

ANALISIS DE LLUVIAS INTENSAS EN LA REGION PEDEMONTANA, CERCANA A LA CIUDAD DE MENDOZA

RAFFO J. M., QUINTELA R. M., MEDINA L., PLAZZA L. T.
Servicio Meteorológico Nacional

El objetivo del trabajo —concentrado en la cuenca del arroyo Frías, causante del aluvión que afectó la ciudad de Mendoza el 4 de enero de 1970— consiste en el cálculo de la lluvia máxima posible para la zona, lo cual involucra la determinación de series estadísticas representativas, el cálculo de probabilidad, la determinación del periodo de retorno y la caracterización temporal de la precipitación máxima. Asimismo, se encara el trazado de las curvas cantidad-duración-área, incluyendo el trazado de mapas de isohietas y su planimetría, y la formulación tentativa de un modelo para estudio de la precipitación máxima probable. Por último, se efectúan recomendaciones sobre medidas adecuadas para instalar una red observacional, el procesamiento de la información y su difusión.

The purpose of this research on precipitation regime—referred to Frías Creek basin where an alluvion occurred on January 4th, 1970 causing severa damages in Mendoza City— is the determination of representative statistical series, occurrence probability, return period and maximun rainfall timed characteristics. The study involves drawing of curves relating rainfall depth and duration to different areas as well as isohyetal maps with its planimetry. Formulation of a modal to study probable maximun precipitation for the area is attempted and a number of adequated recommendations are finally suggested to implement an observational network and for the processing and suitable distribution of the data.

Con motivo del aluvión que azotó la Ciudad de Mendoza el 4 de enero de 1970, como consecuencia de la ruptura del Dique Frías, el Gobierno de la Provincia de Mendoza contrató, con una empresa especializada, el estudio integral de dicho evento, así como las medidas adecuadas para prevenir la ocurrencia de hechos similares.

Dicho estudio ha sido ya publicado por la Provincia y en el mismo actuaron, como consultores privados en el aspecto hidrometeorológico, los autores de esta comunicación.

Entendió el Instituto de Hidrometeorología del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), que la ocasión era propicia para encarar el estudio de las lluvias intensas que pueden dar origen a este tipo de aluviones, y su vinculación con las situaciones meteorológicas condicionantes del fenómeno. La labor que realizó el Instituto en esa oportunidad y las conclusiones a que arribó son los fundamentos que dieron origen a este trabajo, que consideramos uno de los primeros que se han efectuado en el país en la materia.

Por las circunstancias señaladas anteriormente, pueden existir analogías inevitables con algunos puntos del informe publicado por la Provincia.

2. OBJETIVO DEL TRABAJO

- 2.1 Trazado de las curvas cantidad-duración-área, incluyendo trazado de mapas de isohietas, su planimetrío y cálculo.
- 2.2 Cálculo de la lluvia máxima en el menor período compatible con la información disponible. Este objetivo involucra: Determinación de series, cálculo de probabilidad, determinación del período de retorno y caracterización del tiempo de precipitación máxima.
- 2.3 Formulación de un modelo para el estudio de la precipitación máxima probable sobre cuencas de distintas características.
- 2.4 Recomendación de medidas adecuadas para la instalación de una red observacional, el procesamiento de la información y su difusión.

El estudio se concentró en la cuenca del arroyo seco Frías, cuya extensión es menor de 30 km²

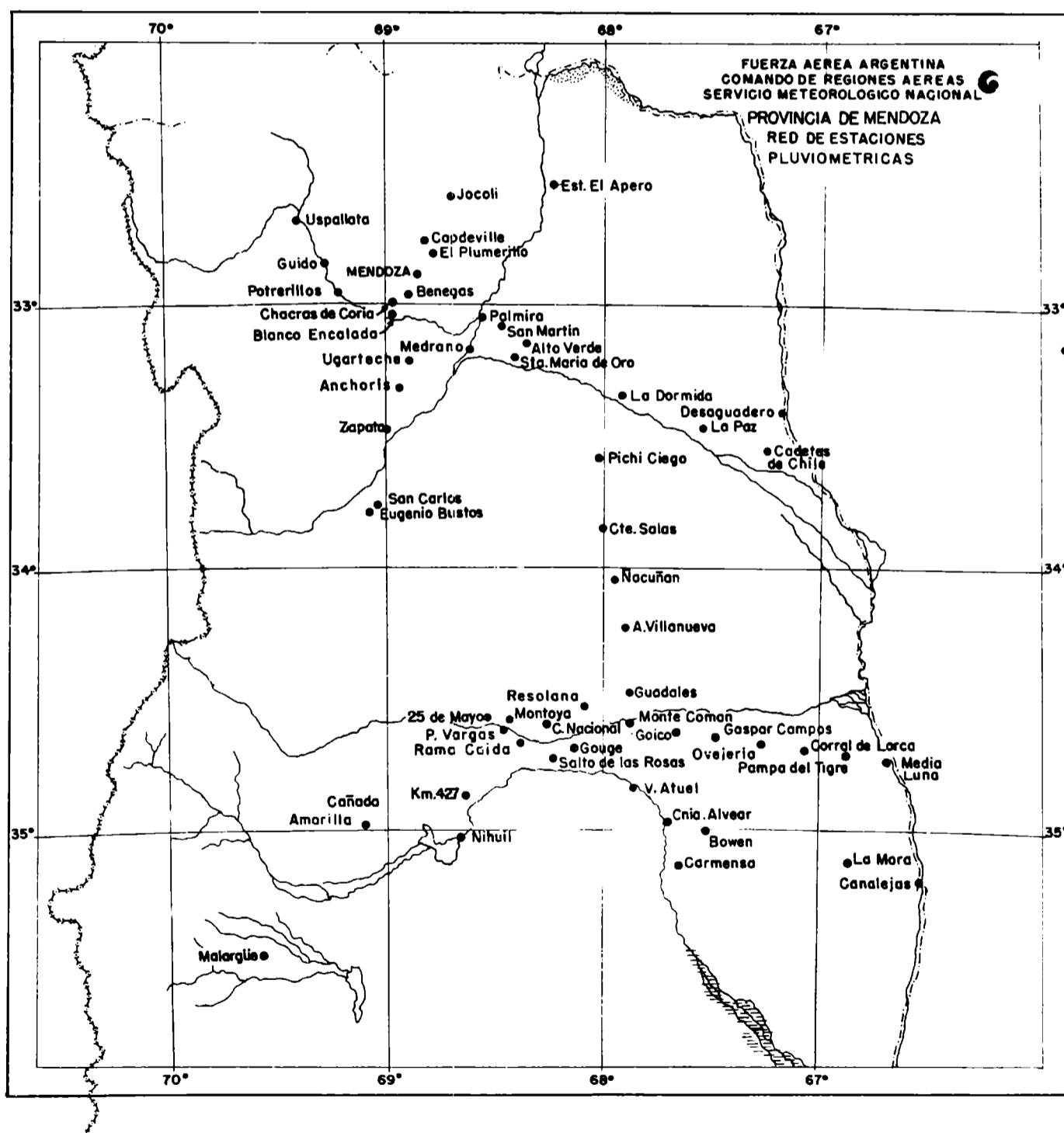
3. REGIMEN DE PRECIPITACION EN LA ZONA

- 3.1 **La red pluviométrica:** La red pluviométrica de la Provincia de Mendoza es atendida por el S M N y por organismos del Departamento General de Irrigación de la Provincia, de los Ferrocarriles, y de Correos y Telecomunicaciones, concentrándose las observaciones en el Instituto de Hidrometeorología. La densidad de estaciones pluviométricas es baja, —aproximadamente 10 por cuadrante de 4° (2° x 2°); contra 45 en el norte de la Provincia de Buenos Aires, 30 en Córdoba y Tucumán y más de 20 en la región mediterránea. Esta situación se agrava por la mala distribución, que se hace crítica en algunas zonas, especialmente en la región precordillerana. En la cordillera se cuenta con una red de 59 pluvionivómetros totalizadores, cuyos valores son un complemento valioso pero de eficacia dudosa en algunas oportunidades; además solamente permiten deducir el total anual. Asimismo, se encuentran en funcionamiento 8 pluviógrafos en estaciones del S M N y otros 9 que opera el Departamento General de Irrigación de la Provincia. En la figura 1 se muestra la red hidrometeorológica que funciona actualmente en la Provincia.

Otros aspectos importantes, al estudiar los regímenes de precipitación puntual de estaciones cercanas, son la extensión de las series de observaciones y la contemporaneidad de las mismas. En el presente caso, los registros de las cuatro estaciones básicas para el estudio (Mendoza Meteor, Mendoza F.C., Chacras de Coria y El Plumerillo) difieren en ambos aspectos, por lo que ha sido necesario efectuar un ordenamiento de los valores estadísticos.

