

# Estudio de tormentas de diseño en la cuenca del arroyo Feliciano en la provincia de Entre Ríos

*Mayra D. Collante Wojcicki, Vanesa E. Gimenez, María Inés Mastaglia, Rodolfo Sato, Natalia Catteneo y Patricia López*

Departamento de Ingeniería Civil, Facultad Regional Paraná (E.R.), Universidad Tecnológica Nacional, República Argentina

E-mail: vanesagimenez291@gmail.com, mayracollante@gmail.com

## RESUMEN

En la provincia de Entre Ríos existen más de 200 estaciones pluviométricas distribuidas en 10 cuencas hidrográficas y se efectúan lecturas diarias desde el año 1934. La cuenca del arroyo Feliciano es una de las más extensas en la provincia y han ocurrido en los últimos años inundaciones con daños importantes como consecuencia de las intensas precipitaciones.

En este trabajo se estudiaron las tormentas de diseño para distintas recurrencias en la cuenca del arroyo Feliciano, en la cual, por su extensión, la distribución areal y temporal de la lluvia adquiere importancia en la determinación del caudal generado, no siendo posible caracterizar la lluvia en toda su extensión con la información de una sola estación pluviométrica.

Empleando los datos de distintas estaciones pluviométricas, evaluando un período de registros de al menos 30 años y utilizando las herramientas brindadas por los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se propuso el empleo de pluviómetros ficticios para la generación de datos de precipitación media diaria areal que abarcaran distintas áreas de interés. Con la información así obtenida se estimaron curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF) mediante análisis de frecuencia de las series de Precipitaciones Medias Areales Máximas Anuales (PMAMA) y, además, curvas de decaimiento areal regionales.

**PALABRAS CLAVES:** información pluviométrica; cuencas extensas; curvas IDF.

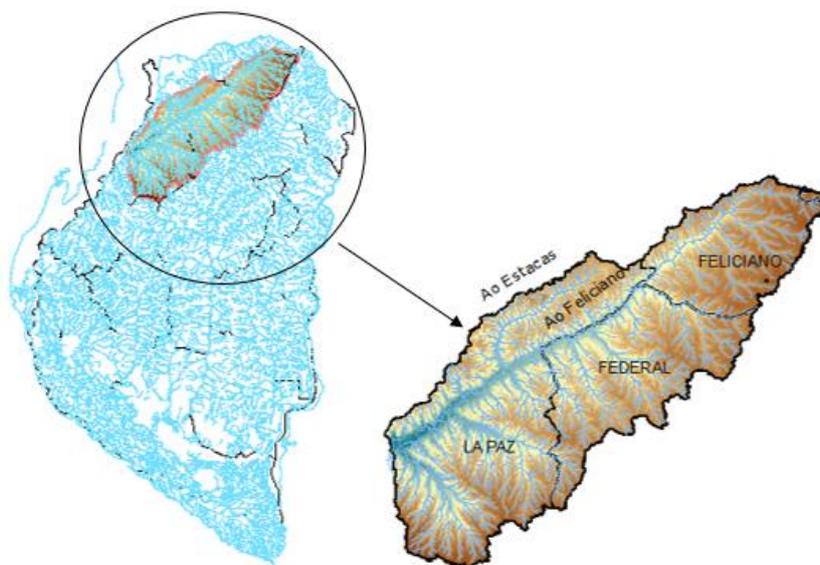
## INTRODUCCIÓN

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 Morelli, 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 riesgo de rotura establecido que se asume como eventualmente admisible (Chow et al., 2000). Salvo que se cuente con una estación de aforo 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).

En caso de cuencas menores o de mediana extensión, suele considerarse que la distribución de la precipitación 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 km<sup>2</sup>, esta suposición de uniformidad de la lluvia deja de ser válida en mayor medida cuanto mayor es la extensión de la cuenca. Bajo estas consideraciones es de interés la determinación de las tormentas de diseño contemplando la distribución espacial de las precipitaciones en grandes cuencas.

La cuenca del arroyo Feliciano, objeto del presente estudio, se encuentra ubicada en la porción noroeste de la provincia de Entre Ríos, posee una superficie aproximada de 8200 km<sup>2</sup> y es tributaria al río Paraná. Se extiende por tres departamentos entrerrianos: Federal, Feliciano y La Paz. Su forma es elongada en sentido noreste-sudoeste y el relieve es ondulado con suelos muy arcillosos que se erosionan con las abundantes precipitaciones. Por su margen izquierda recibe el mayor porcentaje de aporte mientras que, por la derecha sólo ingresa un tributario, el arroyo Estacas, que escurre paralelo al arroyo Feliciano hasta su descarga en el mismo (Figura 1).



**Figura 1.-** Ubicación de la cuenca del arroyo Feliciano.

Las intensas y sostenidas precipitaciones registradas en los últimos años en la cuenca generaron la crecida de los numerosos arroyos que alimentan al Feliciano causando el desborde de éste. Esto produjo la inundación de la población asentada en las cercanías del arroyo. Además, se produjo el corte de rutas y caminos dejando ciudades aisladas, socavación en puentes y deslizamientos de barrancas, entre otros graves inconvenientes.

La Figura 2 muestra el sobrepaso de la crecida de abril de 2016 en la Ruta Nacional N° 12 a la altura del paraje El Quebracho, en el acceso a Santa Elena, departamento La Paz, dejando a la ciudad aislada, situación reportada por los medios locales como “Una histórica masa de agua producida por el desborde del arroyo Feliciano anegó una gran parte del enlace vial” (Diario Ahora de Entre Ríos, 2016). La Figura 3 ilustra el estado en que quedaron las viviendas en esta zona de característica periurbana.



**Figura 2.-** Desborde del arroyo Feliciano sobre Ruta Nacional N°12



**Figura 3.-** Viviendas anegadas por el desborde del arroyo Feliciano

La ocurrencia de eventos de tal magnitud y sus consecuencias obligan a implementar metodologías que permitan mayor precisión en la estimación de los parámetros de diseño de las obras hidráulicas como así también en el análisis de inundabilidad de los terrenos a urbanizar, adquiriendo importancia el estudio de las precipitaciones que generan tales crecidas

La provincia de Entre Ríos cuenta con una extensa red pluviométrica con largas series de datos de carácter histórico provenientes de la medición de las precipitaciones de eventos naturales ocurridos y registrados cronológicamente. El tratamiento de dichos registros ha posibilitado el análisis de la variabilidad espacial de las precipitaciones en grandes cuencas, factor que influye en la estimación de caudales y como tal se espera que su consideración permita mayor precisión en los resultados de modelos hidrológicos.

