

Análisis de Información Pluviométrica para las Principales Cuencas de la Provincia de Entre Ríos

Resumen: Este trabajo presenta un análisis de la información pluviométrica de las principales cuencas de la provincia de Entre Ríos a partir de datos recopilados en organismos provinciales y nacionales.

Las estaciones pluviométricas se categorizaron en función de la longitud de la serie de datos diarios y se organizaron en un registro unificado generándose una base de datos espacial en un Sistema de Información Geográfica (SIG).

El análisis de la distribución espacial de las estaciones y de la calidad de sus datos posibilitará realizar una selección para la obtención de precipitaciones medias areales que caractericen en forma adecuada las tormentas en grandes cuencas de la provincia. Las estaciones adoptadas fueron sometidas a un proceso de completamiento y validación de datos, conformando la base para el estudio de tormentas de diseño para cuencas extensas en la provincia de Entre Ríos.

Palabras Claves: Información pluviométrica, Grandes Cuencas, Entre Ríos, SIG.

Abstract: This paper presents an analysis of the main basins' pluviometric information of the province of Entre Ríos based on data collected in provincial and national organizations.

The pluviometric stations were categorized according to the length of the daily data series and were organized in a unified register generating a spatial database in a Geographic Information System (GIS).

The analysis of the spatial distribution and the data quality made it possible to make a selection of the stations in order to obtain an average areal rainfall that would characterize appropriately the storms in the large basins of the province. The original data of the adopted stations was completed and validated generating the database for the study of design storms of extensive basins in the province of Entre Ríos.

Keywords: Pluviometric Information, Large Basins, Entre Ríos, GIS.

Iván R. D. Bonomi, Sabina M. E. Bruno, Mayra D. Collante Wojcicki, Vanesa E. Gimenez, Andrea D. Margasin, José L. Margheim

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Paraná, Av. Almafuerte 1033, 3100 Paraná, Entre Ríos.

Mail: vanesagimenez291@gmail.com

INTRODUCCIÓN

El conocimiento y análisis de información de precipitaciones es una base imprescindible para la planificación, el diseño y la operación de obras de infraestructura relacionadas con los recursos hídricos (Tucci Morello, 2007).

El dimensionamiento de estructuras hidráulicas requiere el conocimiento de la tormenta que produce los caudales picos que debe soportar la estructura, para lo cual se asocia una determinada tormenta de diseño a un determinado riesgo de rotura que se asume como eventualmente admisible (Chow et al., 2000). Salvo que se cuente con una estación de aforos en el emplazamiento de la obra, suelen utilizarse modelos de transformación de lluvia-caudal a los efectos de obtener los caudales picos de diseño en base a una determinada tormenta de diseño (Daniil et al., 2005).

La caracterización de la tormenta de diseño incluye distintos aspectos como: la cuantificación de la precipitación ocurrida, su intensidad, su duración y el patrón de distribución temporal, su distribución espacial y su probabilidad de ocurrencia, o su inversa el período de retorno o recurrencia (Zamanillo et al., 2012).

En caso de cuencas menores o de mediana extensión, suele considerarse que la distribución de la lluvia es uniforme en toda la cuenca y se utilizan datos de lluvia de una estación meteorológica cercana asumiendo que la información puntual que se obtiene en ésta es adecuada para el análisis de este tipo de cuencas. La estimación de la relación Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF) para la estación meteorológica considerada es suficiente para el diseño hidrológico de este tipo de cuencas. Para cuencas mayores, con superficie superior a 100 km², esta suposición de uniformidad de la lluvia deja de ser válida en mayor medida cuanto mayor es la extensión de la cuenca. La existencia dentro de la provincia de importantes cuencas y la cantidad de información hidrometeorológica disponible hacen

necesario y factible el análisis de tormentas para cuencas de grandes extensiones, lo que conducirá a tener mayor certidumbre en el diseño de obras hidráulicas en las que están involucradas grandes cuencas (Chow et al., 2000).

