

2243

47255

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES
-FCIA. de BUENOS AIRES-

ESTUDIO DE LA REGULACION DE LA
CUENCA DEL RIO DE LA MATANZA

Estudio de Precipitaciones
Intensas
y su relación con Crecidas del
Río de la Matanza



Lic. Rubén A. Daffinoti

Setiembre 1990

ESTUDIO DE OCURRENCIAS SIMULTANEAS DE CRECIDAS EN EL RIO DE LA MATANZA Y PRECIPITACIONES EN LAS LOCALIDADES UBICADAS EN LA CUENCA BAJA DEL RIO.

Las precipitaciones intensas que provocan inundaciones en las cuencas urbanas próximas a la desembocadura del río de la Matanza en el Río de la Plata reconocen causas físicas de índole muy variada, atento a su ubicación geográfica.

La producción de caudales significativos en una cuenca de tamaño reducido responde a fenómenos intensos que no necesariamente tienen extensión areal importante.

De esta manera las crecidas del río de la Matanza pueden no estar provocadas por lluvias de característica local (de mayor influencia en cuencas menores), sino por fenómenos que además de tener una intensidad importante deben abarcar superficies significativas.

En este aspecto adquiere relevancia el tipo de fenómeno involucrado y el momento en el cual éste se produce; esto es debido a que si la precipitación en la cuenca urbana ocurre con suficiente antelación a la llegada de la onda de crecida del Matanza, o al momento en el cual los niveles de este comiencen a ser altos por cualquier causa que lo ocasione, el desagüe pluvial no será perturbado por las alturas del río.

El presente estudio es un análisis de frecuencias de ocurrencia de las precipitaciones observadas en el pluviógrafo instalado en el Observatorio del Servicio Meteo-

rológico Nacional, ubicado en Villa Ortúzar en Capital Federal, asignándole a estos datos la representatividad de las precipitaciones que ocurren en las zonas urbanas ubicadas en la cuenca baja del río de la Matanza, con simultaneidad de ocurrencia de alturas significativas en la escala hidrométrica instalada en el semáforo del Riachuelo.

Como primera tarea se efectuó una recopilación de antecedentes en lo concerniente a tratamientos de este problema en la cuenca bajo estudio, de resulta de ello se consideró necesario corregir criterios surgidos de metodologías que se consideran no apropiadas y que podían conducir a conclusiones contundentes sobre fenómenos no suficientemente estudiados.

El planteo básico consiste en considerar que la imposición de muros de defensa que protejan contra crecidas del río también impone una limitante para la evacuación de las precipitaciones que ocurren en la zona urbana protegida.

De esta manera la definición del grado de perturbación a los desagües pluviales, que seguramente debería motivar un análisis sobre la forma en que se evacuará esa precipitación desde un enfoque de ingeniería de obras, debe indefectiblemente considerar la simultaneidad o no de fenómenos de precipitación con crecidas del río.

En los casos en que el río se encuentre con niveles hidrométricos bajos durante la ocurrencia de precipitaciones intensas, la evacuación de los caudales producidos puede efectuarse de diversos modos que no necesariamente requieren la

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

utilización de estaciones de bombeo. Asimismo el dimensionamiento de las estaciones de bombeo puede resultar modificado al tener que evacuar solamente las precipitaciones que se produzcan cuando el río esté crecido.

No es motivo del presente informe recomendar distintas alternativas de obras hidráulicas para el tratamiento de este problema, sino contemplar criterios hidrometeorológicos que permitan al proyectista proponer las obras adecuadas.

Con este fin se recabó del Grupo de Trabajo del río Matanza, conformado por Convenio entre la Provincia de Buenos Aires y el Consejo Federal de Inversiones, información referente a las alturas que se podían considerar críticas, y que constituyeran situaciones de contorno para la evacuación de crecidas; de esta manera se encaró un análisis de simultaneidad de fenómenos para casos en que se superaban alturas de 2.0 m, 2.2 m y 2.3 m

Se partió de un intento de utilización de métodos de análisis bivariados, en los que se contemplara el cálculo de la probabilidad conjunta de ocurrencia de eventos, para estar en condiciones de asignarle tiempos de retorno de fenómenos simultáneos.

El procesamiento de la información existente mostró evaluadores estadísticos de regresión extremadamente bajos, esto indica la no existencia de un agrupamiento de valores

adecuado a la hipótesis de funciones de distribución bivariadas.

En particular se analizaron estudios anteriores que hubieran aplicado estos métodos en la región bajo análisis, encontrándose (Estudio de la Regulación de la Cuenca del río de la Matanza, 1er etapa- EIH S.A., CEOPYD S.A., CyC S.R.L.) que se asignaban valores de 50 años de recurrencia por análisis bivariados empleando funciones de distribución marginales distintas para los 2 eventos, lo que constituye un error metodológico; estas recurrencias correspondían a 3 eventos ocurridos en el transcurso de 40 años de datos, lo que también constituye una interpretación inapropiada del método estadístico.

Ante esta circunstancia se optó por efectuar una interpretación física de los fenómenos existentes para luego realizar un estudio estadístico por análisis de contingencia.

ANALISIS DE LOS FENOMENOS INTERVINIENTES.

En la cuenca baja del río de la Matanza existen distintos fenómenos productores de incrementos en las alturas del Riachuelo estos son:

a) Crecidas del río de la Matanza propiamente dicho, ocurridas por precipitaciones en su cuenca de aportes.

b) Elevaciones de alturas del río por crecidas del Río de la Plata debido a los aportes en la Cuenca del Plata.

c) Elevaciones de alturas del Río de la Plata producidas por Sudestadas (vientos con dirección del Sudeste durante tiempos relativamente prolongados).

En los casos en que claramente existe mayor probabilidad de que las precipitaciones en la cuenca urbana sea coincidente con la precipitación en la cuenca del río de la Matanza, caso a), debe tenerse presente que la onda de crecida en el río tiene un tiempo de traslado tal que la producción de precipitaciones intensas en la cuenca urbana, puede no ser coincidente con la llegada de la onda de crecida; para ello tendría que ocurrir un desplazamiento del sistema meteorológico en el mismo sentido del río y con la misma velocidad de traslado: un desfase en tiempos no relativamente muy grande indicaría que existe tiempo suficiente como para que el agua precipitada en la cuenca urbana pueda desagotarse sin necesidad de bombeo.

En el caso b) obviamente la producción simultánea de los 2 eventos es claramente aleatoria atendiendo a la extensión de la cuenca del río Paraná y del río Uruguay, y a las causas que producen estas crecidas, ligadas a ocurrencia de otros fenómenos físicos distintos, como ser sistemas sinópticos asociados a climas tropicales y bajas latitudes, con ocurrencia de fenómenos convectivos totalmente diferentes en su intensidad y extensión con los que se pueden esperar en latitudes de la cuenca bajo análisis.

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

En lo que respecta al caso c), producción de crecidas por sudestadas, la advección de aire con sentido sudeste no tiene de por sí la correspondencia de precipitaciones intensas, ya que el viento con dirección sudeste se produce, entre uno de sus motivos, por la existencia de un centro de baja presión que ya superó la zona correspondiente a las cuencas urbanas, es decir que se encuentra en la región posterior del centro de baja presión, zona que desde el punto de vista dinámico tiene asociada una región de convergencia de aire en la zona superior, descenso de aire y divergencia en superficie; el sistema descrito en general no está asociado con tormentas de gran envergadura.

Si bien los vientos provenientes de esta dirección también pueden responder a alguna situación sinóptica distinta que se asocie con núcleos convectivos, no es biunívoca la relación entre viento proveniente de la región sudeste con producción de lluvia intensa, o que se pueda interpretar que todas las lluvias intensas se producen cuando hay viento del sudeste, por lo que esta relación no puede producir una regresión significativa entre todas las precipitaciones intensas y las alturas del Riachuelo provocadas por Sudestadas, con registros superiores a 2.0 m.

En otras palabras los fenómenos físicos involucrados son todos de muy variada génesis, por lo que su tratamiento matemático, forzando una relación biunívoca, parte de una ligereza en la definición de la metodología.

ANALISIS ESTADISTICO.

Se analizó la cantidad de casos en los que se cumple la condición simultánea de superar la cota de referencia preestablecida (2.0m, 2.2m o 2.3m) y haberse observado una precipitación de cierta envergadura.

Si se considera la altura de 2.0 m como cota de referencia se obtiene que cumplen esta condición 84 casos observados durante los años en que se cuentan con información simultánea de los dos fenómenos, es decir durante los 39 años comprendidos entre 1945 y 1983.

El período comprendido entre los años 1945 y 1983 se seleccionó debido a ser el único del que se disponían registros de alturas del río de la Matanza en Boca del Riachuelo horarias, y precipitaciones observadas con pluviógrafo en Villa Ortuzar con fajas analizadas con pasos de tiempo de 5 minutos.

Esto significa que en promedio se observaron alrededor de 2.15 eventos/año. Este promedio para alturas superiores o iguales a 2.20 m es de 1.28 eventos/años y para 2.3 m es de 1.10 eventos/año. Se puede observar que en los tres casos analizados se obtuvieron valores superiores a 1 evento/año en promedio, durante los 39 años analizados.

Se adjuntan gráficos en los que se muestran los histogramas de frecuencias en números de casos por años para las 3 alturas analizadas, observándose en ellos que para 2.00 m de

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

altura de referencia solamente durante 4 años no se registraron casos de ocurrencias simultáneas; en el caso de 2.20m los años sin ocurrencia ascienden a 12 años, cifra similar a la que se obtuvo para la condición de alturas superiores a 2.30 m .

Para analizar la marcha anual de este fenómeno se confeccionó la tabla de meses de ocurrencia; en ella se puede observar una mayor frecuencia de casos durante el mes de enero y las menores frecuencias concentradas en los meses de junio y julio.

Esto a su vez indica, desde el punto de vista físico productor de precipitaciones, que las mayores frecuencias se producen durante los meses en que ocurren mayor cantidad de casos de tormentas convectivas.

Las precipitaciones seleccionadas tienen, como principal condicionante, el que ocurran con determinada simultaneidad con respecto a la ocurrencia de alturas superiores a las cotas establecidas como referencia; la simultaneidad está dada porque debían ser coincidentes o previas en intervalos de tiempo de 6hs o 12hs (se analizaron ambos casos por separado), entendiéndose como previas el intervalo de tiempo que va entre la hora de finalización de la tormenta y la hora en que se leían alturas superiores a las cotas de referencia.

Teniendo en cuenta los tiempos de concentración de las cuencas urbanas (del orden de 3 hs), se considera que los tiempos de desfase adoptados debían ser tales que, si ocu-

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

rriera una precipitación intensa para desfases superiores, sería evacuada en su totalidad antes de que se observen alturas mayores a las de referencia.

De esta manera y una vez seleccionados los eventos, se procesaron las precipitaciones correspondientes a todos ellos; en principio se tomaron las precipitaciones totales de los eventos como un indicador del valor total que se podía esperar para las distintas recurrencias, posteriormente, y con el objetivo de confeccionar tormentas de proyecto para distintas recurrencias, se procesaron las precipitaciones para intervalos de 5 minutos en 5 minutos hasta los 180 minutos, tiempo utilizado para las tormentas de proyecto del Modelo Matemático Hidrológico confeccionado para las cuencas Urbanas involucradas.

Estas precipitaciones, agrupadas en sus respectivos intervalos, se procesaron con la aplicación de distintas funciones de distribución (Gumbel, Gumbel en la serie de las Raíces cuadradas, Gumbel en la serie de las Raíces cúbicas, Frechet, Frechet en las Raíces Cuadradas, Frechet en las Raíces cúbicas, Normal, Normal en las Raíces cuadradas y en las Raíces cúbicas, Lognormal) de utilización común en este tipo de datos. Considerando que no se estaban utilizando valores únicos anuales y que el objetivo final del estudio estaba orientado a estimar tiempos de recurrencia, se empleó el método desarrollado por Langbein para procesamiento de series parciales.

El método indicado obtiene resultados muy cercanos a los correspondientes al tratamiento de las series anuales cuando se trata de tiempos de retorno altos, pero en las recurrencias bajas (2 o 5 años), se producen mayores apartamientos por tratarse de series parciales. De cualquier manera todo tratamiento probabilístico exige la independencia en los fenómenos que conforman la serie de datos.

Los ajustes obtenidos en la aplicación de las distintas funciones de distribución a las series de precipitaciones se compararon mediante el empleo de los test de ajuste Chi-cuadrado, Kolmogorov-Smirnov, y Kolmogorov-Smirnov anterior.

Como el objetivo es confeccionar tormentas de proyecto, se seleccionó como función de distribución que mejor ajustaba aquella que tiene un correcto ajuste para todas las duraciones, es decir que este ajuste no necesariamente debía ser el mejor en cada duración individual.

Si se seleccionan los mejores ajustes individuales para todas las duraciones y luego con los valores asignados para las distintas recurrencias, se confecciona la tormenta de proyecto, esto determinaría la imposibilidad de establecer una recurrencia adecuada para cada tormenta total, por otro lado en los cálculos se obtienen cruces no reales entre los valores de distintas duraciones.

Para el desfase de 6 horas entre tormenta y alturas del Riachuelo, se obtuvo que las funciones de distribución Normal aplicada a las series de las Raíces Cúbicas de los

datos y Gumbel aplicada a las series de las Raíces cuadradas de los datos tenían un adecuado ajuste según los Test aplicados; en lo que respecta al desfasaje de 12 horas los mejores ajustes se obtuvieron para las funciones de distribución Gumbel aplicada a la series de las raíces cúbicas de los datos, y Gumbel aplicada a las series de las raíces cuadradas.

Con el fin de poder posteriormente comparar los resultados obtenidos para ambos desfasajes, y considerando la similitud de los fenómenos, se considera conveniente adoptar, como función de distribución adecuada para la caracterización probabilística de las precipitaciones, la función Gumbel aplicada a las series de las Raíces cuadradas de los datos en ambos desfasajes de tiempo.

Se adjuntan tablas con las Precipitaciones en mm/hr para las distintas duraciones y para los desfasajes de 6 hs y 12 hs.

