147.0
Número de Secuencias S	30.0
Número de cambios C	33.0
La serie se considera homogénea si se cumple:	
Raíz (N-1) ≤ (S-C) ≤ Raíz(N-1) o bien (S-C) ≤ Abs(Raíz(N-1))	
Como (S-C) = -3 ≤ abs (Raíz(N-1)) = 7.94 La muestra es Homogénea	

Prueba de T student	
Número de datos del conjunto 1	32.00
Media del conjunto 1	145.48
Desviación estándar del conjunto 1	68.24
Número de datos del conjunto 2	32.00
Media del conjunto 2	148.57
Desviación estándar del conjunto 2	47.89
El valor del estadístico de prueba es Td	-0.21
El valor del estadístico de T de student para un nivel de significancia del 5% y 55 grados de libertad es Tstud	2.00
Como Td < Tstud, entonces la muestra es homogénea	

Prueba de Cramer	
Bloque 1 (60% de la muestra)	
Número de valores N60	38.000
Media aritmética	153.892

Prueba de Cramer	
Tao 60	0.117
Estadístico de prueba T60	10.854
Bloque 2 (30% de la muestra)	
Número de valores N30	19.000
Media aritmética	144.258
Tao 30	-0.047
Estadístico de prueba T30	1.240
Grados de libertad	55.000
Valor de la T de Student T	2.000
Como $T60 > T$	
El bloque 1 es no homogéneo	
Como $T30 < T$	
El bloque 2 es homogéneo.	

Análisis de Independencia

Los resultados fueron los siguientes.

k= 21

Tabla 3.5.5 Resultados Análisis de Independencia estación: Centro

Tiempo de Retraso k	Coeficiente de Auto correlación rk	Límites de confianza (95%)	
		Inferior	Superior
1	-0.181	-0.261	0.229
2	-0.094	-0.263	0.231
3	-0.084	-0.265	0.232
4	0.308	-0.268	0.234
5	-0.171	-0.27	0.236
6	-0.299	-0.272	0.238
7	-0.034	-0.275	0.24
8	0.401	-0.277	0.242
9	-0.071	-0.28	0.244
10	-0.118	-0.283	0.246
11	0.026	-0.286	0.248
12	0.185	-0.288	0.25
13	0.025	-0.291	0.252

VF

ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROLÓGICO PARA PROTEGER A LA
POBLACIÓN DE INUNDACIONES Y APROVECHAR MEJOR EL AGUA
(PROHTAB)

Tiempo de Retraso k	Coeficiente de Auto correlación rk	Límites de confianza (95%)	
		Inferior	Superior
14	-0.237	-0.294	0.254
15	0.154	-0.298	0.257
16	-0.026	-0.301	0.259
17	0.063	-0.304	0.262
18	-0.25	-0.308	0.264
19	0.076	-0.311	0.267
20	-0.085	-0.315	0.269
21	0.131	-0.319	0.272
Fuera de Rango			

Número de valores de rk que quedan fuera de los límites de confianza 3

Como el número de valores de rk que quedan fuera de los límites de confianza es menor al 10% del número de datos, entonces la muestra es independiente.

Funciones de Distribución: Para la obtención de las funciones de distribución se utilizó el software AFA V.1.1. y las funciones de Distribución utilizadas son la Normal, Log Normal de 2 parámetros, Log Normal de 3 parámetros, Gamma de 2 parámetros, Gamma de 3 parámetros, Gumbel, Exponencial 2 parámetros, General de Valores Extremos y la Gumbel Doble. Al ir obteniendo los resultados de las distintas funciones de distribución, se obtuvieron las precipitaciones de diseño para diferentes tipos de periodos de retorno (2, 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000), así como el periodo de retorno asignado a los valores de precipitación máximo anual.

En el mismo análisis se obtuvo el "Error Estándar de Ajuste" para cada función de distribución y se tomó el más bajo para ser usado en las curvas IDT. A continuación se muestra la tabla 3.5.6 el resumen de las funciones de distribución con sus errores estándar de ajuste así como la gráfica comparativa de los valores de precipitación máximos anuales, con la función de distribución elegida.

Tabla 3.5.6 Funciones de Distribución estación: Centro

Periodo de Retorno	Normal	Log. normal 2	Log. normal 3		Gamma 2		Gamma 3		Gumbel		Exponencial 2		GVE		GG	MINIMO
	Momentos	Momentos	Momentos	Máx. Ver.	Momentos	Máx. Ver.	Momentos	Máx. Ver.	Momentos	Máx. Ver.	Momentos	Máx. Ver.	Momentos	Máx. Ver.		
2	147.0	137.5	135.1	145.3	139.4	140.7	133.0	146.3	137.4	137.1	129.1	121.2	135.9	134.3	0.5	
5	196.2	185.9	186.4	193.3	192.5	188.9	186.6	194.3	189.1	183.3	182.7	198.2	186.2	183.3	0.8	
10	222.0	217.7	222.2	219.5	225.0	218.0	224.2	219.9	223.3	213.9	223.2	256.5	221.3	219.4	1.2	
20	243.3	248.0	257.5	241.6	254.4	244.2	260.6	241.2	256.2	243.2	263.8	314.8	256.4	257.0	1.5	
50	267.2	287.2	304.9	267.0	290.5	276.0	308.1	265.4	298.7	281.2	317.4	391.8	304.0	310.4	1.8	
100	283.1	316.7	341.8	284.4	316.4	298.7	343.8	281.7	330.5	309.7	357.9	450.0	341.2	354.2	2.0	
500	315.4	386.0	431.8	320.4	373.2	348.4	426.6	315.0	404.1	375.4	452.1	585.3	433.2	469.6	2.4	
1000	327.8	416.5	472.8	334.5	396.8	368.9	462.4	327.9	435.7	403.7	492.6	643.5	475.3	526.0	2.5	
5000	354.1	489.4	574.0	365.2	450.0	415.0	546.2	355.5	509.2	469.3	586.8	778.8	579.6	675.1	2.9	
10000	364.6	521.8	620.3	377.6	472.4	434.3	582.5	366.6	540.8	497.6	627.3	837.0	627.5	748.1	3.1	
EEA	21.16	13.40	10.41	19.67	13.97	15.83	10.08	20.60	11.77	14.64	10.47	20.76	10.64	9.78	60.45	21.16

FA

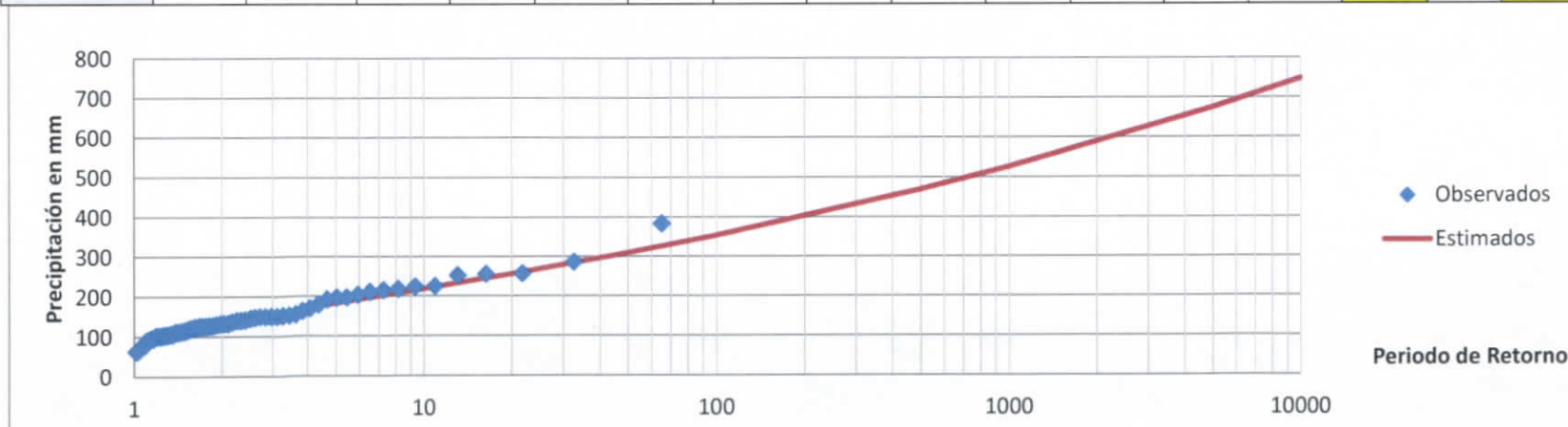


Figura 3.5.2 Función de distribución de la estación: Centro

3.5.1.3 Centla.

Para el municipio de Centla se utilizó como estación base la "27016 – Frontera A. Obregón" la cual se encuentra en este momento operando. Sin embargo la estación no cuenta con datos completos, como se puede observar en la Tabla 3.5.7 Datos climatológicos estación Centla de los 37 años solo algunos cuentan con datos diarios completos, por lo que fue necesario complementarlos con datos de estaciones aledañas que contarán con datos en las fechas necesarias.

