



5. Aplicaciones

Se desea determinar el potencial erosivo de la lluvia en dos sitios de la cuenca del Papaloapan para ello será necesario construir las curvas *i-d-T*, considerando los registros proporcionados en la estación Papaloapan, Oaxaca (Tabla 5.1), que se localiza en las coordenadas de Latitud $18^{\circ} 10'$ y Longitud $96^{\circ} 05'$, y se encuentra asentada a una altitud de 22 msnm, y la estación Ciudad Miguel Alemán Veracruz (Tabla 5.2) que se localiza en las coordenadas de Latitud $18^{\circ} 11'$, Longitud $96^{\circ} 05'$ y con altitud de 29 msnm. Estas estaciones fueron instaladas por la extinta Comisión del Papaloapan en el mes de mayo de 1947 y febrero de 1951 respectivamente.

Para calcular el potencial erosivo, primero se determinará la familia de curvas intensidad-duración-periodo de retorno empleando dos metodologías:

- a) técnica de regresión lineal simple, y
- b) análisis de eventos máximos anuales

Para establecer con cuál de los procesos anteriores se tiene mejor precisión sobre un evento que se desea estimar para los diferentes periodos de retorno que demanden las obras civiles

Conocidas las curvas *i-d-T* se calculará la energía cinética de la lámina de lluvia precipitable para calcular el valor del potencial erosivo.

5.1 Curvas *i-d-T* empleando la técnica de regresión lineal simple.

Los datos requeridos para la construcción de la familia de curvas son los valores de intensidad para las estaciones Papaloapan y Ciudad Miguel Alemán en la tabla 5.1 y 5.2 se muestran dichos valores.





Año	Duración d (minutos)									
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1948	168.0	126.0	110.8	90.0	67.4	53.9	53.4	45.5	36.7	30.7
1949	240.0	180.0	160.0	141.0	110.8	89.4	75.0	62.6	52.7	44.3
1950	120.0	94.8	80.0	63.3	56.0	41.1	31.4	27.4	28.1	25.0
1951	216.0	132.0	136.0	120.0	104.0	75.4	60.0	47.3	44.3	38.5
1952	174.0	133.2	121.6	109.2	94.4	79.5	64.7	53.2	47.7	43.5
1953	138.0	108.0	84.0	78.0	61.0	54.1	53.5	48.8	47.0	41.3
1954	150.0	124.0	108.0	92.7	73.8	56.1	43.7	34.3	32.4	28.8
1955	258.0	183.0	170.0	147.0	116.0	95.0	73.6	57.0	48.4	41.3
1956	216.0	165.0	136.0	112.5	94.0	82.5	74.7	62.6	54.1	45.5
1957	198.0	144.0	120.0	111.0	87.8	73.8	57.8	43.5	34.8	29.0
1958	144.0	108.0	98.0	88.5	72.0	65.2	54.0	58.9	54.0	47.0
1959	132.0	109.2	94.0	81.0	68.0	58.1	53.4	47.6	45.6	42.0
1960	214.8	127.8	94.4	90.0	80.0	71.6	63.5	59.6	51.4	44.9
1961	204.0	119.0	93.2	85.5	77.0	63.2	62.5	58.5	56.7	50.0
1962	140.4	108.0	90.0	92.1	79.0	72.0	56.8	43.7	35.7	30.3
1963	138.0	120.0	98.0	90.0	80.4	63.2	56.5	48.4	45.3	40.3
1964	168.0	121.8	104.0	96.0	89.4	75.9	68.1	67.4	55.4	16.3
1965	162.0	161.4	146.0	145.5	120.6	90.6	70.1	54.0	43.4	36.2
1966	180.0	180.0	178.4	177.0	166.0	138.3	107.0	80.8	64.6	53.9
1967	102.0	93.0	87.2	87.0	83.0	66.5	53.7	46.9	40.0	33.3
1968	156.0	120.0	106.0	105.6	89.0	68.5	58.0	43.5	34.8	30.3
1969	180.0	177.0	172.0	171.0	144.0	124.4	107.5	89.3	77.8	66.4
1970	114.0	111.0	96.0	85.5	72.0	65.2	55.0	47.6	44.5	44.5

Tabla 5.1 Valores de intensidades máximas anuales i (mm/h) para diferentes duraciones en la estación climatológica Papalopan.





Año	Duración d (minutos)									
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120
1956	240	153	120	94.2	68	60	51	46.5	39.5	33.3
1957	192	130.8	91.2	93.9	66.6	70.5	51	48.4	39.2	32.9
1958	186	123	107	88.5	78	79.8	71.2	58.9	54	47
1959	180	150	120	120	120	119.7	118	106.5	105	96
1960	174	120	115.2	116.4	91.4	72	57.5	50.3	49.5	42.1
1961	240	171	120	120	114	96.7	80.7	61.4	49.1	41.1
1962	120	120	120	110.7	81.8	58	43.8	33.5	27.6	23.1
1963	180	180	160	150	120	79.8	60	45	36	30
1964	114	107.4	81.6	69.3	61	57.9	54.6	51.8	47.4	39.7
1965	240	180	169	151.5	139.2	109	109	97.2	77.8	64.8
1966	240	210	204.8	204.6	196.6	144	110.3	86.1	70.6	59.7
1967	144	143.4	143.2	143.1	120.8	88.4	67.4	50.8	41.7	35.6
1968	156	144	120	120	95	68.9	54	43.5	36.6	32
1969	180	180	160	126	110	87.1	67	58.5	48	40
1970	240	135	120	105	100	79.8	73	67.5	54.7	45.6

Tabla 5.2 Valores de intensidades máximas anuales i (mm/h) para diferentes duraciones en la estación climatológica Cd. Miguel Alemán.