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

TABLA Nº 1: DESFAJAJE 6 HORAS GUMBEL-R
PRECIPITACION TOTAL EN MM/HR

Rec Dur.	2	5	10	20	50
5	60.0	88.8	115.2	144.0	187.2
10	44.4	67.2	87.0	109.2	143.4
15	37.2	56.8	74.0	94.0	123.6
20	31.8	48.0	62.4	78.6	103.2
25	28.3	42.5	55.2	69.6	91.0
30	25.6	38.6	50.4	63.6	83.6
35	23.3	35.3	45.9	57.9	76.1
40	21.5	32.4	42.2	53.1	69.6
45	20.0	30.3	39.3	49.7	65.2
50	19.0	28.6	37.3	47.2	61.9
55	17.9	27.1	35.2	44.5	58.5
60	17.0	25.6	33.3	42.1	55.2
65	16.2	24.6	31.9	40.3	53.0
70	15.4	23.3	30.4	38.4	50.4
75	14.8	22.3	29.1	36.7	48.2
80	14.0	21.3	27.8	35.3	46.4
85	13.6	20.5	26.8	33.7	44.2
90	13.1	19.7	25.6	32.3	42.3
95	12.6	19.0	24.7	31.1	40.7
100	12.2	18.3	23.8	29.9	39.1
105	11.8	17.7	22.9	28.9	37.7
110	11.5	17.3	22.4	28.1	36.8
115	11.3	16.9	22.0	27.7	36.2
120	11.0	16.5	21.4	26.9	35.2
125	10.8	16.2	21.0	26.4	34.4
130	10.7	15.9	20.6	25.8	33.7
135	10.5	15.7	20.3	25.5	33.3
140	10.2	15.4	19.9	25.1	32.8
145	10.0	15.0	19.5	24.6	32.2
150	9.7	14.6	19.0	23.9	31.3
155	9.5	14.3	18.6	23.4	30.7
160	9.2	13.9	18.1	22.8	30.0
165	9.0	13.6	17.7	22.4	29.4
170	8.8	13.3	17.3	21.8	28.7
175	8.6	13.0	16.9	21.4	28.0
180	8.4	12.7	16.5	20.9	27.4

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

TABLA N° 2: DESFAJAJE 12 HORAS GUMBEL-R
PRECIPITACION TOTAL EN MM/HR

REC DUR	2	5	10	20	50
5	60.00	90.00	117.60	148.80	194.40
10	45.00	68.40	90.00	114.00	150.00
15	38.00	58.80	78.00	99.60	132.00
20	32.70	50.40	66.60	84.90	112.50
25	29.04	44.88	59.28	75.60	100.32
30	26.20	41.00	54.40	69.60	92.80
35	24.00	37.71	50.06	64.11	85.54
40	22.05	34.65	46.05	59.10	78.75
45	20.53	32.27	42.93	55.07	73.47
50	19.32	30.36	40.32	51.60	68.76
55	18.22	28.58	37.85	48.44	64.58
60	17.20	26.90	35.60	45.60	60.60
65	16.43	25.66	33.97	43.48	57.88
70	15.60	24.34	32.23	41.23	54.86
75	14.88	23.20	30.72	39.36	52.32
80	14.25	22.28	29.48	37.65	50.03
85	13.69	21.25	28.09	35.93	47.72
90	13.13	20.40	26.93	34.40	45.67
95	12.63	19.64	25.89	33.03	43.83
100	12.24	18.90	24.90	31.74	42.12
105	11.83	18.29	24.06	30.63	40.57
110	11.51	17.78	23.40	29.78	39.44
115	11.22	17.37	22.85	29.11	38.61
120	10.95	16.90	22.25	28.35	37.50
125	10.85	16.61	21.84	27.74	36.62
130	10.66	16.29	21.37	27.14	35.82
135	10.44	16.00	21.02	26.71	35.29
140	10.16	15.69	20.61	26.23	34.67
145	9.89	15.27	20.07	25.57	33.85
150	9.60	14.84	19.52	24.88	32.92
155	9.37	14.48	19.08	24.31	32.17
160	9.11	14.10	18.56	23.66	31.31
165	8.91	13.78	18.15	23.16	30.69
170	8.65	13.41	17.68	22.55	29.89
175	8.43	13.10	17.28	22.01	29.21
180	8.23	12.77	16.87	21.50	28.50

Posteriormente se procesaron las precipitaciones obtenidas para las recurrencias de 2 años, 5 años, 10 años, 20 años y 50 años, mediante la aplicación del denominado Método de Chicago para obtener la tormenta de diseño.

Este método propone un hietograma variable que asume que para cada duración, la intensidad media de la precipitación coincide con la intensidad media dada por la curva Intensidad-Duración-Frecuencia.

Para la recurrencia adoptada para el evento y dado el tiempo de duración del mismo t , la altura de lluvia se obtiene de una ecuación del tipo $h = a * t^n$, donde h es la altura de precipitación en mm y t es la duración en minutos, horas o días, mientras que a y n son parámetros característicos de las curvas.

Para determinar el volumen deducido por la curva se integra la intensidad de precipitación en el intervalo considerado es decir

$$\int i dt = a * t^n$$

Diferenciando esta ecuación se obtiene:

$$i(t) = n*a*t^{n-1}$$

El hietograma descrito por esta ecuación tiene la misma intensidad media, para cualquier duración, que la obtenida de la curva I-D-F. si se divide la duración t en dos partes, llamando $t_b = r * t$ al período precedente al valor pico de intensidad, y $t_a = (1 - r) * t$ al período subsiguiente al pico, se obtienen dos expresiones que indican el comportamiento de la intensidad de lluvia en las ramas ascendentes y descendentes del hietograma calculado.

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

$$i(t) = n * a * (t/r)^{n-1} \quad \text{antes del pico}$$

$$i(t) = n * a * (t/(1-r))^{n-1} \quad \text{después del pico}$$

r, es la relación entre el tiempo antes del pico y la duración total del evento, en el presente trabajo se adoptó un valor de $r = 1/3$.

Se adjuntan tablas para los dos desfasajes considerados en los que se vuelcan los resultados de aplicar el método de Chicago a las distintas duraciones con el objeto de que a posteriori se extraiga la tormenta de proyecto cuando se definan las recurrencias definitivas.

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

TABLA N° 3: TORMENTA DE PROYECTO
 DESFASAJE 6 HS CON FUNCION DE DISTRIBUCION GUMBEL-R
 APLICANDO EL METODO DE CHICAGO

Rec Dur	2	5	10	20	50
5	3.32	4.74	5.85	7.03	8.37
10	3.55	5.08	6.3	7.59	9.12
15	3.82	5.5	6.84	8.28	10.03
20	4.15	6	7.5	9.13	11.18
25	4.57	6.63	8.34	10.21	12.65
30	5.1	7.46	9.45	11.64	14.62
35	5.83	8.6	10.97	13.63	17.39
40	6.89	10.26	13.23	16.6	21.58
45	8.6	12.99	16.97	21.54	28.63
50	11.96	18.41	24.44	31.45	42.73
55	22.79	35.59	47.57	61.32	83.07
60	59.15	86.37	109.24	134.29	169.04
65	28.01	43.72	58.3	74.92	100.79
70	17.57	27.46	36.83	47.72	65.36
75	13.18	20.39	27.17	35.06	47.85
80	10.73	16.43	21.71	27.83	37.61
85	9.15	13.88	18.19	23.16	30.95
90	8.04	12.1	15.74	19.91	26.3
95	7.21	10.78	13.93	17.52	22.89
100	6.56	9.75	12.53	15.68	20.28
105	6.04	8.93	11.43	14.22	18.22
110	5.62	8.26	10.52	13.04	16.56
115	5.26	7.7	9.77	12.05	15.19
120	4.95	7.23	9.13	11.23	14.04
125	4.68	6.81	8.58	10.52	13.07
130	4.45	6.46	8.1	9.9	12.23
135	4.25	6.14	7.69	9.36	11.5
140	4.06	5.86	7.32	8.89	10.86
145	3.9	5.61	6.98	8.47	10.29
150	3.75	5.38	6.69	8.09	9.78
155	3.61	5.18	6.42	7.75	9.33
160	3.49	4.99	6.18	7.44	8.92
165	3.38	4.82	5.95	7.16	8.54
170	3.27	4.66	5.75	6.90	8.2
175	3.17	4.52	5.56	6.66	7.89
180	3.08	4.38	5.38	6.44	7.61

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

TABLA N° 4: TORMENTA DE PROYECTO
 DESFASAJE 12 HORAS FUNCION DE DISTRIBUCION GUMBEL-R
 METODO DE CHICAGO

Rec Dur	2	5	10	20	50
5	3.00	4.40	5.50	6.66	8.35
10	3.22	4.75	5.96	7.24	9.13
15	3.49	5.17	6.51	7.95	10.08
20	3.82	5.69	7.21	8.85	11.28
25	4.24	6.35	8.09	9.99	12.84
30	4.78	7.22	9.26	11.53	14.93
35	5.53	8.42	10.91	13.69	17.90
40	6.64	10.22	13.37	16.97	22.42
45	8.46	13.21	17.51	22.49	30.08
50	12.12	19.25	25.90	33.68	45.58
55	23.90	38.16	51.53	67.00	90.36
60	59.21	88.81	114.79	143.36	186.01
65	29.50	46.97	63.26	81.96	110.08
70	18.29	29.35	39.81	52.04	70.65
75	13.47	21.46	28.97	37.78	51.23
80	10.78	17.03	22.82	29.58	39.93
85	9.06	14.19	18.88	24.32	32.62
90	7.87	12.22	16.15	20.66	27.54
95	6.98	10.77	14.14	17.99	23.83
100	6.30	9.66	12.61	15.95	21.01
105	5.76	8.78	11.40	14.34	18.79
110	5.31	8.06	10.42	13.05	17.01
115	4.94	7.47	9.61	11.98	15.54
120	4.63	6.96	8.92	11.08	14.32
125	4.36	6.53	8.34	10.32	13.28
130	4.12	6.16	7.84	9.67	12.39
135	3.91	5.83	7.40	9.10	11.62
140	3.73	5.54	7.01	8.60	10.94
145	3.57	5.29	6.67	8.15	10.35
150	3.42	5.05	6.36	7.76	9.82
155	3.29	4.85	6.08	7.40	9.34
160	3.16	4.66	5.83	7.08	8.91
165	3.05	4.48	5.61	6.79	8.53
170	2.95	4.32	5.40	6.52	8.17
175	2.86	4.18	5.21	6.28	7.85
180	2.77	4.04	5.03	6.05	7.55

En los gráficos adjuntos se muestra como queda conformada la tormenta para ambos desfases y como son las curvas de I-D-F obtenidas con el procesamiento indicado.

El tiempo de desfase de 6 horas se obtuvo considerando el tiempo de llegada de la onda de crecida urbana, según la modelación hidrológica, tomándose el valor de 12 horas como una condición de máxima.

Con el objeto de incorporar en el análisis la ocurrencia de eventos que fueran simultáneos con alturas superiores a los 2.00m, utilizada como referencia en el estudio antes indicado, se procesó para 2.20m y 2.30m, se adjuntan los histogramas de frecuencia de precipitaciones de estos eventos.

Asimismo se efectuó un primer análisis de permanencias de alturas superiores o iguales a las tres cotas de referencia indicadas, adjuntándose los gráficos de Histogramas de frecuencias de permanencias para cada cota, y permanencia de cotas por eventos que se adjuntan al informe.

El resultado de este proceso se incluye en las tablas adjuntas que muestran los valores estadísticos principales de la permanencia de eventos, de las que se puede extraer la existencia de una variación relativamente chica entre las diferentes condiciones.

En el análisis está incluido un sólo caso en el que se observaron permanencias extremas, punto muy distinto del resto de los valores obtenidos en la muestra, el caso mencionado corresponde a una permanencia del orden de tres días observada en el año 1959 (Crecida del río Paraná Guazú simultáneo con sudestada).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los estudios que se realizan sobre fenómenos de gran variabilidad deben ser cuidadosamente evaluados y conducir a decisiones que siempre deberán tener en cuenta la incertidumbre propia de las variables y de los métodos estadísticos como representación numérica de hechos históricos.

Con esta premisa se presentan los resultados de distintas tormentas de proyecto tipo, contemplando dos situaciones diferentes en la selección de casos como son desfasajes de tiempo de 6 y 12 horas, considerándose como más representativa desde el punto de vista técnico las tormentas que toman un desfasaje de 6 horas.

Por otro lado se presentan configuraciones de tormentas con distintas recurrencias como son recurrencias de 2, 5, 10, 20 y 50 años, para que en etapas posteriores del proyecto se evalúen las distintas alternativas de obra, desde el punto de vista ingenieril de las obras propiamente dicha y en sus evaluaciones económicas asociadas.

Si se efectúa una comparación de los resultados obtenidos con aquellos en los que no se considera la simultaneidad de eventos, se podrá apreciar que para iguales valores de intensidades de precipitación el actual resultado le asigna mayor tiempo de retorno, esto es concordante con los criterios empleados ya que no todas las tormentas intensas que deberán ser evacuadas ocurren con simultaneidad de alturas superiores a 2.00 m en la escala del Riachuelo.

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

En las localidades ubicadas en la cuenca baja del río de la Matanza habrá mayor o menor influencia de este efecto, de acuerdo a su mayor o menor proximidad al Río de la Plata. El rango de valores que asumirán las intensidades de precipitación estará comprendido entre los valores presentados en el presente informe y aquellos que se obtienen del procesamiento de toda la información pluviográfica existente sin ningún tipo de condicionantes.

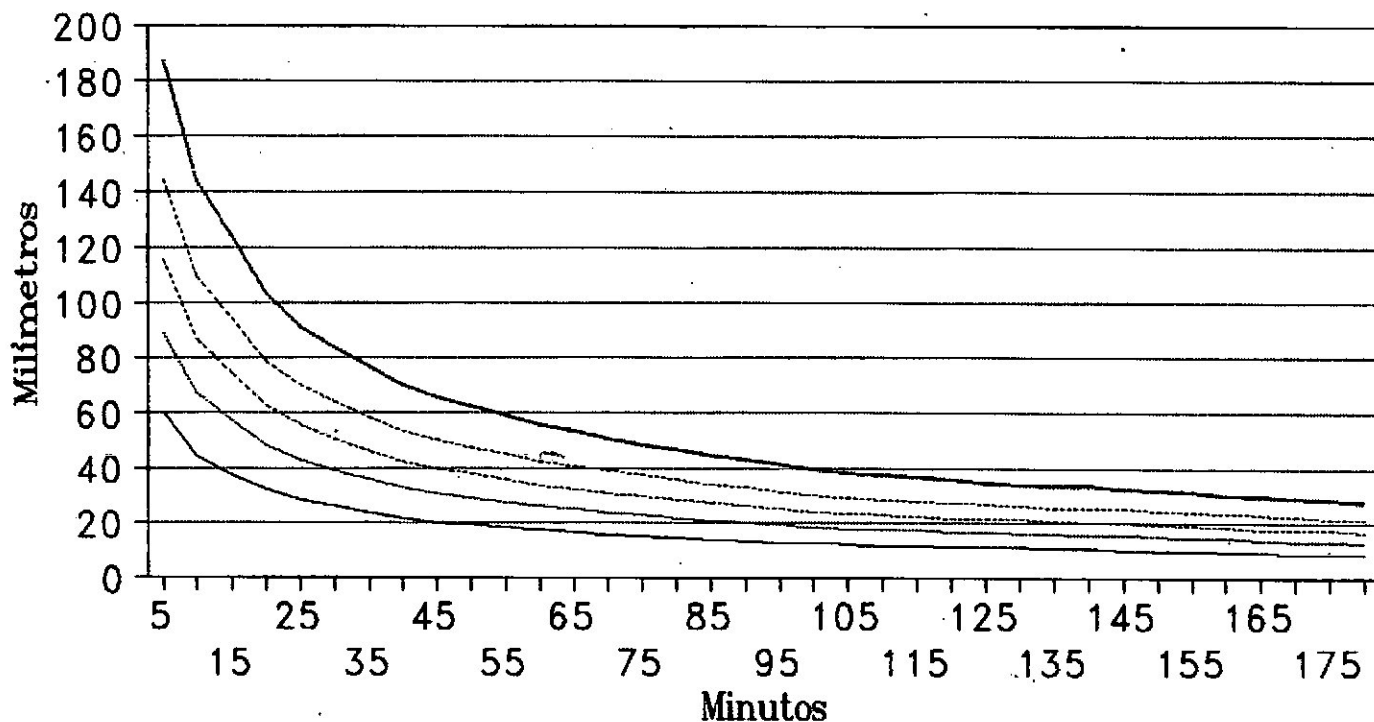
TORMENTA DE PROYECTO SEGUN NORMAL-C
METODO DE CHICAGO
DESFAJAJE 6 HORAS

RECURRENCIA DURACION	2	5	10	20	50
5	298	482	503	697	789
10	318	515	544	746	846
15	343	554	594	804	915
20	373	602	656	874	1001
25	410	661	735	963	1109
30	458	738	839	1077	1250
35	524	842	985	1233	1443
40	619	994	1204	1460	1728
45	774	1238	1569	1828	2197
50	1077	1717	2304	2556	3134
55	2059	3277	4533	4924	6136
60	5364	8811	9994	12961	15107
65	2533	4035	5550	6069	7562
70	1586	2519	3517	3779	4709
75	1188	1891	2573	2822	3478
80	967	1542	2035	2290	2791
85	824	1317	1689	1948	2351
90	723	1158	1449	1708	2043
95	648	1040	1272	1530	1816
100	590	947	1136	1390	1640
105	543	873	1029	1279	1500
110	505	812	942	1187	1386
115	472	760	870	1110	1290
120	444	716	809	1044	1209
125	420	678	757	987	1139
130	399	645	712	938	1078
135	381	615	673	894	1025
140	364	589	638	855	977
145	350	565	608	820	934
150	336	544	580	788	896
155	324	524	555	759	861
160	313	506	533	733	830
165	303	490	512	708	801
170	293	475	494	686	774
175	285	461	476	666	750
180	276	448	460	647	727

