

CARLOS A. ROMANELLA
JUAN CARLOS MILLER

ESCURRIMIENTO EN PEQUEÑAS CUENCAS Y PROBABILIDAD DE LLUVIAS INTENSAS AL OESTE DE LA CIUDAD DE MENDOZA

(SERIE 21 AÑOS)

I. *Introducción y finalidad*

Las precipitaciones pluviales de gran intensidad, al caer en cuencas de fuerte pendiente y escasa vegetación, como son las ubicadas al Oeste de la ciudad de Mendoza, producen picos de crecida de alta peligrosidad.

Para proyectar defensas de cultivos, caminos y viviendas, es necesario considerar la intensidad máxima de lluvia en el tiempo de concentración de la cuenca, y la probabilidad de repetición de dicho evento. Se entiende por tiempo de concentración el que demora una partícula de agua en trasladarse desde el punto más remoto de la cuenca hasta el lugar de descarga.

Una vez transcurrido este tiempo de concentración, toda la cuenca está contribuyendo simultáneamente a formar el caudal máximo de escurrimiento, el que se traduce en un "pico de crecida". El caudal máximo de escurrimiento de una cuenca pequeña puede pronosticarse conociendo las intensidades máximas de precipitación ocurridas en la zona y las características fisiográficas de la cuenca.

Para cuencas no mayores de 500 hectáreas, este caudal es, según la llamada "fórmula racional" de los ingenieros Ramser, Norton y Ellison, "directamente proporcional al "coeficiente de escorrentía", a la "intensidad máxima de precipitación en el tiempo de concentración de la cuenca" y al "área de dicha cuenca".

$$Q = \frac{C. I. A.}{360}$$

Donde: Q: Caudal máximo de escorrentía o caudal del "pico de crecida" en m³/s.

C: Coeficiente (adimensional) de escorrentía es la relación entre volumen escurrido de la cuenca y volumen precipitado en la misma. Si la cuenca fuera totalmente impermeable, el volumen escurrido sería igual al volumen de agua llovida sobre la cuenca y por lo tanto el coeficiente "C" sería igual a: 1 (caso teórico, pero que se puede adoptar por razones de seguridad al proyectar defensas). El coeficiente de escorrentía depende principalmente de la naturaleza del suelo, vegetación existente y pendiente de la cuenca. Puede usarse la siguiente tabla dada por RAMSER, en el "Journal of Agricultural Research", Vol. 34, N° 9, U.S.A., 1927.

Valores de "C" para la fórmula racional de escorrentía en cuencas agrícolas.

Suelo y Vegetación	Pendientes	
	5 a 10 %	10 a 30 %
Montañoso desnudo	0,8	0,9
Montañoso c/pastos	0,6	0,7
Ondulado c/pastos	0,3	0,4
Montañoso y ondulado con bosques	0,18	0,21

I: Intensidad máxima en mm/h en el "período definido de duración creciente" que sea igual al "tiempo de concentración de la cuenca".

A: Area de la cuenca en hectáreas.

360: Denominación de conversión, resultante de transformar milímetros en metros, hectáreas en metros cuadrados y horas en segundos.

$$\frac{\text{m}^3}{\text{s}} = \frac{\text{mm}}{1000} \cdot \frac{\text{ha}}{\text{h} \cdot 3600} \cdot \text{ha} \cdot 10.000$$

$$= \frac{\text{mm}}{1} \cdot \frac{\text{ha} \cdot 10}{360 \cdot 0} = \frac{\text{mm}}{\text{h}} \cdot \frac{\text{ha}}{360}$$

Los tiempos de concentración vienen a ser casi función directa de los tamaños de las cuencas, cuando las pendientes están alrededor del 5% ROE y AYRES ⁷, dan la siguiente tabla:

Tiempo de concentración según el tamaño de la cuenca para pendientes del 5 % y áreas no mayores de 500 hectáreas.			
Tamaño de la cuenca en ha.	Tiempo mínimo de conc. en min.	Tamaño de la cuenca en ha.	Tiempo mínimo de conc. en min.
8	5	202	41
12	8	243	47
20	12	283	53
40	17	324	60
81	23	364	67
121	29	404	75
162	35		

Para cualquier pendiente, los tiempos de concentración de cuencas no mayores de 500 ha, pueden calcularse por la siguiente fórmula empírica de ROUSE

$$T_c = 0,0256 \cdot K^{0,77}$$

Donde: T_c : Tiempo de concentración de la cuenca.

0,0256: Coeficiente empírico.

0,77: Exponente empírico.

K : Relación longitud a raíz cuadrada de la pendiente unitaria

$$\frac{L}{\sqrt{S}} = \frac{L}{\sqrt{\frac{H}{L}}} = \sqrt{\frac{L^2}{\frac{H}{L}}} = \sqrt{\frac{L^3}{H}}$$

Donde: L : Longitud máxima del recorrido del agua en metros

$$S: \text{Pendiente por metro} = \frac{H}{L}$$

H : Diferencia de nivel entre el punto más remoto y el punto en que descarga la cuenca, en metros.

Como vemos, hay elementos en estas fórmulas, que son empíricos y otros que no pueden calcularse en función de los ya conocidos, el principal de ellos es la intensidad máxima de precipitación en el tiempo de concentración de la cuenca.

Determinar las intensidades máximas de precipitación durante varios tiempos de concentración y su probabilidad de ocurrencia cada "x" número de años en la zona, es la finalidad del presente trabajo.

II. *Material y método*

Mediante los expedientes N° 81.410/67 y N° 81.681/67 del Servicio Meteorológico Nacional, Secretaría de Aeronáutica, se gestionó y obtuvo el siguiente material:

- 1) Registro de 676 lluvias de gran intensidad y corta duración y de moderada intensidad y larga duración, ocurridas en la Estación Meteorológica Mendoza, desde el 29 de enero de 1946 al 30 de diciembre de 1966, expresadas en milímetros cada cinco minutos.
- 2) 1.052 observaciones pluviométricas diarias, desde el 7 de enero de 1946 al 30 de diciembre de 1966, expresadas en milímetros cada 24 horas.
- 3) 120 copias en microfilm, de fajas pluviográficas correspondientes a las precipitaciones intensas de dicho registro según la siguiente definición: Un milímetro en diez minutos como mínimo y que el total de precipitación continua, no sea inferior a tres milímetros en una hora.

Series largas de observaciones pluviográficas sin interrupciones importantes, como las obtenidas, constituyen un buen material para la determinación de las intensidades máximas de precipitación, de su frecuencia y de su intervalo probable de ocurrencia en la zona.

Dado que la finalidad del presente trabajo es determinar para las lluvias intensas registradas en la zona, las intensidades máximas de precipitación para varios tiempos de concentración y su probabilidad de ocurrencia, el método a seguir será aquel que permita determinar cuantitativamente los elementos de esas lluvias que interesan a esta finalidad y que son:

Intensidad.

Duración.

Frecuencia e

Intervalo probable de ocurrencia.