El instrumental: Las observaciones pluviométricas anteriores a 1933 provienen de pluviómetros tipo "A" —así llamados por el S M N— los que fueron reemplazados en toda la red, a partir de ese año, por los tipo "B" *

Estudios, basados en observaciones simultáneas con ambos pluviómetros, indican que se registran cantidades mayores (8%), y más aproximadas a lo real, con el pluviómetro tipo B



* El pluviómetro tipo A, es de forma irregular y su boca de recepción tiene 12,5 cm. de diámetro. El tipo B. es cilíndrico, con 16 cm. de diámetro.

- 3.3 Concentración y procesamiento de la información:** Es corriente que, por errores u omisiones en la observación y en la anotación, la información no resulte fidedigna; especialmente la proveniente de puestos pluviométricos que no operan en estaciones meteorológicas de la red del S M N. Ello obliga a mantener un servicio de depuración sistemática donde se hace el análisis, comparando las distintas fuentes de datos, analizando los campos pluviométricos en los mapas diarios y comparando los valores individuales con los campos respectivos. Solo después de este proceso deben registrarse los datos, diarios y mensuales, en libros especiales. Lamentablemente, en los últimos 15 años no ha podido cumplirse regularmente esta tarea en el S M N por insuficiencia de personal y de medios.

Cabe señalar que, según estudios efectuados, los campos pluviométricos correspondientes a las series obtenidas en estaciones meteorológicas dependientes del S M N y en los puestos pluviométricos fuera de esa red (ferrocarriles, Gendarmería, provinciales, etc.) no son bien homogéneos. Como característica sobresaliente, los puestos pluviométricos acusan sistemáticamente menos precipitación que las estaciones meteorológicas, constatándose, al comparar las series, que aquellas casi nunca registran precipitaciones hasta 1 mm., y que observan lluvias diarias comprendidas entre 1 y 5 mm. con mucha menor frecuencia que las estaciones meteorológicas.

Se llega así a comprobar que las frecuencias normales de los puestos pluviométricos (período 1921-50) computadas para precipitaciones diarias $\geq 0,3$ mm. corresponden, en realidad, a lluvias diarias mayores de 3,0 mm. Claro que esta aseveración tiene carácter general y no es aplicable a casos particulares; por ello, es aconsejable, cuando de frecuencias se trata, basarse fundamentalmente en las estaciones meteorológicas, sirviendo las pluviométricas como complemento.

Las series depuradas han eliminado, en gran parte, los errores en los promedios de lluvia caída, pero aún debe estimarse como probable un error medio del 10 %, mientras que para las frecuencias el error varía entre el 20 y el 30 %.

- 3.4 Estudio del régimen pluviométrico:** Para efectuar este estudio se han tomado como base trabajos del Ing. A. Marchetti (1952-1953), el Atlas Climático de la República Argentina (SMN, 1960), los Datos Pluviométricos del período 1921/1950 (SMN, 1962), trabajos de Galmarini y Raffo (1963), y muy especialmente, los análisis de los datos observacionales existentes en el Archivo Nacional de Meteorología.

- 3.4.1 Marcha anual de la precipitación:** Al estudiar la distribución de la lluvia durante el año, utilizando los promedios mensuales, debe tenerse en cuenta la diferente cantidad de días de los distintos meses a fin de evitar que la comparación resulte errónea, dificultad que se soluciona reduciendo las observaciones pluviométricas a meses de igual duración.

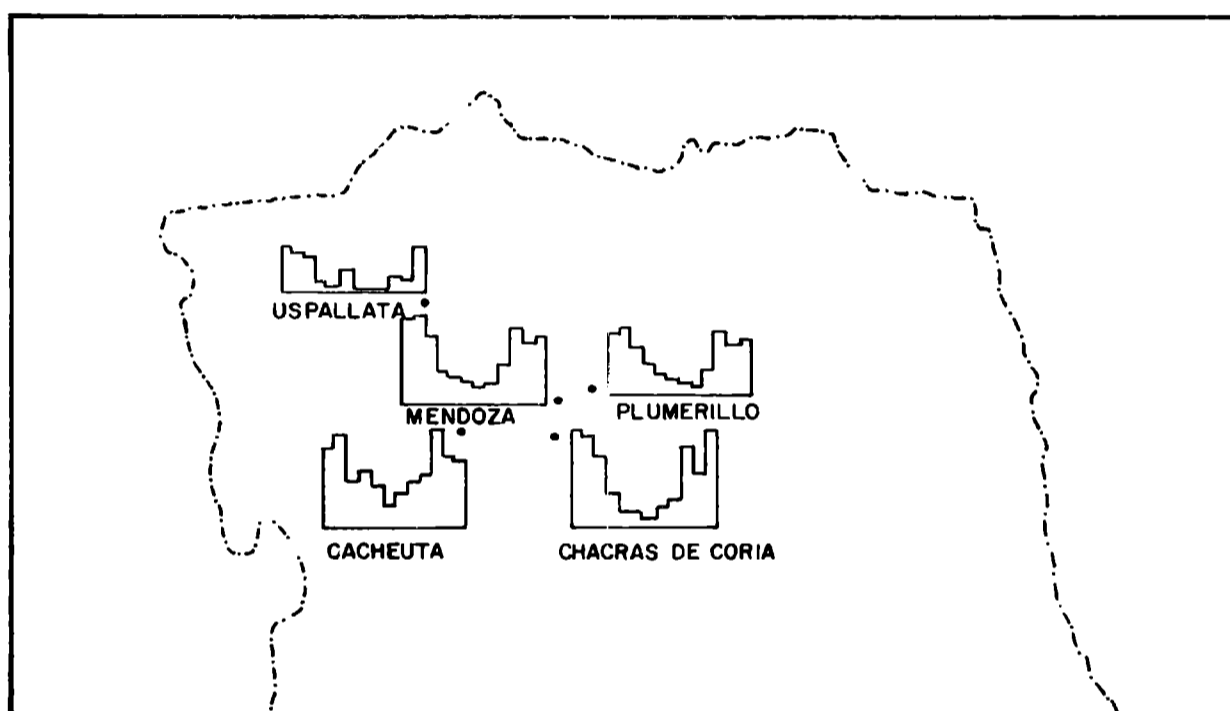
La figura 2 nos muestra algunos histogramas trazados sobre el mapa de la Provincia, en los que se visualiza la marcha anual de la precipitación. Es evidente el predominio de las lluvias de verano.

3.4.2 **Frecuencia de días de lluvia:** Los valores medios mensuales de la cantidad de precipitación ha sido consignada en la Tabla N° 1. Dicha tabla contiene, además, las frecuencias mensuales y anuales medias, correspondientes a precipitaciones diarias iguales o mayores que 1,0 mm.

3.4.3 **Densidad:** La densidad de lluvia es la relación entre el promedio mensual o anual de lluvia y el promedio de frecuencia correspondiente. El valor anual para Mendoza es 7,5, valor muy bajo, compatible con las características de la precipitación en la zona.

3.4.4 **Variabilidad:** El estudio de la variabilidad de la lluvia se ha efectuado con un registro de 40 años de la estación Mendoza, epicentro de la zona objeto de este informe.

Fig. N° 2



HISTOGRAMAS DE LA DISTRIBUCION ANUAL DE LA PRECIPITACION

0 10 20 30 40 50 km. E. Gráfica

T A B L A N° 1

PROMEDIOS MENSUALES DE LLUVIA (mm) PARA MESES DE IGUAL DURACION

Estación \ Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
Mendoza	28,1	29,3	23,4	10,5	9,8	8,9	6,9	7,8	13,4	26,1	20,9	23,8	208,9
El Plumerillo	21,0	23,3	15,1	11,2	7,7	5,8	5,1	4,0	9,2	21,9	18,0	18,7	161,0
Chacras de Coria	33,6	31,9	24,8	12,3	6,1	6,1	5,2	8,6	10,2	28,3	19,6	30,4	217,1
Cacheuta	25,6	31,4	15,4	18,0	14,2	8,4	11,1	14,6	17,8	33,0	23,4	22,9	235,8
Uspallata	15,2	13,8	10,9	3,4	1,7	7,0	1,1	0,9	1,0	5,9	5,7	14,6	81,2

FRECUCENCIA MEDIA MENSUAL Y ANUAL DE LLUVIA ≥ 1,0 mm.