Tabla 3.5.7 Datos climatológicos estación Centla

Año	Número de datos diarios	Año	Número de datos diarios	Año	Número de datos diarios
1949		1963	364	1977	334
1950		1964	333	1978	365
1951		1965	365	1979	304
1952		1966	362	1980	
1953	364	1967	363	1981	
1954	365	1968	360	1982	
1955	90	1969	365	1983	
1956		1970	365	1984	
1957		1971	365	1985	
1958		1972	335		
1959		1973	365		
1960	334	1974	365		
1961	365	1975	365		
1962	365	1976	365		

Para poder hacer un análisis de frecuencias es recomendable tener al menos 30 años de datos completos consecutivos por lo que para complementar los datos se utilizaron estaciones cercanas a no más de 30 km a la redonda de la estación a complementar¹⁴ (en casos donde no existan registros en fechas específicas se extraerá información de la estación más cercana que no necesariamente se encuentra a menos de 30 km).

¹⁴ (Organización Meteorológica Mundial, 2011)

En la figura 3.5.3 se observa la estación central "Centla" y el área aceptable para la obtención de datos complementarios (las estaciones marcadas en rojo se encuentran suspendidas, por lo que no serán usadas en el análisis).

Se analizaron todas las estaciones dentro del área de influencia de "Centla" Sin embargo no todas eran necesarias para complementar la estación ya que solo es necesario las más representativas, estas son las que cuentan con datos en los años que la estación central no cuenta con un registro completo y para que representen el fenómeno de la precipitación en la región tienen que encontrarse lo más cerca a lo estación central. En la Tabla 3.5.8 se observa todas las estaciones dentro del área de influencia que se utilizaron para complementar los datos (estaciones con marcador amarillo de la figura 3.5.3).



Figura 3.5.3 Área de Influencia de las estaciones complementarias a la estación Centla

VF

Tabla 3.5.8 Estaciones dentro del área de influencia a la estación central: Centla

Estación	¿A utilizar?
27050	Si
27085	Si
27053	Si
27028	Si
27002	Si

Como se explica en la metodología se utilizó el criterio del inverso cuadrado de la distancia de las estaciones complementarias a la central por lo que se obtuvieron las distancias obteniendo la Tabla 3.5.9.

Tabla 3.5.9 Distancia de las estaciones complementarias a la central: Centla

Estación	Coordenadas en X (UTM)	Coordenadas en Y (UTM)	Distancia a la estación central (Km)
27016	538639.449	2049263.08	Estación central
27050	542252.685	2032735.61	16.92
27085	523459.509	2044197.91	16.00
27053	512323.152	2033430.66	30.71
27028	591114.906	2000570.6	71.59*
27002	521122.209	2036358.03	21.76

* Se utilizó una estación con una distancia mayor a los 30 kilómetros para poder utilizar los datos de precipitación en periodos de datos faltantes en las demás estaciones

Al tener las distancias se siguió el procedimiento descrito anteriormente para la obtención de los datos faltantes en la estación Frontera. Una vez que se finalizó la metodología y se tenían al menos 30 años con datos completos se obtuvo la precipitación máxima de cada año para formar la Tabla 3.5.10, la cual nos indica los máximos anuales de la estación Centla.

Corrección por intervalo fijo de observación

L.L Weiss con base a un estudio de miles estaciones-año de datos lluvia, encontró que los resultados de un análisis probabilístico llevado a cabo con las lluvias máximas anuales tomadas en un único y fijo intervalo de observación, para cualquier duración comprendida

entre 1 y 24 horas, al ser incrementados en un 13% conducían a magnitudes más aproximadas a las obtenidas en el análisis basado en lluvias máximas verdaderas. De acuerdo a lo anterior, el valor representativo adoptado para la cuenta deberá ser multiplicado por 1.13 para ajustarlo por intervalo fijo y único de observación, pues los registros de lluvias máximas diarias, se toman de 8 A.M. de un día a 8 A.M. del día siguiente y entonces, con tal corrección la lluvia representativa se convierte en lluvia máxima en 24 horas de determinado periodo de retorno.

Tabla 3.5.10 Valores de precipitación máxima anual estación Centla

Año	Valor máximo de precipitación anual	Lluvia máx en 24 h.	Año	Valor máximo de precipitación anual	Lluvia máx en 24 h.
1949	280.0	316.4	1968	87.5	98.9
1950	126.8	143.3	1969	110.0	124.3
1951	96.6	109.2	1970	90.0	101.7
1952	124.7	141.0	1971	195.0	220.4
1953	55.0	62.2	1972	135.0	152.6
1954	102.0	115.3	1973	80.0	90.4
1955	105.0	118.6	1974	210.0	237.3
1956	78.4	88.6	1975	130.0	146.9
1957	85.2	96.3	1976	180.0	203.4
1958	85.8	97.0	1977	72.0	81.4
1959	211.3	238.8	1978	175.0	197.8
1960	80.0	90.4	1979	190.0	214.7
1961	89.5	101.1	1980	117.8	133.1
1962	77.0	87.0	1981	83.0	93.8
1963	162.0	183.1	1982	66.9	75.6
1964	141.5	159.9	1983	90.7	102.5
1965	81.0	91.5	1984	73.6	83.2
1966	60.0	67.8	1985	55.6	62.9
1967	240.0	271.2			

Para el cálculo de las pruebas de homogeneidad y de independencia se utilizó el software computacional "AFA V.1.1." el cual fue desarrollado por la SEMARNAT y en específico por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

Los datos máximos anuales obtenidos anteriormente sirven como insumo para el programa el cual generó: el análisis de homogeneidad, el análisis de independencia, y las funciones de distribuciones.

Análisis de homogeneidad.

Los resultados del AFA fueron los siguientes:

Prueba de Helmert	
Número de datos de la muestra N	37.0
Media de la muestra	135.1
Número de Secuencias S	21.0
Número de cambios C	215.0
La serie se considera homogénea si se cumple:	
Raíz (N-1) ≤ (S-C) ≤ Raíz(N-1) o bien (S-C) ≤ Abs(Raíz(N-1))	
Como (S-C) = 6 ≤ abs (Raíz(N-1)) = 6 La muestra es Homogénea	

Prueba de T student	
Número de datos del conjunto 1	18.00
Media del conjunto 1	128.19
Desviación estándar del conjunto 1	63.43
Número de datos del conjunto 2	19.00
Media del conjunto 2	141.69
Desviación estándar del conjunto 2	63.43
El valor del estadístico de prueba es Td	-0.63
El valor del estadístico de T de student para un nivel de significancia del 5% y 55 grados de libertad es Tstud	2.03
Como Td < Tstud, entonces la muestra es homogénea	

Prueba de Cramer	
Bloque 1 (60% de la muestra)	
Número de valores N60	22.000
Media aritmética	136.877
Tao 60	0.028
Estadístico de prueba T60	1.427
Bloque 2 (30% de la muestra)	
Número de valores N30	11.000



Prueba de Cramer	
Media aritmética	126.846
Tao 30	-0.131
Estadístico de prueba T30	1.955
Grados de libertad	31.000
Valor de la T de Student T	2.040
Como $T_{60} < T$	
El bloque 1 es homogéneo	
Como $T_{30} < T$	
El bloque 2 es homogéneo.	

Análisis de Independencia.

Los resultados fueron los siguientes.

$k = 12$

Tabla 3.5.11 Resultados Análisis de Independencia estación: Centla

Tiempo de Retraso k	Coeficiente de Auto correlación rk	Límites de confianza (95%)	
		Inferior	Superior
1	-0.06	-0.35	0.29
2	-0.05	-0.36	0.30
3	0.00	-0.36	0.30
4	0.21	-0.37	0.31
5	0.01	-0.37	0.31
6	-0.36	-0.38	0.31
7	0.00	-0.39	0.32
8	0.09	-0.39	0.32
9	-0.10	-0.40	0.33
10	-0.09	-0.41	0.33
11	-0.10	-0.42	0.34
12	0.11	-0.42	0.34

Número de valores de rk que quedan fuera de los límites de confianza 0

Como el número de valores de rk que quedan fuera de los límites de confianza es menor al 10% del número de datos, entonces la muestra es independiente.

Funciones de Distribución: Para la obtención de las funciones de distribución se utilizó el software AFA V.1.1. y las funciones de Distribución utilizadas son la Normal, Log

Normal de 2 parámetros, Log Normal de 3 parámetros, Gamma de 2 parámetros, Gamma de 3 parámetros, Gumbel, Exponencial 2 parámetros, General de Valores Extremos y la Gumbel Doble. Al ir obteniendo los resultados de las distintas funciones de distribución, se obtuvieron las precipitaciones de diseño para diferentes tipos de periodos de retorno (2, 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000), así como el periodo de retorno asignado a los valores de precipitación máximo anual.

En el mismo análisis se obtuvo el "Error Estándar de Ajuste" para cada función de distribución y se tomó el más bajo para ser usado en las curvas IDT. A continuación se muestra la Tabla 3.5.12 el resumen de las funciones de distribución con sus errores estándar de ajuste así como la gráfica comparativa de los valores de precipitación máximos anuales, con la función de distribución elegida.