Los dos primeros elementos surgen del estudio individual de cada lluvia, y los dos últimos del estudio estadístico del conjunto anual y pluviarianual de las intensidades máximas de las lluvias en períodos de duración concordantes con los tiempos de concentración de las cuencas que interesan.

A continuación se expone la metodología de cálculo seguida y se precisa el alcance de los términos empleados:

1) *Estudio individual de las lluvias sobre un punto*

Intensidad, es la velocidad con que llueve. Es lámina sobre tiempo (mientras más lámina se acumula en menos tiempo, más intensamente llueve), se expresa en milímetros por minuto y en milímetros por hora.

Duración es el período de tiempo transcurrido entre la iniciación y la terminación de una intensidad que se supone uniforme. Estos períodos pueden ser de igual duración o de duración creciente.

- a) Los períodos de igual duración se usan para evaluar los datos que se pueden extraer de la faja de un pluviógrafo en función de tiempo, tal es el valor de las láminas parciales en milímetros por períodos iguales de 10 minutos. Para los pluviógrafos de faja diaria, como los usados en el Observatorio Meteorológico Nacional de Mendoza, en los que el tiempo está dividido en horas y éstas en períodos de 10 minutos, resulta práctico el tomar esta "duración" para confeccionar el registro de lluvias intensas. Siguiendo este criterio se confeccionó la planilla N^o 1, con las lluvias ocurridas en Mendoza desde 1946 a 1966; en cada una de ellas se marcó con paréntesis, el período de máxima intensidad, es decir, el que contiene la máxima lámina parcial de cada lluvia en algún período de 10 minutos.
- b) Los períodos de duración creciente se obtienen sumando al período de máxima intensidad los períodos vecinos de mayor lámina parcial. Su intensidad resulta de la razón entre láminas vecinas acumuladas y tiempos vecinos acumulados, expresada en milímetros por hora. Como estos períodos crecen de 10 en 10 minutos a partir de los 10 minutos de mayor intensidad, pueden definir tiempos de concentración en cuencas, por lo que también se los denomina "períodos definidos de duración creciente".

Sobre la base de lo expuesto se calculó la planilla N^o 2, para cada lluvia del registro.

2) *Estudio anual de las intensidades máximas.*

Se confecciona un cuadro comparativo de las intensidades máximas por períodos definidos de duración creciente, tal como lo presentamos en la planilla n° 3 para Mendoza, y por períodos de 10, 20, 30, 60 y 90 minutos. En dicho cuadro se seleccionan las intensidades máximas por períodos definidos, para cada año del registro. De esa manera, se obtiene un dato de intensidad máxima por año y por período definido.

3) *Estudio plurianual de las intensidades máximas.*

Con los datos anuales y por períodos definidos de duración creciente, se procede a realizar un ordenamiento decreciente de intensidades para la serie de años considerada (ver planilla n° 4).

Cuando, como en nuestro caso, los valores de intensidad resultan numerosos y con intervalos de distinto tamaño, se procede a agruparlos en "n" muestras de igual tamaño (intervalos regulares de clase de intensidad).

Se consideró práctico establecer un intervalo de clase de 9,9 unidades de intensidad, lo que permitió obtener como punto medio superior, la mayor intensidad registrada en la zona, 126 mm/h durante 10 minutos.

4) *Frecuencia de intervalos de clase de intensidad.*

Fijado el intervalo de clase y sus puntos medios, se determinan las frecuencias absolutas, acumuladas y relativas a 100. (Ver planilla n° 5).

Consideramos como frecuencia absoluta, las veces que un determinado intervalo de intensidad se repite en el total de años de observación; frecuencia acumulada, las veces que un intervalo de intensidad igual o mayor, se repite en el total de años de observaciones; y frecuencia relativa a 100, las veces que un intervalo de intensidad igual o mayor, se repetiría en 100 años. Teóricamente sería igual a la frecuencia acumulada por 100, dividido por el número de años de observación. Ejemplo: Si en 21 años de observación, una intensidad igual o mayor se ha presentado tres veces, en 100 años se presentará 14,28 veces.

$$\begin{array}{l} 21 \text{ años} \dots\dots\dots 3 \text{ veces (F. acum.)} \\ 100 \text{ años} \dots\dots\dots x = \frac{3 \times 100}{21} = 14,28 \end{array}$$

Llamando "n" al número de años de observación, y "m" a las veces que se produce el fenómeno, tendríamos la fórmula teórica

$$F \% = \frac{m}{n} \times 100$$

En donde F % significa veces en 100 años, o sea 14,28 veces en 100 años.

Estadísticamente se considera que este dato es muy elevado, GUMBEL ⁵ propone como denominador n + 1; entonces la fórmula del mismo queda:

$$F \% = \frac{m}{n + 1} \times 100 \text{ y para nuestro ejemplo}$$

$$F \% = \frac{3 \times 100}{22} = 13,6 \text{ veces en 100 años, dato aceptable para el tipo de fenómenos que estamos estudiando.}$$

HAZEN Y FOSTER ⁵, proponen como numerador (2m - 1) x 100 y como denominador 2n; entonces la fórmula queda:

$$F \% = \frac{2m - 1}{2n} \times 100 \text{ y para nuestro ejemplo}$$

$$F \% = \frac{(2 \times 3) - 1}{2 \times 21} \times 100 = 11,9 \text{ dato que se considera muy bajo y que en series cortas, introduce una fuerte dispersión de los puntos en los extremos, dificultando y haciendo peligrosa la extrapolación}$$

Nosotros hemos calculado las frecuencias relativas a 100, empleando la fórmula de GUMBEL (ver planilla n° 5).

5) Intervalo probable de ocurrencia de las intensidades máximas

El intervalo probable de ocurrencia o período de retorno es la inversa de la frecuencia y se expresa diciendo "una vez cada tantos años".

$$\text{Si frecuencia es "F", probabilidad de ocurrencia es } \frac{1}{F} = \text{Tr}$$

En nuestro ejemplo si F % = 13,6, el intervalo de ocurrencia será:

$$\text{Tr} = \frac{1}{13,6} = 7,3 \text{ o sea una vez cada 7,3 años.}$$

A los fines prácticos interesan intervalos de ocurrencia de una vez cada un número entero de años. Su obtención se ve facilitada, confeccionando gráficos de Intensidad-Frecuencias relativas a 100-Intervalo probable de ocurrencia.

Usando papel cartesiano con escala decimal, y tomando en el eje de las X los valores de los porcentajes de frecuencias acumuladas relativas a 100 y en el eje de las Y los puntos medios de los intervalos de intensidad, se consigue una curva en la cual los valores extremos (mínimos y máximos) tienden a la vertical impidiendo obtener en las ordenadas, valores con la exactitud necesaria. Lo mismo sucede con papel doble logarítmico, con respecto a la exactitud de los valores, no así con el uso de escala Probabilidad-Logarítmica, representando en el eje de las X (inferior), los valores de frecuencias relativas a 100, y sobre el eje de las Y, los logaritmos de los puntos medios de intensidad.