TORMENTA DE PROYECTO SEGUN GUMBEL-C
METODO DE CHICAGO
DESFAJAJE 12 HORAS

RECURRE DURACION	2	5	10	20	50
5	237	302	423	504	1034
10	259	333	469	566	1118
15	285	372	527	644	1219
20	319	422	601	744	1345
25	362	488	698	877	1505
30	420	577	832	1061	1717
35	503	706	1024	1327	2013
40	628	906	1321	1742	2456
45	840	1252	1829	2452	3197
50	1269	1964	2850	3862	4705
55	2512	4036	5609	7508	9457
60	5193	8372	10747	13806	22120
65	3061	4946	6773	9006	11672
70	1964	3126	4445	6011	7241
75	1426	2225	3218	4367	5260
80	1113	1702	2481	3357	4150
85	910	1367	1998	2687	3442
90	770	1136	1661	2217	2952
95	667	969	1415	1873	2593
100	589	843	1228	1612	2318
105	528	745	1082	1408	2101
110	478	667	966	1246	1925
115	437	603	871	1115	1779
120	403	551	793	1006	1656
125	374	507	727	915	1550
130	350	469	670	838	1459
135	328	436	622	772	1380
140	309	408	580	715	1310
145	293	383	543	666	1247
150	278	361	511	622	1191
155	265	342	482	583	1141
160	253	324	456	549	1095
165	242	309	433	518	1053
170	232	295	412	491	1015
175	223	282	393	466	980
180	215	270	376	443	947

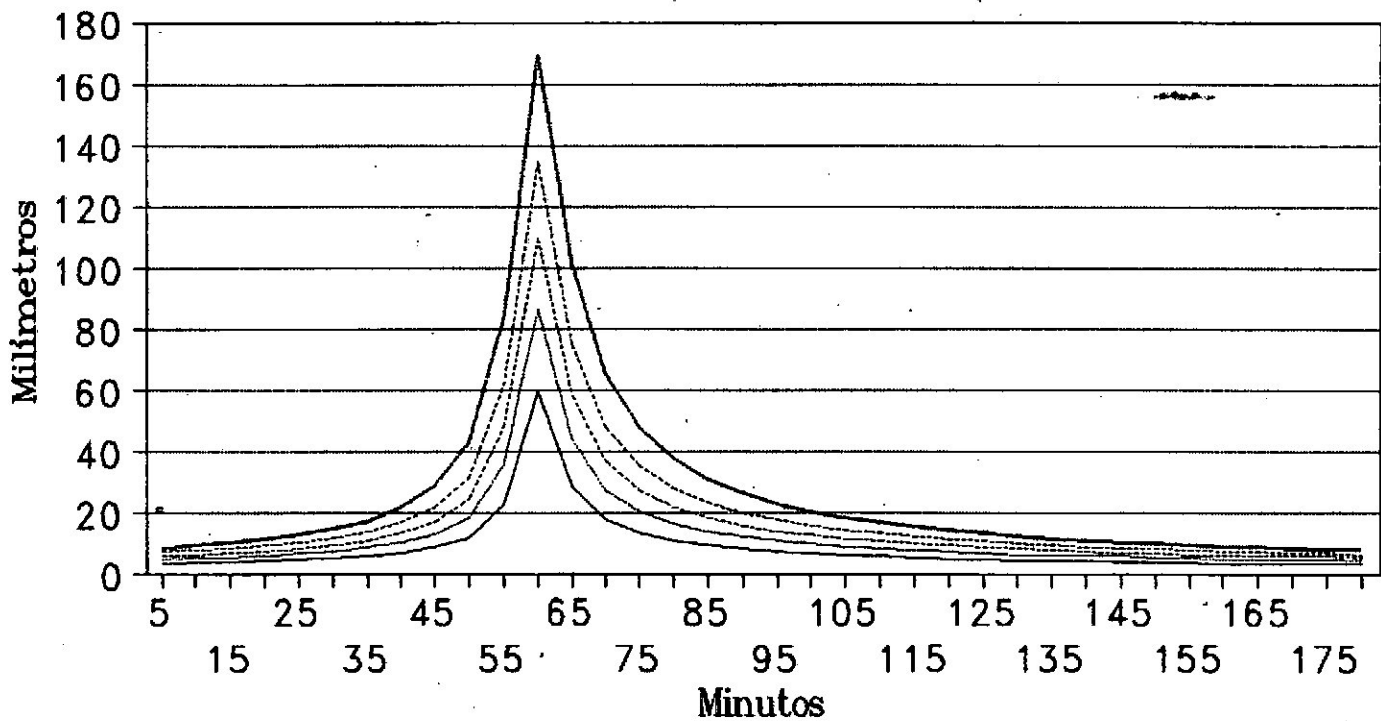
Precipit. total en MM./HR con desfaseaje 6 hs. Método de Chicago F de D Gumbel-R



— Recurrencia 2 años — Recurrencia 5 años - - - Recurrencia 10 años
 - - - Recurrencia 20 años — Recurrencia 50 años

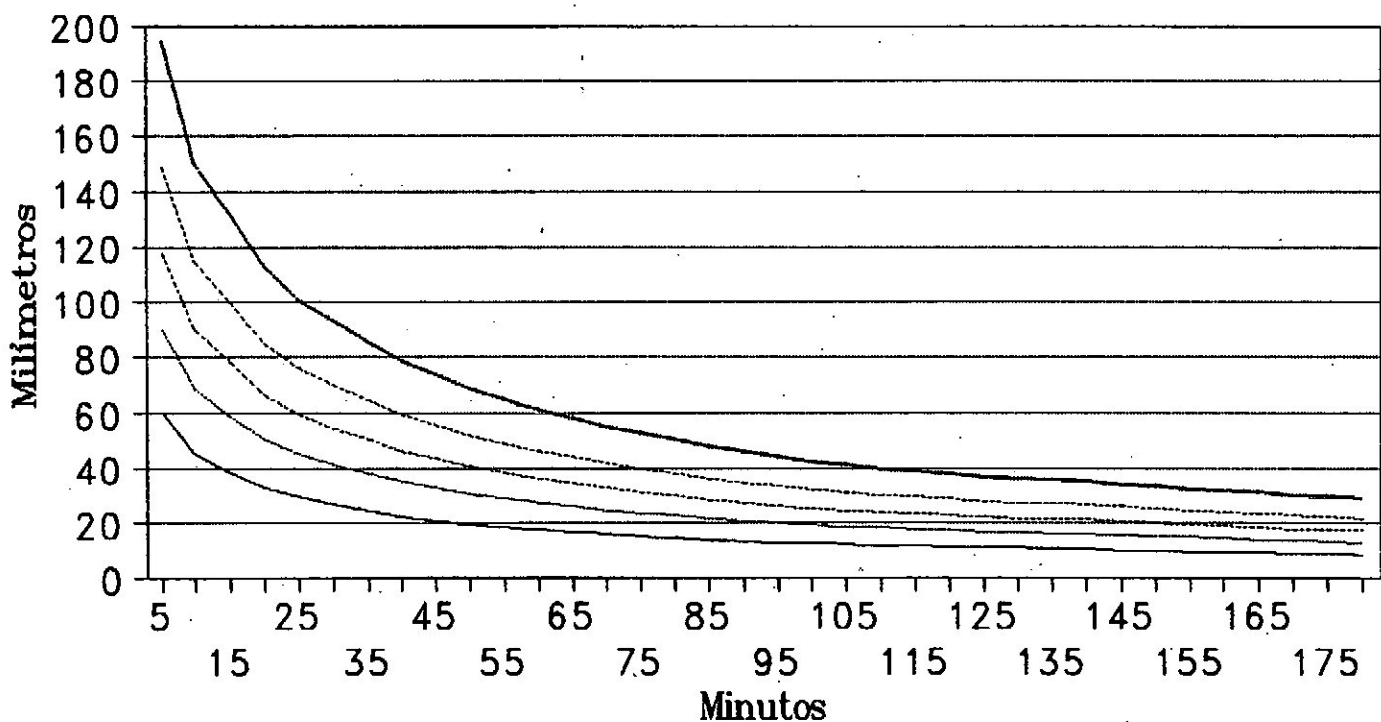
Tormenta de Proyecto con desfase 6 hs

Método de Chicago F de D Gumbel-R



— Recurrencia 2 años — Recurrencia 5 años — Recurrencia 10 años
— Recurrencia 20 años — Recurrencia 50 años

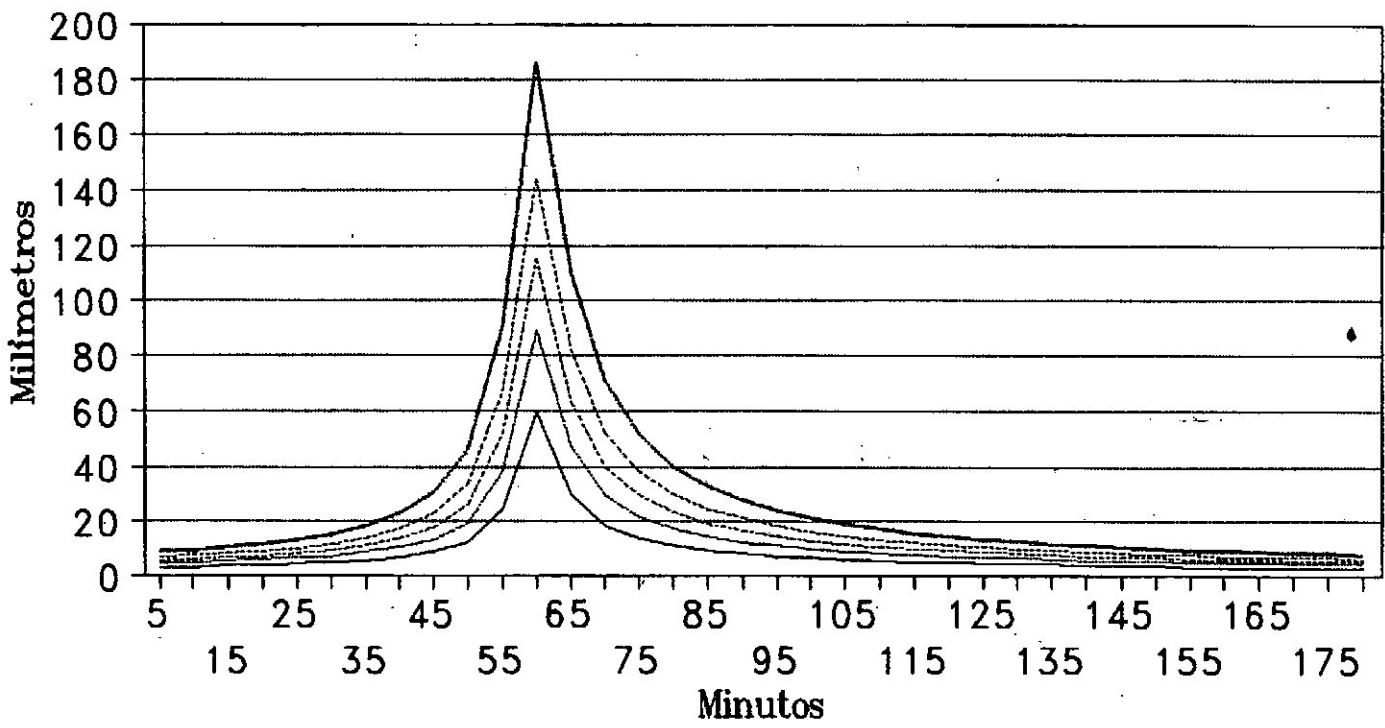
Precipit. total en MM./HR con desfaseaje 12 hs. Método de Chicago F de D Gumbel-R



— Recurrencia 2 años	— Recurrencia 5 años	----- Recurrencia 10 años
— Recurrencia 20 años	— Recurrencia 50 años	

Tormenta de proyecto con desfase 12 h

Método de Chicago F de D Gumbel-R



— Recurrencia 2 años — Recurrencia 5 años - - - Recurrencia 10 años
- - - Recurrencia 20 años — Recurrencia 50 años

ESTUDIO DE OCURRENCIAS SIMULTANEAS DE CRECIDAS EN EL RIO DE LA MATANZA Y PRECIPITACIONES EN LAS LOCALIDADES UBICADAS EN LA CUENCA BAJA DEL RIO.

Las precipitaciones intensas que provocan inundaciones en las cuencas urbanas próximas a la desembocadura del río de la Matanza en el Río de la Plata reconocen causas físicas de índole muy variada, atento a su ubicación geográfica.

La producción de caudales significativos en una cuenca de tamaño reducido responde a fenómenos intensos que no necesariamente tienen extensión areal importante.

De esta manera las crecidas del río de la Matanza pueden no estar provocadas por lluvias de característica local (de mayor influencia en cuencas menores), sino por fenómenos que además de tener una intensidad importante deben abarcar superficies significativas.