Estación \ Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
Mendoza 1908-1946	3	4	3	2	2	1	1	1	3	3	2	3	28

Se ha calculado el valor de la desviación de cada año ($\delta = P - \bar{P}$), de los totales anuales de lluvia (P), con respecto al promedio de los 40 años considerados ($\bar{P} = 192$ mm), resultando la siguiente distribución –frecuencia– casi normal de esos valores:

Entre -3δ y -2δ	1
“ -2δ y $-\delta$	4
“ $-\delta$ y 0	17
“ 0 y $+\delta$	14
“ $+\delta$ y $+2\delta$	4
“ $+2\delta$ y $+3\delta$	2

Se ha calculado también el promedio de la dispersión (variabilidad media):

$$\delta_m = \frac{\sum \delta}{n} = 58,0 \text{ mm}, \quad (\text{donde } n = 40)$$

y, expresada en porciento de P : $\delta_m = 30,2\%$

En función de los cuadrados de las desviaciones se ha calculado el coeficiente de dispersión: $\sigma_T = 78,3$

Consecuentemente: $\frac{\delta_m}{\sigma} = 0,741$, valor este cercano al teórico para una distribución normal, que es 0,792.

Se estudió así mismo la variabilidad a través del coeficiente de variabilidad:

$$\frac{T - t}{P} = 1,721 \quad (\text{siendo "T" y "t" los valores extremos}),$$

y del coeficiente de variación $CV = \sigma/\bar{P} = 0,387$. Ambos valores son muy altos, en especial el primero, que resultó uno de los más altos del país (Buenos Aires tiene 0,847).

El error probable mide la exactitud de los promedios pluviométricos; este valor resultó también muy alto en el caso de Mendoza:

$$F \% = \frac{\sigma 0,6745 \times 100}{n \times \bar{P}} = 4,029, \text{ siendo "n" el número de años.}$$

4. ESTUDIO HIDROMETEOROLOGICO DE PRECIPITACIONES INTENSAS EN LA ZONA

Introducción y objetivos generales: Se efectuó el análisis cantidad-duración-área del régimen de lluvias, a fin de determinar las cantidades máximas de precipitación en distintos períodos y áreas. Para determinar la precipitación media se utilizó el método de las isohietas, considerado el más preciso para promediar las precipitaciones.

El trabajo exigió para su desarrollo: 1) compilación y transcripción de los datos existentes en el S M N ; 2) interpretación y análisis de dichos datos 3) determinación de relaciones cantidad-duración-área.

Para dar cumplimiento a este programa se siguió el siguiente procedimiento: selección de las tormentas y su período de acción; preparación de los mapas de isohietas; delimitación de áreas de interés fundamental; interpretación de datos de precipitación; estudio sinóptico de las tormentas elegidas.

Los pasos necesarios se detallan y discuten en los puntos siguientes de este trabajo.

En líneas generales puede decirse que es posible obtener los siguientes datos de la información pluviográfica resultante de las tormentas seleccionadas:

- a) intensidad máxima media de lluvia en cada estación pluviográfica, para períodos variables; de las estaciones pluviométricas (sin registrador) solo es posible obtener información suplementaria por medio de curvas acumuladas (de masa);
- b) llluvias contemporáneas (acumuladas) para todas las estaciones dentro del área de la tormenta, tabuladas para períodos crecientes con iguales incrementos de tiempo.

Estos valores son usados para trazar:

- i) mapas de isohietas, para períodos cortos;
- ii) Curvas acumuladas representando la altura promedio de llluvias contemporáneas en diferentes zonas del área de la tormenta. Estos datos son útiles para estudiar las relaciones lluvia-escurrimiento en cuencas de drenaje y dan una base para estimar las secuencias probables, crítica y normal, de períodos de llluvias intensas durante grandes tormentas.
- iii) Curvas de cantidad-duración, representando la altura media máxima de lluvia caída, en varios períodos de tiempo, sobre zonas de área variable. Estos datos pueden usarse a fin de estimar la tormenta máxima posible que se usará como base para determinar las capacidades de presas o trabajos protectores de crecidas.

4.1 Selección de tormentas: Para efectuar la selección de tormentas críticas se realizó el análisis, de 5 en 5 minutos, de 256 llluvias, se calculó la intensidad máxima de 409 llluvias y se efectuó la lectura de 794 llluvias con hora de comienzo y fin. Este trabajo se efectuó con fajas de pluviógrafos sin procesar, existentes en el Archivo del S M N De este análisis surgieron como tormentas más intensas las correspondientes a los días 31 de diciembre de 1959 y 4 de enero de 1970. La indicada en primer término constituyó el caso más extraordinario pero la otra fue causa del aluvión que originó el presente estudio.

4.2 Análisis de datos contemporáneos de lluvia de una tormenta muy intensa: La Tabla N° 2 muestra los datos contemporáneos para varias estaciones de la zona, correspondientes a la lluvia del 4 de enero de 1970. De su lectura surge el carácter súmamente local de las precipitaciones, pudiéndose observar que, entre las 18.00 y 18.30 horas, precipitan en Chacras de Coria 45 mm. y en el mismo intervalo sólo 0,2 mm. en Mendoza.

Este fenómeno agudiza el inconveniente derivado de la carencia de información en la parte superior de la cuenca del Frías, donde es de presumir que se han producido focos de precipitación intensa, según surge del volumen de agua que ha derramado por el cauce. Esto impide tener absoluta seguridad con respecto al campo de isohietas trazado, ya que en cierta medida ha sido necesario extrapolar los valores conocidos en base a datos de derrame.

50 LLUVIAS INTENSAS EN LA REGION PEDEMONTANA

Los datos de la mayor parte de las estaciones que figuran en el cuadro provienen de pluviómetros de registro semanal, por lo cual el análisis solo ha sido posible realizarlo de 30 en 30 minutos.

Con excepción de los datos correspondientes a Mendoza y Chacras de Coria, los valores de las otras estaciones de Tabla 2 han sido obtenidos del Departamento General de Irrigación de la Provincia de Mendoza.

4.3 **Cálculo de la precipitación absoluta:** En base a los datos obtenidos de las fajas de los pluviómetros diarios de las estaciones Mendoza y Chacras de Coria se seleccionaron, para cada estación, las lluvias máximas para 5, 10, 15, 30, 45, 60 y 90 minutos. Estos intervalos se han elegido teniendo en cuenta el tipo de la precipitación en la región pedemontana en estudio.

Para las estaciones de Mendoza y Chacras de Coria se trazaron las curvas de probabilidad, no pudiendo hacerse lo mismo para El Plumerillo dado el insuficiente registro (7 años).

T A B L A N ° 2

TABULACION DE DATOS CONTEMPORANEOS DE LLUVIA (4 - I - 1970)

Estación	Hora											
	14	14,30	15	15,30	16	16,30	17	17,30	18	18,30		
El Molino	1,2	0,05	0,05	1,6	2,2	0,3	8,0	7,0	3,5	2,0		
Papagallo		2,5	1,0	9,5	1,5	5,5	1,4	0,2	0,2	0,2		
Jaucha												
Ing. D. Sardina												
Ogarteche												
Tupungato (Aero)								0,2	0,1	0,1		
Ecia. La Resunga		← 0,8 →										
Las Tunas									0,8	0,1		
Dique Valle de Uco					2,0	0,2	1,0	0,9	← 0,1 →			
* Chacras de Coria									19,2	45,0		
* Mendoza (Observatorio)								0,0	8,5	0,2		
	19	19,30	20	20,30	21							
El Molino				1,1	0,7							
Papagallo	2,0	2,1	0,4	0,1	0,1							
Jaucha	0,4	4,0	1,2	1,3	0,1							
Ing. D. Sardina												26
Ugarteche												
Tupungato (Aero)	0,1	0,7	0,1	0,1	0,1							0,1
Ecia. La Resunga												
Las Tunas	0,1	3,0	0,5	2,4	0,5							
Dique Valle de Uco	0,5	0,8	0,5	1,5	0,1							
* Chacras de Coria	1,7	2,7	2,3	2,8	8,8							
* Mendoza (Observatorio)	1,1	3,4	1,3	5,0	7,2							

NOTA: * Pluviómetro diario (semanal, en las restantes estaciones).

La figura 3 muestra las curvas de probabilidad para la estación Mendoza, para los tiempos de concentración 30 mi y 60 mi, trazadas sobre papel con escala logarítmica para los valores de intensidad de precipitación (eje de ordenadas) y escala gaussiana para la frecuencia porcentual acumulada (eje abscisas).

4.4 Cálculo de curvas de intensidad-área partiendo del mapa de isohietas de la tormenta total: La tormenta tipo para el área se construye en base a la tormenta máxima puntual de un período de recurrencia de 1 en 100 años y se muestra en la figura 5.