Ordenando los datos de mayor a menor, asignando un periodo de retorno y probabilidad de no excedencia para ambas estaciones se tiene:

Año	Duración d (minutos)										T (años)	$F(x)$
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120		
1948	258.0	183.0	178.4	177.0	166.0	138.3	107.5	89.3	77.8	66.4	24.00	0.9583
1949	240.0	180.0	172.0	171.0	144.0	124.4	107.0	80.8	64.6	53.9	12.00	0.9167
1950	216.0	180.0	170.0	147.0	120.6	95.0	75.0	67.4	56.7	50.0	8.00	0.8750
1951	216.0	177.0	160.0	145.5	116.0	90.6	74.7	62.6	55.4	47.0	6.00	0.8333
1952	214.8	165.0	146.0	141.0	110.8	89.4	73.6	62.6	54.1	45.5	4.80	0.7917
1953	204.0	161.4	136.0	120.0	104.0	82.5	70.1	59.6	54.0	44.9	4.00	0.7500
1954	198.0	144.0	136.0	112.5	94.4	79.5	68.1	58.9	52.7	44.5	3.43	0.7083
1955	180.0	133.2	121.6	111.0	94.0	75.9	64.7	58.5	51.4	44.3	3.00	0.6667
1956	180.0	132.0	120.0	109.2	89.4	75.4	63.5	57.0	48.4	43.5	2.67	0.6250
1957	174.0	127.8	110.8	105.6	89.0	73.8	62.5	54.0	47.7	42.0	2.40	0.5833
1958	168.0	126.0	108.0	96.0	87.8	72.0	60.0	53.2	47.0	41.3	2.18	0.5417
1959	168.0	124.0	106.0	92.7	83.0	71.6	58.0	48.8	45.6	41.3	2.00	0.5000
1960	162.0	121.8	104.0	92.1	80.4	68.5	57.8	48.4	45.3	40.3	1.85	0.4583
1961	156.0	120.0	98.0	90.0	80.0	66.5	56.8	47.6	44.5	38.5	1.71	0.4167

Tabla 5.3 Intensidades de lluvia ordenadas de mayor a menor en la estación Papaloapan.





Año	Duración d (minutos)										T (años)	$F(x)$
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120		
1962	150.0	120.0	98.0	90.0	79.0	65.2	56.5	47.6	44.3	36.2	1.60	0.3750
1963	144.0	119.0	96.0	90.0	77.0	65.2	55.0	47.3	43.4	33.3	1.50	0.3333
1964	140.4	111.0	94.4	88.5	73.8	63.2	54.0	46.9	40.0	30.7	1.41	0.2917
1965	138.0	109.2	94.0	87.0	72.0	63.2	53.7	45.5	36.7	30.3	1.33	0.2500
1966	138.0	108.0	93.2	85.5	72.0	58.1	53.5	43.7	35.7	30.3	1.26	0.2083
1967	132.0	108.0	90.0	85.5	68.0	56.1	53.4	43.5	34.8	29.0	1.20	0.1667
1968	120.0	108.0	87.2	81.0	67.4	54.1	53.4	43.5	34.8	28.8	1.14	0.1250
1969	114.0	94.8	84.0	78.0	61.0	53.9	43.7	34.3	32.4	25.0	1.09	0.0833
1970	102.0	93.0	80.0	63.3	56.0	41.1	31.4	27.4	28.1	16.3	1.04	0.0417

Tabla 5.3 Continuación. Intensidades de lluvia ordenadas de mayor a menor en la estación Papaloapan.

Año	Duración d (minutos)										T (años)	$F(x)$
	5	10	15	20	30	45	60	80	100	120		
1956	240	210	204.8	204.6	196.6	199.7	118	106.5	105	96	18	0.937
1957	240	180	160	151.5	139.2	144	110.3	97.2	77.8	64.8	8	0.875
1958	240	180	160	150	120.8	109	109	86.1	70.6	59.7	5.33	0.812
1959	240	180	160	143.1	120	96.7	80.7	67.5	54.7	47	4	0.75
1960	240	171	143.2	126	120	88.4	73	61.4	54	45.6	3.2	0.687
1961	192	153	120	120	114	87.1	71.2	58.9	49.5	42.1	2.67	0.625
1962	186	150	120	120	110	79.8	67.4	58.5	49.1	41.1	2.286	0.563
1963	180	144	120	120	100	79.8	67	51.8	48	40	2	0.5
1964	180	143.4	120	116.4	95	79.8	60	50.8	47.4	39.7	1.778	0.437
1965	180	135	120	110.7	91.4	72	57.5	50.3	41.7	35.6	1.6	0.375
1966	174	130.8	120	105	81.8	70.5	54.6	48.4	39.5	33.3	1.454	0.312
1967	156	123	115.2	94.5	78	68.9	54	46.5	39.2	32.9	1.333	0.25
1968	14	120	107	93.9	68	60	51	45	36.6	32	1.23	0.188
1969	120	120	91.2	88.5	66.6	58	51	43.5	36	30	1.143	0.125
1970	114	107.4	81.6	69.3	61	57.9	43.8	33.5	27.6	23.1	1.067	0.062

Tabla 5.4. Intensidades de lluvia ordenadas de mayor a menor en la estación Cd. Miguel Alemán.

Se aplicará un modelo del tipo $i_d^T = \frac{KT^m}{d^n}$, el cual puede linealizarse de tal forma que se obtengan las constantes m y n mediante un modelo de regresión lineal múltiple:





$$\ln(i_d^T) = \ln(K) + m\ln(T) + n\ln(d) \quad 5.1$$

Finalmente

$$Y = a_1 + a_2 X_1 + a_3 X_2 \quad 5.2$$

Con los valores de las Tablas 5.3 y 5.4 se obtienen las siguientes variables

i_d^T	T	d	$\ln(i_d^T)$	$\ln(T)$	$\ln(d)$
(mm/h)	(años)	(min)	Y	X_1	X_2
258.0	24.00	5	5.553	3.178	1.609
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
102.0	1.04	5	4.625	0.043	1.609
183.0	24.00	10	5.209	3.178	2.303
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
93.0	1.04	10	4.533	0.043	2.303
178.4	24.00	15	5.184	3.178	2.708
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
80.0	1.04	15	4.382	0.043	2.708
177.0	24.00	20	5.176	3.178	2.996
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
63.3	1.04	20	4.148	0.043	2.996
166.0	24.00	30	5.112	3.178	3.401
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
56.0	1.04	30	4.025	0.043	3.401
138.3	24.00	45	4.929	3.178	3.807
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
41.1	1.04	45	3.716	0.043	3.807
107.5	24.00	60	4.677	3.178	4.094
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
31.4	1.04	60	3.447	0.043	4.094

Tabla 5.5 Variables transformadas para el ajuste por correlación lineal múltiple para la estación Papaloapan.