En el presente estudio se emplea la Precipitación Media Areal (PMA) obtenida a partir de series históricas como variable de interés para determinar curvas IDF para la cuenca del arroyo Feliciano.

## METODOLOGÍA

### *Recopilación de datos*

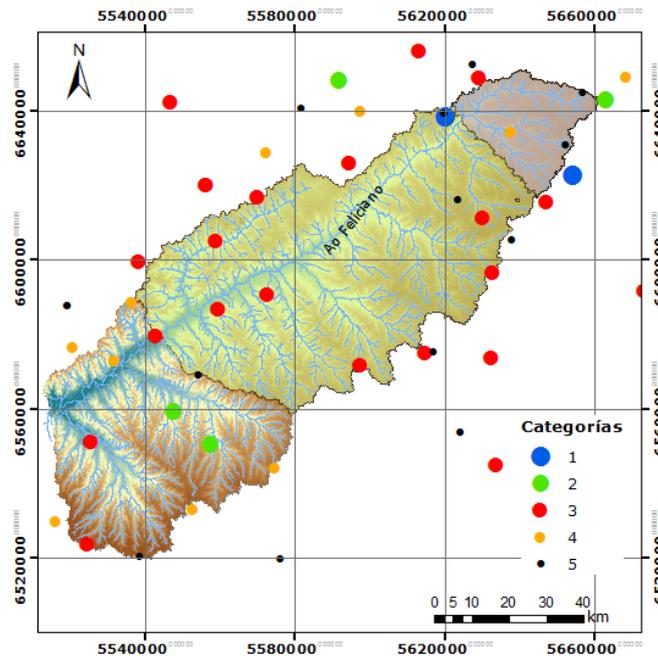
La base de datos para el estudio de precipitaciones la constituyeron los registros de estaciones pluviométricas convencionales y automáticas. En Entre Ríos existen diferentes organismos que incluyen entre sus actividades mantener un registro de las mediciones de las precipitaciones. Las instituciones que proveyeron sus registros históricos en carácter oficial son:

- Dirección de Hidráulica de la provincia de Entre Ríos (DHER)
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)
- Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SSRH)
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN)
- Bolsa de cereales de Entre Ríos

El arroyo Feliciano es también evaluado y monitoreado por la estación hidrométrica Paso Medina operada por la SSRH desde el año 1975.

Se realizó un análisis de confiabilidad de estos datos y se los organizó en una base de datos espacial (Figura 4) en un SIG, donde cada pluviómetro tiene asociada la información de interés: denominación, operador, coordenadas de ubicación, fecha de inicio y finalización de observaciones, cuenca y departamento al que pertenece.

El estudio requirió una longitud de serie pluviométrica de al menos 30 años de registro para realizar un análisis de frecuencias (Tito et al., 2012). Se observó una distribución espacial adecuada y se tuvo acceso a series de datos de longitudes aptas para series extensas en cuanto a lo temporal. Sin embargo, también fue fácilmente constatable que las estaciones exhibían periodos sin observaciones no verificando la condición antedicha. Con el objeto de evaluar la aptitud individual de las estaciones, se elaboró un sistema de categorización de las mismas en función de la extensión y continuidad de los registros, siendo las de mayor cobertura las de categoría N°1 y disminuyendo ésta hasta la N°5. En esta evaluación se estableció el porcentaje de completitud de datos disponibles de medición para cada año de la serie, lo cual se calculó mediante el cociente entre la cantidad de meses observados de todo el período de registro y la cantidad de meses de la serie anual completa.



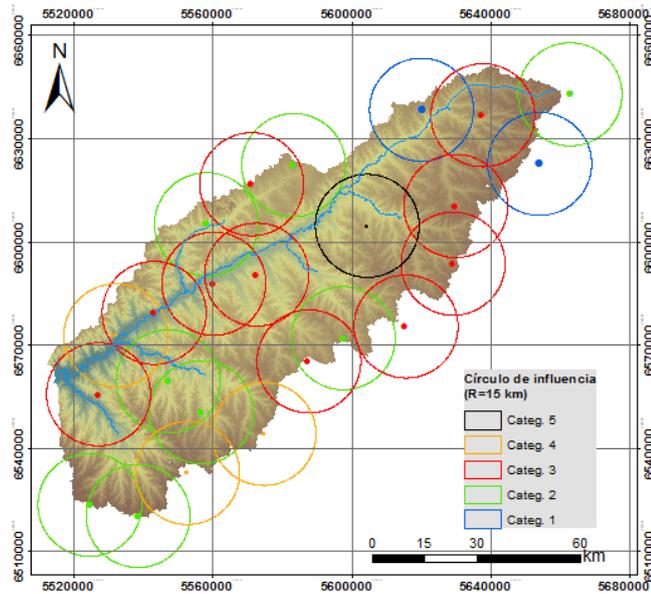
**Figura 4.-** Red de estaciones pluviométricas de la cuenca del A° Feliciano

Cabe destacar que la implementación de una base de datos en plataforma SIG permitió sistematizar la información. Una forma de hacerlo fue realizar la categorización mediante la cual fue posible visualizar la distribución espacial de las estaciones y sus diferencias. Luego, el uso del SIG facilitó el proceso de selección que se describe a continuación.