Con ese tipo de escala se consigue una alineación que representa el fenómeno que se estudia y permite la extrapolación con cierto grado de seguridad.

6) *Confección del gráfico Intensidad-Frecuencia-Duración.*

Llevando a la abscisa inferior las frecuencias relativas a 100, en escala de probabilidades, y sobre la ordenada los puntos medios de intensidades máximas en escala logarítmica, MARCHETTI², se obtuvieron cinco rectas de compensación, una para cada tiempo de concentración. En correspondencia y sobre la abscisa superior se puede leer la inversa de la frecuencia, es decir, los intervalos probables de ocurrencia (Tr) de cada intensidad máxima (ver gráfico n^o 1 al 5).

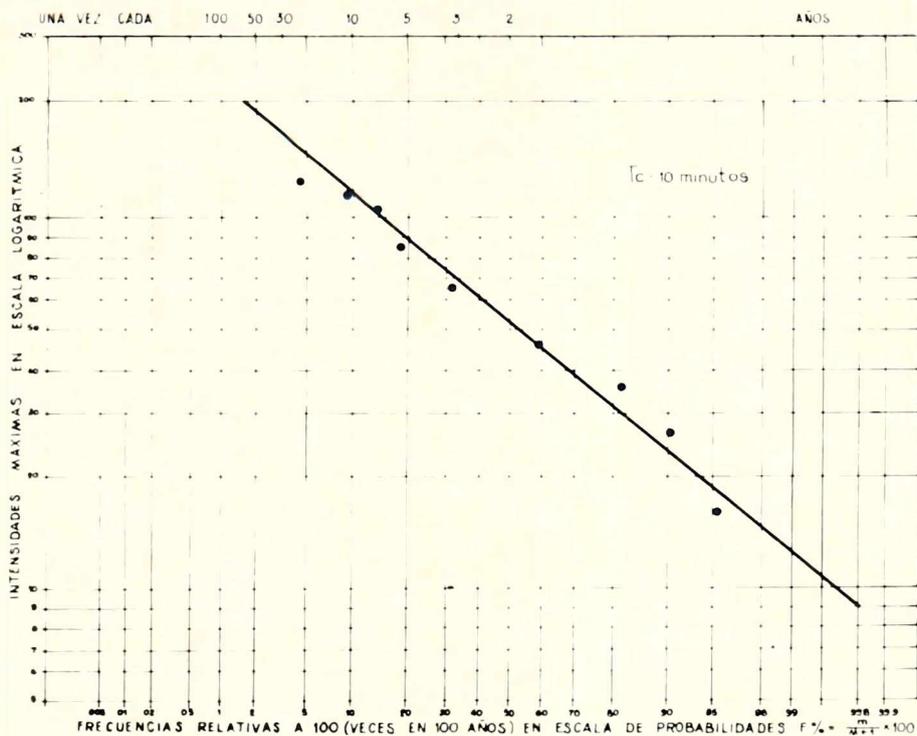


Fig. 1 — Gráfico de intensidad, frecuencia y duración de lluvias al oeste de la ciudad de Mendoza, Para tiempo de concentración de 10 minutos.

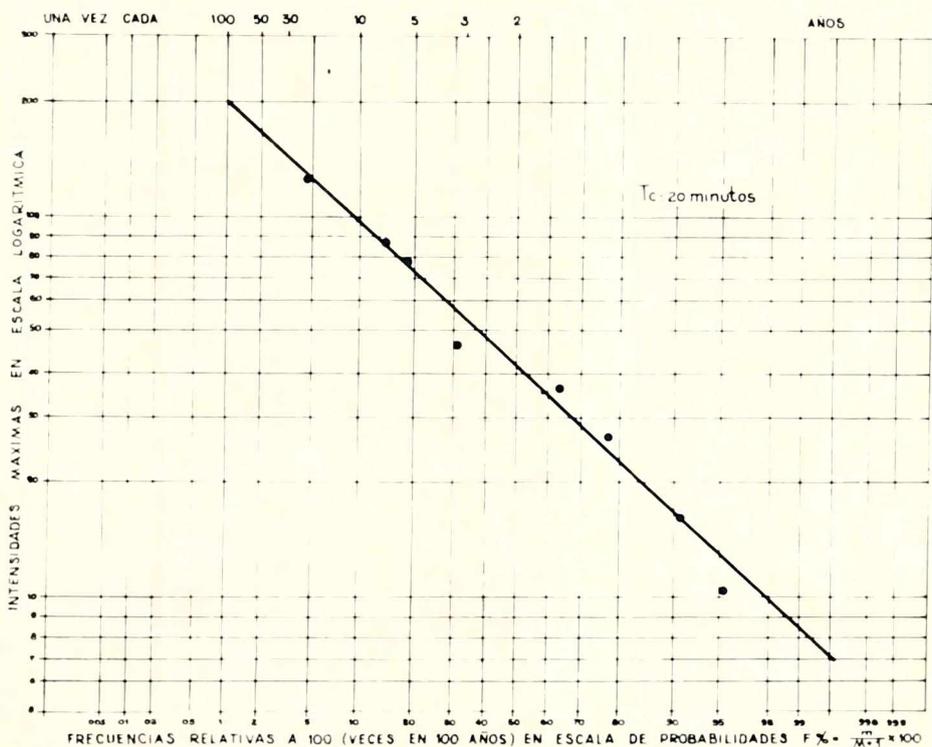


Fig. 2 — Gráfico de intensidad, frecuencia y duración de lluvias al oeste de la ciudad de Mendoza, Para tiempo de concentración de 20 minutos.