i_d^T	T	d	$Ln(i_d^T)$	$Ln(T)$	$Ln(d)$
(mm/h)	(años)	(min)	Y	X_1	X_2
89.3	24.00	80	4.492	3.178	4.382
.	.	.	.	.	.
27.4	1.04	80	3.311	0.043	4.382
77.8	24.00	100	4.354	3.178	4.605
.	.	.	.	.	.
28.1	1.04	100	3.336	0.043	4.605
66.4	24.00	120	4.196	3.178	4.787
.	.	.	.	.	.
16.3	1.04	120	2.791	0.043	4.787

Tabla 5.5 Continuación. Variables transformadas para el ajuste por correlación lineal múltiple para la estación Papaloapan.

i_d^T	T	d	$Ln(i_d^T)$	$Ln(T)$	$Ln(d)$
(mm/h)	(años)	(min)	Y	X_1	X_2
240	18.0	5	5.553	3.178	1.609
.	.	.	.	.	.
114	1.067	5	4.625	0.043	1.609
210	18.0	10	5.209	3.178	2.303
.	.	.	.	.	.
107.4	1.067	10	4.533	0.043	2.303
204.8	18.0	15	5.184	3.178	2.708
.	.	.	.	.	.
69.3	1.067	15	4.382	0.043	2.708

Tabla 5.6 Variables transformadas para el ajuste por correlación lineal múltiple para la estación Ciudad Miguel Alemán.





i_d^T	T	d	$Ln(i_d^T)$	$Ln(T)$	$Ln(d)$
(mm/h)	(años)	(min)	Y	X_1	X_2
204.6	18.0	20	5.176	3.178	2.996
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
69.3	1.067	20	4.148	0.043	2.996
196.6	18.0	30	5.112	3.178	3.401
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
61	1.067	30	4.025	0.043	3.401
199.7	18.0	45	4.929	3.178	3.807
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
57.9	1.067	45	3.716	0.043	3.807
118	18.0	60	4.677	3.178	4.094
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
43.8	1.067	60	3.447	0.043	4.094
106.5	18.0	80	4.492	3.178	4.382
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
33.5	1.067	80	3.311	0.043	4.382
96	18.0	100	4.354	3.178	4.605
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
23.1	1.067	100	3.336	0.043	4.605
96	18.0	120	4.196	3.178	4.787
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
23.1	1.067	120	2.791	0.043	4.787

Tabla 5.6 Continuación. Variables transformadas para el ajuste por correlación lineal múltiple para la estación Ciudad Miguel Alemán.

Con la información contenida en las Tablas 5.5 y 5.6 se pueden obtener los valores de las constantes mediante la regresión múltiple.





Planteando el sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned}\sum Y &= a_0 N + a_1 \sum X_1 + a_2 \sum X_2 \\ \sum (X_1 Y) &= a_0 \sum X_1 + a_1 \sum (X_1^2) + a_2 \sum (X_1 X_2) \\ \sum (X_2 Y) &= a_0 \sum X_2 + a_1 \sum (X_1 X_2) + a_2 \sum (X_2^2)\end{aligned}\quad 5.3$$

Resolviendo el sistema anterior para cada una de las estaciones da como resultado:

Variables	Papaloapan	Cd. Miguel Alemán
a_0	2.45594	3.273
a_1	0.28165	0.2884
a_2	-0.44766	-0.893

Tabla 5.7 Valores de las variables para las estaciones Papaloapan y Cd. Miguel Alemán.

Para obtener los valores de k , m , n se realizarán las siguientes consideraciones:

$$k = 10^{a_0} \quad 5.4$$

$$m = a_1 \quad 5.5$$

$$n = -a_2 \quad 5.6$$

En resumen:

Variables	Papaloapan	Cd. Miguel Alemán
k	285.7173	1,874.99
m	0.281647	0.2884
n	0.447657	0.893

Tabla 5.8 Valores de las constantes de la familia de curvas i-d-T para las estaciones Papaloapan y Cd. Miguel Alemán.

Quedando la familia de curvas i-d-T para cada una de las estaciones como:

Papaloapan

$$i_d^T = \left(\frac{285.7173 T^{.281647}}{d^{0.447657}} \right) \quad 5.7$$



**Ciudad Miguel Alemán**

$$i_d^T = \left(\frac{1,874.99T^{0.2884}}{d^{0.893}} \right) \quad 5.8$$

Con la ecuación 5.7 se pueden construir las curvas $i-d-T$ para duraciones menores a 1 hora y entre 1h y 24 h (Tablas 5.9 y 5.10; Figura 5.1) para la estación Papaloapan.

Duración $d(\text{min})$	Periodo de retorno $T(\text{años})$					
	2	5	10	20	50	100
10	124.1	161.3	196.6	239.8	311.6	379.9
20	90.6	117.7	143.6	175.1	227.5	277.4
30	75.4	98.0	119.4	145.6	189.3	230.8
40	66.2	86.0	104.8	127.8	166.1	202.5
50	59.8	77.7	94.7	115.5	150.1	183.0
60	55.0	71.5	87.2	106.3	138.2	168.5

Tabla 5.9 Intensidades de lluvia $i(\text{mm/h})$ para duraciones menores a 1h en la estación Papaloapan obtenidas por regresión múltiple.

Duración $d(\text{h})$	Periodo de retorno $T(\text{años})$					
	2	5	10	20	50	100
1	55.0	71.5	87.2	106.3	138.2	168.5
2	40.2	52.2	63.7	77.6	100.9	123.0
3	33.4	43.4	53.0	64.6	84.0	102.4
4	29.3	38.1	46.5	56.7	73.7	89.8
5	26.5	34.5	42.0	51.2	66.6	81.2
10	19.4	25.2	30.7	37.4	48.6	59.3
11	18.5	24.1	29.4	35.8	46.6	56.8
12	17.8	23.2	28.2	34.4	44.8	54.6
13	17.2	22.3	27.2	33.2	43.2	52.6
14	16.6	21.6	26.3	32.1	41.7	50.9
15	16.1	20.9	25.5	31.1	40.4	49.3
20	14.1	18.4	22.4	27.3	35.5	43.3
21	13.8	18.0	21.9	26.7	34.7	42.3
22	13.5	17.6	21.5	26.2	34.0	41.5
23	13.3	17.2	21.0	25.6	33.3	40.6
24	13.0	16.9	20.6	25.1	32.7	39.8

Tabla 5.10 Intensidades de lluvia $i(\text{mm/h})$ para duraciones entre 1h y 24 h en la estación Papaloapan obtenidas por regresión múltiple.