En este aspecto adquiere relevancia el tipo de fenómeno involucrado y el momento en el cual éste se produce; esto es debido a que si la precipitación en la cuenca urbana ocurre con suficiente antelación a la llegada de la onda de crecida del río de la Matanza o al momento en el cual los niveles del río comiencen a ser altos por cualquier causa que lo ocasione, el desagüe pluvial no será perturbado por las alturas del río.

El presente estudio encara un análisis de frecuencias de ocurrencia de las precipitaciones observadas en el pluviógrafo instalado en el Observatorio Central del Servicio Meteo-

rológico Nacional, ubicado en Villa Ortúzar en Capital Federal, asignándole a estos datos la representatividad de las precipitaciones que ocurren en las zonas urbanas ubicadas en la cuenca baja del río de la Matanza, con simultaneidad de ocurrencia de alturas significativas en la escala hidrométrica instalada en el semáforo del Riachuelo.

Como primera tarea se efectuó una recopilación de antecedentes en lo concerniente a tratamientos de este problema en la cuenca bajo estudio, de resulta de ello se consideró necesario corregir criterios surgidos de metodologías que se consideran no apropiadas y que podían conducir a conclusiones contundentes sobre fenómenos no suficientemente estudiados.

El planteo básico consiste en considerar que la imposición de muros de defensa que protejan contra crecidas del río también impone una limitante para la evacuación de las precipitaciones que ocurren en la zona urbana protegida.

De esta manera la definición del grado de perturbación a los desagües pluviales, que seguramente debería motivar un análisis sobre la forma en que se evacuará esa precipitación desde un enfoque de ingeniería de obras, debe indefectiblemente considerar la simultaneidad o no de fenómenos de precipitación con crecidas del río.

En los casos en que el río se encuentre con niveles hidrométricos bajos durante la ocurrencia de precipitaciones intensas, la evacuación de los caudales producidos puede efectuarse de diversos modos que no necesariamente requieren la

utilización de estaciones de bombeo. Asimismo el dimensionamiento de las estaciones de bombeo puede resultar modificado al tener que evacuar solamente las precipitaciones que se produzcan cuando el río esté crecido.

No es motivo del presente informe recomendar distintas alternativas de obras hidráulicas para el tratamiento de este problema, sino contemplar criterios hidrometeorológicos que permitan al proyectista proponer las obras adecuadas.

Con este fin se recabó del Grupo de Trabajo del río Matanza, conformado por Convenio entre la Provincia de Buenos Aires y el Consejo Federal de Inversiones, información referente a las alturas que se podían considerar críticas, y que constituyeran situaciones de contorno para la evacuación de crecidas; de esta manera se encaró un análisis de simultaneidad de fenómenos para casos en que se superaban alturas de 2.0 m, 2.2 m y 2.3 m

Se partió de un intento de utilización de métodos de análisis bivariados, en los que se contemplara el cálculo de la probabilidad conjunta de ocurrencia de eventos, para estar en condiciones de asignarle tiempos de retorno de fenómenos simultáneos.

El procesamiento de la información existente mostró evaluadores estadísticos de regresión extremadamente bajos, esto indica la no existencia de un agrupamiento de valores

adecuado a la hipótesis de funciones de distribución bivariadas.

En particular se analizaron estudios anteriores que hubieran aplicado estos métodos en la región bajo análisis, encontrándose sorprendentemente que se asignaban valores de 50 años de recurrencia por análisis bivariados empleando funciones de distribución marginales distintas para los 2 eventos, lo que constituye un error metodológico; estas recurrencias correspondían a 3 eventos ocurridos en el transcurso de 40 años de datos, lo que también constituye una interpretación inapropiada del método estadístico.

Ante esta circunstancia se optó por efectuar una interpretación física de los fenómenos existentes, y posteriormente realizar un estudio estadístico consistente en análisis de contingencia.

ANÁLISIS DE LOS FENÓMENOS INTERVINIENTES.

En la cuenca baja del río de la Matanza existen distintos fenómenos productores de incrementos en las alturas del Riachuelo estos son:

a) Crecidas del río de la Matanza propiamente dicho, ocurridas por precipitaciones en su cuenca de aportes.

b) Elevaciones de alturas del río por crecidas del Río de la Plata debido a los aportes en la Cuenca del Plata.

c) Elevaciones de alturas del Río de la Plata producidas por Sudestadas (vientos con dirección del Sudeste durante tiempos relativamente prolongados).

En los casos en que claramente existe mayor probabilidad de que las precipitaciones en la cuenca urbana sea coincidente con la precipitación en la cuenca del río de la Matanza, caso a), debe tenerse presente que la onda de crecida en el río tiene un tiempo de traslado tal que la producción de precipitaciones intensas en la cuenca urbana, puede no ser coincidente con la llegada de la onda de crecida; para ello tendría que ocurrir un desplazamiento del sistema meteorológico en el mismo sentido del río y con la misma velocidad de traslado; un desfase en tiempos no relativamente muy grande indicaría que existe tiempo suficiente como para que el agua precipitada en la cuenca urbana pueda desagotarse sin necesidad de bombeo.

En el caso b) obviamente la producción simultánea de los 2 eventos es claramente aleatoria atendiendo a la extensión de la cuenca del río Paraná y del río Uruguay, y a las causas que producen estas crecidas, ligadas a ocurrencia de otros fenómenos físicos distintos, como ser sistemas sinópticos asociados a climas tropicales y bajas latitudes, con ocurrencia de fenómenos convectivos totalmente diferentes en su intensidad y extensión con los que se pueden esperar en latitudes de la cuenca bajo análisis.

En lo que respecta al caso c), producción de crecidas por sudestadas, la advección de aire con sentido sudeste no tiene de por sí la correspondencia de precipitaciones intensas, ya que el viento con dirección sudeste se produce, entre uno de sus motivos, por la existencia de un centro de baja presión que ya superó la zona correspondiente a las cuencas urbanas, es decir que se encuentra en la región posterior del centro de baja presión, zona que desde el punto de vista dinámico tiene asociada una región de convergencia de aire en la zona superior, descenso de aire y divergencia en superficie; el sistema descrito en general no está asociado con tormentas de gran envergadura.

Si bien los vientos provenientes de esta dirección también pueden responder a alguna situación sinóptica distinta que se asocie con núcleos convectivos, no es biunívoca la relación, entre viento proveniente de la región sudeste con producción de lluvia intensa, o que se pueda interpretar que todas las lluvias intensas se producen cuando hay viento del sudeste, por lo que esta relación no puede producir una regresión significativa entre todas las precipitaciones intensas y las alturas del Riachuelo provocadas por Sudestadas, con registros superiores a 2.0 m.

En otras palabras los fenómenos físicos involucrados son, todos de muy variada génesis, por lo que su tratamiento matemático, forzando una relación biunívoca, parte de una ligereza en la definición de la metodología.

ANALISIS ESTADISTICO.

Se analizó la cantidad de casos en los que se cumple la condición simultánea de superar la cota de referencia preestablecida (2.0m, 2.2m o 2.3m) y haberse observado una precipitación de cierta envergadura.

Si se considera la altura de 2.0 m como cota de referencia se obtiene que cumplen esta condición 84 casos observados durante los años en que se cuentan con información simultánea de los dos fenómenos, es decir durante los 39 años comprendidos entre 1945 y 1983.

El período comprendido entre los años 1945 y 1983 se seleccionó debido a ser el único del que se disponían registros de alturas del río de la Matanza en Boca del Riachuelo horarias, y precipitaciones observadas con pluviógrafo en Villa Ortuzar con fajas analizadas con pasos de tiempo de 5 minutos.

Esto significa que en promedio se observaron alrededor de 2.15 eventos/año. Este promedio para alturas superiores o iguales a 2.20 m es de 1.28 eventos/años y para 2.3 m es de 1.10 eventos/año. Se puede observar que en los tres casos analizados se obtuvieron valores superiores a 1 evento/año en promedio, durante los 39 años analizados.

Se adjuntan gráficos en los que se muestran los histogramas de frecuencias en números de casos por años para las 3 alturas analizadas, observándose en ellos que para 2.00 m de

altura de referencia solamente durante 4 años no se registraron casos de ocurrencias simultáneas; en el caso de 2.20m los años sin ocurrencia ascienden a 12 años, cifra similar a la que se obtuvo para la condición de alturas superiores a 2.30 m .

Para analizar la marcha anual de este fenómeno se confeccionó la tabla de meses de ocurrencia; en ella se puede observar una mayor frecuencia de casos durante el mes de enero y las menores frecuencias concentradas en los meses de junio y julio.

Esto a su vez indica, desde el punto de vista físico productor de precipitaciones, que las mayores frecuencias se producen durante los meses en que ocurren mayor cantidad de casos de tormentas convectivas.

Las precipitaciones seleccionadas tienen, como principal condicionante, el que ocurran con determinada simultaneidad con respecto a la ocurrencia de alturas superiores a las cotas establecidas como referencia; la simultaneidad está dada porque debían ser coincidentes o previas en intervalos de tiempo de 6hs o 12hs (se analizaron ambos casos por separado), entendiéndose como previas el intervalo de tiempo que va entre la hora de finalización de la tormenta y la hora en que se leían alturas superiores a las cotas de referencia.

Teniendo en cuenta los tiempos de concentración de las cuencas urbanas (del orden de 3 hs), se considera que los tiempos de desfase adoptados debían ser tales que; si ocu-

rriera una precipitación intensa para desfases superiores, sería evacuada en su totalidad antes de que se observen alturas mayores a las de referencia.

De esta manera y una vez seleccionados los eventos, se procesaron las precipitaciones correspondientes a todos ellos; en principio se tomaron las precipitaciones totales de los eventos como un indicador del valor total que se podía esperar para las distintas recurrencias, posteriormente, y con el objetivo de confeccionar tormentas de proyecto para distintas recurrencias, se procesaron las precipitaciones para intervalos de 5 minutos en 5 minutos, hasta los 180 minutos, tiempo utilizado para las tormentas de proyecto del Modelo Matemático Hidrológico confeccionado para las cuencas Urbanas involucradas.

Estas precipitaciones, agrupadas en sus respectivos intervalos, se procesaron con la aplicación de distintas funciones de distribución (Gumbel, Gumbel en la serie de las Raíces cuadradas, Gumbel en la serie de las Raíces cúbicas, Frechet, Frechet en las Raíces Cuadradas, Frechet en las Raíces cúbicas, Normal, Normal en las Raíces cuadradas y en las Raíces cúbicas, Lognormal) de utilización común, en este tipo de datos: Considerando que no se estaban utilizando valores únicos anuales y que el objetivo final del estudio estaba orientado a estimar tiempos de recurrencia, se empleó el método desarrollado por Langbein para procesamiento de series parciales.

El método indicado obtiene resultados muy cercanos a los correspondientes al tratamiento de las series anuales cuando se trata de tiempos de retorno altos, pero en las recurrencias bajas (2 o 5 años), se producen mayores apartamientos por tratarse de series parciales. De cualquier manera todo tratamiento probabilístico exige la independencia en los fenómenos que conforman la serie de datos.

Los ajustes obtenidos en la aplicación de las distintas funciones de distribución a las series de precipitaciones se compararon mediante el empleo de los test de ajuste Chi-cuadrado, Kolmogorov-Smirnov, y Kolmogorov-Smirnov anterior.

Como el objetivo es confeccionar tormentas de proyecto, se seleccionó como función de distribución que mejor ajustaba aquella que tiene un correcto ajuste para todas las duraciones, es decir que este ajuste no necesariamente debía ser el mejor en cada duración individual.

Si se seleccionan los mejores ajustes individuales para todas las duraciones y luego con los valores asignados para las distintas recurrencias, se confecciona la tormenta de proyecto, esto determinaría la imposibilidad de establecer una recurrencia adecuada para cada tormenta total; por otro lado en los cálculos se obtienen cruces no reales entre los valores de distintas duraciones.

Para el desfasaje de 6 horas entre tormenta y alturas del Riachuelo, se obtuvo que las funciones de distribución Normal aplicada a las series de las Raíces Cúbicas de los

datos y Gumbel aplicada a las series de las Raíces cuadradas de los datos tenían un adecuado ajuste según los Test aplicados; en lo que respecta al desfase de 12 horas los mejores ajustes se obtuvieron para las funciones de distribución Gumbel aplicada a la series de las raíces cúbicas de los datos, y Gumbel aplicada a las series de las raíces cuadradas.

Con el fin de poder posteriormente comparar los resultados obtenidos para ambos desfases, y considerando la similitud de los fenómenos, se considera conveniente adoptar, como función de distribución adecuada para la caracterización probabilística de las precipitaciones, la función Gumbel aplicada a las series de las Raíces cuadradas de los datos en ambos desfases de tiempo.

Se adjuntan tablas con las Precipitaciones en mm/hr para las distintas duraciones y para los desfases de 6 hs y 12 hs.

TABLA N° 1: DESFASAJE 6 HORAS GUMBEL-R
PRECIPITACION TOTAL EN MM/HR

Rec Dur.	2	5	10	20	50
5	60.0	88.8	115.2	144.0	187.2
10	44.4	67.2	87.0	109.2	143.4
15	37.2	56.8	74.0	94.0	123.6
20	31.8	48.0	62.4	78.6	103.2
25	28.3	42.5	55.2	69.6	91.0
30	25.6	38.6	50.4	63.6	83.6
35	23.3	35.3	45.9	57.9	76.1
40	21.5	32.4	42.2	53.1	69.6
45	20.0	30.3	39.3	49.7	65.2
50	19.0	28.6	37.3	47.2	61.9
55	17.9	27.1	35.2	44.5	58.5
60	17.0	25.6	33.3	42.1	55.2
65	16.2	24.6	31.9	40.3	53.0
70	15.4	23.3	30.4	38.4	50.4
75	14.8	22.3	29.1	36.7	48.2
80	14.0	21.3	27.8	35.3	46.4
85	13.6	20.5	26.8	33.7	44.2
90	13.1	19.7	25.6	32.3	42.3
95	12.6	19.0	24.7	31.1	40.7
100	12.2	18.3	23.8	29.9	39.1
105	11.8	17.7	22.9	28.9	37.7
110	11.5	17.3	22.4	28.1	36.8
115	11.3	16.9	22.0	27.7	36.2
120	11.0	16.5	21.4	26.9	35.2
125	10.8	16.2	21.0	26.4	34.4
130	10.7	15.9	20.6	25.8	33.7
135	10.5	15.7	20.3	25.5	33.3
140	10.2	15.4	19.9	25.1	32.8
145	10.0	15.0	19.5	24.6	32.2
150	9.7	14.6	19.0	23.9	31.3
155	9.5	14.3	18.6	23.4	30.7
160	9.2	13.9	18.1	22.8	30.0
165	9.0	13.6	17.7	22.4	29.4
170	8.8	13.3	17.3	21.8	28.7
175	8.6	13.0	16.9	21.4	28.0
180	8.4	12.7	16.5	20.9	27.4

TABLA N° 2: DESFASAJE 12 HORAS GUMBEL-R
PRECIPITACION TOTAL EN MM/HR

REC DUR	2	5	10	20	50
5	60.00	90.00	117.60	148.80	194.40
10	45.00	68.40	90.00	114.00	150.00
15	38.00	58.80	78.00	99.60	132.00
20	32.70	50.40	66.60	84.90	112.50
25	29.04	44.88	59.28	75.60	100.32
30	26.20	41.00	54.40	69.60	92.80
35	24.00	37.71	50.06	64.11	85.54
40	22.05	34.65	46.05	59.10	78.75
45	20.53	32.27	42.93	55.07	73.47
50	19.32	30.36	40.32	51.60	68.76
55	18.22	28.58	37.85	48.44	64.58
60	17.20	26.90	35.60	45.60	60.60
65	16.43	25.66	33.97	43.48	57.88
70	15.60	24.34	32.23	41.23	54.86
75	14.88	23.20	30.72	39.36	52.32
80	14.25	22.28	29.48	37.65	50.03
85	13.69	21.25	28.09	35.93	47.72
90	13.13	20.40	26.93	34.40	45.67
95	12.63	19.64	25.89	33.03	43.83
100	12.24	18.90	24.90	31.74	42.12
105	11.83	18.29	24.06	30.63	40.57
110	11.51	17.78	23.40	29.78	39.44
115	11.22	17.37	22.85	29.11	38.61
120	10.95	16.90	22.25	28.35	37.50
125	10.85	16.61	21.84	27.74	36.62
130	10.66	16.29	21.37	27.14	35.82
135	10.44	16.00	21.02	26.71	35.29
140	10.16	15.69	20.61	26.23	34.67
145	9.89	15.27	20.07	25.57	33.85
150	9.60	14.84	19.52	24.88	32.92
155	9.37	14.48	19.08	24.31	32.17
160	9.11	14.10	18.56	23.66	31.31
165	8.91	13.78	18.15	23.16	30.69
170	8.65	13.41	17.68	22.55	29.89
175	8.43	13.10	17.28	22.01	29.21
180	8.23	12.77	16.87	21.50	28.50

Posteriormente se procesaron las precipitaciones obtenidas para las recurrencias de 2 años, 5 años, 10 años, 20 años y 50 años, mediante la aplicación del denominado Método de Chicago para obtener la tormenta de diseño.