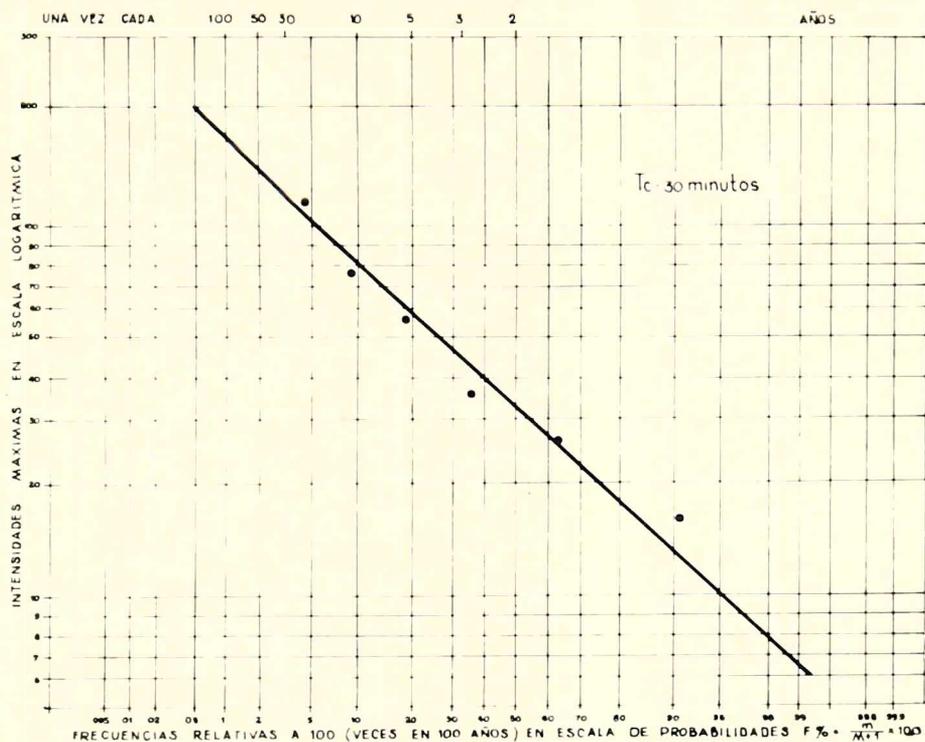


Fig. 3 — Gráfico de intensidad, frecuencia y duración de lluvias al oeste de la ciudad de Mendoza. Para tiempo de concentración de 30 minutos.

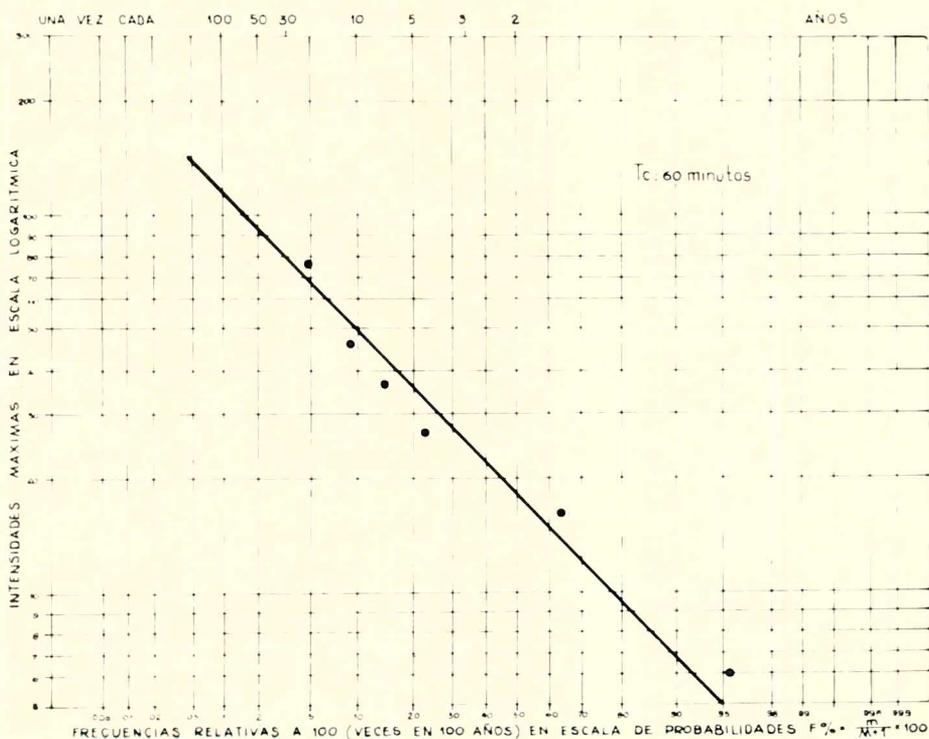


Fig. 4 — Gráfico de intensidad, frecuencia y duración de lluvias al oeste de la ciudad de Mendoza. Para tiempo de concentración de 60 minutos.

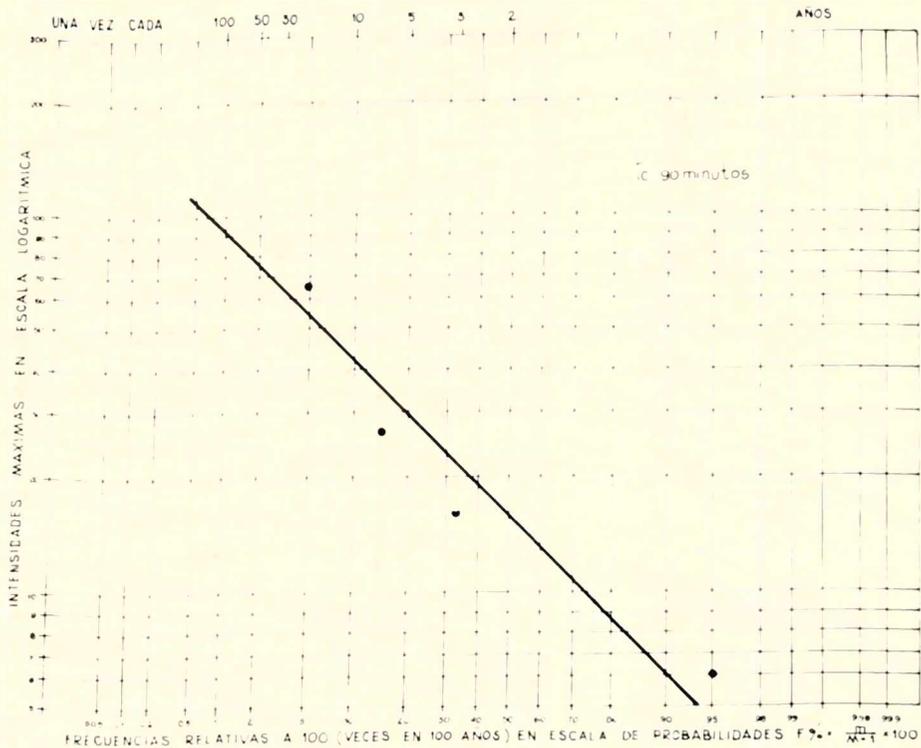


Fig. 5 — Gráfico de intensidad, frecuencia y duración de lluvias al oeste de la ciudad de Mendoza. Para tiempo de concentración de 90 minutos.

III. RESULTADOS.

Con las cinco rectas de compensación confeccionadas una para cada tiempo de concentración, se puede determinar el valor probable de las intensidades máximas de precipitaciones durante 10, 20, 30, 60 y 90 minutos que pueden producirse una vez cada cierto número de años; por ejemplo cada 2, 3, 5, 10, 30, 50 y 100 años. A fin de facilitar la lectura e interpretación del gráfico, se lo desglosó en cinco gráficos parciales, uno para cada tiempo de concentración y de ellos se obtuvo la siguiente tabla de Intensidad-Probabilidad de Ocurrencia-Duración, que se propone tentativamente para el oeste de la ciudad de Mendoza en la zona de influencia del Observatorio Meteorológico Nacional.