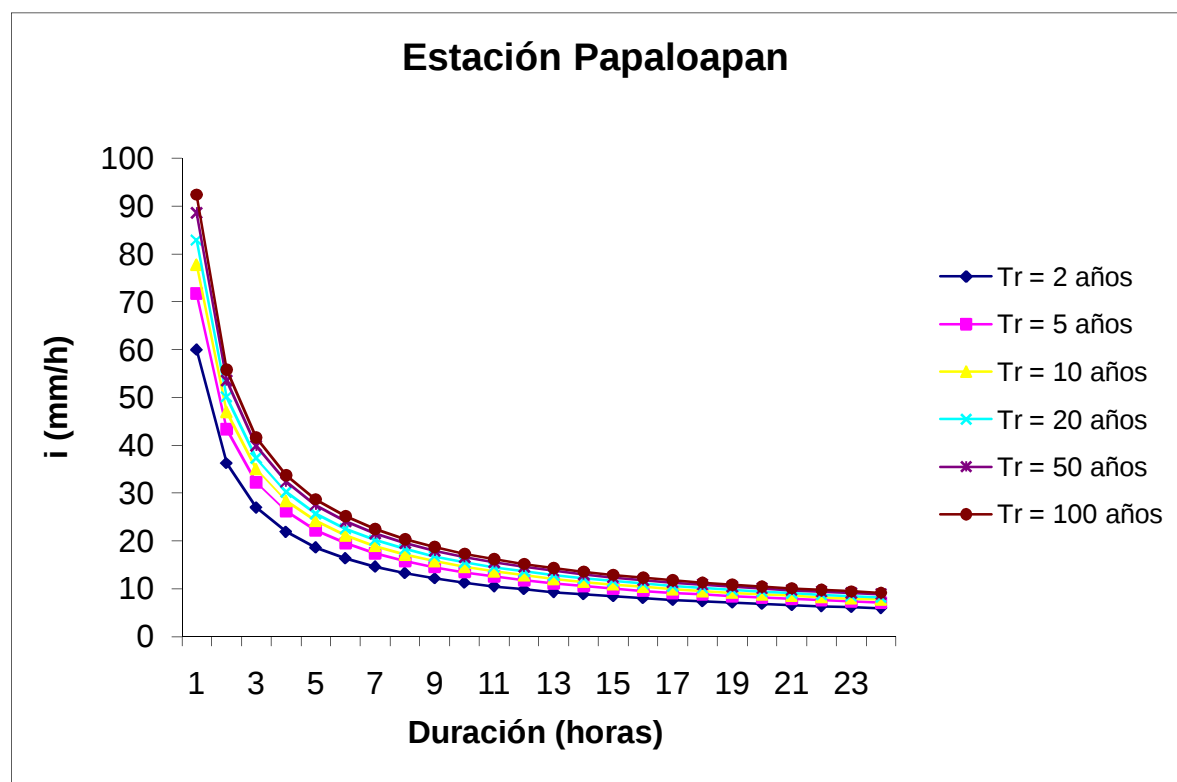


Figura 5.1 Intensidades de lluvia i (mm/h) para duraciones entre 1h y 24 h en la estación Papaloapan obtenidas por regresión múltiple.

Con la ecuación 5.8 se pueden construir las curvas $i-d-T$ para duraciones menores a 1 hora y entre 1h y 24 h (Tablas 5.11 y 5.12; Figura 5.2) para la estación Cd. Miguel Alemán.

Duración d (min)	Periodo de retorno T (años)					
	2	5	10	20	50	100
10	292.96	381.58	466.01	569.13	741.28	905.31
20	157.76	205.48	250.94	306.47	399.13	487.50
30	109.84	143.06	174.71	213.38	277.91	339.41
40	84.95	110.65	135.13	165.03	214.95	262.52
50	69.60	90.66	110.72	135.22	176.12	215.09
60	59.15	77.03	94.08	114.90	149.65	182.77

Tabla 5.11 Intensidades de lluvia i (mm/h) para duraciones menores a 1h en la estación Cd. Miguel Alemán obtenidas por regresión múltiple.

Duración $d(h)$	Periodo de retorno $T(años)$					
	2	5	10	20	50	100
1	59.15	77.03	94.08	114.90	149.66	182.77
2	31.85	41.48	50.66	61.87	80.59	98.42
3	22.17	28.88	35.27	43.08	56.11	68.52
4	17.15	22.34	27.28	33.32	43.39	53.0
5	14.05	18.30	22.35	27.29	35.56	43.42
10	7.57	9.85	12.04	14.70	19.15	23.38
11	6.95	9.05	11.05	13.50	17.58	21.47
12	6.43	8.37	10.23	12.49	16.27	19.87
13	6.00	8.0	9.52	11.63	15.15	18.50
14	5.60	7.30	8.91	10.88	14.18	17.31
15	5.27	6.86	8.38	10.23	13.33	16.28
20	4.07	5.31	6.48	7.92	10.31	12.59
21	3.90	5.08	6.2	7.58	9.87	12.06
22	3.74	4.87	5.95	7.27	9.47	11.56
23	3.60	4.68	5.72	6.99	9.10	11.11
24	3.46	4.51	5.51	6.73	8.70	10.70

Tabla 5.12 Intensidades de lluvia $i(mm/h)$ para duraciones entre 1h y 24 h en la estación Cd Miguel Alemán obtenidas por regresión múltiple.