En el marco del proyecto de investigación "Diseño de Tormentas en Cuencas Extensas de la Provincia de Entre Ríos" perteneciente al Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Paraná el presente artículo desarrolla los estudios realizados en la etapa inicial de análisis de datos con el objeto de brindar información representativa. Para ello, fue necesario un trabajo minucioso de recopilación de datos provenientes de diversas fuentes a partir de los cuales fue posible obtener una base de datos unificada y depurada de la red pluviométrica provincial. En posteriores etapas, dicha información permitirá determinar la precipitación media areal (PMA) en las cuencas analizadas.

METODOLOGÍA

Inicialmente, a los efectos de la investigación, se requirió recopilar datos hidrometeorológicos para su posterior procesamiento y análisis cualitativo y cuantitativo.

Recopilación de información hidrometeorológica

La base de datos para el estudio de precipitaciones la constituyeron los registros de estaciones pluviométricas y automáticas. La provincia de Entre Ríos cuenta con abundante información pluviométrica e hidrológica. La misma fue provista por diversas instituciones, siendo las principales:

- Dirección de Hidráulica de la Provincia (DH)
- Instituto de Tecnología Agropecuaria (INTA)

- Servicio Meteorológico Nacional (SMN)
- Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SSRH)

Los datos recopilados se organizaron en una base donde, asociada a cada pluviómetro, se encuentra información como: su denominación, operador, coordenadas de ubicación, fecha en que se iniciaron las lecturas y finalización si correspondiera, cuenca y departamento al que pertenece.

En la Figura 1 se representa un mapa de la provincia en el que se referencian las principales cuencas de la provincia y se ilustran con puntos negros las ubicaciones de las estaciones pluviométricas recopiladas.

CUENCA	DH	INTA	SMN	SSRH	Otros	Total
Aportes menores al Río Paraná	28	3	0	3	1	35
Aportes menores al Río Uruguay	22	6	2	0	2	32
Feliciano	32	2	-	1	-	35
Galeguay	62	7	2	-	-	71
Galeguaychú	19	1	1	0	0	21
Guayquiraró	9	2	0	0	0	11
Las Conchas	9	0	1	0	0	10
Mocoretá	7	1	0	0	0	8
Nogoyá	16	1	0	0	0	17
Sistema Delta	3	7	0	0	0	10
Totales	207	30	6	4	3	250

Tabla 1: Estaciones pluviométricas de la Provincia.

Categorización de la información pluviométrica

En primer lugar, se estableció la longitud de las series a analizar en función de la disponibilidad de datos y considerando que deben ser lo suficientemente extensas como condición para la realización de un análisis de frecuencia (como mínimo 10 años) y que posean registros confiables en este período. De esta forma, se escogió como período de análisis el intervalo temporal que abarca 30 años desde 1985 a 2015.

Se observó una gran variabilidad de la cobertura temporal de cada uno de los registros pluviométricos y, como muestra de ello, cabe resaltar que un número importante de las estaciones comienzan sus mediciones en la década del 1970, pero poseen largos períodos sin observación. Otras estaciones, cuyo inicio de funcionamiento es más reciente y con datos de buena calidad, presentan períodos cortos de medición. Por último, y en menor cantidad, se encontraron estaciones confiables con registros continuos y de longitud suficiente.

Con el objeto de evaluar la calidad de una estación en función de la extensión y completitud de sus registros, se optó por elaborar un sistema de categorización

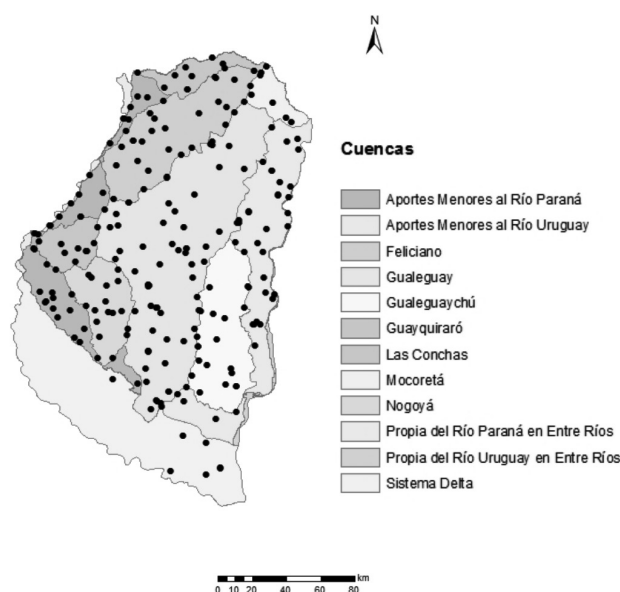


Fig. 1: Cuencas y Red Pluviométrica provincial.