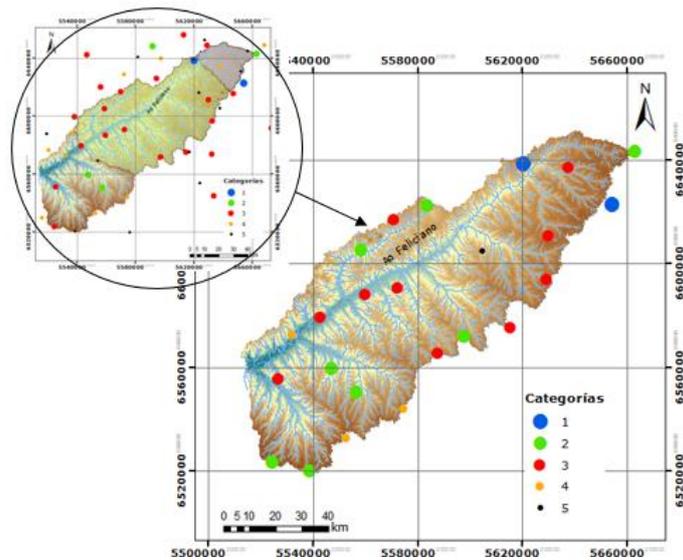
#### *Selección de pluviómetros*

La selección de estaciones a considerar para la determinación de la PMA se realizó mediante los procesos mencionados precedentemente de análisis de la distribución espacial y categorización de los pluviómetros. Para ello, se trazaron los círculos de influencia de las estaciones de 15 km de radio para una red pluviométrica mínima (Figura 5). La Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2008, 2011) recomienda para propósitos hidrometeorológicos generales en regiones de llanura en zonas tropicales, mediterráneas o templadas una densidad mínima de 1 estación cada 600-900 km<sup>2</sup>.

Como puede observarse en la Figura 6, prevalecieron en mayor medida las estaciones de medición de categoría 2 y 3 por sobre las de categoría 1, 4 y 5. Se constataron falencias en la cobertura espacial; como consecuencia de la existencia de grandes áreas sin datos de medición disponibles, especialmente en la zona central de la cuenca.



**Figura 5.-** Áreas de influencia de las estaciones seleccionadas de la cuenca del A° Feliciano



**Figura 6.-** Estaciones seleccionadas de la cuenca del A° Feliciano

El área de influencia de cada estación seleccionada varió entre 90,82 km<sup>2</sup> y 819,91 km<sup>2</sup>. Estas superficies equivalen a círculos de 5,38 km y 16,81 km de radio, siendo éste último valor levemente mayor que los 15 km adoptados como máximo deseable. La estación con mayor área de influencia fue una estación de categoría 5 ubicada en la región central de la misma. No existieron estaciones cercanas que cubriesen las zonas adyacentes a dicho pluviómetro y, en consecuencia, su superficie de dominio excedió ligeramente la superficie deseable.

La existencia de otras estaciones cercanas y de mejor categoría respecto de la estación de categoría 5 implicó en los procesos subsiguientes una compensación de la situación mencionada en el párrafo anterior. Por otra parte, se concluyó en que la estación San José de Feliciano (ID 107), perteneciente a la DHER, ha sido la mejor operada y la que cuenta con información más confiable, siendo ésta además, una de las próximas a la región central de la cuenca.

Al contar con el *software* SIG, para la aplicación a los criterios de selección se incluyó un análisis previo de diferentes posibles configuraciones espaciales de estaciones seleccionadas a modo de capas accesibles y fácilmente comparables. La visualización de estas configuraciones, con las estaciones factibles de ser seleccionadas, sus interrelaciones espaciales y categorías fue lo que facilitó la discriminación de las mismas y la consecuente elección de la disposición que se muestra en la Figura 6.

### *Relleno de las Series*

Las series de los pluviómetros con observaciones faltantes fueron rellenas por el método de la distancia inversa ponderada (IDW) del *National Weather Service*. Partiendo del registro base de datos de todos los pluviómetros seleccionados, se procedió a analizar los intervalos de discontinuidades en las series de precipitación diaria. Estas estaciones a completar se colocaron en el origen de un sistema de coordenadas ficticio. A partir de este sistema, se debieron hallar los pluviómetros vecinos más cercanos con datos para el relleno de la estación pivote, tratando de que, en lo posible, hubiese al menos una estación por cuadrante. Se adoptaron, entonces 4 estaciones para el completamiento de datos.

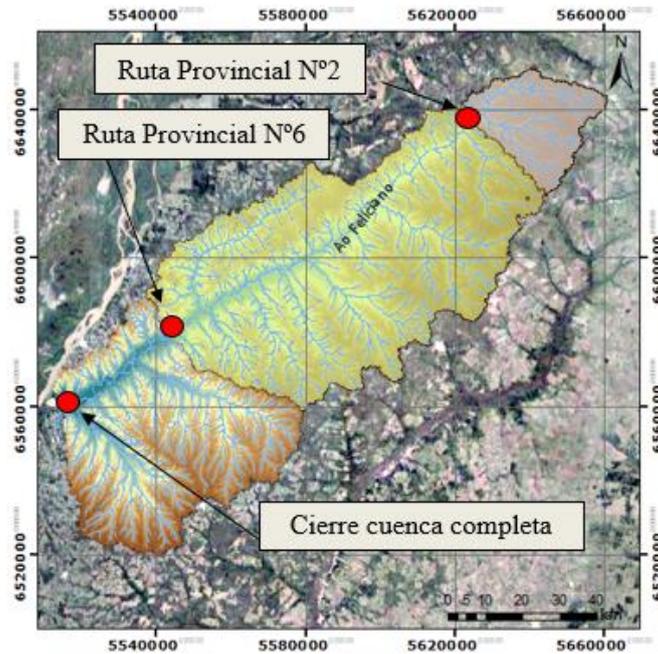
Para la adopción de las estaciones se consideró, además de la cercanía, la categoría de las estaciones a usar para el relleno. Eso requirió de un análisis espacial complejo con las herramientas del SIG, ya que se produjeron casos en los que la mayor cercanía de estaciones de peor categoría supusieron su descarte y reemplazo por otras estaciones más alejadas, pero de mayor completitud. Al haber un cuadro diverso de posibles casos en la elección de estaciones para rellenar a la pivote, se debió considerar una primera capa con la totalidad de estaciones existentes, la capa de estaciones seleccionadas y la contraposición de ambas respecto de la situación espacial de la primera mencionada.

La representatividad de los valores obtenidos con la aplicación del método IDW se evaluó contrastando las series rellenas con las series pertenecientes a las estaciones de categoría 1, aplicando el método de curvas de doble acumulación. Con el objetivo de lograr un ajuste confiable, se procedió al trazado de los polígonos de Thiessen para los pluviómetros de dicha categoría con herramientas del SIG. De esta forma, dentro de las distintas áreas de influencia obtenidas, se separaron en conjuntos a aquellos pluviómetros seleccionados. En función de la ubicación de las estaciones seleccionadas respecto de dicha área de influencia, se determinó con cuál estación realizar el contraste de las series.