Intervalo probable de ocurrencia (1 vez cada)	INTENSIDADES MAXIMAS DE LLUVIA EN mm DURANTE:				
	\bar{h}				
	10 minutos	20 minutos	30 minutos	60 minutos	90 minutos
2 años	52	41	33	18	16
3 "	67	54	45	25	22
5 "	89	72	58	35	30
10 "	115	97	82	49	42
30 "	165	145	120	78	63
50 "	190	165	140	92	75
100 " (Lluvia Cen- tenaria)	220	200	170	113	92

IV. CONCLUSIÓN

La tabla obtenida como resultado del presente trabajo, permite la selección del intervalo probable de ocurrencia de la "tormenta del proyecto", es decir, de la intensidad máxima de lluvia durante el tiempo de concentración de la cuenca que lo amenaza.

Esta selección depende de la importancia de la obra y de la naturaleza del peligro que su falla produciría. Así, si se trata de defender un barrio de viviendas, se empleará un intervalo probable de ocurrencia de una vez cada 100 años, que da para igual cuenca, mayor valor de intensidad de lluvia, por lo que la obra tendrá que ser más importante.

Si se trata de defender un monte frutal, se empleará un intervalo probable de ocurrencia de una vez cada 30 años, lo que se traduce en una obra menos importante.

Si se quieren defender terrenos sistematizados para cultivos anuales se pueden emplear intervalos de ocurrencia de una vez cada 5, 3 ó 2 años, según la importancia de la sistematización a defender.

Ejemplo de aplicación: supongamos tener que defender en la zona, un monte frutal, de la influencia de una cuenca de 20 ha con una pendiente de 5 %, una longitud máxima de 600 metros y un desnivel de 30 metros.

El primer cálculo a realizar es el del tiempo de concentración de la cuenca; para ello usamos la fórmula empírica de ROUSE mencionada anteriormente, o la tabla dada por ROE y AYRES.

De esta última (ver pág. ...), obtenemos para una cuenca de 20 ha, con una pendiente de 5%, un tiempo mínimo de concentración de 12 minutos.

Usando la fórmula empírica de ROUSE, tenemos:

$$T_c = 0,0256 \times K^{0,77} \text{ y adoptando para } K \text{ el valor:}$$

$$K = \sqrt{\frac{L^3}{H}} = \sqrt{\frac{(600)^3}{30}} = \sqrt{7.200.000} = 2.700$$

$$T_c = 0,0256 \times 2.700^{0,77}$$

Aplicando logaritmos:

$$\begin{aligned} \log T_c &= \log 0,0256 + 0,77 \times \log 2.700 \\ &= \bar{2},40824 + 0,77 \times \log 3,43136 \\ &= \bar{2},40824 + 2,64215 = - 1,05039 \end{aligned}$$

Luego:

$T_c = 11,23$ minutos, valor sensiblemente aproximado al que da la tabla de ROE y AYRES.

Como en nuestra tabla de INTENSIDAD - PROBABILIDAD DE OCURRENCIA - DURACIÓN, no tenemos valores para 12 minutos, tomamos el valor inferior más próximo, en este caso 10 minutos, y vemos que para un intervalo probable de ocurrencia de una vez cada 30 años, la intensidad máxima de lluvia puede ser de 165 mm/h durante 10 minutos.

Aplicando la fórmula de RAMSER⁶, y dando como margen de seguridad, un coeficiente de escorrentía igual a uno, obtenemos:

$$Q = \frac{1 \times 165 \text{ mm/h} \times 20 \text{ ha}}{360} = 9,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

Con este dato, dimensionamos el canal que ha de evacuar el caudal máximo de escorrentía de la cuenca estudiada.

Mendoza, marzo de 1969

V. RESUMEN.

Las precipitaciones pluviales de gran intensidad al caer en cuencas de fuerte pendiente y escasa vegetación, como son las ubicadas al oeste de la ciudad de Mendoza, producen picos de crecida de alta peligrosidad.

En la fórmula racional de Ramsey, para predecir el caudal máximo de escurrimiento de una cuenta pequeña, la variable menos determinada para dicha zona, es la intensidad máxima de precipitación, en los tiempos de concentración de las diferentes cuencas locales.

El objetivo del trabajo fue determinar las intensidades máximas de precipitación pluvial en mm/h, durante varios tiempos de concentración de cuencas de la zona, y las probabilidades de que tales fenómenos se repitan una vez cada cierto número de años.

Con tal finalidad se estudian 676 precipitaciones intensas ocurridas en Mendoza en un período de 21 años (1946 a 1966), sobre la base de los registros pluviográficos del Observatorio Meteorológico Nacional.

De ese total de lluvias intensas según el Servicio, se seleccionan 120 que cumplen con la siguiente definición regional de lluvias intensas: Un milímetro en diez minutos como mínimo y que el total de precipitación continua, sea superior a tres milímetros en una hora.

Se encara el estudio individual y de conjunto de las 120 lluvias seleccionadas.

Mediante el análisis individual se obtuvieron datos numéricos sobre cantidad, intensidad y duración que se exponen en tres planillas.

Mediante el análisis de conjunto de la serie de 21 años, se establece un ordenamiento decreciente de intensidades máximas y se calculan sus frecuencias absolutas, acumuladas y relativas a 100 por la fórmula de Gumbel. Se exponen estos datos numéricos en dos planillas más.

Los resultados se representan en un gráfico: Probabilidad por 100, contra intensidades máximas, en el cual se ha trazado una recta de compensación para cada uno de los cinco siguientes tiempos de concentración en cuencas regionales: 10, 20, 30, 60 y 90 minutos.

Con estas rectas se puede determinar el valor probable de las intensidades máximas de precipitación durante 10, 20, 30, 60 y 90 minutos que pueden producirse una vez cada 2, 3, 5, 10, 30, 50 y 100 años.

A fin de facilitar la lectura e interpretación del gráfico se presenta una tabla de INTENSIDAD-PROBABILIDAD DE OCURRENCIA-DURACIÓN, que se propone tentativamente para el oeste de la ciudad de Mendoza. Dicha tabla permite la selección del intervalo probable de ocurrencia de la tormenta del proyecto de obras de defensas de cultivos, caminos y viviendas, amenazadas por cuencas menores de 500 hectáreas.

VI. BIBLIOGRAFÍA.

- 1) MARCHETTI, A., *Frecuencia de las lluvias intensas de corta duración en la ciudad de Buenos Aires*, Revista "Meteoros" del Servicio Meteorológico Nacional, año II, enero-junio 1952, números 1 y 2.
- 2) MARCHETTI, A., *Probabilidad de las lluvias intensas en la ciudad de Buenos Aires*, Revista "Meteoros" del Servicio Meteorológico Nacional, año III, abril-setiembre 1953, números 2 y 3.
- 3) BLAIR, E., *Manual de Riegos y Avenamientos*, Lima, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O.E.A., 1959.
- 4) OCHOA PILÉ, J., *Ejercicios de Estadística Hidrológica*, del C.I.D.L.A.T., Mérida, Editorial de la Universidad de Los Andes, 1966.
- 5) *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de la República del Ecuador, Introducción a la Hidrología de Aguas Superficiales*, Quito, 1965.
- 6) RAMSER, C.; NORTON, R. y ELLISON, W., *The rational method of estimating Run-off from Small Agricultural Areas*, en "Agr. Eng.", Vol. 11, nº 11, U.S.A. 1929.
- 7) ROE y AYRES, *Drenaje agrícola para ingenieros*, Barcelona, Omega, 1960.
- 8) ROUSE, H., *Engineering Hydraulics*, New York, John Wiley and Sons Inc., 1950.