Este método propone un hietograma variable que asume que para cada duración, la intensidad media de la precipitación coincide con la intensidad media dada por la curva Intensidad-Duración-Frecuencia.

Para la recurrencia adoptada para el evento y dado el tiempo de duración del mismo t , la altura de lluvia se obtiene de una ecuación del tipo $h = a * t^n$, donde h es la altura de precipitación en mm y t es la duración en minutos, horas o días, mientras que a y n son parámetros característicos de las curvas.

Para determinar el volumen deducido por la curva se integra la intensidad de precipitación en el intervalo considerado es decir

$$\int i dt = a * t^n$$

Diferenciando esta ecuación se obtiene:

$$i(t) = n*a*t^{n-1}$$

El hietograma descrito por esta ecuación, tiene la misma intensidad media para cualquier duración, que la obtenida de la curva I-D-F. Si se divide la duración t en dos partes, llamando $t_b = r * t$ al período precedente al valor pico de intensidad, y $t_a = (1 - r) * t$ al período subsiguiente al pico, se obtienen dos expresiones que indican el comportamiento de la intensidad de lluvia en las ramas ascendentes y descendentes del hietograma calculado.

$$i(t) = n * a * (t/r)^{n-1} \quad \text{antes del pico}$$

$$i(t) = n * a * (t/(1-r))^{n-1} \quad \text{después del pico}$$

r, es la relación entre el tiempo antes del pico y la duración total del evento, en el presente trabajo se adoptó un valor de $r = 1/3$.

Se adjuntan tablas para los dos desfasajes considerados en los que se vuelcan los resultados de aplicar el método de Chicago a las distintas duraciones con el objeto de que a posteriori se extraiga la tormenta de proyecto cuando se definen las recurrencias definitivas.

TABLA N° 3: TORMENTA DE PROYECTO
 DESFASAJE 6 HS CON FUNCION DE DISTRIBUCION GUMBEL-R
 APLICANDO EL METODO DE CHICAGO

Rec Dur	2	5	10	20	50
5	3.32	4.74	5.85	7.03	8.37
10	3.55	5.08	6.3	7.59	9.12
15	3.82	5.5	6.84	8.28	10.03
20	4.15	6	7.5	9.13	11.18
25	4.57	6.63	8.34	10.21	12.65
30	5.1	7.46	9.45	11.64	14.62
35	5.83	8.6	10.97	13.63	17.39
40	6.89	10.26	13.23	16.6	21.58
45	8.6	12.99	16.97	21.54	28.63
50	11.96	18.41	24.44	31.45	42.73
55	22.79	35.59	47.57	61.32	83.07
60	59.15	86.37	109.24	134.29	169.04
65	28.01	43.72	58.3	74.92	100.79
70	17.57	27.46	36.83	47.72	65.36
75	13.18	20.39	27.17	35.06	47.85
80	10.73	16.43	21.71	27.83	37.61
85	9.15	13.88	18.19	23.16	30.95
90	8.04	12.1	15.74	19.91	26.3
95	7.21	10.78	13.93	17.52	22.89
100	6.56	9.75	12.53	15.68	20.28
105	6.04	8.93	11.43	14.22	18.22
110	5.62	8.26	10.52	13.04	16.56
115	5.26	7.7	9.77	12.05	15.19
120	4.95	7.23	9.13	11.23	14.04
125	4.68	6.81	8.58	10.52	13.07
130	4.45	6.46	8.1	9.9	12.23
135	4.25	6.14	7.69	9.36	11.5
140	4.06	5.86	7.32	8.89	10.86
145	3.9	5.61	6.98	8.47	10.29
150	3.75	5.38	6.69	8.09	9.78
155	3.61	5.18	6.42	7.75	9.33
160	3.49	4.99	6.18	7.44	8.92
165	3.38	4.82	5.95	7.16	8.54
170	3.27	4.66	5.75	6.90	8.2
175	3.17	4.52	5.56	6.66	7.89
180	3.08	4.38	5.38	6.44	7.61

TABLA N° 4: TORMENTA DE PROYECTO
 DESFASAJE 12 HORAS FUNCION DE DISTRIBUCION GUMBEL-R
 METODO DE CHICAGO

Rec Dur	2	5	10	20	50
5	3.00	4.40	5.50	6.66	8.35
10	3.22	4.75	5.96	7.24	9.13
15	3.49	5.17	6.51	7.95	10.08
20	3.82	5.69	7.21	8.85	11.28
25	4.24	6.35	8.09	9.99	12.84
30	4.78	7.22	9.26	11.53	14.93
35	5.53	8.42	10.91	13.69	17.90
40	6.64	10.22	13.37	16.97	22.42
45	8.46	13.21	17.51	22.49	30.08
50	12.12	19.25	25.90	33.68	45.58
55	23.90	38.16	51.53	67.00	90.36
60	59.21	88.81	114.79	143.36	186.01
65	29.50	46.97	63.26	81.96	110.08
70	18.29	29.35	39.81	52.04	70.65
75	13.47	21.46	28.97	37.78	51.23
80	10.78	17.03	22.82	29.58	39.93
85	9.06	14.19	18.88	24.32	32.62
90	7.87	12.22	16.15	20.66	27.54
95	6.98	10.77	14.14	17.99	23.83
100	6.30	9.66	12.61	15.95	21.01
105	5.76	8.78	11.40	14.34	18.79
110	5.31	8.06	10.42	13.05	17.01
115	4.94	7.47	9.61	11.98	15.54
120	4.63	6.96	8.92	11.08	14.32
125	4.36	6.53	8.34	10.32	13.28
130	4.12	6.16	7.84	9.67	12.39
135	3.91	5.83	7.40	9.10	11.62
140	3.73	5.54	7.01	8.60	10.94
145	3.57	5.29	6.67	8.15	10.35
150	3.42	5.05	6.36	7.76	9.82
155	3.29	4.85	6.08	7.40	9.34
160	3.16	4.66	5.83	7.08	8.91
165	3.05	4.48	5.61	6.79	8.53
170	2.95	4.32	5.40	6.52	8.17
175	2.86	4.18	5.21	6.28	7.85
180	2.77	4.04	5.03	6.05	7.55

En los gráficos adjuntos se muestra como queda conformada la tormenta para ambos desfases y como son las curvas de I-D-F obtenidas con el procesamiento indicado.

El tiempo de desfasaje de 6 horas se obtuvo considerando el tiempo de llegada de la onda de crecida urbana, según la modelación hidrológica, tomándose el valor de 12 horas como una condición de máxima.

Con el objeto de incorporar en el análisis la ocurrencia de eventos que fueran simultáneos con alturas superiores a los 2.00m, utilizada como referencia en el estudio antes indicado, se procesó para 2.20m y 2.30m, se adjuntan los histogramas de frecuencia de precipitaciones de estos eventos.

Asimismo se efectuó un primer análisis de permanencias de alturas superiores o iguales a las tres cotas de referencia indicadas, adjuntándose los gráficos de Histogramas de frecuencias de permanencias para cada cota, y permanencia de cotas por eventos que se adjuntan al informe.

El resultado de este proceso se incluye en las tablas adjuntas que muestran los valores estadísticos principales de la permanencia de eventos, de las que se puede extraer la existencia de una variación relativamente chica, entre las diferentes condiciones.

En el análisis está incluido un sólo caso en el que se observaron permanencias extremas, punto muy distinto del resto de los valores obtenidos en la muestra, el caso mencionado corresponde a una permanencia del orden de tres días observada en el año 1959.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los estudios que se realizan sobre fenómenos de gran variabilidad deben ser cuidadosamente evaluados y conducir a decisiones que siempre deberán tener en cuenta la incertidumbre propia de las variables y de los métodos estadísticos como representación numérica de hechos históricos.

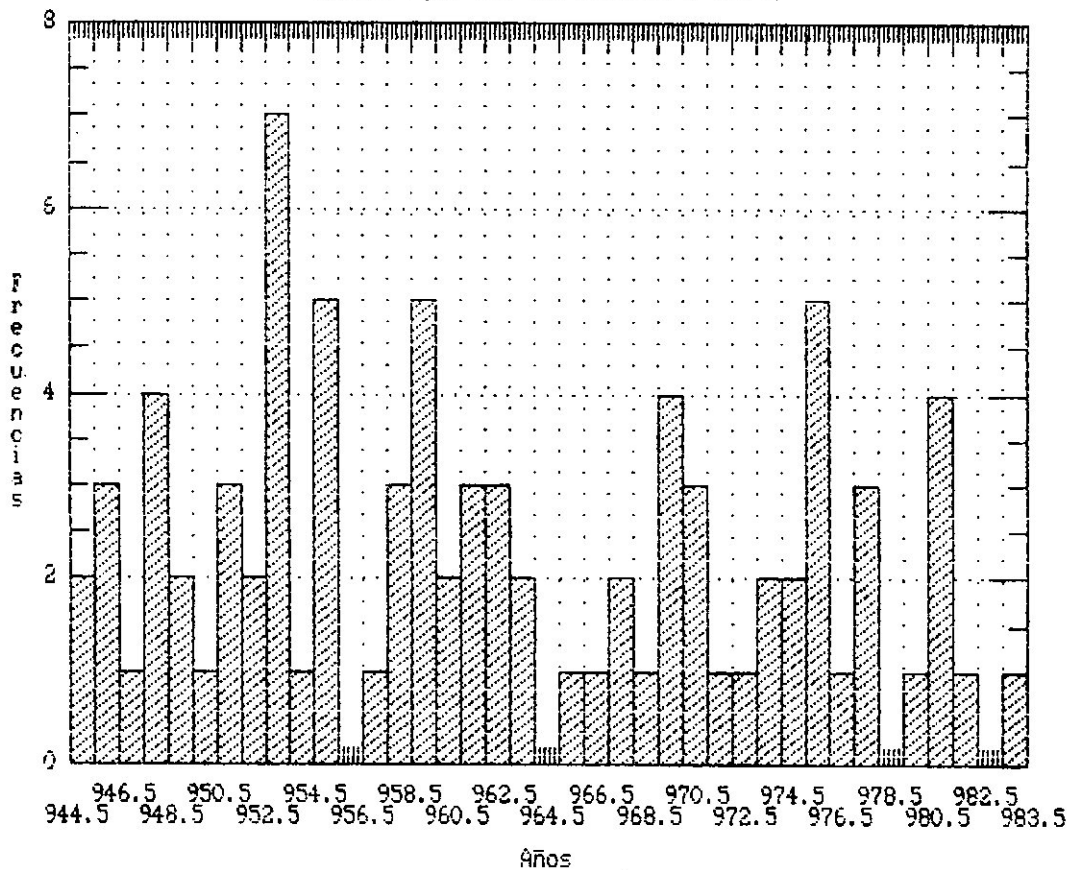
Con esta premisa se presentan los resultados de distintas tormentas de proyecto tipo, contemplando dos situaciones diferentes en la selección de casos como son desfases de tiempo de 6 y 12 horas, considerándose como más representativa desde el punto de vista técnico las tormentas que toman un desfase de 6 horas.

Por otro lado se presentan configuraciones de tormentas con distintas frecuencias como son frecuencias de 2, 5, 10, 20 y 50 años, para que en etapas posteriores del proyecto se evalúen las distintas alternativas de obra, desde el punto de vista ingenieril de las obras propiamente dicha y en sus evaluaciones económicas asociadas.