### *Precipitación Media Areal*

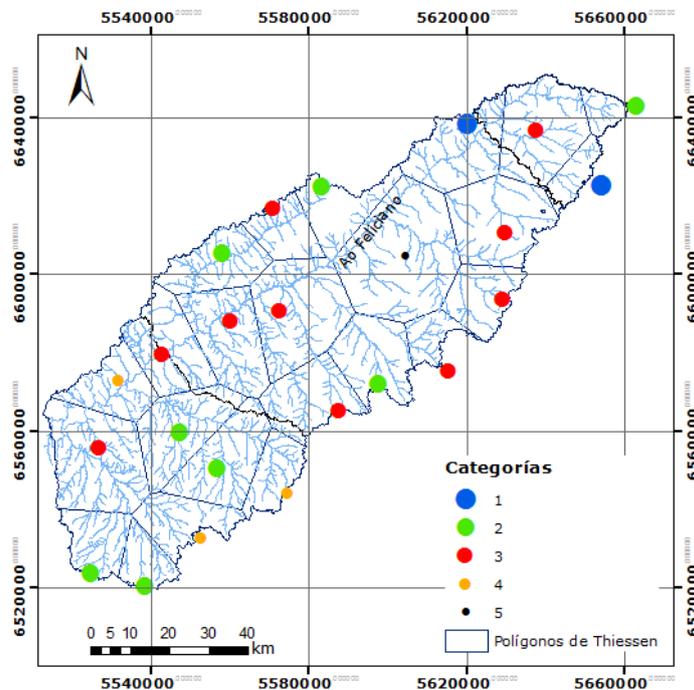
Para analizar la precipitación sobre áreas de distinta superficie, la cuenca del arroyo Feliciano se dividió en tres subcuencas seleccionando cierres sobre el cauce principal coincidentes con puntos de interés para el diseño de obras hidráulicas. Se evaluaron por ello puntos próximos a ciudades cercanas, cruces de rutas y ubicación de estaciones de aforo (Figura 7). De esta forma, la información resultante del análisis, al ser base para modelos hidrológicos que estimen caudales, puede ser calibrada y validada por comparación con los datos de aforo de estas estaciones.

Se seleccionaron como secciones de control de las subcuencas las intersecciones del cauce principal con las Rutas Provinciales N° 6 (Paso Medina) y N°2 y, también, el cierre total de la cuenca. En las inmediaciones del puente del Paso Medina se encuentra una estación hidrométrica, perteneciente a la SSRH.

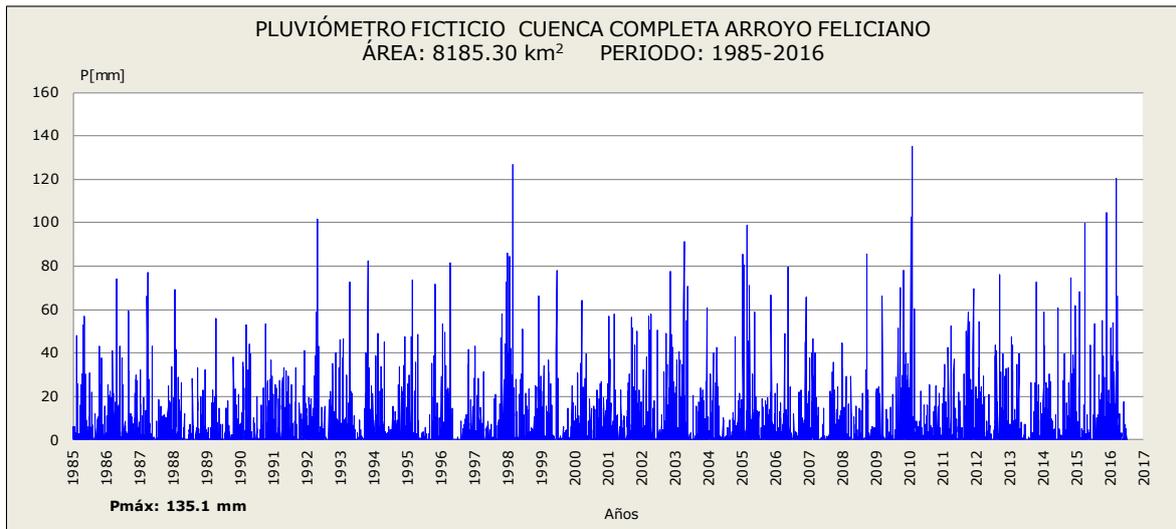


**Figura 7.-** Subdivisión de la cuenca del A° Feliciano

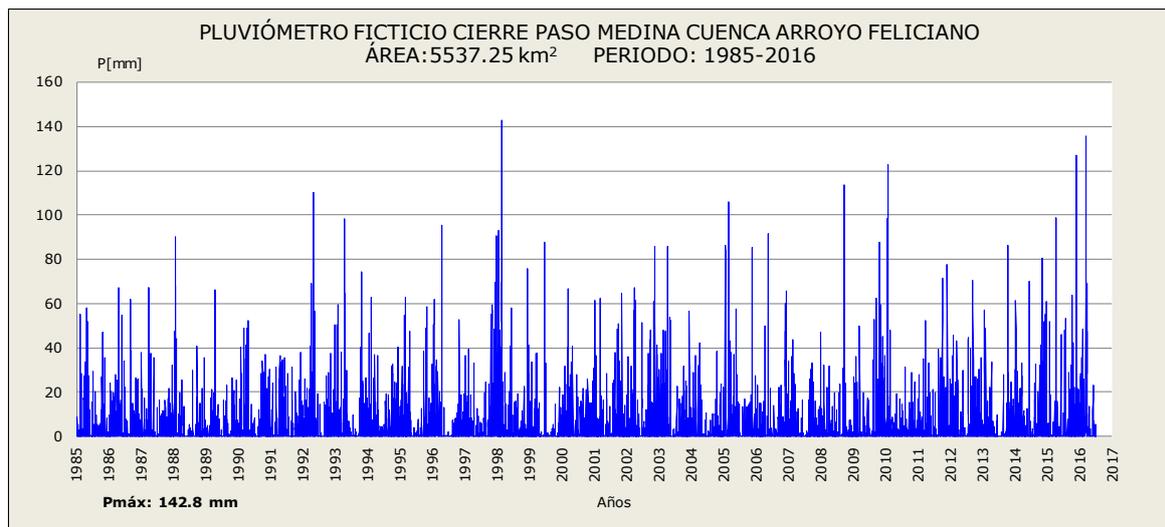
En cada subcuenca se generó un “pluviómetro ficticio” (Caamaño et al., 2011) cuyos datos pluviométricos diarios son los de las PMA calculadas por el método de los polígonos de Thiessen (Figura 8 a 11). Este método considera la eventual falta de uniformidad en la distribución de estaciones y provee mejores resultados para lo que es una zona de topografías suaves y condiciones atmosféricas uniformes (Aparicio, 1997).