A partir de la tormenta de proyecto para un período de retorno de 1 en 100 años y siguiendo el método de las isohietas, se obtuvieron los valores en base a los cuales se elaboró la figura 4 que presenta la relación entre la intensidad de precipitación y la raíz cuadrada del área de la cuenca para un tiempo de concentración de 60 minutos y períodos de retorno de 100 y 200 años. Se obtiene de este gráfico una precipitación máxima promedio de 105 mm. para toda el área de la cuenca y un período de retorno de 200 años, lo que permite obtener un volumen de agua de 2.800.000 m³

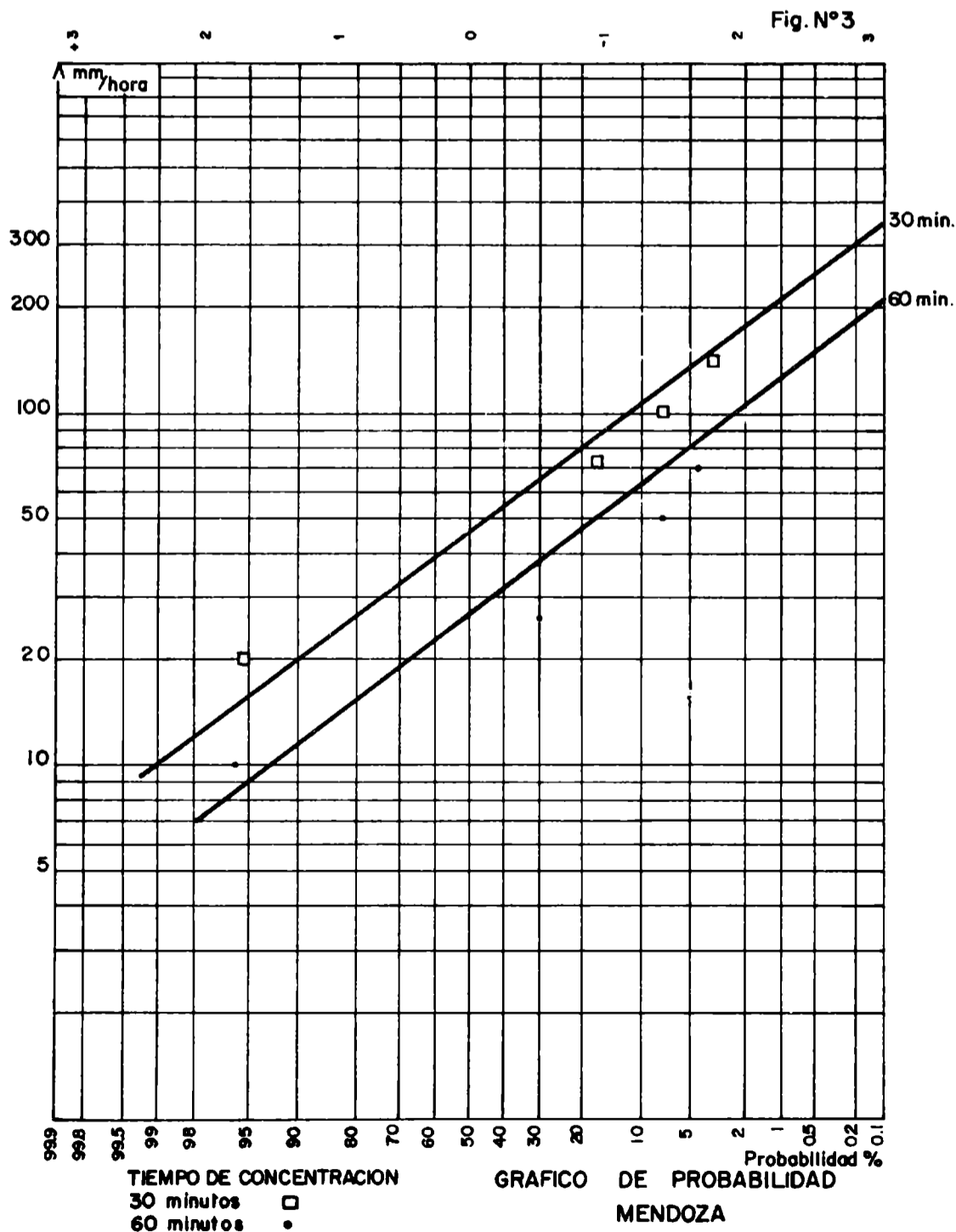
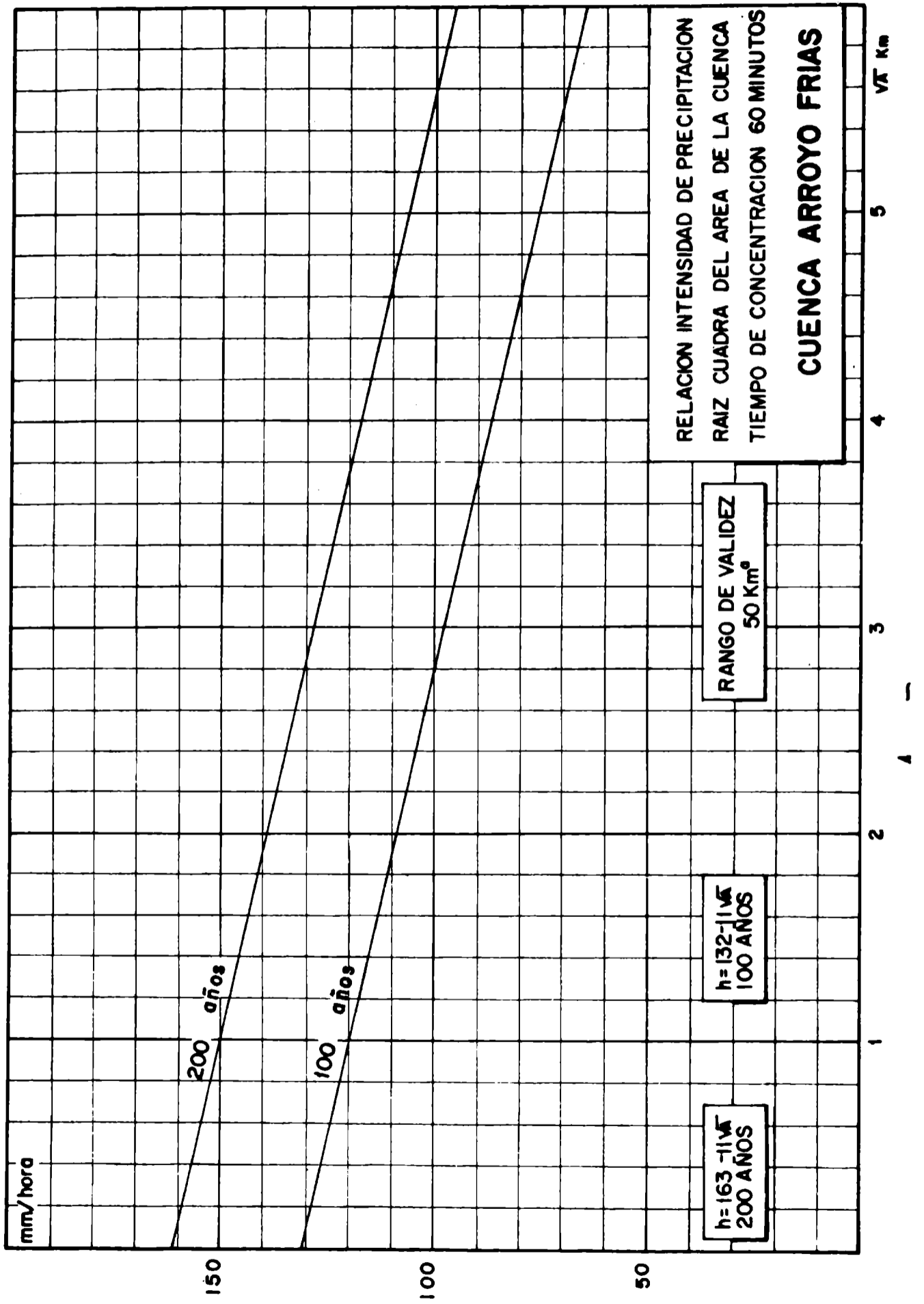
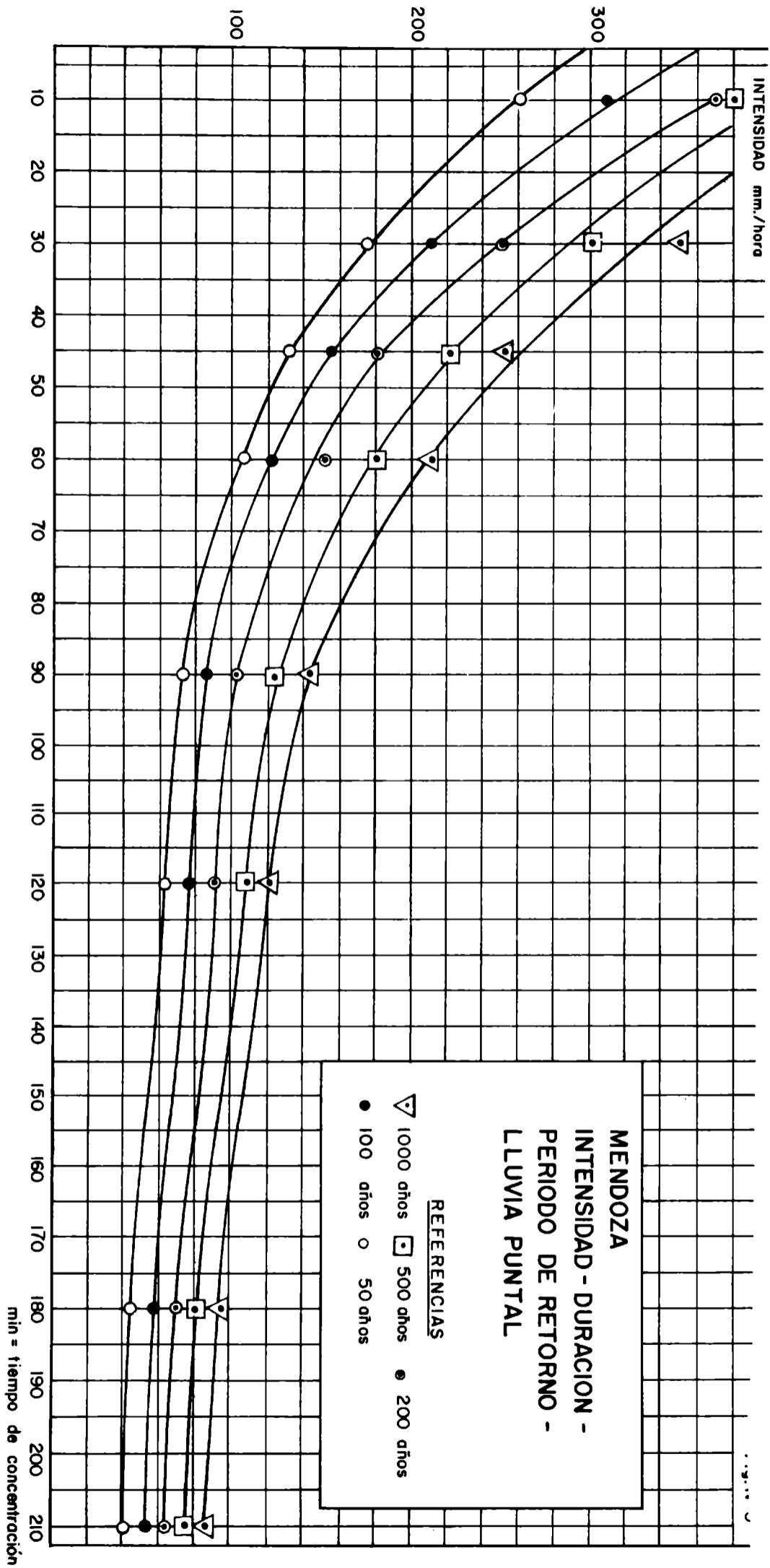