Tabla 3.5.12 Funciones de Distribución estación: Centla

Periodo de Retorno	Normal	Log. normal 2	Log. normal 3		Gamma 2		Gamma 3		Gumbel		Exponencial 2		GVE		GG	MINIMO
	Momentos	Momentos	Momentos	Máx. Ver.	Momentos	Máx. Ver.	Momentos	Máx. Ver.	Momentos	Máx. Ver.	Momentos	Máx. Ver.	Momentos	Máx. Ver.		
2	148.00	137.89	133.80	138.86	139.70	141.29	130.34	140.63	137.93	138.55	129.20	113.01	135.61	131.58	148.00	
5	199.56	188.62	186.25	188.52	195.42	191.12	185.60	191.02	192.09	186.77	185.34	217.38	186.46	175.10	199.56	
10	226.54	222.22	224.69	220.60	229.73	221.32	226.94	221.95	227.94	218.69	227.82	296.33	223.38	221.49	226.54	
20	248.81	254.42	264.01	250.85	260.90	248.53	268.51	250.02	262.33	249.30	270.29	375.29	261.47	278.49	248.81	
50	273.88	296.27	318.42	289.56	299.21	281.71	324.12	284.46	306.85	288.94	326.44	479.66	314.96	354.40	273.88	
100	290.58	327.92	361.90	318.45	326.72	305.39	366.79	309.16	340.21	318.64	368.92	558.61	358.38	410.43	290.58	
500	324.39	402.69	471.92	385.56	387.46	357.30	468.06	363.63	417.30	387.27	467.54	741.94	470.95	538.43	324.39	
1000	337.38	435.77	523.62	414.80	412.66	378.71	512.63	386.21	450.44	416.77	510.02	820.90	525.13	593.22	337.38	
5000	364.94	515.21	654.79	484.10	469.70	426.94	618.32	437.27	527.35	485.25	608.64	1004.22	666.11	720.21	364.94	
10000	375.90	550.67	716.36	514.66	493.77	447.20	664.74	458.79	560.47	514.73	651.11	1083.18	734.06	774.84	375.90	
EEA	27.02	18.25	14.48	19.65	19.70	21.34	13.98	20.97	17.41	19.39	13.69	44.22	15.08	8.94	8.94	27.02

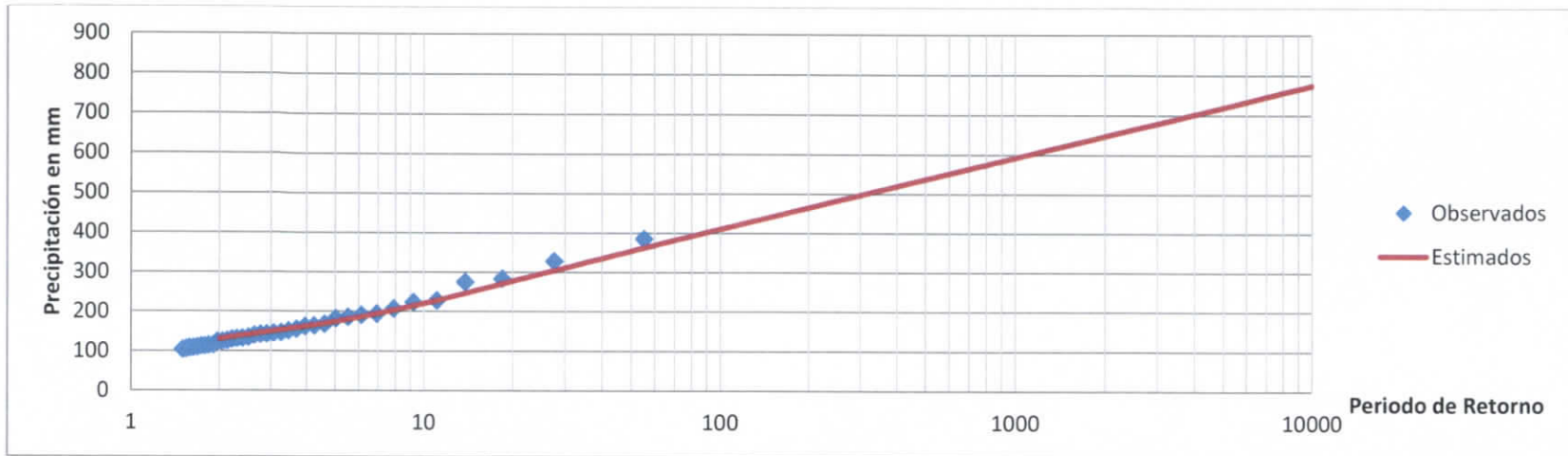


Figura 3.5.4 Función de distribución estación: Centla

Handwritten signature or initials.

3.5.1.4 Jalpa de Méndez.

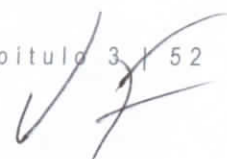
Para el municipio de Jalpa se utilizó como estación base la “27020 – Jalpa de Méndez” la cual se encuentra en este momento operando. Sin embargo la estación no cuenta con datos completos, como se puede observar en la Tabla 3.5.13 de los 54 años solo algunos cuentan con datos diarios completos, por lo que fue necesario complementarlos con datos de estaciones aledañas que contarán con datos en las fechas necesarias.

Tabla 3.5.13 Datos climatológicos estación Jalpa

Año	Número de datos diarios	Año	Número de datos diarios	Año	Número de datos diarios	Año	Número de datos diarios
1959	328	1973	365	1987		2001	
1960	365	1974	365	1988	153	2002	
1961	365	1975	365	1989	365	2003	
1962	365	1976	365	1990	363	2004	
1963	365	1977	365	1991	365	2005	
1964	365	1978	212	1992	365	2006	365
1965	365	1979		1993	365	2007	
1966	365	1980	153	1994	365	2008	
1967	365	1981	365	1995	365	2009	
1968	366	1982	365	1996	314	2010	
1969	365	1983	365	1997	365	2011	184
1970	365	1984	365	1998	334	2012	271
1971	365	1985	181	1999	334		
1972	365	1986		2000			

Para poder hacer un análisis de frecuencias es recomendable tener al menos 30 años de datos completos consecutivos por lo que para complementar los datos se utilizaron estaciones cercanas a no más de 30 km a la redonda de la estación a complementar¹⁵ (en casos donde no existan registros en fechas específicas se extraerá información de la estación más cercana que no necesariamente se encuentra a menos de 30 km). En la figura 3.5.5 se observa la estación central “Jalpa” y el área aceptable para la obtención de

¹⁵ (Organización Meteorológica Mundial, 2011)



ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROLÓGICO PARA PROTEGER A LA POBLACIÓN DE INUNDACIONES Y APROVECHAR MEJOR EL AGUA (PROHTAB)

datos complementarios (las estaciones marcadas en rojo se encuentran suspendidas, por lo que no serán usadas en el análisis).



Figura 3.5.5 Área de Influencia de las estaciones complementarias a la estación Jalpa

Se analizaron todas las estaciones dentro del área de influencia de “Jalpa de Méndez”, sin embargo, no todas eran necesarias para complementar la estación ya que solo es necesario las más representativas, estas son las que cuentan con datos en los años que la estación central no cuenta con un registro completo y para que representen el fenómeno de la precipitación en la región tienen que encontrarse lo más cerca a lo estación central.

En la tabla 3.5.14 se observa todas las estaciones dentro del área de influencia más representativa que se utilizaron para complementar los datos (estaciones con marcador amarillo figura 3.5.5).

Tabla 3.5.14 Estaciones dentro del área de influencia a la estación central

Estación	¿A utilizar?
27010	Si

Estación	¿A utilizar?
27014	Si
27009	Si
27034	Si
27038	Si
27053	Si
27057	Si
27084	Si

Como se explica en la metodología se utilizó el criterio del inverso cuadrado de la distancia de las estaciones complementarias a la central por lo que se obtuvieron las distancias obteniendo la tabla 3.5.15.

**Tabla 3.5.15 Distancia de las estaciones complementarias a la estación central:
 Jalpa de Méndez**

Estación	Coordenadas en X (UTM)	Coordenadas en Y (UTM)	Distancia a la estación central (Km)
27020	495240.813	2009178.83	Estación Central
27010	481480.992	1997570.08	18.01
27014	507056.846	1992030.75	21.13
27009	476742.847	2017551.58	20.22
27034	477584.181	2033962.27	29.90
27038	492807.889	2023777.77	14.73
27053	512323.152	2033430.66	29.40
27057	477097.778	2019702.49	20.50
27084	498090.386	2008532.95	2.91

Al tener las distancias se siguió el procedimiento descrito anteriormente para la obtención de los datos faltantes en la estación Jalpa de Méndez. Una vez que se finalizó la metodología y se tenían al menos 30 años con datos completos se obtuvo la precipitación máxima de cada año para formar la tabla 3.5.16, la cual nos indica los máximos anuales de la estación Jalpa de Méndez.

Corrección por intervalo fijo de observación

L.L Weiss con base a un estudio de miles estaciones-año de datos lluvia, encontró que los resultados de un análisis probabilístico llevado a cabo con las lluvias máximas anuales tomadas en un único y fijo intervalo de observación, para cualquier duración comprendida entre 1 y 24 horas, al ser incrementados en un 13% conducían a magnitudes más aproximadas a las obtenidas en el análisis basado en lluvias máximas verdaderas. De acuerdo a lo anterior, el valor representativo adoptado para la cuenta deberá ser multiplicado por 1.13 para ajustarlo por intervalo fijo y único de observación, pues los registros de lluvias máximas diarias, se toman de 8 A.M. de un día a 8 A.M. del día siguiente y entonces, con tal corrección la lluvia representativa se convierte en lluvia máxima en 24 horas de determinado periodo de retorno.