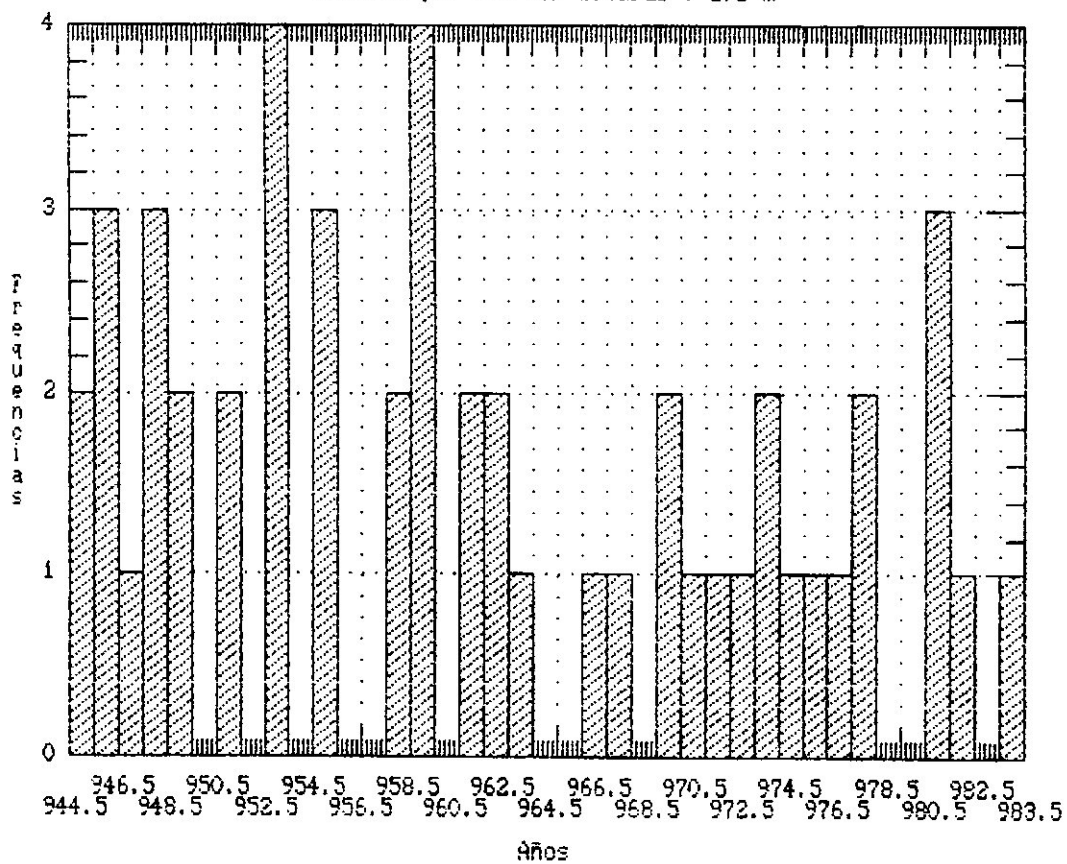
Si se efectúa una comparación de los resultados obtenidos con aquellos en los que no se considera la simultaneidad de eventos, se podrá apreciar que para iguales valores de intensidades de precipitación el actual resultado le asigna mayor tiempo de retorno, esto es concordante con los criterios empleados ya que no todas las tormentas intensas que deberán ser evacuadas ocurren con simultaneidad de alturas superiores a 2.00 m en la escala del Riachuelo.

En las localidades ubicadas en la cuenca baja del río de la Matanza habrá mayor o menor influencia de este efecto, de acuerdo a su mayor o menor proximidad al Río de la Plata. El rango de valores que asumirán las intensidades de precipitación estará comprendido entre los valores presentados en el presente informe y aquellos que se obtienen del procesamiento de toda la información pluviográfica existente sin ningún tipo de condicionantes.

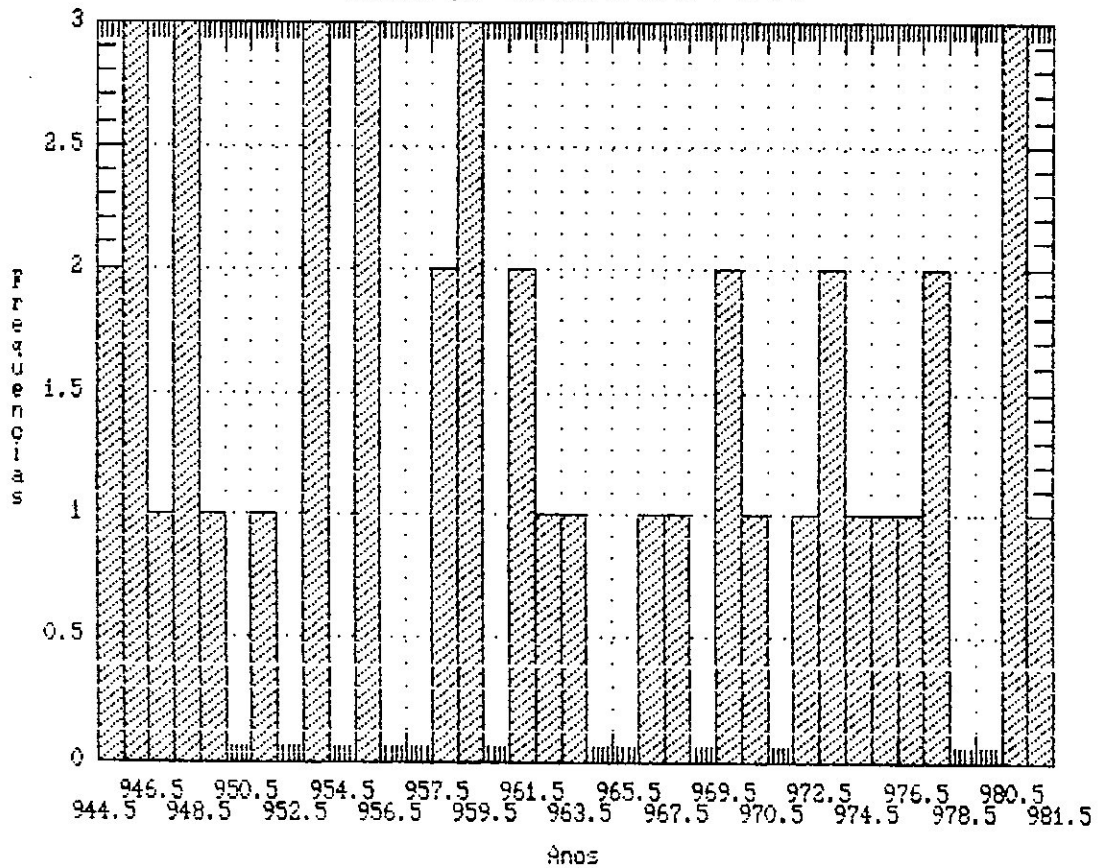
Histograma de Frecuencias
Eventos por año con alturas > 2.0 m



Histograma de Frecuencias
Eventos por año con alturas > 2.2 m

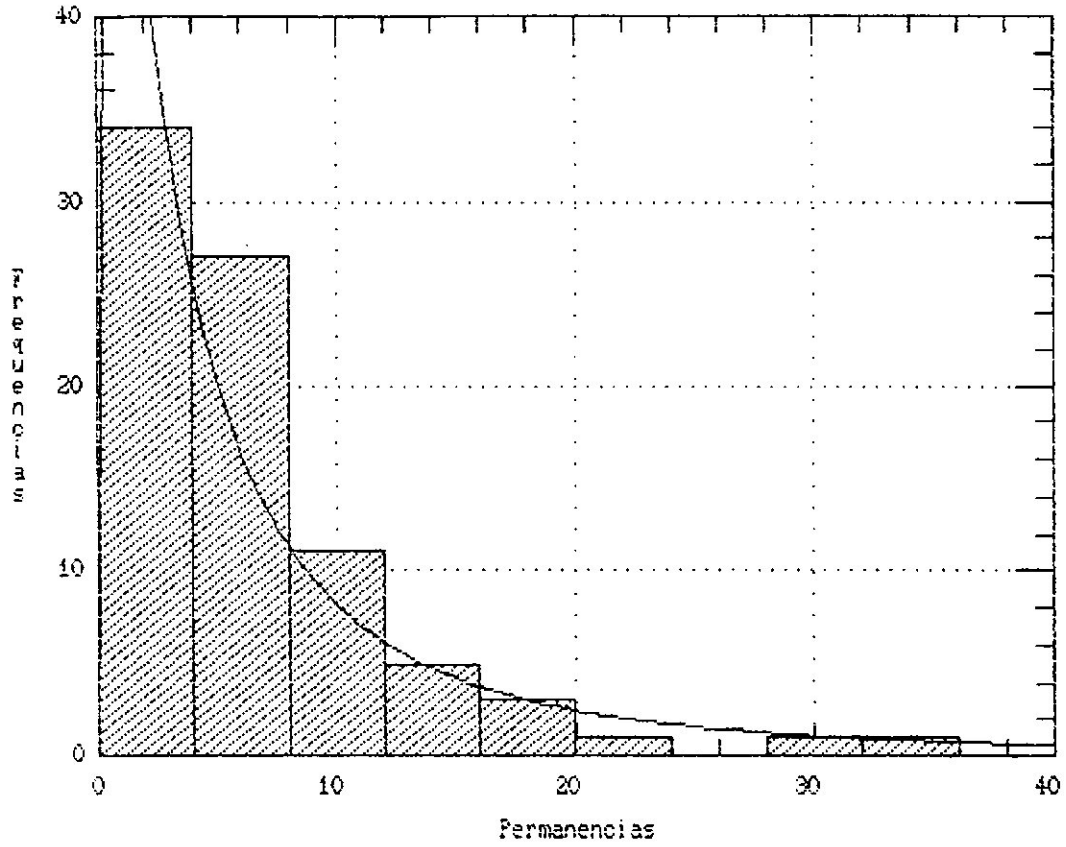


Histograma de Frecuencias
Eventos por año con alturas > 2.3 m

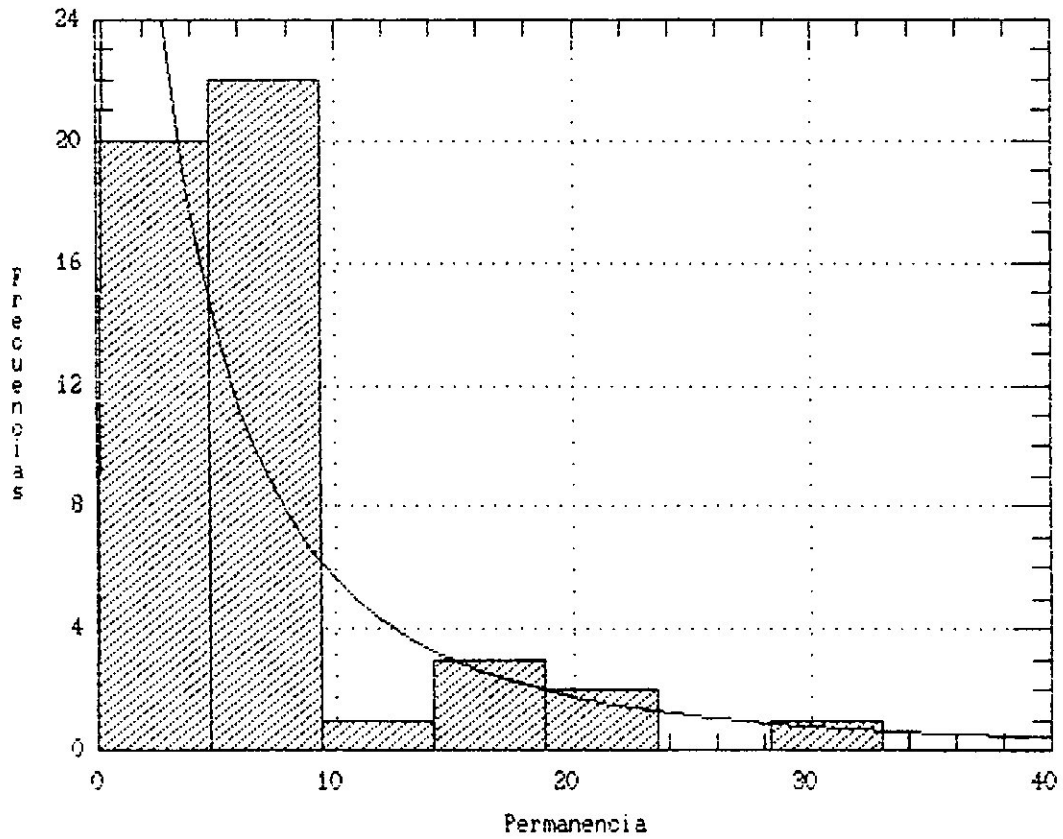


Variable:	Permanencia 2m	Permanencia 2.2	Permanencia 2.3m
Tamaño de la muestra	78	46	41
Promedio	8.0641	8.17391	7.29268
Mediana	6	5	5
Moda	6	5	5
Media Geometrica	5.57996	5.78797	5.09337
Varianza	93.0738	98.3691	92.1122
Desviacion Standard	9.64747	9.91812	9.59751
Error Standard	1.09236	1.46235	1.49888
Minimo	1	1	1
Maximo	73	63	62
Rango	72	62	61
Cuartil menor	3	4	3
Cuartil Mayor	9	8	7
Rango intercuartil	6	4	4
Asimetria	4.53513	4.19972	4.88171
Varianza de asimetria	16.3517	11.6285	12.7611
Curtosis	27.0507	21.2393	27.5301
Curtosis Standarizada	48.7663	29.4044	35.9828

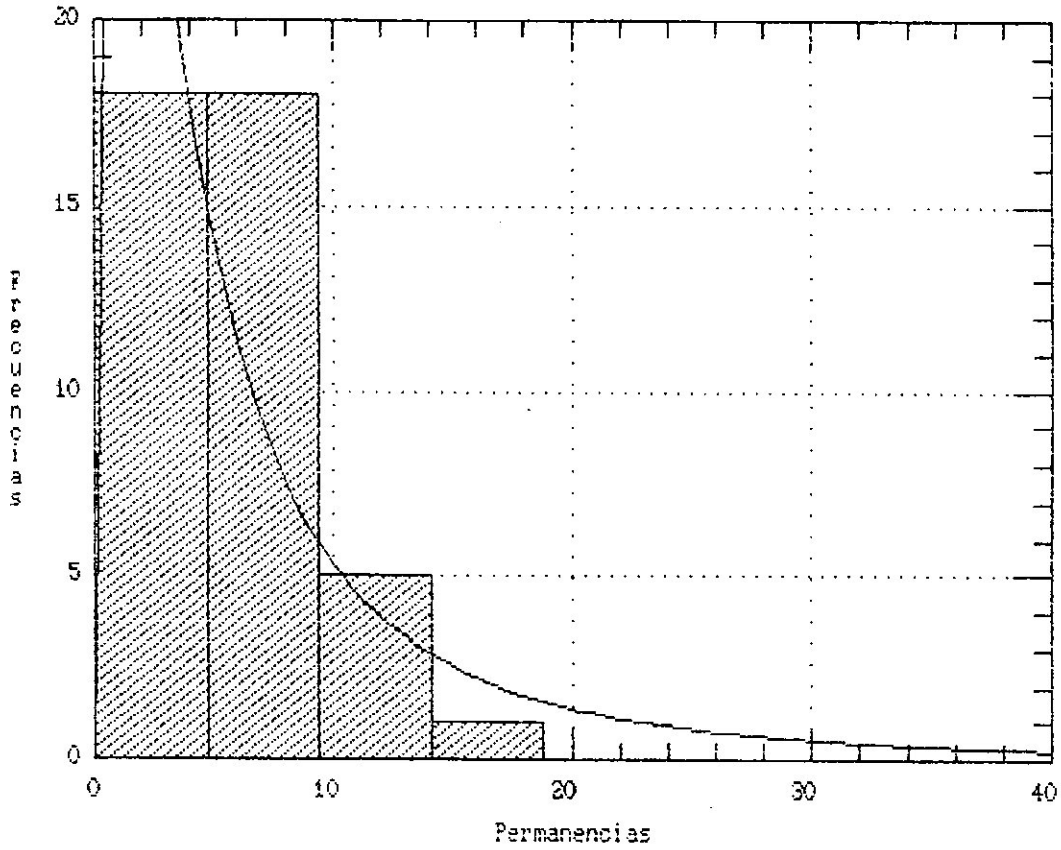
Histograma de Frecuencias
Permanencias de $h > 2m$