VII. AGRADECIMIENTO.

Se agradece al señor Brigadier (R.) Benigno Héctor Andrada, Director General del Servicio Meteorológico Nacional y a los señores Comandantes Elvio Alfredo Ferrari y Adolfo Gnus, Directores del Servicio Público, quienes facilitaron a la Facultad de Ciencias Agrarias, para la Cátedra de Hidrología Agrícola, el material estadístico pluviográfico que se utilizó en el presente trabajo.

REGISTRO DE LLUVIAS INTENSAS OCURRIDAS EN MENENDOZA DESDE 1946 a 1966
(Pluviógrafo Parque General San Martín)

Fecha	Duración de a		Lámina total (mm)	Láminas parciales en (mm) por períodos iguales de 10 minutos														
				10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120			
6-11-50	13:30	15:25	3,7	1,3	—	0,5	(1,8)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
27-12-51	15:28	15:48	13,2	(11,6)	1,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
20- 2-52	20:50	23:25	7,2	(3,2)	2,8	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	—	—	—	—	—	—	0,1	
5-10-52	9:45	10:43	18,7	4,0	(8,8)	1,7	1,9	0,2	0,3	—	—	—	—	—	—	—	—	
29-11-52	0:00	0:30	8,1	3,5	(4,5)	0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
3-12-52	4:32	4:52	16,1	(10,4)	5,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
8-12-52	1:11	2:17	18,9	2,7	1,1	6,2	(7,6)	0,6	0,7	—	—	—	—	—	—	—	—	
10-12-52	5:50	6:11	6,9	(6,0)	0,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
15- 6-53	2:45	3:15	5,0	0,2	0,1	(4,7)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
25-10-53	14:40	—	18,7	1,0	(3,0)	0,7	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,9	0,5	0,3	0,2	0,9	—	
26-11-53	22:30	22:55	3,7	1,3	(1,9)	0,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
12-12-53	11:50	14:00	12,9	1,0	2,0	(4,0)	3,3	0,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
12/13-12-53	19:40	20:00	10,4	(10,0)	0,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
3- 3-54	10:00	13:00	23,7	1,1	2,9	1,0	1,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
4- 3-54	7:10	11:55	21,4	0,8	0,4	0,6	0,4	0,2	0,8	1,2	1,0	2,0	1,2	4,1	1,3	1,5	4,0	
																		(2,2)

Continúa . . .

REGISTRO DE LLUVIAS INTENSAS OCURRIDAS EN MENDOZA DESDE 1946 a 1966
(Pluviógrafo Parque General San Martín)

Fecha	Duración de a	Lámina total (mm)	Láminas parciales en (mm) por períodos iguales de 10 minutos														
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120			
29- 1-46	19:50	6,5	(2,2)	2,0	1,9	0,3	0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5- 3-46	18:30	46,5	9,8	(18,7)	10,5	4,0	2,9	0,2	0,1	—	—	—	—	—	—	—	—
9- 3-46	4:50	31,5	1,9	1,5	1,5	2,1	5,7	(7,6)	5,3	2,5	0,4	—	—	—	—	—	—
4/5-12-46	19:40	17,9	(4,5)	2,3	1,6	1,9	0,9	0,7	0,6	0,6	0,5	—	—	—	—	—	—
3- 2-47	20:45	3,9	1,0	(2,0)	0,1	—	—	0,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4- 2-47	0:50	5,5	(2,0)	1,4	1,2	0,2	—	—	—	0,2	—	—	—	—	—	—	—
15- 3-47	17:05	4,5	1,5	0,1	(1,5)	1,0	0,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16- 3-47	0:15	4,7	0,3	1,0	0,7	0,2	0,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23/24- 3-48	21:30	12,1	2,6	—	—	—	0,4	0,6	1,4	0,2	0,8	—	—	—	—	—	—
15-11-48	22:05	13,7	6,4	(6,5)	0,4	0,3	0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12- 1-49	14:10	34,7	10,7	(14,7)	2,5	1,7	2,3	0,4	0,3	1,3	0,7	—	—	—	—	—	—
12/13- 1-49	23:15	14,7	(4,0)	3,2	2,3	0,8	0,4	1,0	1,1	0,5	0,4	—	—	—	—	—	—
25/26- 2-50	23:30	3,6	(2,3)	0,2	0,1	0,4	0,4	0,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13- 3-50	3:20	5,8	(5,3)	0,2	0,1	0,1	0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Continúa...

REGISTRO DE LLUVIAS INTENSAS OCURRIDAS EN MENDOZA DESDE 1946 a 1966

(Pluviógrafo Parque General San Martín)

Fecha	Duración de a		Lámina total (mm)	Láminas parciales en (mm) por períodos iguales de 10 minutos											
				10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
10/11-11-55	23:40	1:00	10,4	1,6	2,4	(2,4)	0,8	0,9	0,4	1,0	0,9	—	—	—	—
15-11-55	15:10	13:20	6,3	(3,5)	2,5	0,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
19/20-11-55	22:25	0:05	6,1	(3,8)	0,2	—	0,1	—	—	0,6	0,4	0,3	0,7	—	—
27/28- 1-56	21:35	0:35	8,2	(4,0)	1,8	0,1	—	—	0,1	—	0,1	0,2	0,6	0,7	0,6
12- 2-56	23:40	24:00	3,8	(3,1)	0,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7/8-10-56	19:05	3:20	40,0	(17,9)	11,9	0,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16-10-56	16:15	18:15	9,2	(2,0)	0,9	0,4	1,1	0,8	0,1	0,2	0,4	0,2	0,4	0,7	2,0
24-10-56	20:25	23:25	16,2	1,0	1,7	0,8	0,8	0,6	0,6	0,5	1,2	1,8	0,7	1,3	(2,0)
13-11-56	13:50	15:00	13,3	(10,4)	1,6	0,7	0,5	—	0,1	—	—	—	—	—	—
21/22-11-56	23:05	8:05	6,7	(2,5)	1,4	0,4	0,1	2,0	0,1	—	—	—	—	—	0,2
23-12-56	0:50	1:30	7,2	1,5	(4,6)	0,7	0,4	—	—	—	—	—	—	—	—
31-12-56	21:00	22:30	3,7	0,2	0,1	(2,3)	—	1,0	—	—	—	—	0,1	—	—
5- 1-57	17:20	18:50	5,0	(1,4)	1,0	1,0	0,6	0,4	0,4	0,1	—	0,1	—	—	—
5/6- 1-57	23:00	0:10	5,8	0,7	—	(3,3)	1,7	—	—	0,1	—	—	—	—	—
7- 3-57	21:05	21:35	3,6	(2,0)	0,4	1,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Continúa...