Tabla 3.5.16 Valores de precipitación máxima anual estación Cárdenas

Año	Valor máximo de precipitación anual	Lluvia máx en 24 h.	Año	Valor máximo de precipitación anual	Lluvia máx en 24 h.
1959	291.0	328.8	1986	154.0	174.0
1960	93.5	105.7	1987	98.2	110.9
1961	145.0	163.9	1988	165.0	186.5
1962	85.0	96.1	1989	127.0	143.5
1963	184.3	208.3	1990	86.0	97.2
1964	118.0	133.3	1991	100.0	113.0
1965	134.6	152.1	1992	173.0	195.5
1966	84.6	95.6	1993	112.0	126.6
1967	114.9	129.8	1994	126.0	142.4
1968	130.0	146.9	1995	252.0	284.8
1969	102.3	115.6	1996	144.0	162.7
1970	203.0	229.4	1997	83.0	93.8
1971	95.5	107.9	1998	138.0	155.9
1972	161.5	182.5	1999	244.0	275.7
1973	110.0	124.3	2000	150.3	169.8
1974	97.5	110.2	2001	120.7	136.4
1975	149.0	168.4	2002	132.7	149.9
1976	341.6	386.0	2003	124.8	141.0
1977	170.0	192.1	2004	120.9	136.6
1978	84.9	95.9	2005	89.1	100.7

Año	Valor máximo de precipitación anual	Lluvia máx en 24 h.	Año	Valor máximo de precipitación anual	Lluvia máx en 24 h.
1979	106.9	120.8	2006	32.0	36.2
1980	83.2	94.0	2007	141.3	159.7
1981	100.0	113.0	2008	159.9	180.7
1982	110.0	124.3	2009	89.0	100.6
1983	103.0	116.4	2010	116.0	131.1
1984	96.0	108.5	2011	80.0	90.4
1985	98.2	110.9	2012	120.0	135.6

Para el cálculo de las pruebas de homogeneidad y de independencia se utilizó el software computacional "AFA V.1.1." el cual fue desarrollado por la SEMARNAT y en específico por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

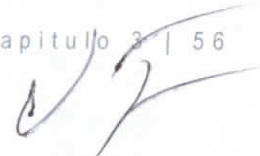
Los datos máximos anuales obtenidos anteriormente sirven como insumo para el programa el cual generó: el análisis de homogeneidad, el análisis de independencia, y las funciones de distribuciones.

Análisis de homogeneidad.

Los resultados del AFA fueron los siguientes:

Prueba de Helmert	
Número de datos de la muestra N	54.0
Media de la muestra	148.0
Número de Secuencias S	26.0
Número de cambios C	27.0
La serie se considera homogénea si se cumple:	
Raíz (N-1) ≤ (S-C) ≤ Raíz(N-1) o bien (S-C) ≤ Abs(Raíz(N-1))	
Como (S-C) = -1 ≤ abs (Raíz(N-1)) = 6 La muestra es Homogénea	

Prueba de T student	
Número de datos del conjunto 1	27.00
Media del conjunto 1	150.30
Desviación estándar del conjunto 1	70.10
Número de datos del conjunto 2	27.00



ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROLÓGICO PARA PROTEGER A LA
POBLACIÓN DE INUNDACIONES Y APROVECHAR MEJOR EL AGUA
(PROHTAB)

Prueba de T student	
Media del conjunto 2	145.60
Desviación estándar del conjunto 2	52.23
El valor del estadístico de prueba es Td	0.28
El valor del estadístico de T de student para un nivel de significancia del 5% y 55 grados de libertad es Tstud	2.01
Como $T_d < T_{stud}$, entonces la muestra es homogénea	

Prueba de Cramer	
Bloque 1 (60% de la muestra)	
Número de valores N60	32.000
Media aritmética	140.759
Tao 60	-0.118
Estadístico de prueba T60	9.120
Bloque 2 (30% de la muestra)	
Número de valores N30	16.000
Media aritmética	137.131
Tao 30	0.177
Estadístico de prueba T30	3.935
Grados de libertad	46.000
Valor de la T de Student T	2.010
Como $T_{60} > T$	
El bloque 1 es no homogéneo	
Como $T_{30} > T$	
El bloque 2 es no homogéneo.	

Análisis de Independencia.

Los resultados fueron los siguientes.

k= 18

Tabla 3.5.17 Resultados Análisis de Independencia: Jalpa de Méndez

Tiempo de Retraso k	Coeficiente de Auto correlación rk	Límites de confianza (95%)	
		Inferior	Superior
1	0.036	-0.286	0.248
2	-0.117	-0.288	0.25
3	-0.074	-0.291	0.252
4	0.124	-0.294	0.254
5	-0.069	-0.298	0.257
6	0.042	-0.301	0.259
7	-0.031	-0.304	0.262
8	-0.157	-0.308	0.264
9	-0.007	-0.311	0.267
10	-0.193	-0.315	0.269
11	-0.052	-0.319	0.272
12	-0.026	-0.323	0.275
13	0.12	-0.327	0.278
14	-0.192	-0.331	0.281
15	-0.136	-0.335	0.284
16	0.044	-0.34	0.287
17	0.099	-0.345	0.291
18	0.065	-0.35	0.294

Número de valores de rk que quedan fuera de los límites de confianza 0

Como el número de valores de rk que quedan fuera de los límites de confianza es menor al 10% del número de datos, entonces la muestra es independiente.

Funciones de Distribución: Para la obtención de las funciones de distribución se utilizó el software AFA V.1.1 y se utilizaron las distribuciones enlistadas en la tabla 5.

Las funciones de Distribución utilizadas son la Normal, Log Normal de 2 parámetros, Log Normal de 3 parámetros, Gamma de 2 parámetros, Gamma de 3 parámetros, Gumbel,



Exponencial 2 parámetros, General de Valores Extremos y la Gumbel Doble. Al ir obteniendo los resultados de las distintas funciones de distribución, se obtuvieron las precipitaciones de diseño para diferentes tipos de periodos de retorno (2, 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000), así como el periodo de retorno asignado a los valores de precipitación máximo anual.

En el mismo análisis se obtuvo el "Error Estándar de Ajuste" para cada función de distribución y se tomó el más bajo para ser usado en las curvas IDT. A continuación se muestra en la Tabla 3.5.18 el resumen de las funciones de distribución con sus errores estándar de ajuste así como la gráfica comparativa de los valores de precipitación máximos anuales, con la función de distribución elegida.

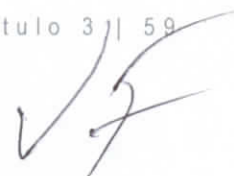


Tabla 3.5.18 Funciones de Distribución estación: Jalpa de Méndez

Periodo de Retorno	Normal	Log normal 2	Log normal 3		Gamma 2		Gamma 3		Gumbel		Exponencial 2		GVE	GG	MINIMO
	Momentos	Momentos	Momentos	Máx verosimilitud	Momentos	Máx verosimilitud	Momentos	Máx verosimilitud	Momentos	Máx verosimilitud	Momentos	Máx verosimilitud	Momentos		
2	148.00	137.89	133.80	138.86	139.70	141.29	130.34	140.63	137.93	138.55	129.20	113.01	135.61	131.58	
5	199.56	188.62	186.25	188.52	195.42	191.12	185.60	191.02	192.09	186.77	185.34	217.38	186.46	175.10	
10	226.54	222.22	224.69	220.60	229.73	221.32	226.94	221.95	227.94	218.69	227.82	296.33	223.38	221.49	
20	248.81	254.42	264.01	250.85	260.90	248.53	268.51	250.02	262.33	249.30	270.29	375.29	261.47	278.49	
50	273.88	296.27	318.42	289.56	299.21	281.71	324.12	284.46	306.85	288.94	326.44	479.66	314.96	354.40	
100	290.58	327.92	361.90	318.45	326.72	305.39	366.79	309.16	340.21	318.64	368.92	558.61	358.38	410.43	
500	324.39	402.69	471.92	385.56	387.46	357.30	468.06	363.63	417.30	387.27	467.54	741.94	470.95	538.43	
1000	337.38	435.77	523.62	414.80	412.66	378.71	512.63	386.21	450.44	416.77	510.02	820.90	525.13	593.22	
5000	364.94	515.21	654.79	484.10	469.70	426.94	618.32	437.27	527.35	485.25	608.64	1004.22	666.11	720.21	
10000	375.90	550.67	716.36	514.66	493.77	447.20	664.74	458.79	560.47	514.73	651.11	1083.18	734.06	774.84	
EEA	27.02	18.25	14.48	19.65	19.70	21.34	13.98	20.97	17.41	19.39	13.69	44.22	15.08	8.94	8.94

ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROLÓGICO PARA PROTEGER A LA POBLACIÓN DE INUNDACIONES
Y APROVECHAR MEJOR EL AGUA (PROHTAB)