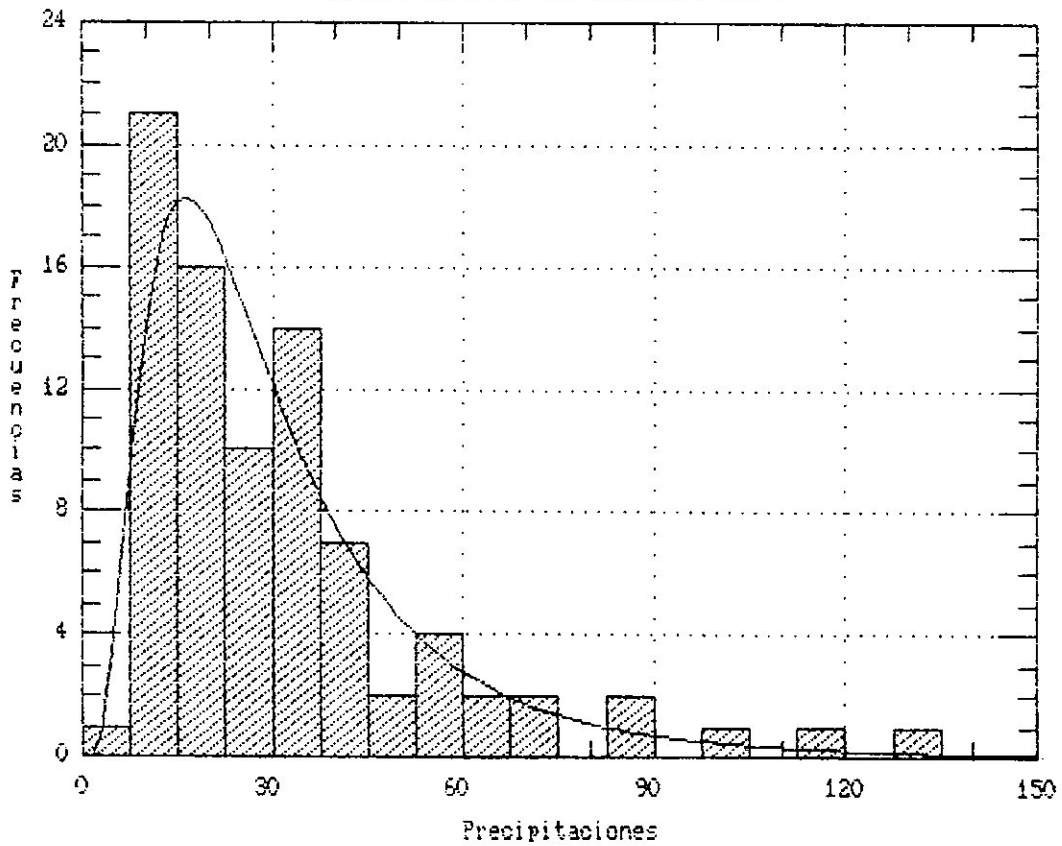
Histograma de Frecuencias
Permanencia de alturas $> 2.2m$



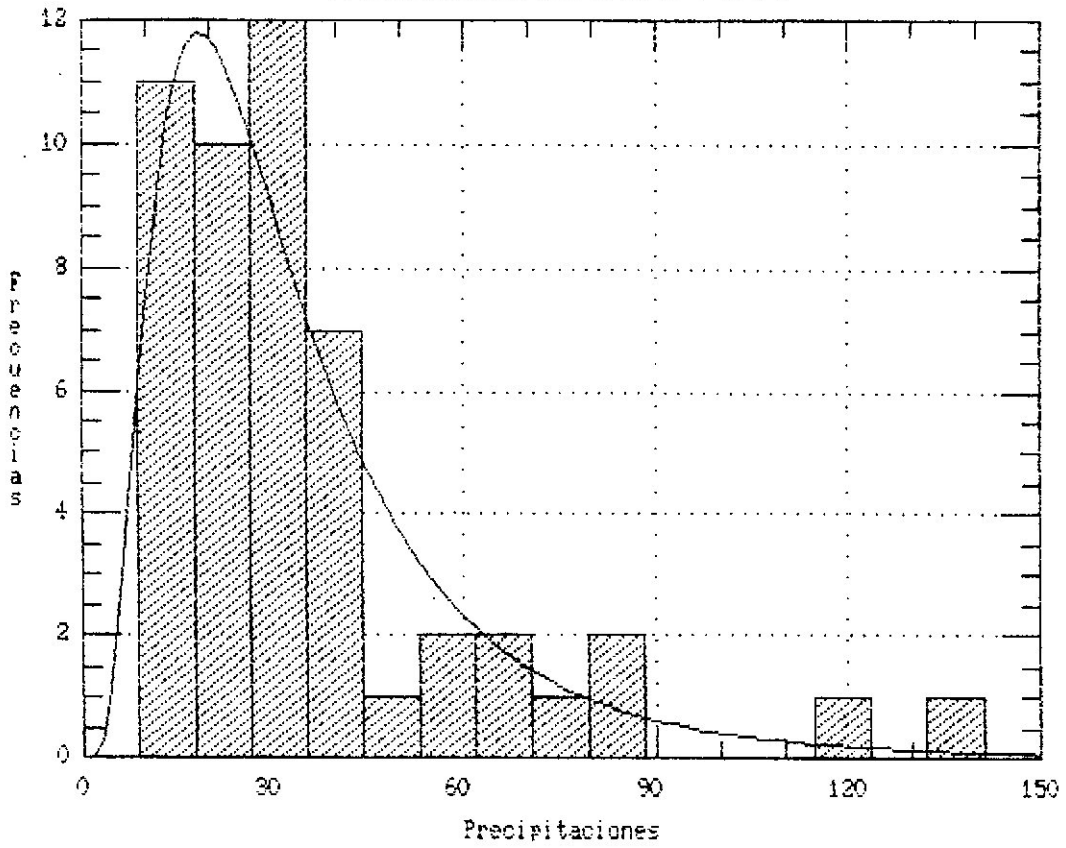
Histograma de frecuencias
Permanencia de h > 2.3m



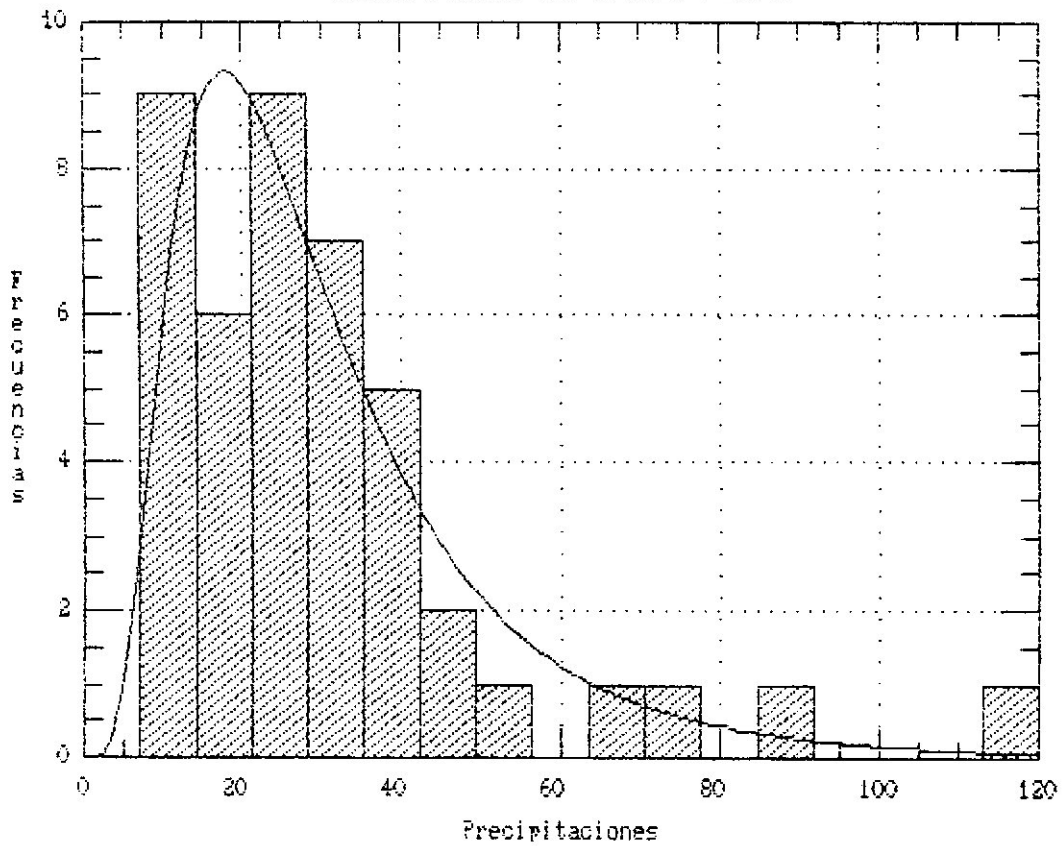
Histograma de Frecuencias
Precipitaciones con alturas > 2.0 m