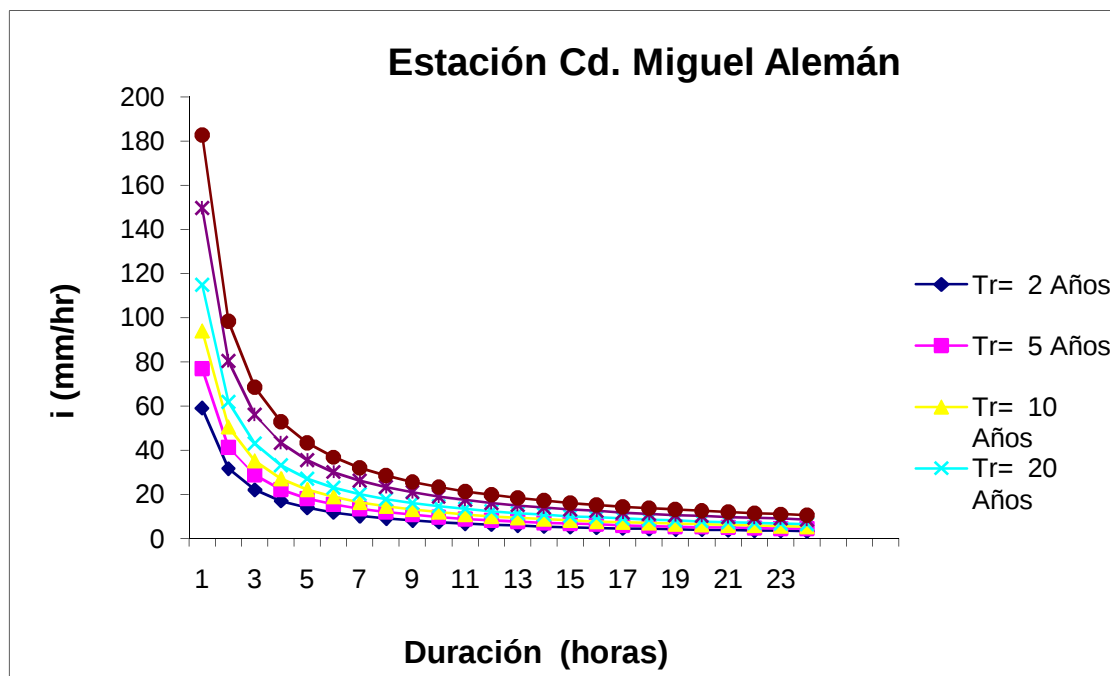


Figura 5.2 Intensidades de lluvia $i(mm/h)$ para duraciones entre 1h y 24 h en la estación Cd. Miguel Alemán obtenidas por regresión múltiple.

5.2 Curvas i-d-T empleando el análisis de frecuencias de eventos máximos anuales.

Se trabajará con los valores para 60 min, ya que de acuerdo a la literatura especializada el trabajar con todas las duraciones podría llevar al cruce de las curvas de las diferentes duraciones por lo que se considera que el cálculo del análisis de frecuencia se realiza con las duraciones de una hora.

Los estadísticos para esa duración son:

Estadístico	Papaloapan	Cd. Miguel Alemán
Media	63.2	71.23
S	17.1	23.49
g	1.30	1.05
k	5.74	-0.06

Tabla 5.13 Estadísticos muestrales de las $H_{p_{1h}}$ en la estación Papaloapan y Cd. Miguel Alemán.

5.2.1 Determinación de Homogeneidad

Determinación de la homogeneidad de la muestra por las pruebas de Helmert, T de student y Cramer se obtiene los siguientes resultados:

AÑO	hp 60 min	signo	Cambio o Secuencia
1948	53.4	-	
1949	75	+	C
1950	31.4	-	C
1951	60	-	S
1952	64.7	+	C
1953	53.5	-	C
1954	43.7	-	S
1955	73.6	+	C
1956	74.7	+	S

Tabla 5.14 Determinación de cambios y/o secuencias para la expresión de Helmert en la estación Papaloapan.

AÑO	hp _{60 min}	signo	Cambio o Secuencia
1957	57.8	-	C
1958	54	-	S
1959	53.4	-	S
1960	63.5	+	C
1961	62.5	-	C
1962	56.8	-	S
1963	56.5	-	S
1964	68.1	+	C
1965	70.1	+	S
1966	107	+	S
1967	53.7	-	C
1968	58	-	S
1969	107.5	+	C
1970	55	-	C

Tabla 5.14 Continuación. Determinación de cambios y/o secuencias para la expresión de Helmert en la estación Papaloapan.

De lo anterior y aplicando la ecuación 2.131:

$-4.69 < -2 < 4.69$ Se establece que la muestra es Homogénea.

Empleando la expresión 2.132 de la prueba t-student:

Estadísticos	Primera muestra	Segunda muestra
Media	57.93 mm	68.973 mm
Varianza	168.2497 mm	385.694 mm
Desviación	12.971 mm	19.639 mm

Tabla 5.15 Valores de media y desviación estándar para la primera y segunda muestra de la estación Papaloapan aplicando el criterio de t-student.



Obteniendo el valor de t-student para dos colas de la tabla 2.1 y comparándolo con el valor calculado:

$1.53156 < 2.08$ por lo tanto la muestra es homogénea

Empleando la prueba de Cramer utilizando las expresiones 2.133 a la 2.139:

Estadísticos	Muestra 60%	Muestra 30%
Media	65.993 mm	74.2 mm
Varianza	332.627 mm	548.347 mm
Desviación	18.238 mm	23.417 mm

Tabla 5.16 *Valores de media y desviación estándar para la primera y segunda muestra de la estación Papaloapan aplicando el criterio de Cramer.*

Realizando la comparación indicada en el subcapítulo 2.6.3:

Muestra	Comparación	Resultado
Muestra 60%	$0.918887 < 2.08$	Homogénea
Muestra 30%	$2.1567 > 2.08$	No Homogénea

De los resultados anteriores se concluye que la muestra es homogénea a pesar de que para el 30% dio no homogénea.





Para la estación Ciudad Miguel Alemán

AÑO	hp _{60 min}	signo	Cambio o Secuencia
1956	51	-	
1957	51	-	S
1958	71.2	-	S
1959	118	+	C
1960	57.5	-	C
1961	80.7	+	C
1962	43.8	-	C
1963	60	-	S
1964	54.6	-	S
1965	109	+	C
1966	110.3	+	S
1967	67.4	-	C
1968	54	-	S
1969	67	-	S
1970	73	+	C

Tabla 5.17 *Determinación de cambios y/o secuencias para la expresión de Helmert en la estación Cd. Miguel Alemán.*

De lo anterior y aplicando la ecuación 2.131:

$-3.7416 < 0 < 3.1714$ se establece que la muestra es Homogénea.