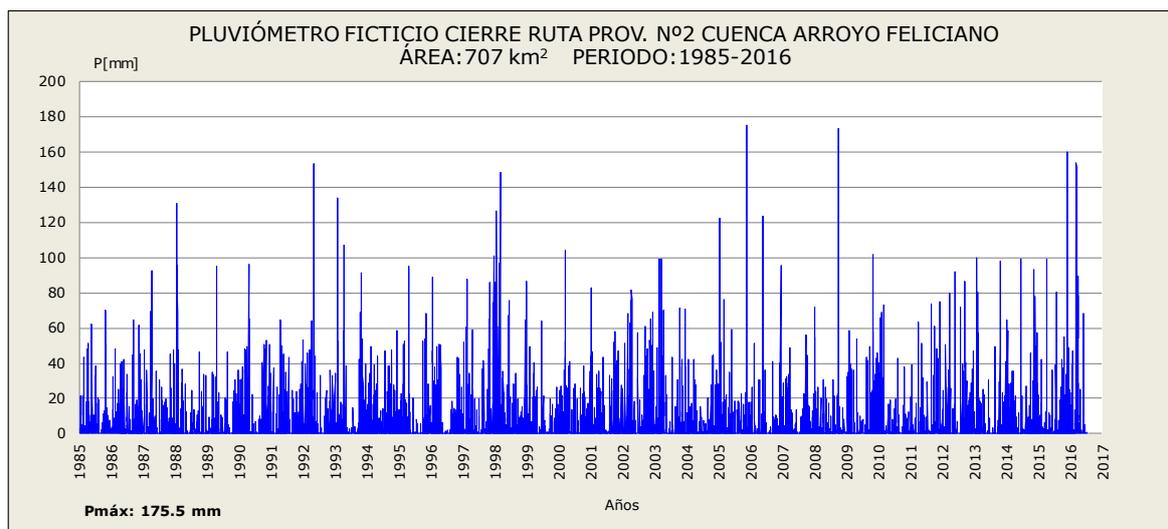
**Figura 8.-** Polígonos de Thiessen de las estaciones seleccionadas



**Figura 9.-** Pluviómetro ficticio cuenca completa Ao Feliciano



**Figura 10.-** Pluviómetro ficticio cuenca con cierre en Paso Medina



**Figura 11.-** Pluviómetro ficticio cuenca con cierre en Ruta Provincial N°2

### *Análisis de frecuencias*

Para cada pluviómetro ficticio se calcularon las series de PMAMA acumuladas para el año hidrológico septiembre-agosto, fijando duraciones de lluvia de hasta cuatro veces el tiempo de concentración (tc) calculado de las subcuencas, de modo de cubrir duraciones de eventos que producen caudales máximos. Para estimar el tc se analizó la aplicabilidad de las formulaciones de Graf et al. 1982 y Kirpich et al. 1940. Luego de un análisis de ambos trabajos y las características propias de las cuencas para las cuales fueron realizados, se consideró que la ecuación de Kirpich es la más representativa, ya que fue desarrollada sobre cuencas de mayor similitud al de las subcuencas de este trabajo, siendo en ambas sus cauces bien definidos una característica principal definitoria. Finalmente, se adoptaron 1, 2, 4, 6, 8, 10 y 12 días de duración para la generación de las series de PMAMA.

Se realizó el análisis de frecuencias de las series de PMAMA mediante la aplicación del programa AFMulti desarrollado por la Facultad de Ingeniería y Recursos Hídricos de la Universidad Nacional del Litoral. Haciendo uso de esta herramienta, se estimaron las precipitaciones para 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años de recurrencia mediante la función de distribución General de Valores Extremos (GEV) que resultó ser la de mejor ajuste en coincidencia con otros trabajos realizados en la provincia (Tito et al., 2012).

## RESULTADOS

### *Estimación de las curvas IDF*

Con el objeto de estudiar el comportamiento de la lluvia y establecer patrones de ocurrencia que permitan evaluar la probabilidad de eventos en las distintas áreas analizadas, se ajustaron los valores obtenidos en la sección anterior en expresiones matemáticas que relacionan las variables de intensidad media, duración y período de recurrencia en esta familia de curvas característica (Chow et al., 2000).

A continuación, las Figuras 12 a 14 muestran la representación gráfica de las curvas IDF correspondientes a los pluviómetros ficticios que registran la precipitación media areal sobre la cuenca completa y las subcuencas con sección de control en la intersección del cauce principal y la Ruta Provincial N°6 (Paso Medina) y N°2.