Histograma de frecuencias
Precipitaciones con alturas > 2.2 m

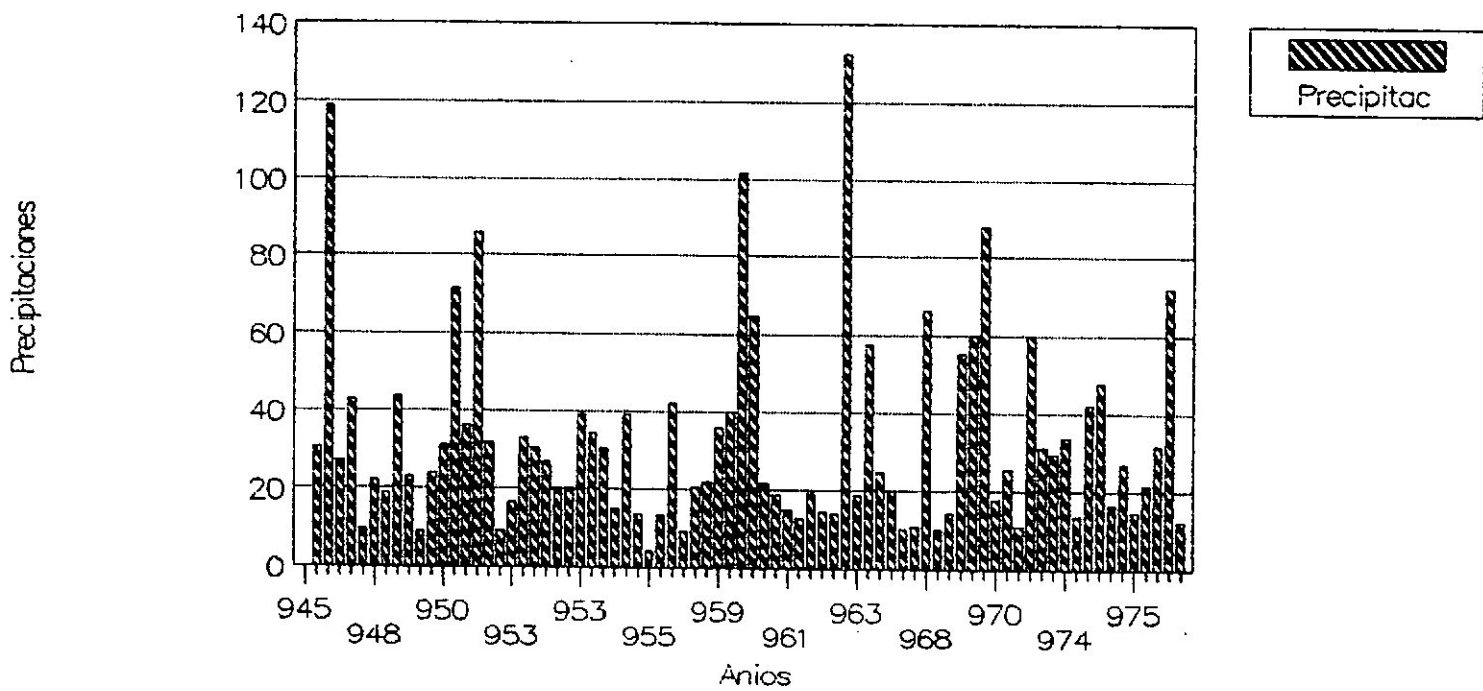


Histograma de Frecuencias
Precipitaciones con alturas > 2.3 m



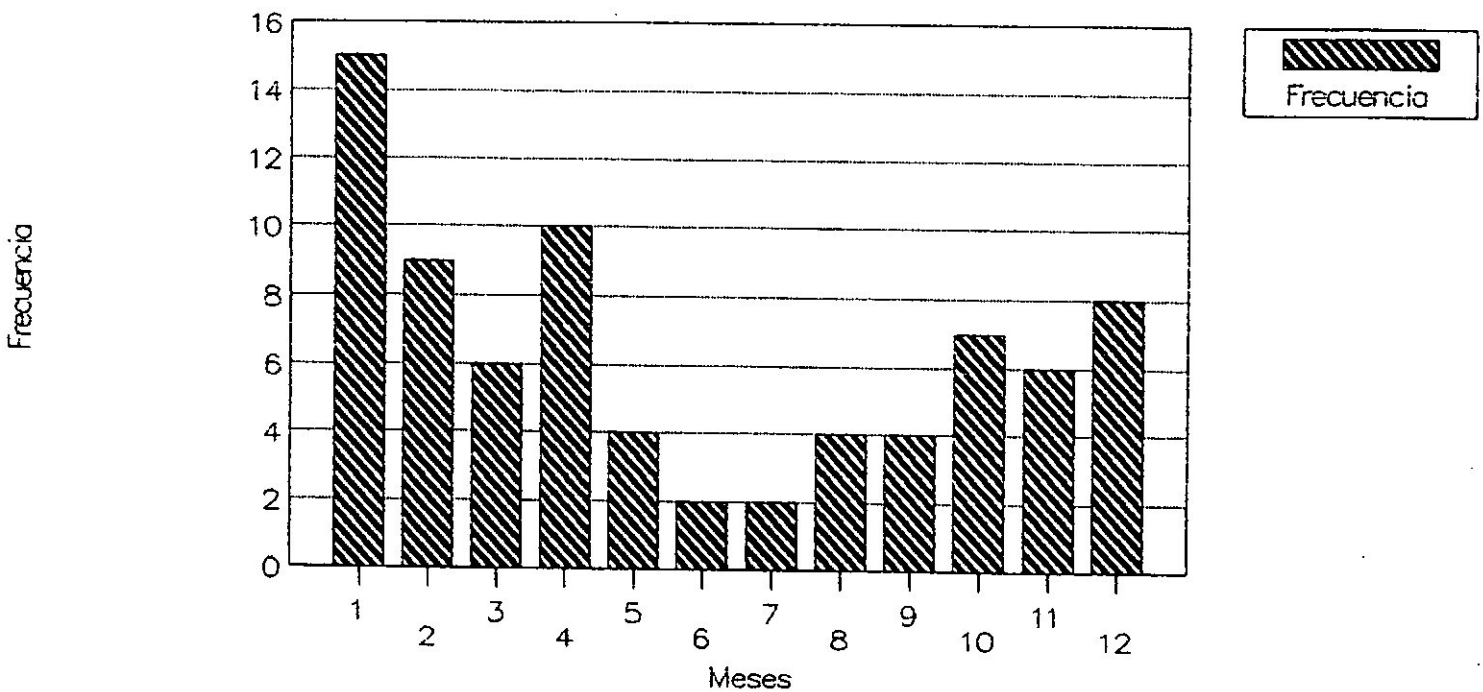
Rio Matanza

Precipitacion-anios



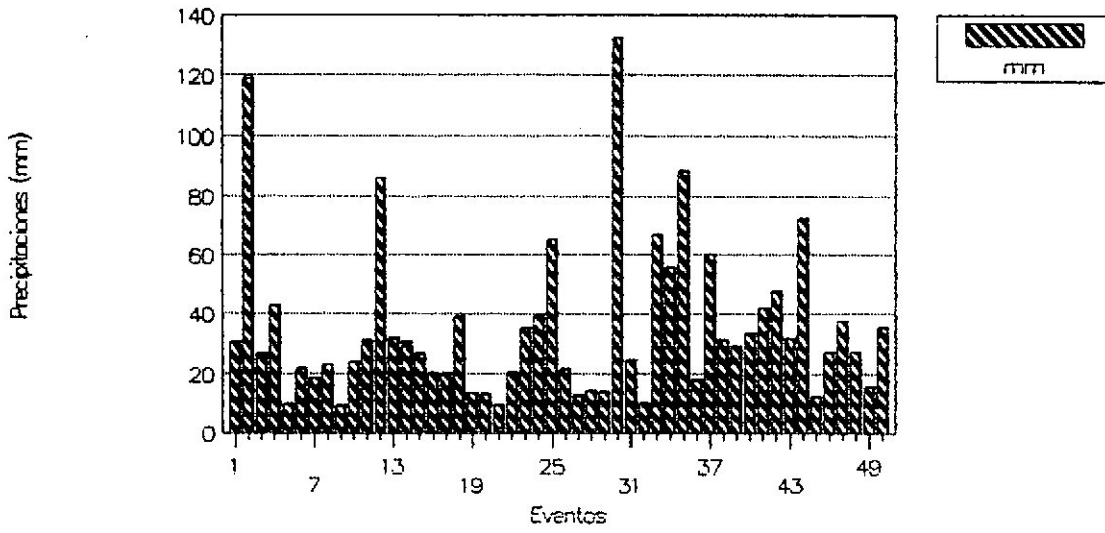
Rio Matanza

Meses de ocurrencia



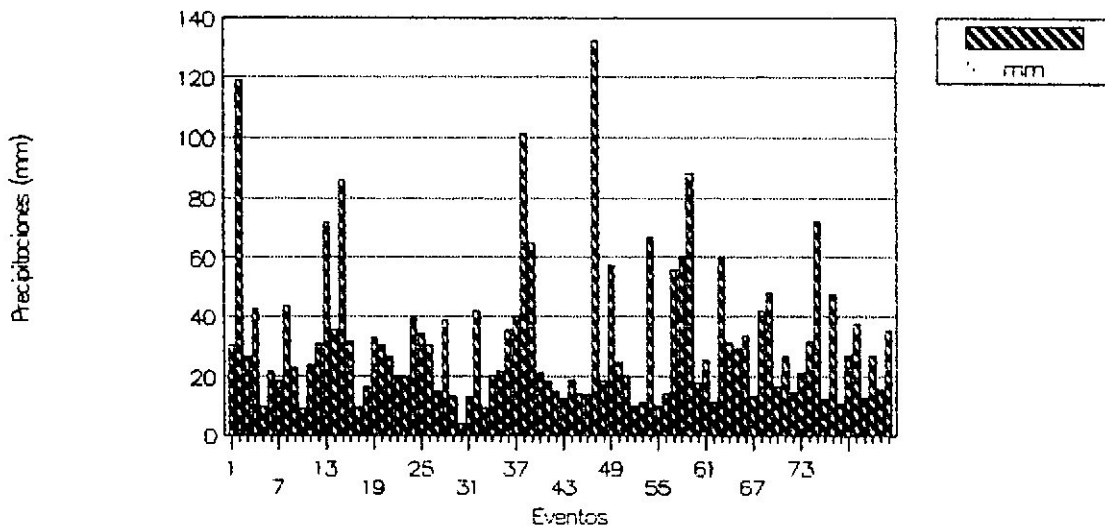
Rio Matanza

Precipitaciones para $h > 2.2$ m

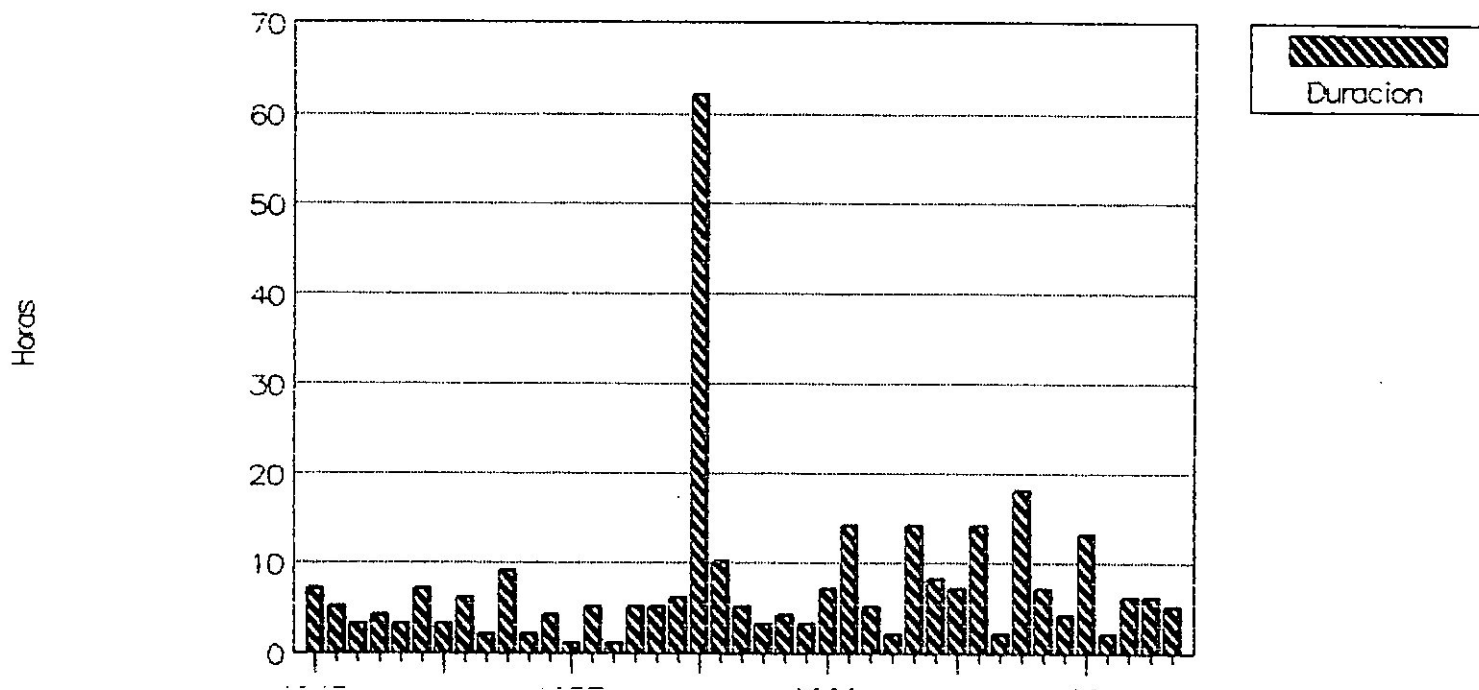


Rio Matanza

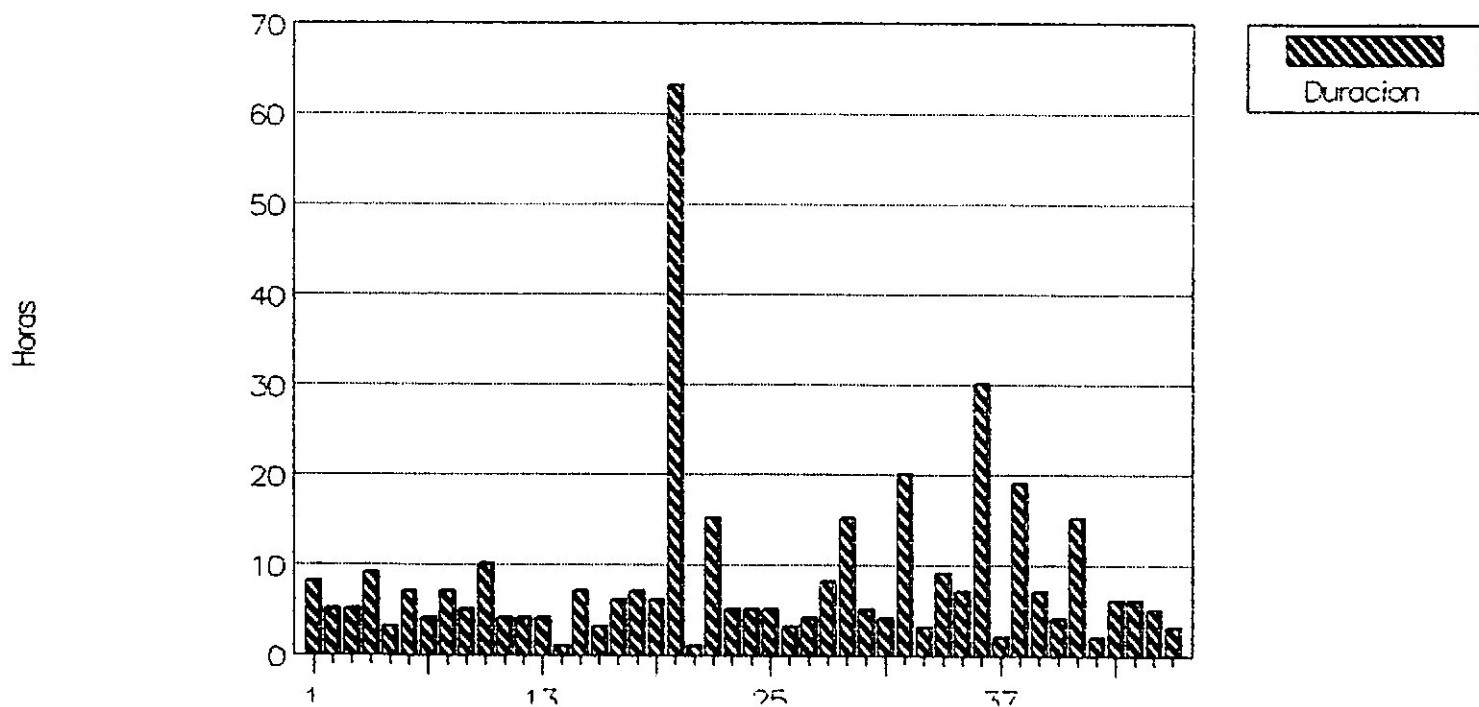
Precipitaciones para $h > 2.0$ m



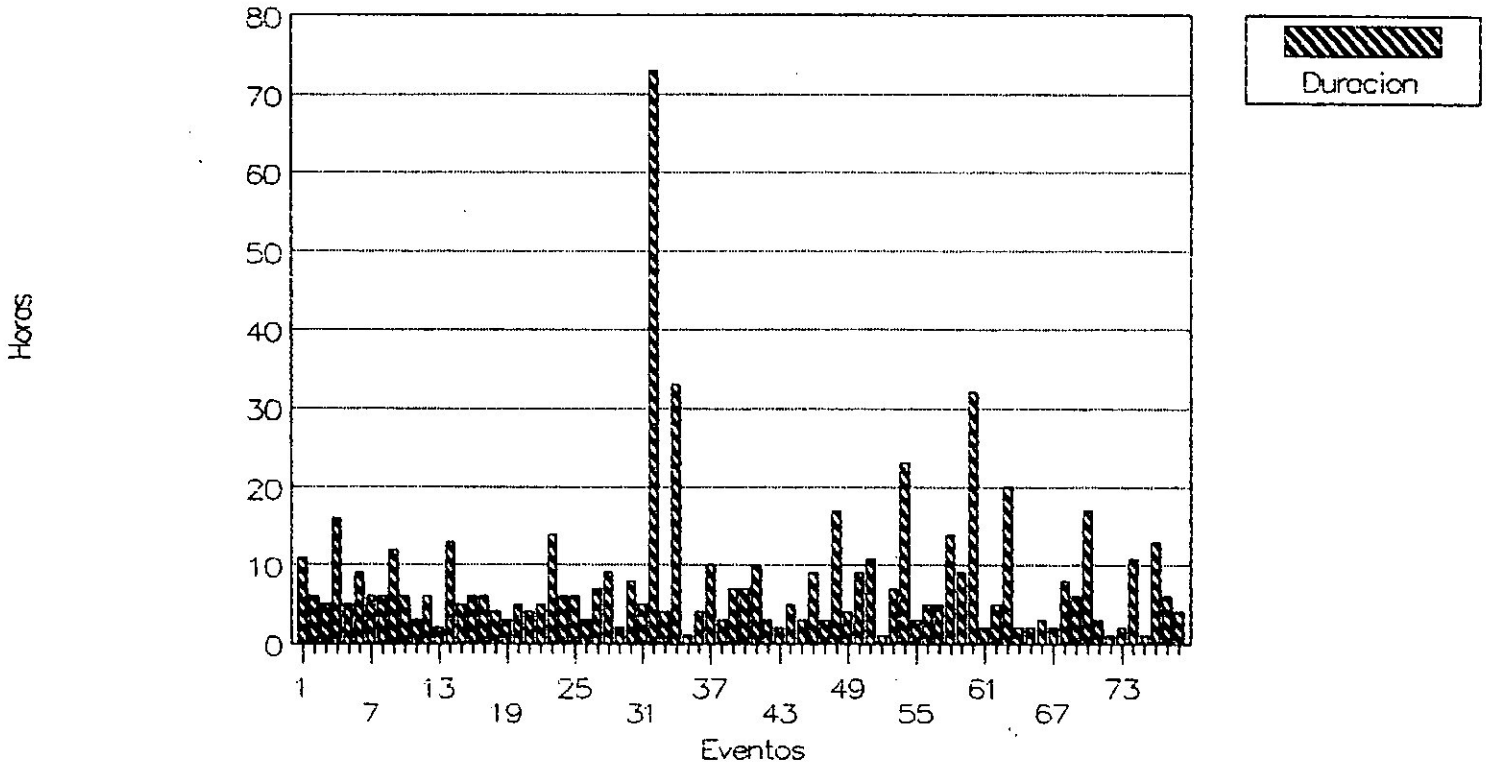
Permanencia de cotas > 2.3 m



Permanencia de cotas > 2.2 m



Permanencia de cotas > 2.0 m



Rio Matanza

Precipitaciones para h > 2.3 m