En la Tabla 1 se presenta un resumen de las estaciones pluviométricas recopiladas, distinguiendo la cuenca a la que pertenecen y el operador:

de estaciones. El criterio principal fue el total de días medidos sobre el total de días de cada año. Se definieron las siguientes categorías:

Categoría 1: pluviómetros o estaciones con una extensión mínima de 30 años de registro y con más del 95% de días de medición sobre el total de días del año.

Categoría 2: pluviómetros o estaciones con una extensión superior a 25 años de registro y con más del 90% de días de medición sobre el total de días del año.

Categoría 3: pluviómetros o estaciones con una extensión superior a 20 años de registro y con más del 80% de días de medición sobre el total de días del año.

Categoría 4: pluviómetros o estaciones con una extensión superior a 15 años de registro y con más del 70% de días de medición sobre el total de días del año.

Categoría 5: pluviómetros o estaciones que por la escasa extensión y completitud en sus registros no se corresponden con ninguna de las categorías anteriores.

Las estaciones pluviométricas que califiquen en alguna de las primeras cuatro categorías se pueden utilizar con distintos grados de seguridad para completar los registros de otras estaciones cercanas. No así las de Categoría 5; éstas no serán tenidas en cuenta, excepto en situaciones especiales en las que se produzca una faltante de datos areales importante.

Los resultados de este análisis fueron ingresados en la base de datos como una nueva característica de diferenciación e importancia para los procesos sucesivos.

Organización y tratamiento de datos en plataforma ArcGis

Para la organización, almacenamiento, análisis, manipulación y modelización de la base de datos se utilizó el programa ArcGIS, que es un sistema desarrollado para la creación y utilización de SIG.

Contiene un conjunto de herramientas que permiten el tratamiento de datos georeferenciados, así como trabajar con distintas bases de datos de manera integrada.

El uso de esta tecnología posibilitó la gestión de una base de datos espacial, permitiendo representar, visualizar y analizar la distribución de los pluviómetros en el espacio. De esta forma, se logra acceder a las variables de análisis que se desean observar con mayor velocidad.

Las distintas herramientas disponibles en ArcGIS fueron aplicadas en este estudio principalmente para:

- Generar una base de datos espacial de la red pluviométrica provincial que podrá ser actualizada en un futuro en la medida que se vayan incorporando nuevos pluviómetros o modificando los existentes.
- Unificar y analizar la información recopilada.
- Realizar el tratamiento espacial de los datos.
- Calcular la distancia entre pluviómetros.
- Determinar las áreas de influencia de las estaciones.
- Trazar los polígonos de Thiessen.
- Incorporar las capas de información geográfica de la provincia generadas por la DH: cuencas, red hidrográfica, rutas, localidades, etc.

Un factor accesorio a tener en cuenta es que las ubicaciones proporcionadas en los registros brindados por las instituciones mencionadas no siempre fueron exactos o actuales. Ello representó la corrección y verificación del total de las ubicaciones (en coordenadas geográficas) de las estaciones.

Las estaciones se representaron con el número de categoría a partir de la simbología adoptada que puede apreciarse en la Figura 2. A partir de esta representación gráfica, se llevó a cabo un análisis pormenorizado de los pluviómetros de cada cuenca y se comenzó con el proceso de selección de las estaciones

para la elaboración de los polígonos de Thiessen como método para la determinación de las PMA.