Ahora empleando la expresión 2.132 de la prueba t-student:

Estadísticos	Primera muestra	Segunda muestra
Media	66.65 mm	76.471 mm
Varianza	570.691 mm	561.642 mm
Desviación	23.889 mm	23.699 mm

Tabla 5.18 *Valores de media y desviación estándar para la primera y segunda muestra de la estación Cd. Miguel Alemán aplicando el criterio de t-student.*





Obteniendo el valor de t-student para dos colas de la tabla 2.1 y comparándolo con el valor calculado de la ecuación 2.132 $t_d = 2.047$

$2.047 < 2.160$ por lo tanto la muestra es homogénea

Empleando la prueba de Cramer utilizando las expresiones 2.133 a la 2.139:

Estadísticos	Muestra 60%	Muestra 30%
Media	71.011 mm	74.34 mm
Varianza	555.031 mm	452.668 mm
Desviación	23.559 mm	21.276 mm

Tabla 5.19 Valores de media y desviación estándar para la primera y segunda muestra de la estación Cd. Miguel Alemán aplicando el criterio de Cramer.

Realizando la comparación indicada en el subcapítulo 2.6.3:

Muestra	Comparación	Resultado
Muestra 60%	$0.042 < 2.160$	Homogénea
Muestra 30%	$0.334 < 2.160$	Homogénea

De los resultados anteriores se concluye que la muestra es Homogénea.

5.2.2 Determinación de la Independencia de las muestras

Empleando las ecuaciones 2.140, 2.141 y 2.142 para la estación Papaloapan, se tendrán los siguientes valores:

k	1	2	3	4	5	6	7	8
Lim sup.	0.363	0.3698	0.377	0.385	0.393	0.402	0.412	0.422
r_k	-0.131	-0.114	0.294	0.068	0.006	-0.062	-0.103	-0.009
Lim inf.	-0.454	-0.465	-0.477	-0.490	-0.504	-0.52	-0.537	-0.555

Tabla 5.20 Valores de r_k , límite superior e inferior para la estación Papaloapan.



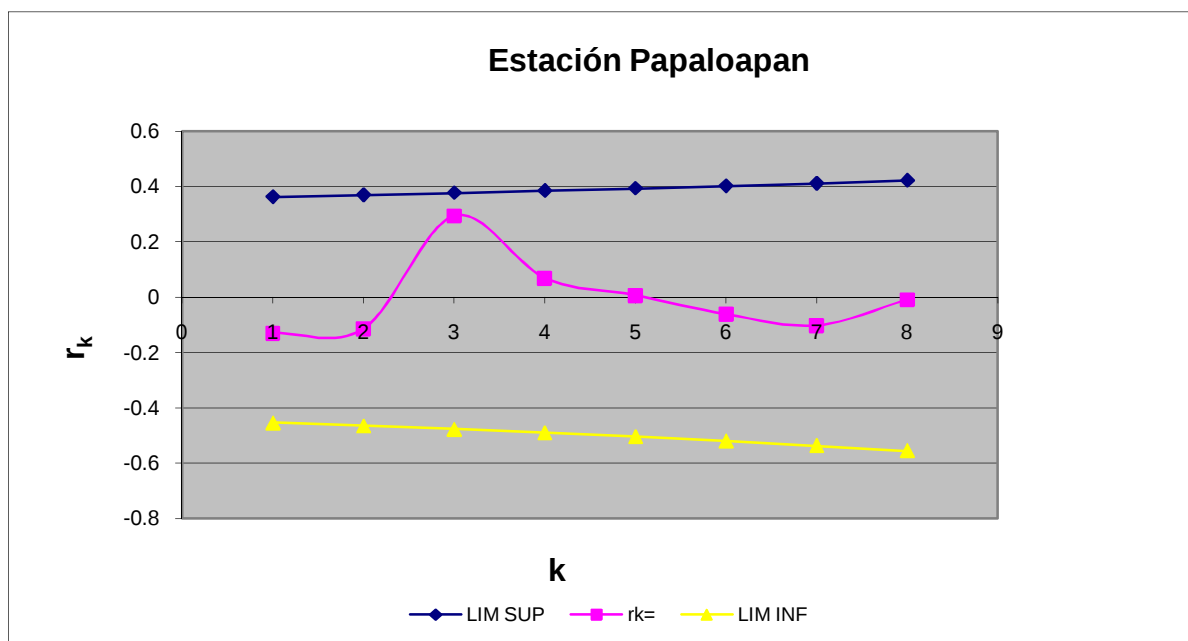


Figura 5.3 Determinación de la independencia de la estación Papaloapan

Para la estación Ciudad Miguel Alemán se tendrá:

<i>k</i>	1	2	3	4	5
Lim sup.	0.433	0.445	0.458	0.472	0.488
r_k	0.091	-0.218	-0.542	-0.089	-0.016
Lim inf.	-0,576	-0.599	-0.625	-0.654	-0.688

Tabla 5.21 Valores de r_k , límite superior e inferior para la estación Ciudad Miguel Alemán.

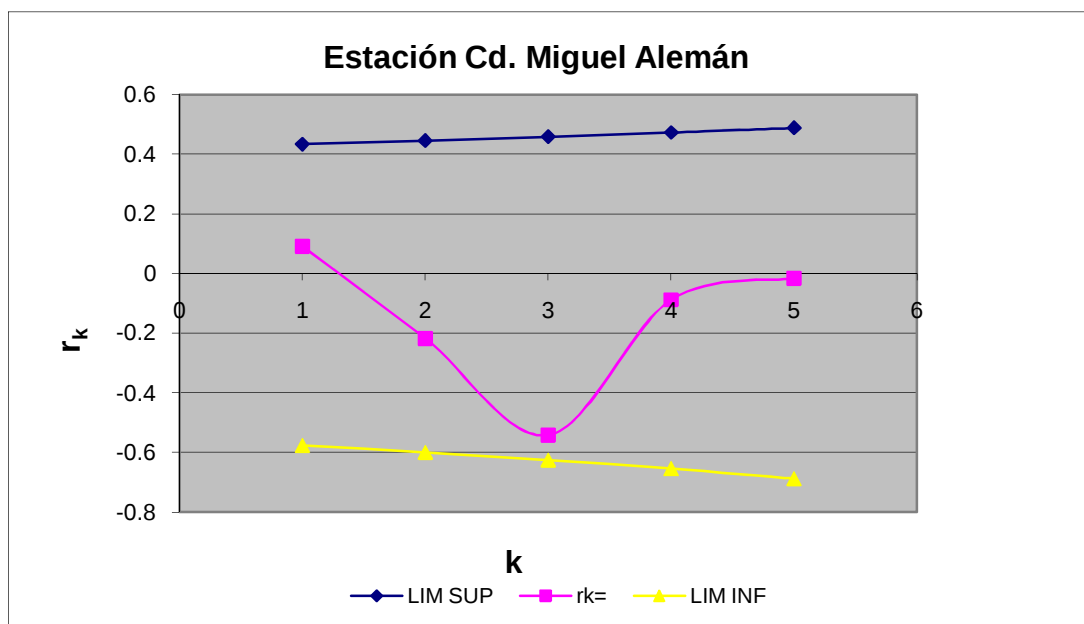


Figura 5.4 *Determinación de la independencia de la estación Cd. Miguel Alemán.*

De los cálculos anteriores se concluye que ambas muestras son independientes.