Fig. Nº4





La relación entre la precipitación y la raíz cuadrada del área es lineal y cumple con la ley de variación: $P = 163 - 11 \sqrt{A}$ para un período de retorno de 200 años, donde P es la precipitación en mm. y A el área en km^2

Estas curvas tienen un rango de validez de 50 km^2 debido al carácter local de las precipitaciones de corta duración y gran intensidad.

- 4.5 **Curvas de intensidades máximas para lluvias de corta duración sobre pequeñas áreas:** Las intensidades máximas para lluvias de corta duración sobre pequeñas áreas (valor puntual) se muestran en la figura 5. Las curvas de intensidades máximas indican que las mayores precipitaciones se presentan en los primeros 70 minutos, tiempo máximo de duración del chaparrón en la zona. Así mismo, se pone en evidencia el rápido decrecimiento de la intensidad de precipitación en los primeros 60 minutos, siendo súmamente mayor dicho decrecimiento en los primeros 30 minutos, lo que muestra una vez más el carácter local de las precipitaciones.

Todos estos factores han sido tenidos en cuenta para la construcción de la tormenta de proyecto.

5. ANALISIS DE LA TORMENTA OCURRIDA EN MENDOZA EL DIA 4 DE ENERO DE 1970.

- 5.1 **Introducción:** En este informe se presenta el análisis de la tormenta ocurrida en Mendoza, en la estación de verano, el 4 de enero de 1970.

La región de Mendoza es particularmente favorable para el desarrollo de tormentas convectivas. La cordillera de los Andes, que la limita por el Oeste, constituye una barrera perpendicular a los vientos de ese sector, perturbándolos.

Los efectos dinámicos de esta perturbación, el calentamiento diferencial de las laderas y la circulación diurna de las brisas de montaña, son otros tantos factores que contribuyen a una intensa actividad convectiva, observándose la máxima frecuencia de tormentas en los meses de diciembre, enero y febrero.

- 5.2 **Red observacional:** Para el estudio de la tormenta anteriormente mencionada se contó con los siguientes elementos del archivo nacional:

5.2.1 Mapa sinóptico de superficie:

5.2.2 Mapas sinópticos de altura (200 y 500 milibares);

5.2.3 Datos de la red pluviométrica y pluviográfica de la Provincia de Mendoza;

5.2.4 Nefoanálisis correspondientes a los días 3, 4 y 5 de enero de 1970 efectuado por el Servicio Meteorológico de la Armada Nacional mediante la interpretación de las fotos de los campos nubosos tomadas por el satélite meteorológico NIMBUS III.

- 5.3 **Descripción de la tormenta:**

5.3.1 **Situación meteorológica a las 09.00 hora local:** La carta sinóptica de superficie, correspondiente a la hora local 09.00, indicaba, centrada sobre La Rioja, la baja térmica característica de esta época del año; un frente frío, orientado aproximadamente paralelo a los círculos de latitud, en posición media 34° S ; y un sistema de alta presión centrado sobre el Atlántico, en 44° S y 59° W .

El mapa sinóptico de 500 mb. permitía apreciar un sistema de baja presión centrado en 35° S y 71° W . asociado a una gran vagüada (zona de mínima presión) con eje orientado NW - SE, pasando aproximadamente sobre la ciudad de Neuquén y la península de Valdés. El mapa de 200 mb mostraba una mar-

cada similitud con el de 500 mb., indicando una profunda perturbación en la circulación zonal. El eje del sistema de baja presión se ha inclinado levemente con la altura hacia el SW y está centrado en 36° S – 72° W. En igual forma, el eje de la vagüada se muestra paralelo al eje de 500 mb. pasando por 40° S, 70° W y por el sur de Rawson.

De lo expresado anteriormente se deduce que la Provincia de Mendoza se encontraba ubicada en la parte delantera de la vagüada de altura, donde predominan los movimientos de ascenso en las masas de aire. El nefoanálisis correspondiente a ese día permite ver, sobre casi toda la Patagonia Norte, un sistema nuboso con cúmulos potentes y cúmulunimbus asociados a la vagüada de altura.

Por otra parte, el estudio del campo de la temperatura potencial equivalente, en 850 mb. (parámetro característico de las masas de aire, invariante a los movimientos de ascenso y descenso de las mismas) permitía apreciar un marcado gradiente en el oeste del país, donde las isolíneas se orientaban en dirección norte-sur, curvándose luego hacia el este en la latitud media de 35° S, coincidente con la posición del frente frío en la carta de superficie. Tal distribución de las isolíneas indica la existencia de una masa de aire cálido y húmedo en la mitad norte del país.

Puede decirse, en síntesis, que el día 4 de enero de 1970, la mayor parte de Mendoza, a las 09.00 hora local, se encontraba dentro de una masa de aire cálido y húmedo, con un frente frío situado en 35° S y con un sistema de baja presión en altura que favorecía el ascenso de dicha masa de aire y por lo tanto la formación de nubes y precipitación.

Por razones de espacio no se adjuntan los mapas, correspondientes a lo descripción efectuada, los que pueden ser consultados en el SMN.