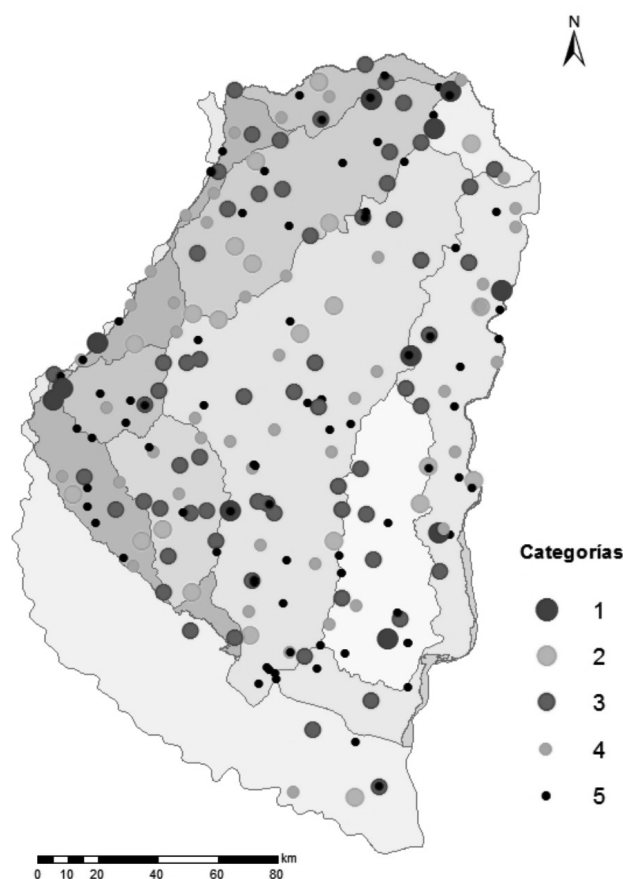


Fig. 2: Categorización de pluviómetros de Entre Ríos.

Selección de pluviómetros por cuenca y determinación de áreas de influencia

El objetivo en esta etapa del estudio es considerar todas las estaciones de una cuenca, internas y vecinas, incluyendo un análisis de calidad de las mismas.

En primer lugar, a partir de la base de datos generada y de la categorización de las estaciones, se definieron cuáles de ellas serán consideradas para el cálculo de la PMA. Como criterio general se decidió conservar todos los pluviómetros de categorías 1, 2 y 3, y evaluar los

de categorías 4 y 5 en función de la superposición de sus áreas de influencia. Para este análisis se realizó un trazado preliminar de círculos de influencia de 15 km de radio de acuerdo a criterios de la DH que, además, cumplen con los límites establecidos por la Organización Meteorológica Mundial (OMN, 1994, 2011) para una red pluviométrica mínima. De esta forma, se eliminaron los pluviómetros de categorías 4 y 5 cuyos círculos se superpusieron con los de mayor categoría.

Una vez seleccionados los pluviómetros a utilizar para cada cuenca, se procedió al trazado de los polígonos utilizando el comando correspondiente específico de ArcGIS.

Respecto a la cobertura espacial resultante de estos procedimientos, el área promedio de cuenca comprendida por cada estación considerada varía entre 90 km² a 407 km² por estación. Estas superficies equivalen a círculos de 5,4 a 11,4 km de radio, menor a los 15 km que se adoptó como distancia máxima deseable).

Relleno de datos faltantes en series de precipitación

Evidentemente, la presencia de distintas categorías en cada cuenca denota que existen faltantes en los registros diarios de los últimos 30 años. A los fines del proyecto de investigación es necesario contar con los registros completos para poder calcular la PMA diaria.

Existen distintos procedimientos de estimación de datos para rellenar faltantes de las series de precipitación diaria, entre ellos: Método de regresiones múltiples, Métodos Multivariantes, Transformada Wavelet, Redes Neuronales, Método Inverse-Distance-Weighted (IDW).

Se utilizaron estaciones testigos para comparar los resultados que brindarían los distintos métodos analizados. Luego de aplicar estimadores de error, se decidió utilizar el método IDW, el cual consiste en determinar

la precipitación diaria faltante de una estación en base a datos de estaciones pluviométricas cercanas considerando la distancia entre la estación a completar y dichas estaciones vecinas para la determinación de un coeficiente de ponderación w_i calculado según la ecuación (1).

$$w_i = \frac{\frac{1}{d1^2}}{\frac{1}{d1^2} + \frac{1}{d2^2} + \frac{1}{d3^2} + \frac{1}{d4^2}} \quad (1)$$

Donde:

$i = (B, C, \dots, n)$

$d_i = \text{distancias entre estaciones}$

Las series son rellenadas mediante interpolación de precipitaciones de las estaciones cercanas aplicando la ecuación (2). Se deduce de las ecuaciones que cuanto más cercana se sitúa la estación, mayor incidencia en el valor final ésta tiene. Este método es ampliamente utilizado por el National Weather Service (NWS) de los Estados Unidos. Se obtiene:

$$P_A = w_B \cdot P_B + w_C \cdot P_C + w_D \cdot P_D + w_E \cdot P_E \quad (2)$$

Validación de las series de datos completadas

Se sometió a evaluación la representatividad de los datos obtenidos con la aplicación del método IDW al contrastarse las series rellenadas con otras estaciones de categorías 1 o 2. Se empleó para ello el método de curvas de doble acumulación en el que se considera que, en una zona meteorológica homogénea, los valores de precipitación observados en diferentes puntos de esa zona en períodos anuales o estacionales guardan una relación de proporcionalidad que puede representarse gráficamente. Si los registros no han sufrido variaciones, los puntos representativos de las mediciones se alinean en una recta de pendiente única y, por lo tanto, no será necesario efectuar correcciones. Si, por el contrario, hay variaciones en la pendiente de la recta,

significa que parte de la serie contiene valores erróneos y el registro de datos debe ser corregido a partir del año en el que cambia la pendiente de la recta.

El nivel de ajuste o proporcionalidad se cuantifica mediante el coeficiente de correlación lineal de Pearson al cuadrado (R^2). Cuanto más cercano al valor 1 es éste, se considera haber obtenido un mejor ajuste.

A modo de ejemplo, se presentan en Figura 3 la serie de datos diarios observados en la estación pluviométrica Herrera (color azul) y la misma serie habiendo sido rellenada (color verde) por método IDW.

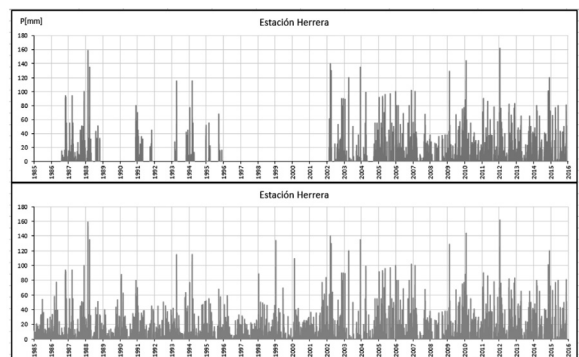
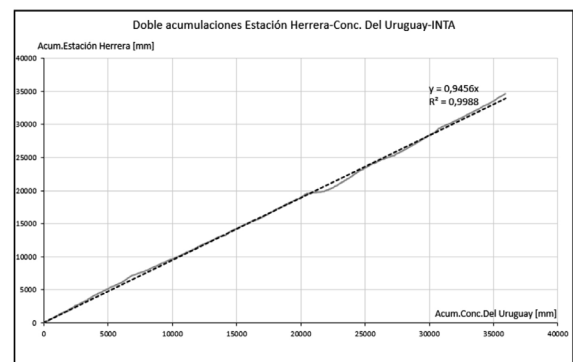


Fig. 3: Relleno de serie con Método IDW-Pluviómetro Estación Herrera.

En Figura 4 se observa la gráfica de la curva de doble acumulación resultante del contraste entre dicha estación rellenada y la estación de Concepción del Uruguay perteneciente al INTA que cumple con las condiciones de ser cercana y de alta categoría.

El ajuste observado resultó satisfactorio con un $R^2=0,9988$.



RESULTADOS

Se logró delimitar las áreas de influencia de los pluviómetros seleccionados que servirán de base para la posterior etapa de obtención de PMA. En la Figura 5 se muestran los polígonos de Thiessen resultantes de toda la provincia de Entre Ríos.

Se estableció, a partir de la categorización de las estaciones, un sistema de calificación de la disponibilidad de registros de cada estación en lo referido a su longitud y continuidad.

Para cada cuenca, a su vez, se obtuvo la categoría promedio a modo de indicador de calidad de la información. El menor índice indica mayor porcentaje de pluviómetros con registros completos o con información abundante.