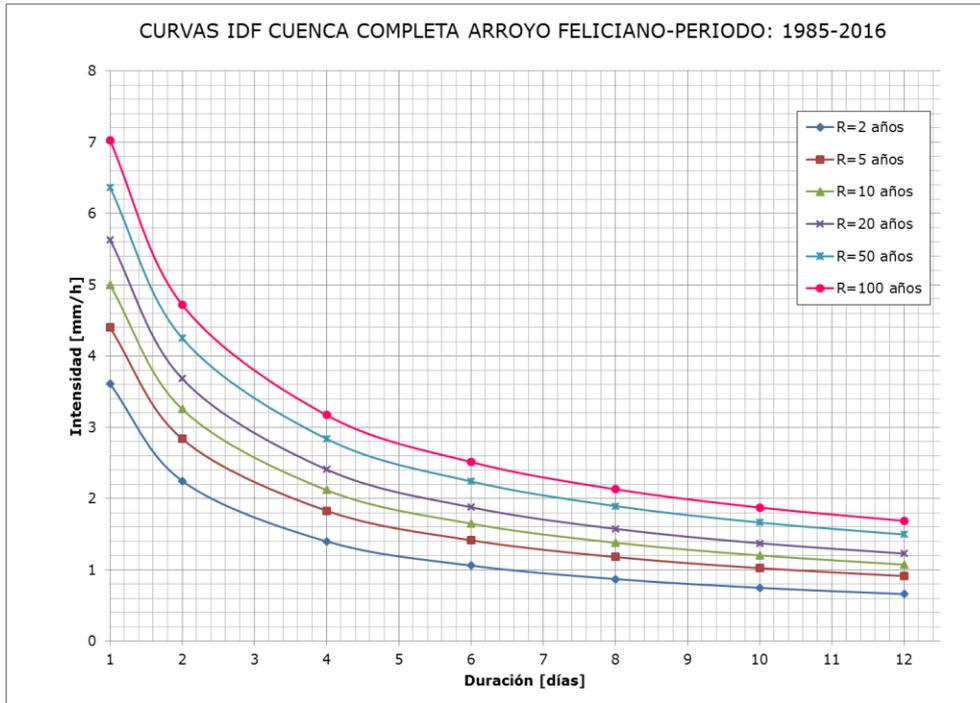


Figura 12.- Curva IDF cuenca completa. Área de aporte: 8185,30 km<sup>2</sup>

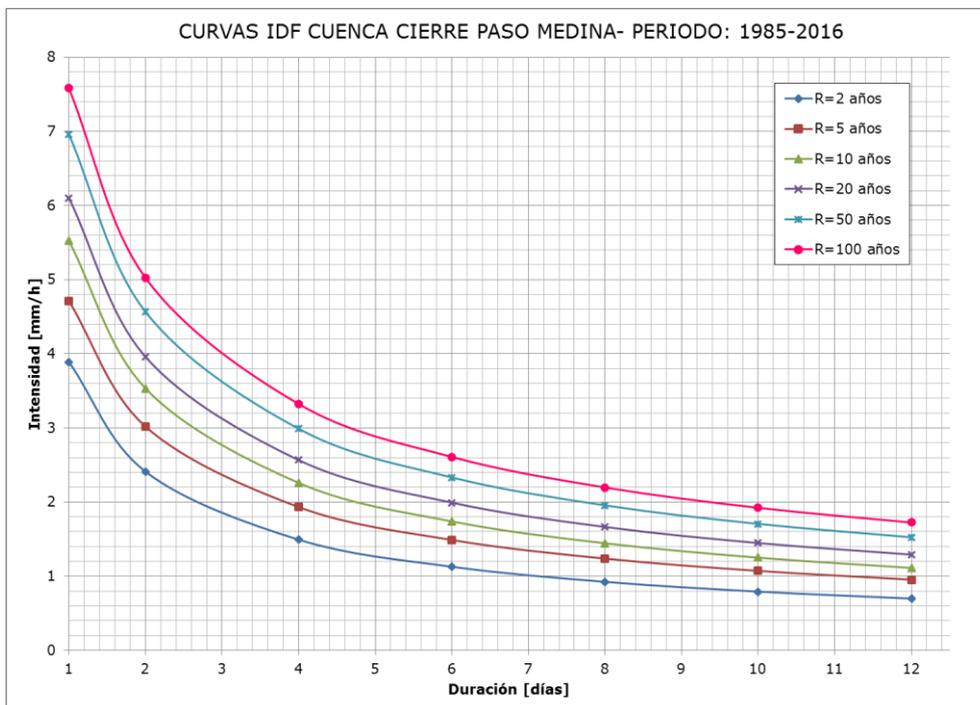
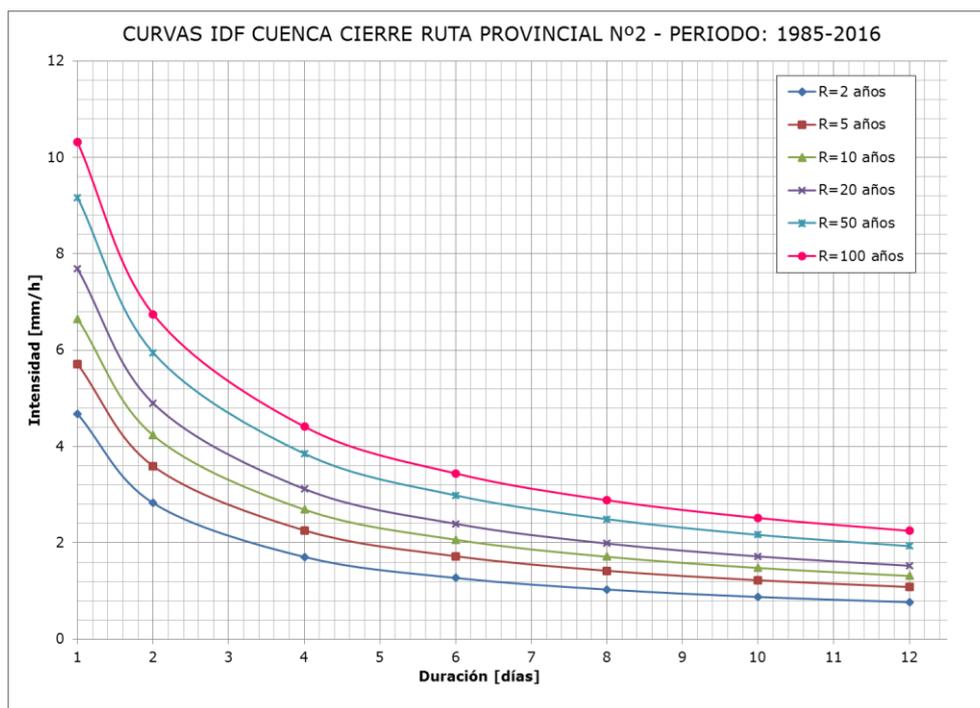