REGISTRO DE LLUVIAS INTENSAS OCURRIDAS EN MIENDOZA DESDE 1945 a 1966

(Pluviógrafo Parque General San Martín)

Fecha	Duración de a	Lámina total (mm)	Láminas parciales en (mm) por períodos iguales de 10 minutos														
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120			
6- 3-54	19:25	4,8	(4,2)	0,4	0,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
26- 4-54	12:20	15,30	1,3	2,2	1,0	1,9	1,7	1,3	1,3	1,0	(4,0)	2,0	2,0	2,0	2,0	0,9	0,9
2- 8-54	0:30	6,5	0,5	0,5	1,0	(1,2)	0,9	0,6	0,6	0,4	0,5	0,5	0,3	0,3	—	—	—
17/18-11-54	22:55	6,1	(4,1)	1,8	—	—	—	—	—	—	0,1	0,1	—	—	—	—	—
13- 1-55	18:15	11,9	3,0	(7,2)	1,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13- 1-55	21:40	17,0	0,7	0,6	0,4	(6,8)	3,6	1,4	1,4	2,4	0,8	0,3	—	—	—	—	—
9- 2-55	1:00	14,0	0,6	0,4	1,6	(1,6)	0,8	0,8	0,8	0,6	0,8	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
10- 2-55	1:30	3,0	(2,6)	0,3	—	0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22- 2-55	23:50	4,9	0,9	(1,0)	0,7	0,9	0,7	0,5	0,5	0,2	—	—	—	—	—	—	—
24- 2-55	4:15	4,4	0,8	0,1	(1,4)	0,8	0,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6/7-10-55	18:10	25,5	0,6	0,3	0,3	1,2	(4,3)	1,2	1,2	0,7	0,1	—	—	—	—	—	—
10-10-55	15:30	8,3	(6,1)	0,3	0,8	1,0	0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
19-10-55	15:35	3,3	(3,3)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
21/22-10-55	22:30	7,2	1,0	0,4	1,3	0,9	(1,1)	0,8	0,8	0,5	0,5	0,4	0,6	0,6	0,3	0,3	0,3
10-11-55	21:40	29,2	0,4	1,9	4,5	3,2	(7,0)	2,9	2,9	2,1	0,6	0,3	0,7	0,7	1,3	2,7	2,7

Continúa...

REGISTRO DE LLUVIAS INTENSAS OCURRIDAS EN MENDOZA DESDE 1945 a 1966

(Pluviógrafo Parque General San Martín)

Fecha	Duración de a	Lámina total (mm)	Láminas parciales en (mm) por periodos iguales de 10 minutos												
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	
5- 1-59	11:25	7,4	1,1	0,3	0,8	0,7	(1,2)	0,6	0,2	—	—	0,1	0,3	0,4	0,4
15- 1-59	13:00	4,4	(3,8)	0,2	0,3	0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23- 1-59	19:25	3,0	2,2	0,3	0,1	—	—	0,4	—	—	—	—	—	—	—
2- 3-59	12:15	5,6	(5,5)	0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15- 3-59	20:00	7,0	1,0	0,4	0,2	0,1	—	1,3	(2,5)	0,2	—	0,3	0,5	—	0,1
11- 11-59	0:55	4,5	1,1	(3,0)	0,3	0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20- 11-59	21:00	5,2	0,7	0,9	1,2	(2,2)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4- 12-59	15:00	8,3	(7,0)	1,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6- 12-59	16:10	14,2	(4,0)	3,0	3,0	1,9	—	0,3	0,2	0,3	0,8	—	—	—	—
19- 12-59	3:15	7,0	(5,0)	—	—	0,3	—	3,1	2,7	0,3	—	—	—	—	—
31- 12-59	0:40	96,6	10,0	6,0	9,0	16,0	(2,1)	20,0	2,0	8,0	1,9	1,9	0,4	0,1	0,1
2/3- 1-60	21:00	9,5	(5,0)	0,4	0,1	—	—	0,6	1,2	0,4	0,3	0,2	—	0,1	0,3
10- 1-60	22:10	4,0	(3,2)	0,5	0,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
27- 1-60	10:45	17,7	3,0	2,7	(8,3)	2,6	—	0,8	—	0,1	—	—	—	—	—
27- 1-60	15:00	7,3	0,8	0,5	0,5	1,0	(2,4)	0,7	1,1	0,3	—	—	—	—	—

Continúa . . .

PRECUENCIAS DE INTENSIDADES (PARA: = 21 LLUVIAS MAXIMIAS)
MENDOZA

Intensidades	Periodos Definidos de Duración Creciente															
	Punto Medio	10 minutos			20 minutos			30 minutos			60 minutos			90 minutos		
		Frecuen. Absoluta	Acumulado	Relativas	Absolutas	Acumulado	Relativas									
121-130,9	125	1	4,5	1	1	4,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
111-120,9	116	1	9,1	1	1	—	1	4,5	—	—	—	—	—	—	—	—
101-110,9	103	1	13,6	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
91-100,9	96	—	—	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
81-90,9	86	1	18,2	2	3	13,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
71-80,9	76	—	—	1	4	18,2	1	9,1	1	1	4,5	—	—	—	—	—
61-70,9	66	3	31,8	4	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
51-60,9	56	3	45,4	4	4	—	2	18,2	4	4	—	—	—	—	—	—
41-50,9	46	3	59,1	7	7	31,8	—	—	4	4	—	—	1	2	9,1	—
31-40,9	36	5	81,8	7	14	43,6	4	36,4	8	8	36,4	1	1	3	13,6	—
21-30,9	26	2	90,9	3	17	77,3	6	63,6	14	14	63,6	2	2	5	22,7	14,3
11-20,9	16	1	95,5	4	21	95,5	6	90,9	20	20	90,9	9	9	14	63,6	33,3
1-10,9	6	—	—	—	—	—	1	95,5	21	21	95,5	7	7	21	95,5	95,2

REGISTRO DE LLUVIAS INTENSAS OCURRIDAS EN MENDOZA DESDE 1945 a 1966

(Pluviógrafo Parque General San Martín)