Además, se definió para cada cuenca la densidad

media de su red pluviométrica como el cociente entre el área de la cuenca y la cantidad de estaciones.

Una síntesis de los resultados de la categorización para las cuencas con mayor superficie y concentración de estaciones seleccionadas en las que proseguirá el estudio de tormentas se representan en Tabla II.

En todas las cuencas interiores que cubren gran parte de la superficie de Entre Ríos, el análisis dio por resultado que el valor promedio del orden de los pluviómetros se halla entre 3,3 y 3,6. Eso significa que, en términos de valores medios, se cuenta con coberturas de más de 15 años y menos de 20 de registro mayormente completos en los últimos 30 años.

Dado el elevado número de estaciones pluviométricas, el grado de avance del estudio de tormentas se encuentra en la etapa de prosecución del relleno de datos y su verificación.

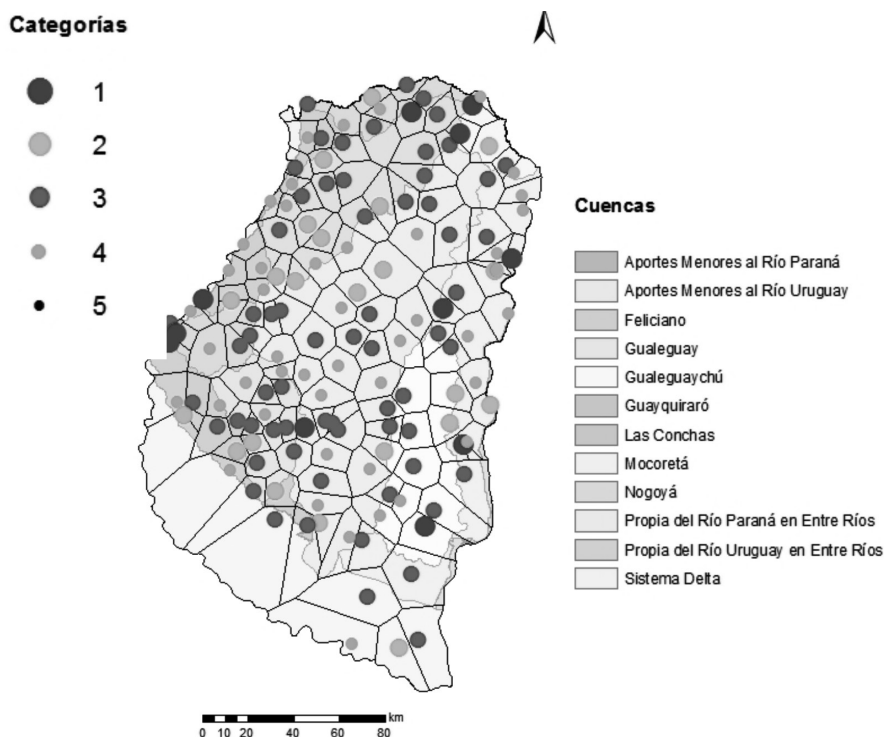


Fig. 5: Polígonos de Thiessen para las cuencas de Entre Ríos.

Cuenca	Área cuenca km ²	Categoría					Categoría	Total	Densidad Promedio km ² /Pluv
		1	2	3	4	5	Promedio	Pluv.	
Feliciano	8203.62	2	8	14	6	19	3.65	49	167.42
Internas		1	5	6	2	8			
Externas		1	3	6	4	11			
Gualedguaychú	6981.94	1	3	13	6	9	3.59	32	218.19
Internas		1	2	9	1	6			
Externas		0	1	4	5	3			
Doll	450.64	0	1	2	1	1	3.40	5	90.13
Internas		0	1	0	1	1			
Externas		0	0	2	0	0			
Gualedguay	21548.49	1	6	24	16	6	3.38	53	406.58
Internas		1	3	22	16	5		47	
Externas		0	3	2	0	1		6	
Las Conchas	2156.74	3	1	3	2	5	3.36	14	154.05
Internas		1	0	2	1	4			
Externas		2	1	1	1	1			
Nogoyá	3885.12	1	2	10	6	2	3.29	21	185.01
Internas		1	2	8	3	0			
Externas		0	0	2	3	2			
Yuquerí	640.14	0	1	3	1	1	3.33	6	106.69
Internas		0	1	0	0	1			
Externas		0	0	3	1	0			

Tabla 2: Resumen de resultados.