Figura 13.- Curva IDF cuenca con cierre en Paso Medina. Área de aporte: 5537,25 km<sup>2</sup>



**Figura 14.-** Curva IDF cuenca con cierre en Ruta Provincial N°2. Área de aporte: 707 km<sup>2</sup>

### *Curvas de abatimiento areal*

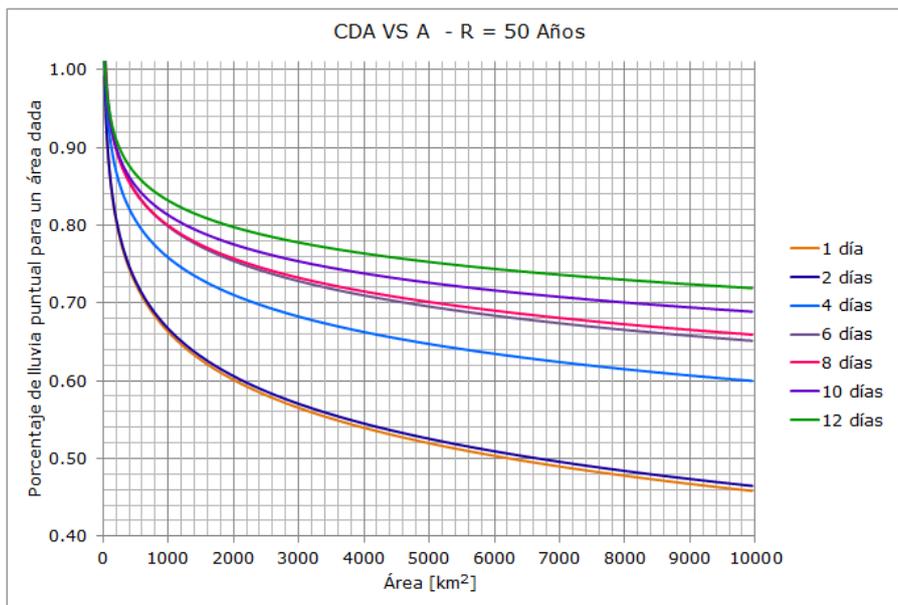
La evaluación habitual de la PMA consiste en la predicción local de la lámina precipitada de una estación núcleo, asumida como foco del evento y su atenuación con un ábaco en función del área de aporte y de la duración de lluvia. Esta técnica es objetable: la estación adoptada puede no ser el centro de todos los eventos, los máximos areales no coinciden necesariamente con los locales y el evento meteorológico que producen éstos puede diferir del causante de las grandes crecidas, que en definitiva interesan (Caamaño et al., 2011).

La adopción de pluviómetros ficticios cuyas curvas IDF representan la intensidad media máxima areal sobre las subcuencas establecidas permitió determinar el Coeficiente de Decaimiento Areal (CDA) aplicando el procedimiento que se detalla. Se determinó la estación núcleo analizando el mayor evento registrado en el pluviómetro ficticio para cada duración y la fecha en que se produjo el mismo. Posteriormente, se localizó esa fecha en el registro de pluviómetros y se identificó la estación con la mayor precipitación designándola como núcleo del decaimiento. El análisis del resultado de aplicar el procedimiento anterior en cada subcuenca permitió deducir un comportamiento similar en los eventos evaluados para las duraciones establecidas. Asimismo, se corroboró la existencia de gradientes de distribución espacial semejantes en torno a un mismo núcleo.

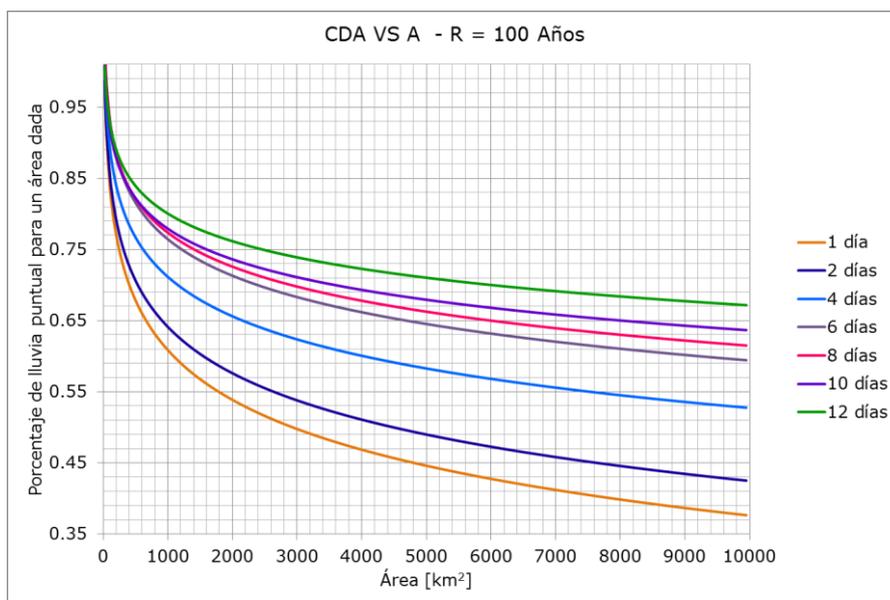
La estación núcleo del decaimiento fue sujeta a un análisis de distribución de frecuencia aplicándose la misma metodología que ya fuese descrita anteriormente. La relación entre la PMA y la precipitación registrada en la estación núcleo para cada una de las duraciones y áreas (A) de subcuencas establecidas en los diferentes periodos de retorno analizados permitió definir el CDA que resulta más preciso que aquel determinado para otras regiones. Con base en los pares de valores CDA vs A se procedió al ajuste de los mismos estimando un amortiguamiento de acuerdo con una función tipo logarítmica (García et al., 2000; Catalini, 2001; Catalini et al., 2002) para cada una de las duraciones analizadas. A modo de ejemplo se presentan en Tabla 1 las ecuaciones y coeficientes de ajuste para un periodo de retorno de 100 años. El

coeficiente de decaimiento resulta finalmente función de la superficie de la cuenca y de la recurrencia de la lluvia (Caamaño et al., 2011) lo cual ratifica la metodología de otros estudios desarrollados en la zona para grandes tormentas.