Fecha	Duración de a		Lámina total (mm)	Láminas parciales en (mm) por períodos iguales de 10 minutos													
				10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120		
3- 2-60	21:10	22:10	3,8	0,6	0,6	0,1	(1,2)	1,0	0,3	—	—	—	—	—	—	—	—
29-10-60	20:00	22:00	6,7	1,0	0,2	0,6	0,6	0,3	0,6	0,9	(1,1)	0,2	0,2	0,4	0,3	0,5	—
11-11-60	21:40	22:05	6,8	1,3	(1,7)	0,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2-11-60	14:50	15:40	3,0	1,0	(1,2)	0,1	0,1	0,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9- 2-61	16:55	18:40	13,4	0,6	1,4	(2,6)	1,9	1,6	1,2	1,7	0,9	0,6	0,7	0,7	0,2	0,5	0,4
4- 2-61	19:50	21:50	7,9	0,7	0,8	0,8	(1,0)	0,5	0,6	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	—
12- 3-61	1:25	2:40	2,4	(5,4)	0,2	0,7	0,5	0,1	0,1	—	—	—	—	—	—	—	—
17/18- 4-61	20:25	0:25	7,7	(5,9)	2,2	0,2	0,1	—	—	—	—	0,1	0,2	0,1	—	—	0,1
20-10-61	1:35	6:35	14,2	(2,0)	2,0	2,0	1,4	0,8	0,2	0,3	0,2	0,1	—	—	—	—	—
30-11-61	12:25	14:00	5,4	0,4	—	0,1	—	1,5	(2,3)	0,7	0,3	0,1	—	—	—	—	—
29- 1-62	17:40	18:15	5,7	2,0	(2,1)	0,5	0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7/8- 3-62	21:25	0:25	8,1	(4,0)	1,2	0,4	—	0,1	—	0,1	0,4	0,3	0,6	0,1	0,1	0,2	0,1
7- 9-63	15:00	17:25	9,9	1,8	(2,8)	1,5	0,7	0,5	0,5	0,4	0,2	0,6	0,1	0,1	0,2	0,1	1,2
18-11-63	17:55	21:55	8,7	1,0	0,8	(1,3)	—	0,1	—	—	0,1	—	—	—	0,4	—	—
25-12-63	17:40	18:15	18,9	4,3	7,0	(7,0)	0,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Continúa...

Planilla N° 2

INTENSIDAD EN mm/h.
PARA PERIODOS DEFINIDOS DE DURACION CRECIENTE

Periodos Definidos de Duración Creciente (Cada uno involucra al anterior)	Fecha del Evento			
	31 — XII — 59			
	Lámina Parcial Máxima (x) y Máximas Vecinas	Láminas Acumuladas	Intensidad en mm/min.	Intensidad en mm/h.
10	21 (x)	21	2,1	126
20	20	41	2,05	123
30	16	57	1,9	114
40	9	66	1,65	99
50	8	74	1,48	89
60	6	80	1,33	80
70	10	90	1,29	77
80	2	92	1,15	69
90	1,9	93,9	1,04	62,4

(x) Por razones de espacio, solo se consignan los cálculos para la lluvia del 31 de diciembre de 1959.

Planilla N° 3

CUADRO COMPARATIVO DE INTENSIDADES POR PERIODOS DEFINIDOS DE DURACION CRECIENTE. (Entre paréntesis, las intensidades máximas de cada año en mm/h. por período).

Periodos Definidos de Duración Creciente	1959				1961			
	20-11	4-12	6-12	31-12	9-2	14-2	12-3	17-4
10 minutos	13,2	42,0	24,0	(126,0)	15,6	6,0	32,4	(35,4)
20 ..	10,2	24,9	21,0	(123,0)	13,5	5,4	(22,8)	18,3
30 ..	8,6	—	20,0	(114,0)	12,2	5,2	(16,6)	12,6
60 ..	5,2	—	12,4	(80,0)	(10,4)	4,7	9,0	6,4
90 ..	—	—	8,9	(62,4)	(8,4)	4,3	—	4,5

(Por razones de espacio solo se consignan los datos de 2 años)

Planilla N° 4

ORDENAMIENTO DECRECIENTE DE INTENSIDADES MAXIMAS EN 21 AÑOS

N° de Orden	<i>Periodos Definidos de Duración Creciente</i>				
	10 min.	20 min.	30 min.	60 min.	90 min.
1	126,0	123,0	114,0	80,0	62,4
2	112,2	89,4	78,0	46,1	30,9
3	107,4	87,6	60,8	32,3	23,0
4	88,2	76,2	55,8	25,9	17,8
5	69,6	49,8	38,0	21,6	15,3
6	63,0	48,3	36,3	19,4	12,3
7	62,4	42,0	35,6	18,9	11,7
8	60,0	40,2	34,4	18,9	10,8
9	60,0	39,0	29,8	17,4	10,3
10	56,4	38,7	29,4	17,2	8,8
11	49,8	35,7	28,6	14,1	8,4
12	43,2	33,0	28,0	13,7	7,2
13	42,0	31,2	26,6	13,3	6,3
14	39,0	31,2	26,0	13,0	6,3
15	37,8	30,9	18,6	10,5	6,1
16	37,2	22,8	16,6	10,4	6,0
17	35,4	21,3	15,4	8,8	4,6
18	31,8	16,5	14,2	5,8	4,3
19	24,0	15,6	11,2	5,7	3,9
20	21,0	15,0	11,2	5,7	3,3
21	12,0	10,2	9,2	4,8	—

n = 21
n + 1 = 22

REGISTRO DE LLUVIAS INTENSAS OCURRIDAS EN MENDOZA DESDE 1946 a 1966

(Pluviógrafo Parque General San Martín)

Fecha	Duración de a		Lámina total (mm)	Láminas parciales en (mm) por periodos iguales de 10 minutos													
				10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120		
10-3-57	19:55	20:20	7,7	0,8	(6,3)	0,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15-3-57	20:35	21:05	7,3	2,2	(3,8)	1,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4-1-58	12:15	13:15	6,4	(4,8)	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	—	—	—	—	—	—	—	—
14/15-1-58	23:05	0:05	19,4	(9,4)	7,2	2,4	0,3	—	0,1	—	—	—	—	—	—	—	—
20-1-58	17:00	18:35	5,8	(2,9)	1,6	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1	0,3	0,1	—	—	—	—
25-1-58	22:20	23:18	5,1	0,6	0,8	2,0	(2,4)	0,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4-2-58	2:15	4:15	3,4	(1,6)	0,5	0,1	0,6	0,2	0,1	—	0,1	—	—	—	—	—	0,1
6-2-58	9:05	10:25	16,2	0,2	0,1	0,1	1,2	3,0	(7,3)	4,0	0,3	—	—	—	—	—	—
10/11-3-58	21:15	3:15	11,4	0,4	0,6	0,5	0,8	1,0	1,7	2,0	(2,2)	0,5	0,5	0,2	0,1	—	—
11-3-58	3:30	6:30	6,5	0,3	0,5	(2,3)	0,7	0,6	0,2	0,2	0,2	0,2	—	—	—	—	—
22-12-58	16:50	20:50	9,8	(2,1)	1,2	0,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,2
27-12-58	21:35	23:35	8,1	2,0	1,4	0,1	—	—	0,2	1,3	2,0	1,0	—	—	—	—	—
29-12-58	6:45	8:15	8,2	(3,0)	2,0	1,4	1,0	0,4	0,2	—	0,1	0,1	—	—	—	—	—
2-1-59	21:05	23:05	17,1	(9,3)	1,2	0,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4/5-1-59	23:25	1:25	8,6	1,1	(2,5)	1,5	1,0	1,2	0,8	0,2	—	—	—	—	—	—	—

Continúa...