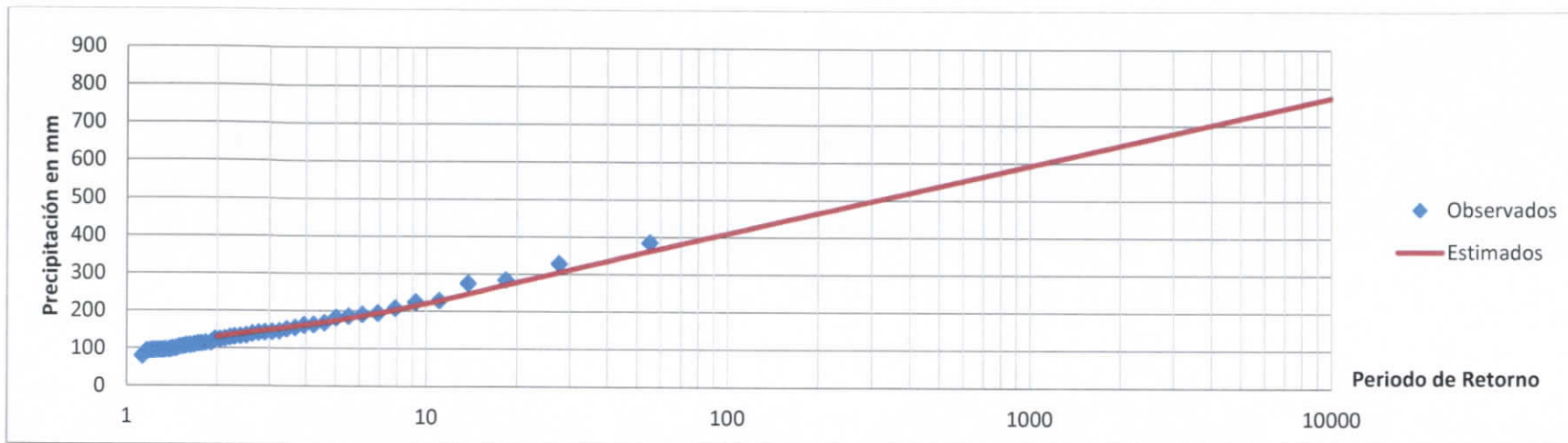


Figura 3.5.6 Función de Distribución Jalpa de Méndez

59

3.5.1.5 Cárdenas.

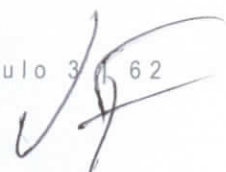
Para el municipio de Cárdenas se utilizó como estación base la “27008 – Cárdenas” la cual se encuentra en este momento operando. Sin embargo la estación no cuenta con datos completos, como se puede observar en la Tabla 3.5.19 de los 56 años solo algunos cuentan con datos diarios completos, por lo que fue necesario complementarlos con datos de estaciones aledañas que contarán con datos en las fechas necesarias.

Tabla 3.5.19 Datos climatológicos estación Cárdenas

Año	Número de datos diarios	Año	Número de datos diarios	Año	Número de datos diarios	Año	Número de datos diarios
1955	304	1970	365	1985	31	2000	
1956	354	1971	365	1986	99	2001	335
1957	304	1972	365	1987	174	2002	363
1958	357	1973	365	1988	365	2003	364
1959	293	1974	365	1989	328	2004	363
1960	365	1975	365	1990	365	2005	342
1961	365	1976	365	1991	335	2006	365
1962	365	1977	365	1992	366	2007	365
1963	365	1978	365	1993	365	2008	335
1964	365	1979	334	1994	365	2009	365
1965	365	1980	365	1995	365	2010	346
1966	365	1981	243	1996	366	2011	354
1967	365	1982	360	1997	365		
1968	366	1983	365	1998	364		
1969	365	1984	365	1999	365		

Para poder hacer un análisis de frecuencias es recomendable tener al menos 30 años de datos completos consecutivos por lo que para complementar los datos se utilizaron estaciones cercanas a no más de 30 km a la redonda de la estación a complementar¹⁶ (en casos donde no existan registros en fechas específicas se extraerá información de la estación más cercana que no necesariamente se encuentra a menos de 30 km).

¹⁶ (Organización Meteorológica Mundial, 2011)



En la figura 3.5.7 se observa la estación central "Cárdenas" y el área aceptable para la obtención de datos complementarios (las estaciones marcadas en rojo se encuentran suspendidas).

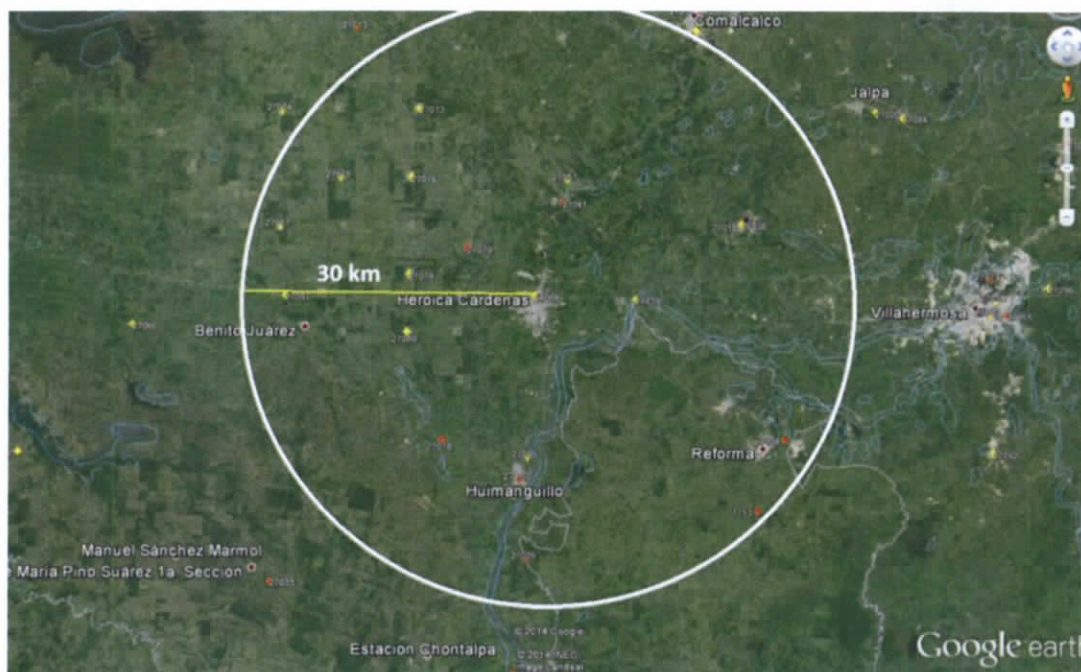


Figura 3.5.7 Área de Influencia de las estaciones complementarias a la estación Cárdenas

Se analizaron todas las estaciones dentro del área de influencia de "Cárdenas". Sin embargo, no todas eran necesarias para complementar la estación ya que solo es necesario las más representativas, estas son las que cuentan con datos en los años que la estación central no cuenta con un registro completo y para que representen el fenómeno de la precipitación en la región tienen que encontrarse lo más cerca a la estación central.

En la Tabla 3.5.20 se observa todas las estaciones dentro del área de influencia y en color amarillo las estaciones más representativas que se utilizaron para complementar los datos (estaciones con marcador amarillo de la figura 3.5.7).

Tabla 3.5.20 Estaciones dentro del área de influencia a la estación central: Cárdenas

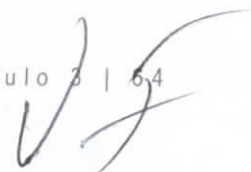
Estación	¿A utilizar?
27003	No
27007	No
27013	No
27026	No
27039	Si
27041	No
27051	No
27052	No
27060	No
27073	No
27074	No
27075	No
27076	No
27077	No
27078	Si
27079	No
27080	Si

Como se explica en la metodología se utilizó el criterio del inverso cuadrado de la distancia de las estaciones complementarias a la central por lo que se obtuvieron las distancias obteniendo la Tabla 3.5.21.

Tabla 3.5.21 Distancia de las estaciones complementarias a la central

Estación	Coordenadas en X (UTM)	Coordenadas en Y (UTM)	Distancia a la estación central (Km)
27008	460154.502	1990348.92	Estación central
27039	470504.987	1989931.11	10.37
27078	447192.142	1992623.06	13.23
27080	446940.721	1986630.72	13.63

Al tener las distancias se siguió el procedimiento descrito anteriormente para la obtención de los datos faltantes en la estación Cárdenas. Una vez que se finalizó la metodología y se tenían al menos 30 años con datos completos se obtuvo la precipitación máxima de



cada año para formar la Tabla 3.5.22, la cual nos indica los máximos anuales de la estación Cárdenas.

Corrección por intervalo fijo de observación

L.L Weiss con base a un estudio de miles estaciones-año de datos lluvia, encontró que los resultados de un análisis probabilístico llevado a cabo con las lluvias máximas anuales tomadas en un único y fijo intervalo de observación, para cualquier duración comprendida entre 1 y 24 horas, al ser incrementados en un 13% conducían a magnitudes más aproximadas a las obtenidas en el análisis basado en lluvias máximas verdaderas. De acuerdo a lo anterior, el valor representativo adoptado para la cuenta deberá ser multiplicado por 1.13 para ajustarlo por intervalo fijo y único de observación, pues los registros de lluvias máximas diarias, se toman de 8 A.M. de un día a 8 A.M. del día siguiente y entonces, con tal corrección la lluvia representativa se convierte en lluvia máxima en 24 horas de determinado periodo de retorno.