A modo de ejemplo, en la Figura 15 y 16 se exponen las curvas de decaimiento areal para 50 y 100 años de recurrencia respectivamente. Dichas figuras ponen en evidencia que los porcentajes de atenuación a emplear son menores y que a su vez estos disminuyen al aumentar el periodo de retorno.



**Figura 15.-** Curva de decaimiento areal R = 50 años



**Figura 16.-** Curva de decaimiento areal R = 100 años

**Tabla 1.-** Ecuaciones y coeficiente de ajuste de las curvas CDA vs A R = 100 Años

<b>Duración</b>	<b>Ecuación de ajuste</b>	<b>Factor de ajuste R<sup>2</sup></b>
1 día	$CDA = -0.101 \ln(A) + 1.3063$	0.9872
2 días	$CDA = -0.094 \ln(A) + 1.2905$	0.9945
4 días	$CDA = -0.08 \ln(A) + 1.2641$	0.9973
6 días	$CDA = -0.074 \ln(A) + 1.2755$	0.91
8 días	$CDA = -0.069 \ln(A) + 1.2502$	0.9433
10 días	$CDA = -0.062 \ln(A) + 1.2073$	0.9852
12 días	$CDA = -0.056 \ln(A) + 1.1872$	0.9865

## CONCLUSIONES

El estudio permitió la determinación de tormentas de diseño en grandes cuencas considerando la distribución espacial de la lluvia aplicada en este caso a la cuenca del arroyo Feliciano.

La metodología incluye procesos de aplicación habitual para la determinación de PMA pero con la incorporación, como aporte novedoso de las tecnologías SIG, que permitió y facilitó la ejecución de una categorización que admitió diferenciar las estaciones en sus respectivas ubicaciones, la visualización en el espacio de las posibles configuraciones de estaciones a seleccionar, la determinación de las áreas de influencia, entre otros.

El desarrollo de la investigación y la interpretación de sus resultados demostraron acertada decisión de utilizar como variable de cálculo a la PMA en cuencas extensas para obtener curvas IDF. La aplicación de la PMA asociadas a los pluviómetros ficticios, cuyas áreas de influencia superan los 100 km<sup>2</sup>, permitió considerar la distribución espacial de las precipitaciones en la construcción de las curvas IDF para ser usadas como metodología alternativa al empleo de coeficientes de decaimiento areal en la generación de tormentas de diseño.

Del análisis general de la información procesada se destaca la importancia de poseer estaciones confiables en la red pluviométrica de una cuenca y, por ello, se refuerza el valor que tiene la instrucción técnica de los operadores de las estaciones, la continuidad en la observación y el correcto registro de los datos.

Para finalizar, cabe destacar que la información generada en el presente estudio permite disponer de dos importantes herramientas para estudios hidrológicos:

- Base de datos pluviométricos que podrá ser consultada, editada, actualizada y visualizada en el espacio.
- Curvas IDF para la cuenca de estudio como fuente de información para la modelación hidrológica con el objeto de estimar caudales de diseño de mayor confiabilidad en tanto se ha considerado en las mismas la distribución espacial de los datos pluviométricos.
- Curvas de abatimiento areal de la lluvia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aparicio, F.** (1997). Fundamentos de Hidrología de Superficie. Balderas, México: Limusa.
- Caamaño Nelli, G. y Dasso, C. M.** (2011). Lluvia de diseño sin atenuación de datos locales para una cuenca. Cuadernos del CURIHAM (pp. 83-93). Rosario, Argentina.
- Caamaño Nelli, G.; Jorquera, E.; Catalini, C.G. y Colladon, L.** (2011). Lluvia de diseño sin atenuación de datos locales para una cuenca. En III Taller sobre Regionalización de Precipitaciones Máximas. Rosario, Argentina: Ed. Universidad Nacional de Rosario.
- Catalini, C.G.** (2001). Altura Areal de Lluvia para Diseño en la Cuenca del Río San Antonio. Trabajo Final de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, UCC. Córdoba, RA.
- Catalini, C. G.; Caamaño Nelli, G. y García C. M.** (2002). Curvas de Decaimiento Areal de Lluvias de Diseño: Efectos de la Topografía y el Clima sobre su Forma. XX Congreso Latinoamericano de Hidráulica. IARH. La Habana, Cuba.
- Chow, V.T.; Maidment, D.R. y Mays, L.W.** (2000). Hidrología Aplicada. Buenos Aires: McGraw-Hill.
- Daniil E.I.; S.N. Michas y L.S. Lazaridis.** (2005). Hydrologic modeling considerations for flood management in ungaged basins. Trabajo presentado en 9th International Conference on Environmental Science and Technology. Isla de Rodas, Grecia.
- Diario Ahora de Entre Ríos.** (12 de abril de 2016). Así corría la histórica masa de agua sobre la ruta de Santa Elena.
- García, C. M.; Catalini, C. G. y Caamaño Nelli, G.** (2000). Distribución Espacial de la Lluvia de Diseño en una Cuenca de Montaña. XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Tomo II. IARH. Córdoba, Argentina.
- Graf, J.; Garklavs, G. y Oberg, K. A.** (1982). A Technique for estimating time of concentration and storage coefficient values for Illinois streams. Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) en cooperación con la División de Recursos de Agua del Departamento de Transportes de Illinois.
- Kirpich, Z.P.** (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. Journal of Civil Engineering (Vol.10 (n.6). p. 362).
- OMM N°8.** (2008). Guía de Instrumentos Meteorológicos y Métodos de Observación. Séptima Edición. Ginebra.
- OMM N°100.** (2011). Guía de Prácticas Climatológicas: Tiempo, Clima, Agua (p. 2-12). Tercera Edición. Ginebra.
- Tito, M. J.; Pérez, M. y Guglielmone, M.L.** (2012). Aplicación del modelo SQRT-ETmax en la estimación de precipitaciones máximas diarias de la provincia de Entre Ríos. En III Taller sobre Regionalización de Precipitaciones Máximas. Rosario, Argentina: Ed. Universidad Nacional de Rosario.
- Tucci Morelli, Carlos E.** (2007). Hidrologia, Ciência e Aplicação. Cuarta Edición. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.