5.3.2 Marcha diaria de distintos elementos meteorológicos en la localidad de El Plumerillo: La figura 6 muestra la marcha horaria de distintos elementos meteorológicos en la localidad de El Plumerillo, durante los días 3, 4 y 5 de enero. En la marcha de la temperatura (Fig. 6A) se observa que los máximos ocurrieron entre las 15 y 16 horas aproximadamente. Además, el termograma correspondiente al día 4 se distingue por un marcado y brusco descenso de 10° C entre las 21 y 22 horas. Esta disminución de la temperatura indica, junto con otros factores, el pasaje del frente frío por la estación de El Plumerillo. El termograma del día 5 muestra, durante las 24 horas, temperaturas inferiores a la de los días 3 y 4, indicando la presencia de la masa de aire frío en la Provincia de Mendoza.

La marcha horaria de los distintos elementos meteorológicos (Fig. 6B) indica nubes cumulunimbus y precipitaciones acompañadas con tormentas a partir de las 18 horas del día 4, situación que se prolonga hasta las 4 horas del día 5 con características de chaparrones violentos. Obsérvese el viento fuerte del Oeste a las 21 horas, y su variación con el ascenso de la presión a partir de 22 hs. Como lo destaca la marcha horaria de esta (Fig. 6C) desde las 6 horas del día 4 la presión se muestra inferior a la del día 3, con marcado descenso a partir de 15 horas, indicando la proximidad del frente frío; esta tendencia se interrumpe a 21 horas, por la típica alta de tormenta asociada al viento chapa-

rrón que se registra a esa hora. Durante el día 5, y desde las 4 horas aproximadamente, la presión se muestra superior a la de los días 3 y 4, debido al sistema de alta presión post-frontal.

El frente frío se desplazó en las doce horas anteriores a su paso por El Plumerillo con una velocidad media aproximada de 13 km/hora.

5.3.3 Distribución de las precipitaciones: La figura 7 muestra la distribución de las precipitaciones en la Provincia de Mendoza, durante el día analizado. Se observan tres núcleos de máxima precipitación en proximidades de Chacras de Coria, Nacuñan y Montoya, respectivamente. El mayor de ellos, en Chacras de Coria, con un máximo probable de 140 mm. en 24 horas, resultó como producto de tres chaparrones. Se puede observar la orientación NW – SE del mismo y la ocurrencia súmamente local de dicha precipitación.

5.4 Cálculo de la máxima cantidad probable de agua precipitable: La máxima cantidad probable de agua precipitable, para un día determinado, puede ser calculada por métodos termodinámicos partiendo de la ecuación:

$$P_i = \frac{-0,622}{R.T} \left(\frac{de}{dz} + \frac{eg}{RT} \right) w \Delta Z$$

donde P_i es la precipitación potencial para una capa (i) de aire, ascendiendo en forma pseudoadiabática; R la constante de los gases ideales; T la temperatura en grados Kelvin; e la tensión de vapor del aire saturado a la temperatura T; Z la altura de la masa de aire; g la aceleración de la gravedad; w la velocidad vertical de desplazamiento de la capa; y ΔZ su espesor.

Teniendo en cuenta que excepto la velocidad vertical y el espesor de la capa, las demás variables dependen sólo de la altura (presión) y de la temperatura de la parcela de aire, estos parámetros dan lugar a una graficación de la fórmula (a), como la realizada por el Profesor Fulks. (S. Petterssen, 1956).

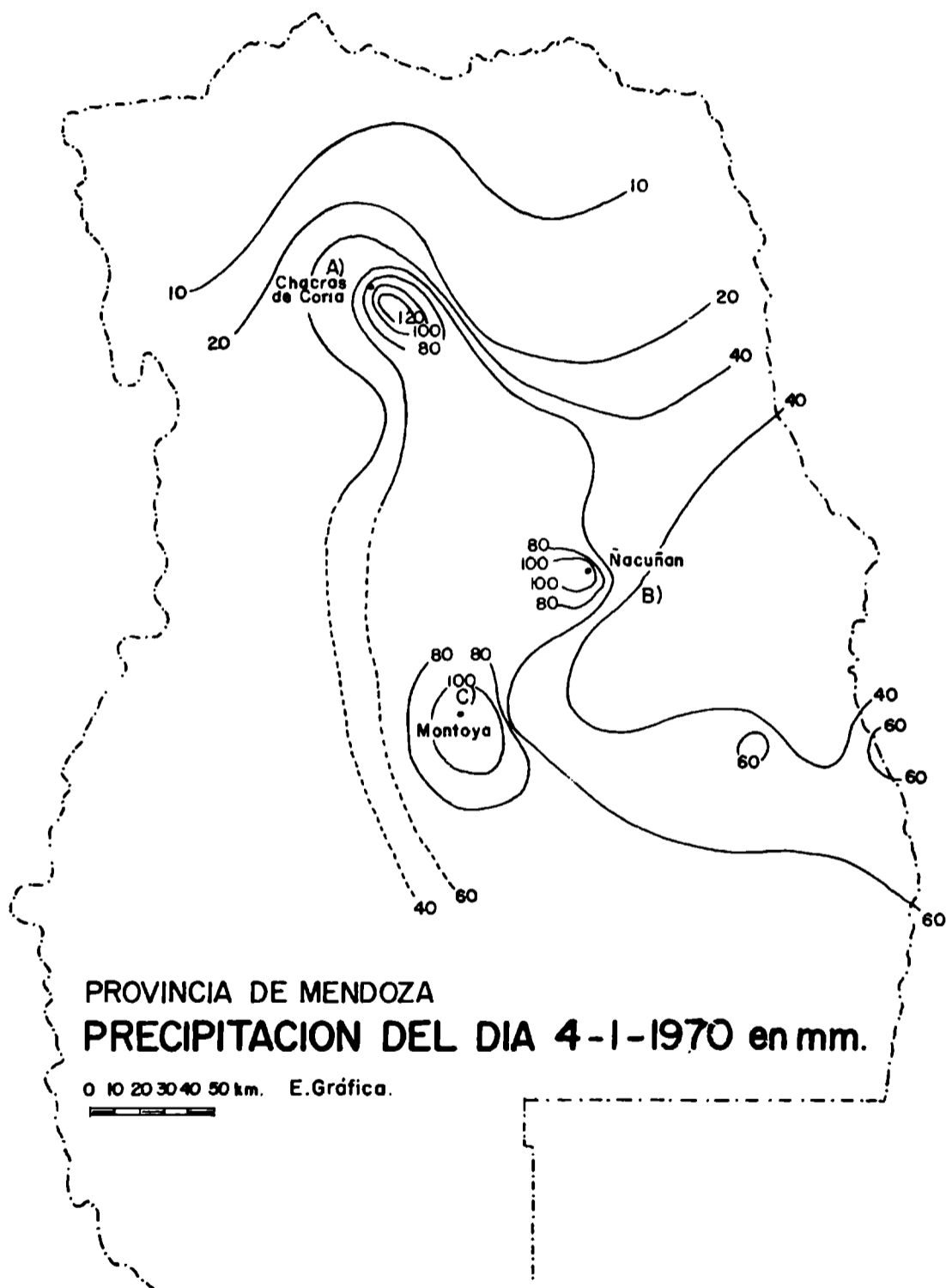
Para calcular la máxima cantidad de agua precipitable, se divide la atmósfera en varias capas, se determina el agua precipitable para cada una de ellas, con datos proporcionados por radiosondeos, y se suman los resultados parciales.

En la localidad de Mendoza no se realizó radiosondeo el día 4 de enero ni tampoco en los días anteriores, por lo tanto no fue posible aplicar el método para la tormenta máxima de dicho día. Se optó entonces por intentar la aplicación del mismo al otro día seleccionado, el 31 de diciembre de 1959.

En el Observatorio del Parque de Mendoza se registró, en la madrugada del citado día, una lluvia de gran intensidad. Por lo tanto, se usó el primer sondeo anterior a la lluvia intensa, el del día anterior, a 09.00 hora local. El cálculo de la máxima cantidad probable de agua precipitable (habiéndose estimado la velocidad vertical en base al tipo de tormenta y situación sinóptica del día) dió 72,7 mm/hora, cantidad razonable considerando que los chaparrones de corta duración en la zona tienen, aproximadamente, duración de una hora, y que el chaparrón del día siguiente fue de 89 mm. en una hora.

Hay que tener en cuenta que, por no existir otro posterior, el sondeo usado como base para los cálculos fue realizado quince horas antes de que se produjera la precipitación; no obstante, se considera que la variación de la situación sinóptica no alteró significativamente a los parámetros utilizados.

Fig. 7



De todas maneras, siendo éste un caso sumamente extremo para Mendoza, ese valor es probablemente representativo de los chaparrones intensos de corta duración.