Tabla 3.5.22 Valores de precipitación máxima anual estación Cárdenas

Año	Valor máximo de precipitación anual	Lluvia máx en 24 h.	Año	Valor máximo de precipitación anual	Lluvia máx en 24 h.
1955	275.0	310.8	1984	158.3	178.9
1956	280.0	316.4	1985	60.4	68.2
1957	175.0	197.8	1986	79.8	90.2
1958	185.0	209.1	1987	122.0	137.9
1959	131.0	148.0	1988	106.0	119.8
1960	101.9	115.1	1989	111.5	126.0
1961	97.5	110.2	1990	93.5	105.7
1962	106.5	120.3	1991	220.0	248.6
1963	125.3	141.6	1992	170.5	192.7
1964	185.0	209.1	1993	100.5	113.6
1965	82.7	93.5	1994	115.5	130.5
1966	115.4	130.4	1995	155.0	175.2
1967	130.1	147.0	1996	130.5	147.5
1968	106.0	119.8	1997	160.5	181.4
1969	97.9	110.6	1998	143.5	162.2
1970	236.7	267.5	1999	203.0	229.4

Año	Valor máximo de precipitación anual	Lluvia máx en 24 h.	Año	Valor máximo de precipitación anual	Lluvia máx en 24 h.
1971	76.6	86.6	2000	75.4	85.1
1972	168.0	189.8	2001	159.2	179.9
1973	148.0	167.2	2002	143.5	162.2
1974	161.1	182.0	2003	72.5	81.9
1975	165.5	187.0	2004	76.0	85.9
1976	327.6	370.2	2005	115.0	130.0
1977	149.0	168.4	2006	110.0	124.3
1978	85.5	96.6	2007	263.0	297.2
1979	192.0	217.0	2008	300.0	339.0
1980	188.2	212.7	2009	190.0	214.7
1981	106.4	120.2	2010	90.0	101.7
1982	120.5	136.2	2011	290.0	327.7
1983	90.8	102.6			

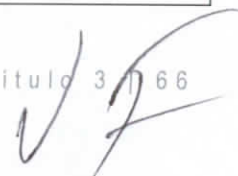
Para el cálculo de las pruebas de homogeneidad y de independencia se utilizó el software computacional "AFA V.1.1." el cual fue desarrollado por la SEMARNAT y en específico por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

Los datos máximos anuales obtenidos anteriormente sirven como insumo para el programa el cual generó: el análisis de homogeneidad, el análisis de independencia, y las funciones de distribuciones.

Análisis de homogeneidad.

Los resultados del AFA fueron los siguientes:

Prueba de Helmert	
Número de datos de la muestra N	57.0
Media de la muestra	167.0
Número de Secuencias S	32.0
Número de cambios C	24.0
La serie se considera homogénea si se cumple:	
Raíz (N-1) ≤ (S-C) ≤ Raíz(N-1) o bien (S-C) ≤ Abs(Raíz(N-1))	
Como (S-C) = -> = abs (Raíz(N-1)) = 7.48 La muestra es no Homogénea	



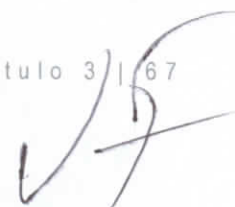
ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROLÓGICO PARA PROTEGER A LA
POBLACIÓN DE INUNDACIONES Y APROVECHAR MEJOR EL AGUA
(PROHTAB)

Prueba de T student	
Número de datos del conjunto 1	28.00
Media del conjunto 1	174.32
Desviación estándar del conjunto 1	71.83
Número de datos del conjunto 2	29.00
Media del conjunto 2	160.00
Desviación estándar del conjunto 2	72.19
El valor del estadístico de prueba es Td	0.74
El valor del estadístico de T de student para un nivel de significancia del 5% y 55 grados de libertad es Tstud	2.00
Como $T_d < T_{stud}$, entonces la muestra es homogénea	

Prueba de Cramer	
Bloque 1 (60% de la muestra)	
Número de valores N60	34.000
Media aritmética	159.491
Tao 60	-0.105
Estadístico de prueba T60	8.690
Bloque 2 (30% de la muestra)	
Número de valores N30	17.000
Media aritmética	177.950
Tao 30	0.152
Estadístico de prueba T30	3.590
Grados de libertad	49.000
Valor de la T de Student T	2.010
Como $T_{60} > T$	
El bloque 1 es no homogéneo	
Como $T_{30} > T$	
El bloque 2 es no homogéneo.	

Análisis de Independencia.

Los resultados fueron los siguientes.



k= 19

Tabla 3.5.23 Resultados Análisis de Independencia: Cárdenas

Tiempo de Retraso k	Coeficiente de Auto correlación rk	Límites de confianza (95%)	
		Inferior	Superior
1	0.186	-0.277	0.242
2	0.027	-0.28	0.244
3	0.123	-0.283	0.246
4	0.071	-0.286	0.248
5	-0.213	-0.288	0.25
6	0.002	-0.291	0.252
7	-0.117	-0.294	0.254
8	-0.082	-0.298	0.257
9	-0.111	-0.301	0.259
10	-0.058	-0.304	0.262
11	-0.172	-0.308	0.264
12	0.033	-0.311	0.267
13	-0.168	-0.315	0.269
14	-0.093	-0.319	0.272
15	0.041	-0.323	0.275
16	0.062	-0.327	0.278
17	0.083	-0.331	0.281
18	0.023	-0.335	0.284
19	0.063	-0.34	0.287

Número de valores de rk que quedan fuera de los límites de confianza 0

Como el número de valores de rk que quedan fuera de los límites de confianza es menor al 10% del número de datos, entonces la muestra es independiente.

Funciones de Distribución: Para la obtención de las funciones de distribución se utilizó el software AFA V.1.1. y las funciones de Distribución utilizadas son la Normal, Log Normal de 2 parámetros, Log Normal de 3 parámetros, Gamma de 2 parámetros, Gamma de 3 parámetros, Gumbel, Exponencial 2 parámetros, General de Valores Extremos y la Gumbel Doble.

Al ir obteniendo los resultados de las distintas funciones de distribución, se obtuvieron las precipitaciones de diseño para diferentes tipos de periodos de retorno (2, 5, 10, 20, 50,

100, 500, 1000, 5000, 10000), así como el periodo de retorno asignado a los valores de precipitación máximo anual.

En el mismo análisis se obtuvo el "Error Estándar de Ajuste" para cada función de distribución y se tomó el más bajo para ser usado en las curvas IDT. A continuación se muestra en la Tabla 3.5.24 el resumen de las funciones de distribución con sus errores estándar de ajuste así como la gráfica comparativa de los valores de precipitación máximos anuales, con la función de distribución elegida.

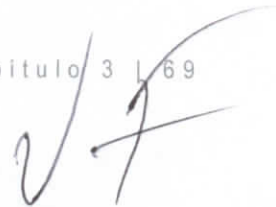


Tabla 3.5.24 Funciones de Distribución

Periodo de Retorno	Normal	Log. normal 2	Log. normal 3		Gamma 2		Gamma 3		Gumbel		Exponencial 2		GVE		GG	MINIMO
	Momentos	Momentos	Momentos	Máx. Ver.	Momentos	Máx. Ver.	Momentos	Máx. Ver.	Momentos	Máx. Ver.	Momentos	Máx. Ver.	Momentos	Máx. Ver.		
2	167.04	153.84	155.27	148.83	156.98	158.28	154.05	165.95	155.25	154.29	145.02	136.14	162.31	148.79	148.57	
5	227.40	215.43	219.29	214.27	222.31	219.02	219.94	225.12	218.65	212.27	210.76	228.32	179.92	209.18	211.86	
10	258.98	256.92	261.06	263.30	262.75	256.22	262.74	256.71	260.62	250.66	260.48	298.05	191.52	254.86	297.67	
20	285.06	297.14	300.73	314.18	299.62	289.93	302.79	283.11	300.88	287.48	310.20	367.78	202.61	303.50	324.92	
50	314.40	349.97	351.79	385.61	345.05	331.26	353.28	313.17	353.00	335.14	375.93	459.96	216.90	374.33	346.36	
100	333.95	390.30	390.11	443.37	377.75	360.88	390.29	333.42	392.05	370.86	425.66	529.69	227.57	433.91	361.58	
500	373.53	486.72	479.74	591.80	450.13	426.12	473.87	374.91	482.30	453.39	541.11	691.60	252.07	596.46	400.36	
1000	388.74	529.81	519.04	662.49	480.23	453.15	509.21	391.04	521.09	488.87	590.84	761.34	262.54	678.65	420.32	
5000	421.00	634.27	612.68	844.05	548.46	514.21	590.44	425.59	611.13	571.22	706.29	923.25	286.71	903.74	476.65	
10000	433.83	681.31	654.18	930.22	577.28	539.93	625.17	439.46	649.91	606.68	756.02	992.98	297.06	1017.70	503.91	
EEA	22.29	12.46	11.90	10.22	12.78	15.11	11.01	21.51	11.83	15.42	12.73	22.48	54.69	8.59	6.16	6.16

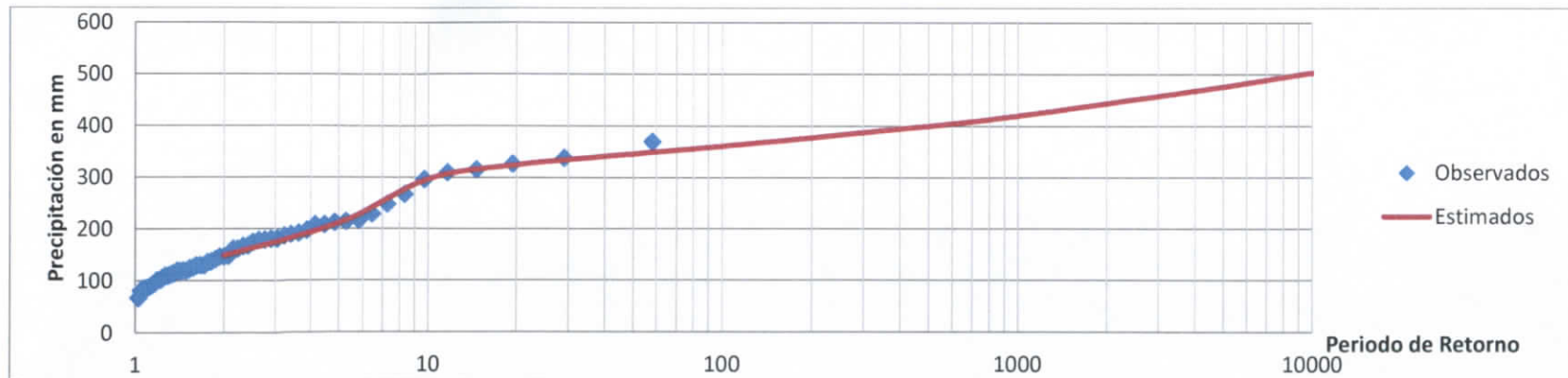


Figura 3.5.8 Función de Distribución estación Cárdenas.