5.2.3 Funciones de distribución Univariadas.

Como los resultados anteriores no muestran que nuestras series de datos son homogéneas e independientes, se pueden aplicar las funciones de probabilidad univariadas. Las distribuciones de probabilidad empleadas son la Normal, LogNormal y Gamma con 2 parámetros, Exponencial de uno y dos parámetros y la Gumbel. La técnica de estimación de parámetros es la de Momentos. Las ecuaciones y evaluación de parámetros se trataron en el capítulo dos.

Los valores de los parámetros para cada una de las funciones y para las estaciones Papaloapan y Ciudad Miguel Alemán se muestran en la tabla 5.22 y 5.23.



Función	Parámetros			Error Estándar
	Ubicación	Escala	Forma	
Exponencial 1 P		0.0158		36.72
Exponencial 2P	46.147	17.066		6.074
Gamma 2 p		4.607	13.721	6.562
Gumbel	32.909	52.527		5.97
Normal	63.213	17.066		7.32
Log normal	4.114	0.257		6.284

Tabla 5.22 Valores de los parámetros y error estándar de las funciones univariadas para la estación Papaloapan.

Función	Parámetros			Error Estándar
	Ubicación	Escala	Forma	
Exponencial 1 P		0.014		33.88
Exponencial 2P	47.743	23.489		7.589
Gamma 2 p	7.746		9.196	14.43
Gumbel	60.618	18.40		5.807
Normal	71.233	23.489		9.373
Log normal	4.22	0.305		6.989

Tabla 5.23 Valores de los parámetros y error estándar de las funciones univariadas para la estación Ciudad Miguel Alemán.

De la inspección del valor del error estándar se observa que la función Gumbel es la mejor elección para las dos estaciones en estudio

En las tablas 5.24 y 5.25 se muestran los valores de la altura de precipitación para una hora y diferentes periodos de retorno para las estaciones Papaloapan y Ciudad Miguel Alemán



Duración min	Periodo de retorno T (años)					
	2	5	10	20	50	100
5	163.41	199.67	223.68	246.71	276.51	298.85
10	127.80	152.81	169.36	185.24	205.80	221.20
15	111.69	138.55	156.32	173.38	195.45	211.99
20	102.99	128.62	146.25	163.16	185.06	201.46
30	86.34	109.72	125.21	140.06	159.29	173.70
45	71.32	90.78	103.66	116.02	132.01	144.00
60	60.41	75.50	85.49	95.07	107.47	116.77
80	51.17	63.24	71.22	78.89	88.81	96.24
100	44.92	54.82	61.37	67.66	75.79	81.89

Tabla 5.24 Valores de intensidades para diferentes duraciones en la estación Papaloapan.

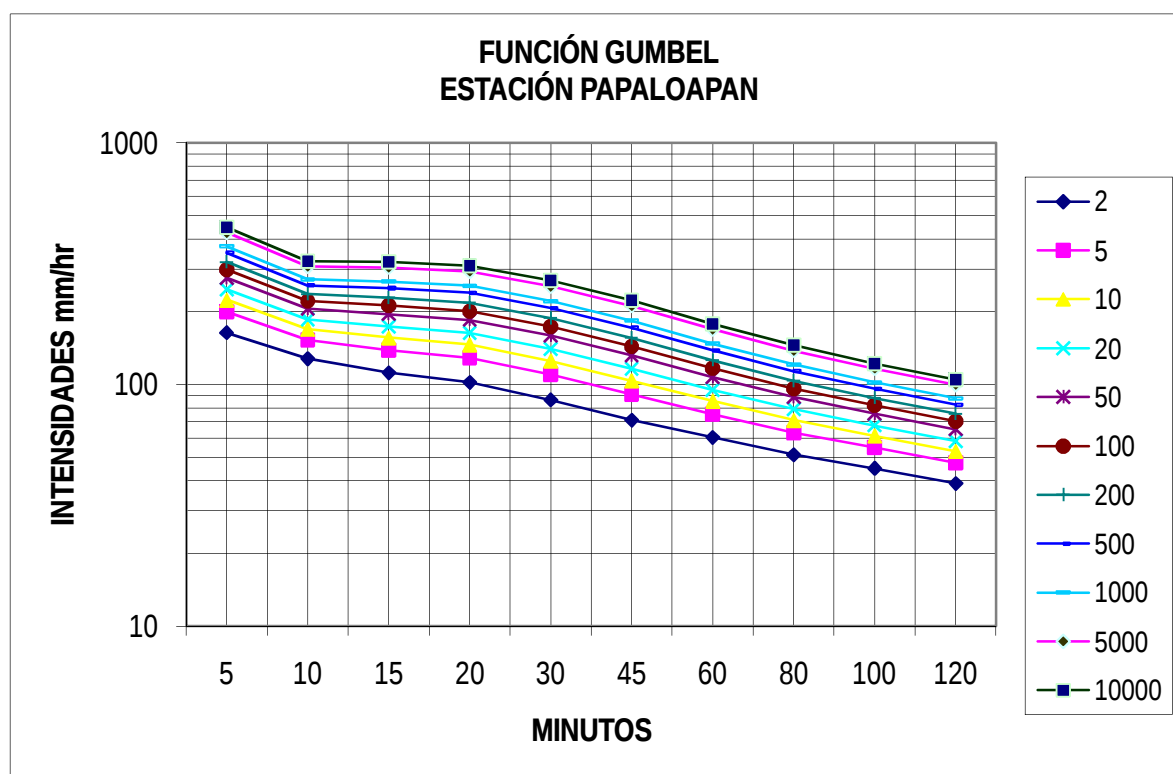


Figura 5.5 Curvas Intensidad-duración-periodo de retorno empleando la función Gumbel para la estación Papaloapan.