6. CONCLUSIONES

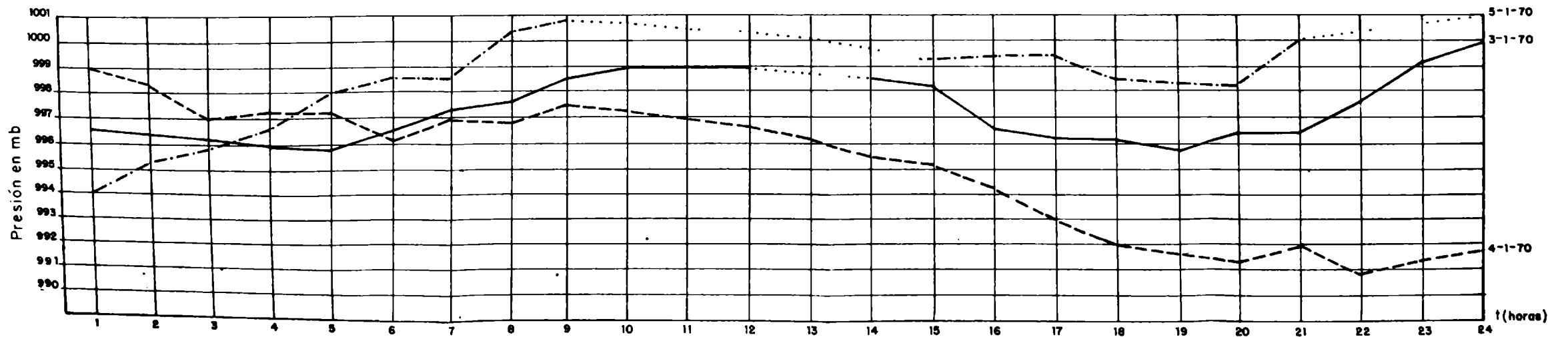
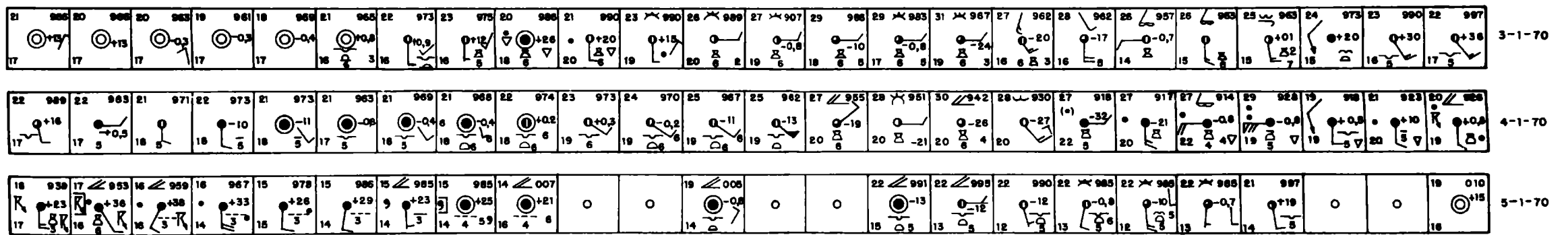
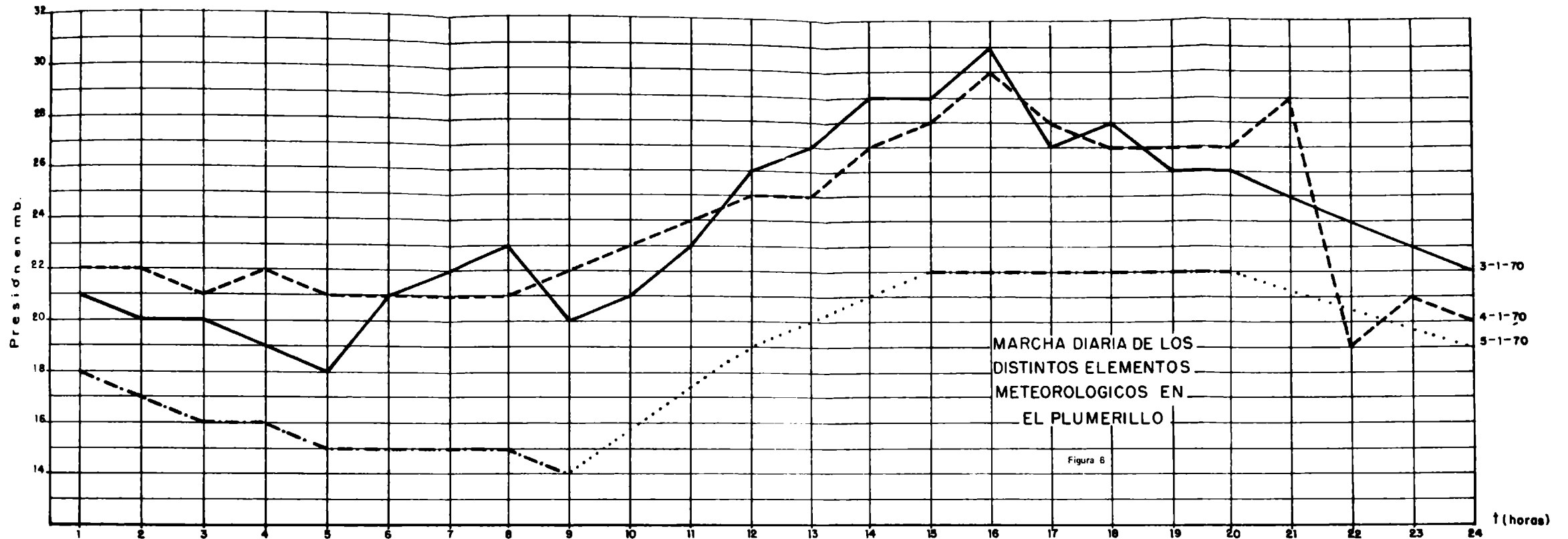
Del estudio de la situación meteorológica, de los pluviogramas y distribuciones de las precipitaciones en Mendoza para el día 4 de enero de 1970, se desprende que la tormenta ocurrida dicho día tiene origen en la convergencia pre-frontal, con ascenso de aire cálido y húmedo, estando la intensidad de la tormenta en relación directa con la intensidad del sistema de altura y la cantidad de agua disponible. El carácter de la precipitación sumamente localizado, indica así mismo la existencia de otras influencias, en especial la de la topografía.

El cálculo de la máxima cantidad de agua precipitable para el caso extremo ocurrido (31-12-959) y los cálculos realizados para distintos períodos de retorno, permiten concluir que el período de retorno de 200 años da valores que maximizan los fenómenos de precipitación, dando un valor de 152 mm. para el área de 1 km² y un valor de 105 mm., en una hora, para el área de la cuenca del Zanjón Frías. (Fig. 4 y 5).

7 RECOMENDACIONES

Es obvio señalar que las propuestas que se hacen en este informe, tienden no solo a prever eventos como el producido el 4 de enero, sino también a ampliar el conocimiento exhaustivo climático, hidrológico y sinóptico de la zona, de vital importancia para el desarrollo de la economía de la misma.

- 1 Debe aumentarse el número de pluviómetros, en forma tal que la red sea meteorológicamente homogénea, es decir, que tenga en cuenta las características de la precipitación y topografía de la zona. Deben tenerse en cuenta las normas establecidas por la Comisión de Hidrometeorología de la Organización Meteorológica Mundial, y especialmente, poner énfasis en la necesidad de colocar pluviómetros en las partes altas de las cuencas, donde se producen precipitaciones de gran importancia hidrológica.
- 2 Se considera indispensable sostener y acrecentar un servicio permanente de mantenimiento e inspección de los puntos pluviométricos, a fin de que las observaciones sean de buena calidad.
- 3 Se estima que es imprescindible aumentar el número de pluviógrafos de registro diario. En los lugares de difícil acceso deben instalarse de registro semanal o mensual, del tipo "a cangilones" debido a que en la zona en estudio los pluviógrafos a sifón podrían tener fallas de funcionamiento, en verano debido a la evaporación y en invierno debido a las heladas. Cada pluviógrafo deberá estar acompañado por un pluviómetro y contar con protección adecuada.
- 4 La solución óptima (pero más costosa) sería la de instalar pluviógrafos especiales con registro hasta 180 días, que operan mediante impulsos eléctricos automáticos alimentados por baterías secas. Estos equipos, que no se fabrican en el país, permiten también mediante un dispositivo especial la transmisión a distancia.