3.5.1.6 Cunduacán.

Para el municipio de Cunduacán se utilizó como estación base la “27010 – Cunduacán” la cual se encuentra en este momento operando. Sin embargo la estación no cuenta con datos completos, como se puede observar en la Tabla 3.5.25 de los 48 años solo algunos cuentan con datos diarios completos, por lo que fue necesario complementarlos con datos de estaciones aledañas que contarán con datos en las fechas necesarias.

Tabla 3.5.25 Datos climatológicos estación Cunduacán

Año	Número de datos diarios	Año	Número de datos diarios	Año	Número de datos diarios	Año	Número de datos diarios
1964	119	1977	365	1990		2003	
1965	365	1978	365	1991		2004	
1966	365	1979	151	1992		2005	
1967	365	1980	61	1993		2006	
1968	366	1981	334	1994		2007	
1969	365	1982	365	1995		2008	
1970	365	1983	304	1996		2009	
1971	365	1984		1997		2010	
1972	365	1985		1998		2011	
1973	365	1986		1999			
1974	365	1987		2000			
1975	365	1988		2001			
1976	365	1989		2002			

Para poder hacer un análisis de frecuencias es recomendable tener al menos 30 años de datos completos consecutivos por lo que para complementar los datos se utilizaron estaciones cercanas a no más de 30 km a la redonda de la estación a complementar¹⁷ (en casos donde no existan registros en fechas específicas se extraerá información de la estación más cercana que no necesariamente se encuentra a menos de 30 km). En la Figura 3.5.9 se observa la estación central “Cunduacán” y el área aceptable para la obtención de datos complementarios (las estaciones marcadas en rojo se encuentran suspendidas).

¹⁷ (Organización Meteorológica Mundial, 2011)

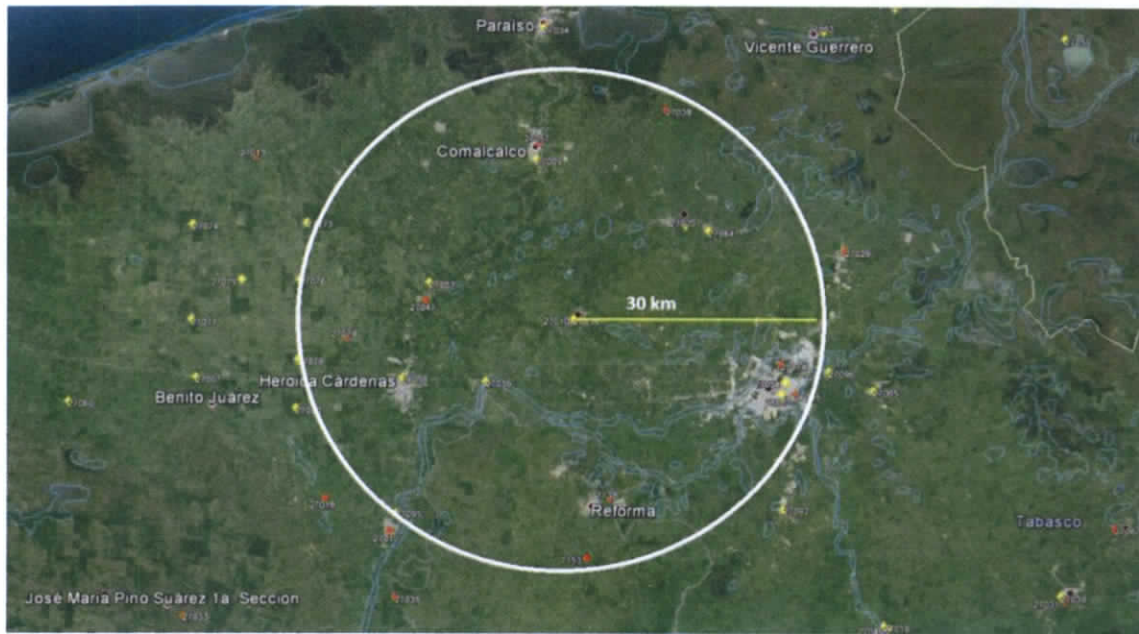


Figura 3.5.9 Área de Influencia de las estaciones complementarias a la estación Cunduacán

Se analizaron todas las estaciones dentro del área de influencia de "Cunduacán" Sin embargo no todas eran necesarias para complementar la estación ya que solo es necesario las más representativas, estas son las que cuentan con datos en los años que la estación central no cuenta con un registro completo y para que representen el fenómeno de la precipitación en la región tienen que encontrarse lo más cerca a lo estación central.

En la Tabla 3.5.26 se observa todas las estaciones dentro del área de influencia más representativa que se utilizaron para complementar los datos (estaciones con marcador amarillo de la figura 3.5.9).

Tabla 3.5.26 Estaciones dentro del área de influencia a la estación central

Estación	¿A utilizar?
27008	Si
27009	Si
27020	Si
27039	Si

ESTUDIO PARA EL PROYECTO HIDROLÓGICO PARA PROTEGER A LA
POBLACIÓN DE INUNDACIONES Y APROVECHAR MEJOR EL AGUA
(PROHTAB)

Estación	¿A utilizar?
27041	Si
27051	Si

Como se explica en la metodología se utilizó el criterio del inverso cuadrado de la distancia de las estaciones complementarias a la central por lo que se obtuvieron las distancias obteniendo la Tabla 3.5.27.

Tabla 3.5.27 Distancia de las estaciones complementarias a la central

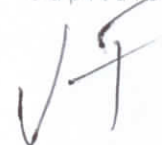
Estación	Coordenadas en X (UTM)	Coordenadas en Y (UTM)	Distancia (Km)
27010	481480.992	1997570.08	Estación central
27008	460154.502	1990348.92	22.52
27009	447192.142	1992623.06	34.64*
27020	495240.813	2009178.83	18.00
27039	470504.987	1989931.11	13.37
27041	462995.663	1999932.04	18.64
27051	463499.583	2002205.34	18.57

* Se utilizó una estación con una distancia mayor a los 30 kilómetros para poder utilizar los datos de precipitación en periodos de datos faltantes en las demás estaciones

Al tener las distancias se siguió el procedimiento descrito anteriormente para la obtención de los datos faltantes en la estación Frontera. Una vez que se finalizó la metodología y se tenían al menos 30 años con datos completos se obtuvo la precipitación máxima de cada año para formar la Tabla 3.5.28, la cual nos indica los máximos anuales de la estación Cunduacán.

Tabla 3.5.28 Valores de precipitación máxima anual estación Cunduacán

Año	Valor	Valor*1.13	Año	Valor	Valor*1.13
1964	143.50	162.16	1988	92.09	104.06
1965	142.50	161.03	1989	84.59	95.59
1966	78.00	88.14	1990	79.07	89.34
1967	150.60	170.18	1991	123.29	139.32



Año	Valor	Valor*1.13	Año	Valor	Valor*1.13
1968	82.20	92.89	1992	132.97	150.25
1969	81.30	91.87	1993	111.35	125.83
1970	165.20	186.68	1994	63.84	72.14
1971	92.50	104.53	1995	160.84	181.74
1972	159.30	180.01	1996	154.82	174.94
1973	106.50	120.35	1997	84.35	95.32
1974	240.50	271.77	1998	99.93	112.92
1975	229.50	259.34	1999	160.68	181.57
1976	274.50	310.19	2000	97.69	110.39
1977	112.20	126.79	2001	78.36	88.55
1978	97.40	110.06	2002	63.69	71.97
1979	123.78	139.87	2003	95.48	107.89
1980	233.07	263.36	2004	49.93	56.42
1981	104.00	117.52	2005	81.49	92.08
1982	154.00	174.02	2006	67.09	75.81
1983	124.00	140.12	2007	165.08	186.54
1984	122.62	138.56	2008	182.14	205.81
1985	101.13	114.28	2009	167.26	189.00
1986	73.00	82.49	2010	76.17	86.08
1987	187.00	211.31	2011	141.90	160.35

Para el cálculo de las pruebas de homogeneidad y de independencia se utilizó el software computacional "AFA V.1.1." el cual fue desarrollado por la SEMARNAT y en específico por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

Los datos máximos anuales obtenidos anteriormente sirven como insumo para el programa el cual generó: el análisis de homogeneidad, el análisis de independencia, y las funciones de distribuciones.

Análisis de homogeneidad.