Duración min	Periodo de retorno T (años)					
	2	5	10	20	50	100
5	181.194	220.009	245.707	270.357	302.265	326.175
10	145.082	170.712	187.681	203.959	225.028	240.817
15	124.406	152.024	170.309	187.843	210.551	227.564
20	115.559	144.328	163.376	181.647	205.297	223.019
30	98.489	129.034	149.257	168.657	193.766	212.582
45	80.796	102.219	116.404	130.010	147.621	160.818
60	67.378	88.145	101.894	115.083	132.154	144.947
80	59.981	75.358	87.525	99.196	114.303	125.623
100	48.557	65.917	77.410	88.434	102.705	113.398

Tabla 5.25 Valores de intensidades para diferentes duraciones en la estación Cd Miguel Alemán.

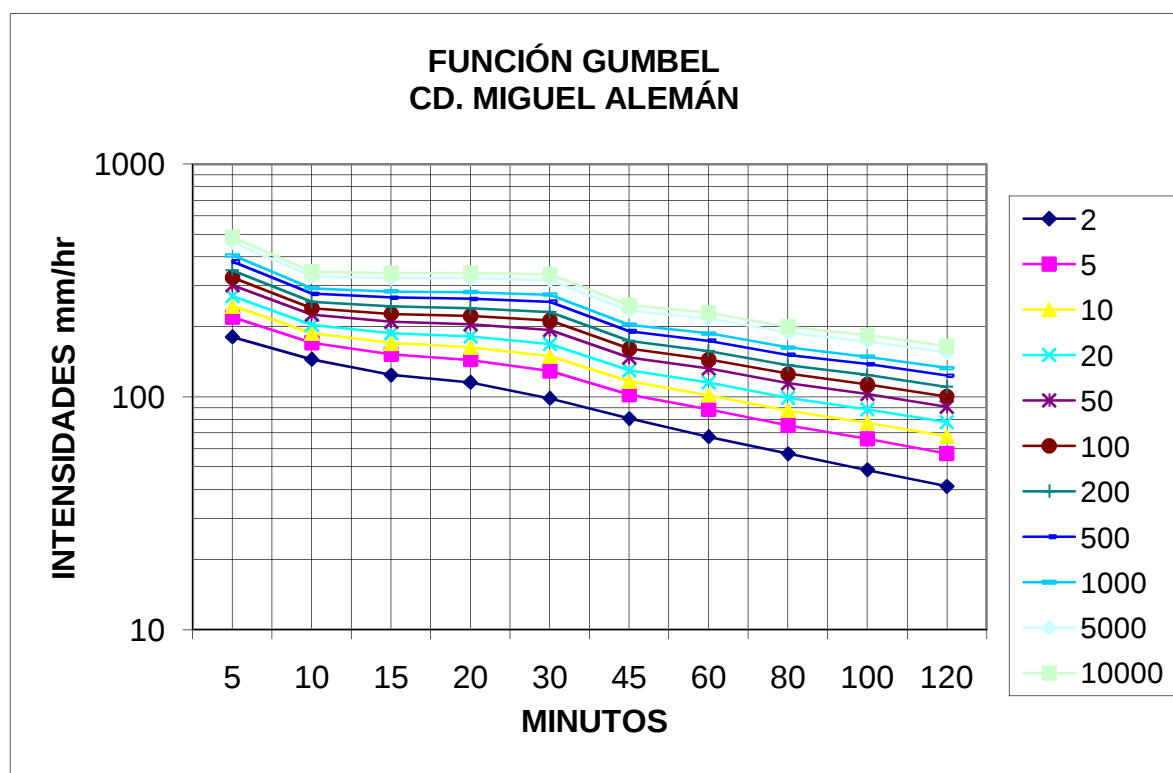


Figura 5.6 Curvas Intensidad-duración-periodo de retorno empleando la función Gumbel para la estación Ciudad Miguel Alemán.



Con los valores anteriores se calcula la energía Cinética de la intensidad empleando la ecuación 3.4 para ambas estaciones.

Duración min	Periodo de retorno T (años)					
	2	5	10	20	50	100
5	0.2899	0.2899	0.2900	0.2900	0.2900	0.2900
10	0.2896	0.2899	0.2899	0.2899	0.2900	0.2900
15	0.2892	0.2898	0.2899	0.2899	0.2900	0.2900
20	0.2887	0.2897	0.2899	0.2899	0.2899	0.2899
30	0.2872	0.2891	0.2898	0.2898	0.2899	0.2899
45	0.2840	0.2878	0.2894	0.2894	0.2897	0.2898
60	0.2798	0.2852	0.2882	0.2882	0.2890	0.2894
80	0.2738	0.2811	0.2859	0.2859	0.2875	0.2883
100	0.2679	0.2765	0.2829	0.2829	0.2853	0.2865
120	0.2603	0.2705	0.2752	0.2787	0.2820	0.2838

Tabla 5.26 *Energía Cinética de la lluvia en MJ/ha/mm para la estación Papaloapan.*

Duración min	Periodo de retorno T (años)					
	2	5	10	20	50	100
5	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
10	0.2899	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
15	0.2896	0.2899	0.29	0.29	0.29	0.29
20	0.2894	0.2898	0.2899	0.29	0.29	0.29
30	0.2885	0.2897	0.2899	0.29	0.29	0.29
45	0.2863	0.2887	0.2894	0.2897	0.2899	0.2899
60	0.2828	0.2875	0.2887	0.2893	0.2897	0.2899
80	0.2779	0.2852	0.2874	0.2885	0.2893	0.2896
100	0.2716	0.2823	0.2856	0.2875	0.2888	0.2893
120	0.2634	0.2780	0.2829	0.2857	0.2878	0.2886

Tabla 5.27 *Energía Cinética de la lluvia en MJ/ha/mm para la estación Ciudad Miguel Alemán.*

Los valores anteriores se sustituyen en la ecuación 3.3 y con el valor de la intensidad máxima para 30 minutos en el año en estudio se puede obtener el valor del factor de erosión de la lluvia.





En este caso desafortunadamente no se pudo obtener el factor erosivo ya que no se conto con los registros pluviográficos diarios para las estaciones y años en estudio.