- 5 Es aconsejable que los pluviógrafos instalados por el Departamento General de Irrigación, de registro semanal, sean transformados a registro diario, para poder detectar las lluvias intensas de corta duración.
- 6 Es necesario que se mantenga actualizada la estadística pluviométrica mediante la depuración y el análisis de los datos diarios por personal especializado, antes de su procesamiento final.
- 7 Una vez efectuado el análisis diario, los servicios responsables deben procesar los datos por medio de computadoras y publicarlos lo más rápido posible para su utilización por los usuarios.
- 8 Es imprescindible que se preste la máxima atención al mantenimiento del instrumental, de modo que el mismo se encuentre en operación en todo momento. Ello evitará casos como el del pluviógrafo del Aerodromo El Plumerillo, que no registró la precipitación del 4 de enero de 1970 por estar fuera de servicio.
- 9 Es aconsejable que la centralización de la información pluviométrica la realice un organismo nacional, por ejemplo el SMN como hasta ahora, pero debe intensificarse la coordinación con los organismos provinciales y privados, u otros nacionales que realizan observaciones del mismo tipo.
- 10 Debe intensificarse el intercambio de datos meteorológicos diarios, con la República de Chile, para un mejor conocimiento sinóptico y climático de la zona.
- 11 Se recomienda que se efectúe el estudio exhaustivo de las precipitaciones máximas probables, mediante análisis meteorológicos. Para ello es indispensable contar con datos adecuados, lo que exige radiosondeos ininterrumpidos.
- 12 En tal sentido, es necesario que los radiosondeos que se efectúan actualmente en Mendoza, se realicen con regularidad, a razón de dos sondeos diarios.
- 13 Es aconsejable que lo recomendado en el punto 12) se cumpla también en las otras estaciones argentinas de radiosondeo, a efectos de poder estudiar el balance de agua global en la atmósfera (método de Palmen).
- 14 Se estima fundamental que se intensifiquen los estudios de evaporación y de evapotranspiración en la zona, mediante métodos directos e indirectos.
- 15 Es aconsejable que se estudie la posibilidad de instalar instrumentos adecuados para determinar la difusión del vapor en las capas bajas de la atmósfera; la transferencia de calor y de masa, así como los distintos elementos del balance de energía en la interface aire-agua. Para ello sería de gran importancia contar con la colaboración de la Universidad de Cuyo.
- 16 Debe mejorarse el aprovechamiento de los datos proporcionados por el radar meteorológico instalado en San Martín. A tal efecto se menester: a) efectuar un análisis permanente de los ecos registrados para lo cual sería necesario aumentar el personal de la estación; b) asegurar una vía de comunicación de varios canales, para alertar en los casos necesarios a los centros meteorológicos, El Plumerillo en especial; c) asegurar que quede constancia, mediante filmación, de los ecos recibidos. Si bien un radar de 3 cm. no es el más idóneo para la determinación de la cantidad de precipitación (es preferible uno de 10 cm.), pueden obtenerse importantes informes de carácter cualitativo que ilustran sobre la intensidad relativa de los focos de precipitación y el desplazamiento de las tormentas. (En el caso de la tormenta del 4 de enero, el aprovechamiento de los ecos fue parcial y cuando ya había pasado el meteoro, gracias al interés demostrado por el Jefe de la estación San Martín).

- 17 Debe asegurarse una protección adecuada, mediante duplicación con métodos modernos, de todo el material observacional. A tal efecto, es necesario llevarlo a fichas perforadas, cintas magnéticas y micropelículas. Se trata de documentación de valor y de carácter irremplazable, lo que justifica el esfuerzo financiero que debe hacerse para lograr ese objetivo.
- 18 En el caso particular de la zona estudiada deberían concretarse los estudios planificados para lucha antigranizo y otorgarse los fondos necesarios para mejorar la infraestructura adecuada a dicho fin.

BIBLIOGRAFIA

- BOFFI J. A., (1949): "Efecto de la Cordillera de los Andes en la circulación general del aire sobre la República Argentina". Anales de la Sociedad Científica Argentina E. III. Tomo CXLVIII; Buenos Aires, marzo .**
- BRUCE J. P. and CLARK R. H., (1966): "Introduction to Hydrometeorology". Pergamon Press.**
- BURGOS J. J. y VIDAL A. L., (1951): "Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thornthwaite". Revista "Meteoros", Año 1, N° 1. Buenos Aires, enero.**
- CONI E., (1897 : "Saneamiento de la provincia de Mendoza". Buenos Aires.**
- CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES (1961) "Recursos hidráulicos superficiales". Serie: Evaluación de los recursos naturales de la Argentina. Buenos Aires.**
- FLETCHER R., (1950): "A relation between maximum observed point and areal rainfall values". Transactions of American Geophysical Union Vol. 31; N° 3; June,**
- GALMARINI A. y RAFFO J. M., (1963): "Condiciones de aridez y humedad en la República Argentina" CONADE. Buenos Aires.**
- GRANDOSO H. y HERRERA CANTILO L., (1968): "Mesoanálisis de tres tormentas típicas en Mendoza". U.B.A. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Serie Meteorológica. Vol. 1, N° 9**
- GRANDOSO H. y NUÑEZ J. M., (1965): "Estudio de los campos de flujo y de la temperatura de la capa inferior de la atmósfera en la provincia de Mendoza". Idem. Vol. 1, N° 6.**
- GRANDOSO H., ZAWADSKI I. y SIELECKI A., (1966): "Influencia del viento en altura sobre el desarrollo de tormentas". Idem. Vol. 1, N° 8.**
- GRUPO CONJUNTO CEPAL-CFI, (1964): "Los recursos hidráulicos de la Argentina". Buenos Aires.**
- HUFF F. A. and STOUT G., (1952): "Area-depth studies for thunderstorm rainfall in Illinois". Transactions of American Geophysical Union Vol. 33, N° 4; August.**
- LINSLEY R., KOHLER M. y PAULHUS J., (1949): "Applied Hydrology". Mc Graw Hill Co., New Jersey.**

- LINSLEY R. K. and KOHLER M. A., (1951): "Variations in storm rainfall over small areas". *Transactions of American Geophysical Union*, Vol. 32; N° 2; April.
- LINSLEY R., KOHLER M. y PAULHUS J., (1967): "Hidrología para Ingenieros", Mac Graw Hill Co. Madrid.
- MARCHETTI A. A., (1952): "Estudio del régimen pluviométrico de la República Argentina". *Revista "Meteoros"*, Año II, N° 3/4; Buenos Aires.
- MARCHETTI A. A., (1952): "Frecuencia de las lluvias intensas de corta duración en la ciudad de Buenos Aires". *Revista "Meteoros"* Año II, N° 1/2, Buenos Aires.
- MARCHETTI A. A., (1953): "Probabilidad de las lluvias intensas en la ciudad de Buenos Aires". *Revista "Meteoros"*, Año III, N° 2/3; Buenos Aires.
- ORGANIZACION METEOROLOGICA MUNDIAL (O.M.M.), (1967): "Guía de Prácticas Hidrometeorológicas". Ginebra.
- PETTERSEN S., (1956): "Weather Analysis and Forecasting". Mc. Graw Hill.
- QUINTELA R. y MEDINA L., (1969): "Cálculo indirecto de la evaporación en superficies libres". IV Congreso Nacional del Agua, Tomo II. Neuquén.
- RAINBIRD A. F., (1967): "Methods of estimating areal average precipitation". Organización Meteorológica Mundial, Report N° 3 on WMO/IHD Projects. Ginebra.
- ROMANELLA C. y ALBERTO MILLER J. C., (1969): "Esguerramiento en pequeñas cuencas y probabilidad de lluvias intensas"; 4° Congreso Nacional del Agua, Neuquén.
- SCHWERDTFEGER W., (1951): "La depresión térmica del NW Argentino". *Anales de la Sociedad Científica Argentina*, E. VI. Tomo CLI. Buenos Aires, Junio.
- SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL, (1962): "Datos Pluviométricos 1921-1950; Publicación B₁ N° 2". Buenos Aires.
- SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL, (1962): "Datos de radiación solar del Año Geofísico Internacional". Buenos Aires.
- SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL, (1962): "Atlas Climático de la República Argentina 1921-1950". Buenos Aires.
- SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL, (1965): "Estadísticas Climatológicas 1941-1950; Publicación B₁ N° 4. Buenos Aires.
- SOCIEDAD ARGENTINA DE ESTUDIOS GEOGRAFICOS (GAEA), (1947): "Geografía de la República Argentina". Tomo IV. Buenos Aires.
- THORNTHWAITE W., (1948): "An approach toward a rational classification of climate". *Geographical Review*; January.
- U. S. WEATHER BUREAU, (1946): "Manual for depth-area-duration analysis of storm precipitation". *Cooperative Studies, Technical Paper N° 1*. Washington.
- VOLPI C. A., (1944): "Obras hidráulicas de protección de la ciudad de Mendoza y sus alrededores", La Ingeniería (CAI). Buenos Aires, setiembre.
- WOLCKEN K., (1954): "Algunos aspectos sinópticos de la lluvia en la Argentina"; *Revista "Meteoros"*, Año IV, N° 4, Buenos Aires.