Los resultados del AFA fueron los siguientes:

Prueba de Helmert	
Número de datos de la muestra N	48.0
Media de la muestra	141.1
Número de Secuencias S	23.0
Número de cambios C	24.0

Prueba de Helmert	
La serie se considera homogénea si se cumple:	
Raíz (N-1) ≤ (S-C) ≤ Raíz(N-1) o bien (S-C) ≤ Abs(Raíz(N-1))	
Como (S-C) = -1 ≤ abs (Raíz(N-1)) = 6.86 La muestra es Homogénea	

Prueba de T student	
Número de datos del conjunto 1	24.00
Media del conjunto 1	159.06
Desviación estándar del conjunto 1	63.71
Número de datos del conjunto 2	24.00
Media del conjunto 2	123.00
Desviación estándar del conjunto 2	44.76
El valor del estadístico de prueba es Td	2.22
El valor del estadístico de T de student para un nivel de significancia del 5% y 55 grados de libertad es Tstud	2.01
Como Td > Tstud, entonces la muestra es no homogénea	

Prueba de Cramer	
Bloque 1 (60% de la muestra)	
Número de valores N60	29.000
Media aritmética	125.540
Tao 60	-0.270
Estadístico de prueba T60	21.370
Bloque 2 (30% de la muestra)	
Número de valores N30	14.000
Media aritmética	123.250
Tao 30	-0.310
Estadístico de prueba T30	6.123
Grados de libertad	41.000
Valor de la T de Student T	2.020
Como T60 < T	
El bloque 1 es no homogéneo	
Como T30 < T	
El bloque 2 es no homogéneo.	

Análisis de Independencia.

Los resultados fueron los siguientes.

k= 16

Tabla 3.5.29 Resultados Análisis de Independencia

Tiempo de Retraso k	Coeficiente de Auto correlación rk	Límites de confianza (95%)	
		Inferior	Superior
1	0.21	-0.304	0.262
2	0.129	-0.308	0.264
3	-0.036	-0.311	0.267
4	0.231	-0.315	0.269
5	0.018	-0.319	0.272
6	-0.033	-0.323	0.275
7	-0.072	-0.327	0.278
8	0.06	-0.331	0.281
9	-0.057	-0.335	0.284
10	-0.124	-0.34	0.287
11	-0.009	-0.345	0.291
12	0.125	-0.35	0.294
13	0.054	-0.355	0.298
14	-0.262	-0.361	0.302
15	0.008	-0.366	0.306
16	0.087	-0.372	0.31

Número de valores de rk que quedan fuera de los límites de confianza 0

Como el número de valores de rk que quedan fuera de los límites de confianza es menor al 10% del número de datos, entonces la muestra es independiente.

Funciones de Distribución: Para la obtención de las funciones de distribución se utilizó el software AFA V.1.1. y las funciones de Distribución utilizadas son la Normal, Log Normal de 2 parámetros, Log Normal de 3 parámetros, Gamma de 2 parámetros, Gamma de 3 parámetros, Gumbel, Exponencial 2 parámetros, General de Valores Extremos y la Gumbel Doble. Al ir obteniendo los resultados de las distintas funciones de distribución, se obtuvieron las precipitaciones de diseño para diferentes tipos de periodos de retorno (2, 5,

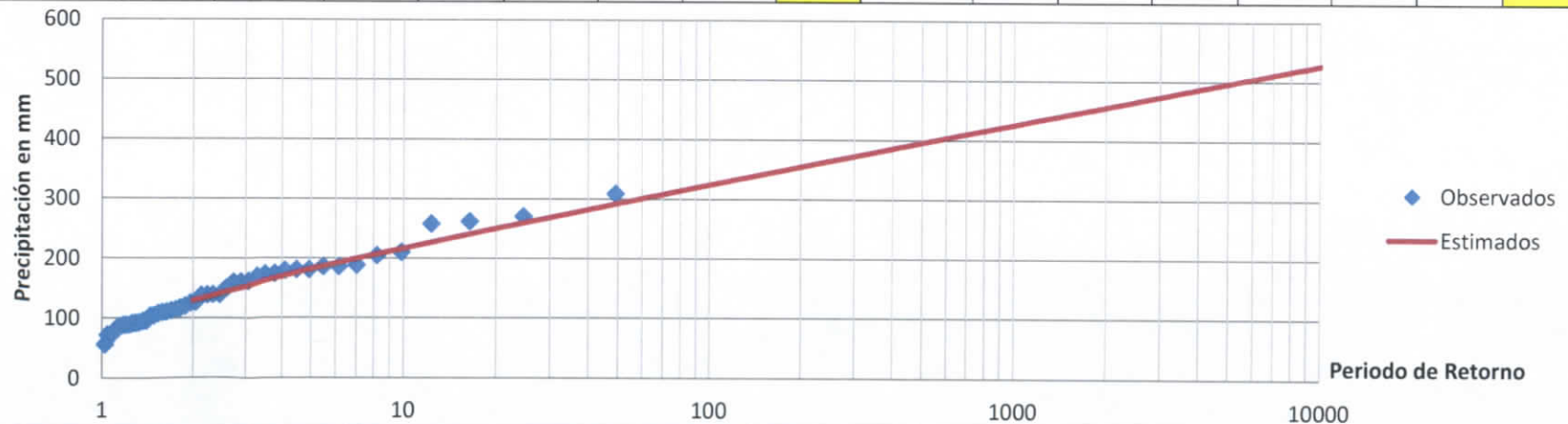
10, 20, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000), así como el periodo de retorno asignado a los valores de precipitación máximo anual.

En el mismo análisis se obtuvo el “Error Estándar de Ajuste” para cada función de distribución y se tomó el más bajo para ser usado en las curvas IDT. A continuación se muestra la Tabla 3.5.30 resumen de las funciones de distribución con sus errores estándar de ajuste así como la gráfica comparativa de los valores de precipitación máximos anuales, con la función de distribución elegida.



Tabla 3.5.30 Funciones de Distribución

Periodo de Retorno	Normal	Log. normal 2	Log. normal 3		Gamma 2		Gamma 3		Gumbel		Exponencial 2		GVE		GG	MINIMO
	Momentos	Momentos	Momentos	Máx. Ver.	Momentos	Máx. Ver.	Momentos	Máx. Ver.	Momentos	Máx. Ver.	Momentos	Máx. Ver.	Momentos	Máx. Ver.		
2	141.08	130.80	132.18	128.09	133.43	134.26	131.37	129.58	13411503.30	131.64	131.03	123.46	114.50	134.33	126.30	
5	189.40	181.03	183.50	180.51	185.61	183.40	184.01	182.54	11398646.14	182.39	179.01	176.07	193.75	167.40	182.30	
10	214.68	214.59	216.54	218.05	217.65	213.33	217.73	217.74	10430775.93	215.99	210.77	215.87	253.70	188.99	214.13	
20	235.55	246.93	247.64	255.88	246.72	240.36	249.05	251.07	-9674291.65	248.22	241.24	255.68	313.65	209.47	241.61	
50	259.03	289.19	287.34	307.50	282.41	273.39	288.26	293.53	-8867897.08	289.93	280.68	308.29	392.90	235.66	275.43	
100	274.69	321.30	316.92	348.22	308.01	297.01	316.85	324.90	-8356098.18	321.19	310.23	348.10	452.85	255.04	300.23	
500	306.37	397.61	385.48	449.66	364.46	348.90	381.05	396.37	-7381274.58	393.43	378.52	440.52	592.05	299.08	357.01	
1000	318.54	431.54	415.30	496.68	387.87	370.34	408.08	426.82	-7027841.82	424.49	407.88	480.32	652.00	317.68	381.36	
5000	344.37	513.42	485.83	614.49	440.79	418.71	469.94	497.21	-6315872.10	496.57	476.02	572.74	791.21	360.13	437.93	
10000	354.64	550.13	516.88	669.16	463.10	439.05	496.30	527.45	-6046621.70	527.60	505.36	612.54	851.16	378.09	462.31	
EEA	16.60	9.48	9.47	9.47	9.98	11.55	8.98	8.49	14195039.02	9.22	11.13	11.36	22.62	24.73	11.15	8.49



3.6 Curvas Precipitación-Intensidad-Periodo de retorno (iDT)

En este apartado se presentarán las curvas iDT (Intensidad-Duración-Periodo de Retorno), las cuales son obtenidas de los resultados del análisis de frecuencias presentado anteriormente.

Los eventos de diseño asociados a cierto periodo de retorno se estiman a través de la modelación de variables hidrológicas ya sean escurrimientos (Gastos máx. Anuales) o mediante las relaciones lluvia-escurrimiento donde la variable analizada es la precipitación. El impulso (intensidad de lluvia) de un modelo lluvia-escurrimiento se obtiene estableciendo relaciones entre las lluvias de determinada duración y periodo de retorno.

Cuando solo se dispone de pluviógrafos se debe obtener la relación empírica:

$$R = \frac{hp_{1h}^2}{hp_{24h}^2} \quad [3.6.2]$$

Dónde:

R Relación empírica entre una lluvia de 2 horas y una de 24 horas para un periodo de retorno de 2 años.

hp_{1h}^2 Lluvia de duración de una hora y periodo de retorno de 2 años

hp_{24h}^2 Lluvia de duración de 24 horas y periodo de retorno de 2 años

El procedimiento de obtención¹⁸ se describe a continuación:

PASO 1) Seleccionar los periodos de retorno que tendrán las curvas.

PASO 2) Calcular los valores representativos para la cuenca en estudio, de la lluvia vía máxima en 24 horas para los periodos de retorno de las curvas y para el de 2 años.

¹⁸ (Campos Aranda, 1998)