Promedio 3.35 188.49

DISCUSIÓN

Como consecuencia de los primeros resultados del análisis de la información de las estaciones pluviométricas de la provincia de Entre Ríos, se destacan las siguientes observaciones:

Existe una amplia diversidad de estaciones en cuanto a su categoría. Esto significa que las estaciones varían en la cantidad de años con registros y la continuidad de los mismos desde que comenzaron a realizarse mediciones pluviométricas. Pese a la dificultad que esto supone para la obtención de muestras representativas, existen estaciones con registros muy completos de larga duración, superando el intervalo de

30 años definido para este estudio. Estas estaciones de categorías más elevadas serán de gran utilidad para el relleno de datos faltantes en otras estaciones cercanas.

La distribución de los pluviómetros cubre adecuadamente la mayor parte de la superficie provincial. Cada estación mantiene un área de influencia de 15 km de radio o menos. Excepción de importancia al caso es la superficie correspondiente al Delta entrerriano.

CONCLUSIONES

La información pluviométrica de la provincia de Entre Ríos es muy profusa, se extiende en todo su territorio y se cuenta con estaciones que tienen registros

de larga duración, con datos continuos y sólo cortos períodos de faltantes de información. No obstante:

Los registros presentan intermitencias en sus mediciones en la mayoría de las estaciones.

Muchas estaciones solo tienen un corto registro de años porque han sido instaladas recientemente.

Existe faltante de datos en la región sur.

Ante el ideal de una cobertura homogénea y uniforme de las cuencas, la provincia aún presenta limitaciones. Sin embargo:

La cobertura y la calidad de los datos existentes pueden considerarse suficientes para el relleno de datos y la obtención de PMA representativas.

Cada una de las variables mencionadas como resultado del análisis de información en los párrafos anteriores constituyen parámetros que, en adelante, serán de importancia para las caracterizaciones particulares de cada cuenca.

La metodología para completar la información

pluviométrica de las estaciones seleccionadas para el estudio de distribución espacial de tormentas respondió de manera eficaz.

El registro de información de distintos eventos naturales es indispensable en la comprensión de todo fenómeno natural, la predicción y prevención del riesgo de catástrofes y el diseño de obras. Ante ello, es de fundamental importancia una política sostenida de medición de datos.

La abundante cantidad de datos de medición disponibles y hasta ahora poco utilizados tienen para el presente estudio la posibilidad de generar información accesible en los distintos niveles en que sea requerida. Ello significaría que sea una utilidad a los fines del diseño civil, favoreciendo a la sociedad visiblemente en lo estructural y económico. Y, más aún, representaría un aliciente para las políticas tendientes a una mejora logística en medición sostenida de variables naturales de importancia.

REFERENCIAS

OMM N° 168, "Guía de Prácticas Hidrológicas: Adquisición y Proceso de datos, Análisis, Predicción y Otras Aplicaciones", Quinta Edición, pp. 443-452, Ginebra, 1994.

OMM N° 100, "Guía de Prácticas Climatológicas: Tiempo, Clima, Agua", Tercera Edición, p. 2-12, Ginebra, 2011.

Tucci Morelli, Carlos E., "Hidrologia, Ciência e Aplicação", Cuarta Edición, p.12, Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

Chow, Ven Te; Maidment, David R., Mays, Larry W., "Hidrología aplicada", pp.427-505, McGraw Hill Inter-

americana S.A., Bogota, 2000.

Daniil E.I.; S.N. Michas y L.S. Lazaridis, "Hydrologic modeling considerations for flood management in ungaged basins", Trabajo presentado en 9th International Conference on Environmental Science and Technology, Isla de Rodas, Grecia, 2005.

Zamanillo, E. A.; Larenze, G. R.; Tito, M. J.; Pérez, M. M. y Garat, M. E., "Procedimientos para la Estimación de Tormentas de diseño para la provincia de Entre Ríos", Buenos Aires: Universidad Tecnológica Nacional, 2008.