

# AVANCES EN LA ESTIMACIÓN DE LÁMINAS DE LLUVIAS MÁXIMAS DIARIAS Y SUS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS EN ARGENTINA

Nicolás F. Guillén<sup>1,2</sup>, Carlos G. Catalini<sup>3</sup>, Carlos M. García<sup>1,2</sup>, M. Cecilia Botelli<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT CONICET/UNC) y CETA – FCEfYN, Av. Vélez Sarsfield 1611, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

<sup>2</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

<sup>3</sup>Instituto Nacional del Agua – Centro de la Región Semiárida (INA-CIRSA) y Universidad Católica de Córdoba – Facultad de Ingeniería Grupo de Estudios Hidrológicos en Cuencas Pobrementemente Aforadas (UCC-EHCPA) Av. Armada Argentina 3555, Córdoba, Argentina.

<sup>4</sup>Universidad Católica de Salta – Grupo de Investigación de Gabinete de Hidráulica e Instalaciones Sanitarias, Campo Castañares, Salta, Argentina.  
E-mail: nfguillen@hotmail.com

## Introducción

El diseño hidrológico se define como la evaluación del impacto de los procesos hidrológicos y la estimación de valores de las variables involucradas en esos procesos. El diseño hidrológico se puede utilizar para diseñar medidas “estructurales” (por ejemplo, sistemas de control y conducción de excedentes hídricos), o bien, para diseñar medidas de tipo “no estructural” como por ejemplo, programas de manejo y administración del recurso hídrico, planificación del uso del suelo, determinación de áreas de riesgo, sistemas de alerta, etc.

La escala de “diseño hidrológico” queda definida por el valor seleccionado de la variable de diseño. Los factores determinantes en la selección de este valor para una obra civil, son el costo y la seguridad asociada. Sobredimensionar las obras es antieconómico, mientras que sub-dimensionar las mismas pueden ocasionar fallas catastróficas. La magnitud óptima para el diseño es aquella que equilibra criterios de costo y seguridad.

Para predecir la magnitud del evento utilizado para diseñar obras, prevenir daños por inundación, estimar procesos de erosión, o elaborar planes de contingencia, es necesario determinar la “Creciente de Proyecto”. La misma es afectada por la insuficiencia estadística de los registros de caudales máximos instantáneos, lo cual lleva a predecir indirectamente el caudal mediante modelos de transformación lluvia-caudal (P-Q), que a su vez son alimentados por eventos hipotéticos de lluvia críticos.

En función de la importancia del objeto de diseño se podrán maximizar el evento de diseño, en esto se basa el concepto de la Precipitación Máxima Probable (PMP), o bien, cuando la vulnerabilidad de los sistemas expuestos sea menor, estas lluvias de diseño podrán determinarse a partir de un vínculo esencial entre intensidad de lluvia, su duración y su recurrencia (i-d-T). Estas relaciones y el patrón de distribución temporal de las lluvias, requeridos para estimar Crecientes de Proyecto, solo se pueden extraer de extensos registros de lluvia de alta frecuencia, normalmente fajas pluviográficas. Aun reemplazando caudal por intensidad de lluvia en el diseño, se continúa teniendo un problema, ya que las series pluviográficas largas también son escasas, aunque más frecuentes que las hidrométricas. En cambio, es habitual otro dato de lluvia provisto por pluviómetros: la lámina de lluvias máximas diarias (PMD). De esta manera, los técnicos y proyectistas pueden proceder a la predicción de eventos de diseño mediante un análisis de estadística inferencial de la PMD asociadas a diferentes periodos de retorno, analizando series de lluvias máximas diarias anuales, registradas en pluviométricos.

## Objetivos

El objetivo general del presente trabajo es la elaboración de grillas digitales de lluvias máximas diarias (PMD) asociados a recurrencias de 2, 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años en una amplia región de Argentina.

## Materiales y métodos

A continuación se detalla de manera resumida la metodología empleada con la finalidad de cumplimentar el objetivo citado. El proceso puede ser resumido de la siguiente manera (Catalini, 2018):

1. Recopilación de series pluviométricas y su correspondiente ubicación espacial.
2. Selección de aquellas estaciones pluviométricas aptas en base a la longitud de la serie de registro necesaria para considerarlas en los análisis estadísticos.
3. Determinación del año hidrológico en la región de estudio centrado en el periodo de máximos, determinación de los máximos diarios anuales, y conformación de la serie temporal de máximos.
4. Detección de datos atípicos, eventual remoción de los mismos.
5. Verificación de los datos de las series históricas de precipitación conformadas en los puntos 3 y 4 teniendo en cuenta su calidad, homogeneidad, consistencia, independencia y estacionalidad.
6. Determinación de los parámetros provenientes del análisis de estadística descriptiva (media y desvío estándar) sobre las series que superaron el punto 5, tanto de lluvias máximas diarias como sus parámetros estadísticos.
7. Ajuste de distintas funciones de probabilidad sobre la serie diaria y obtención de precipitaciones diarias con recurrencia asociada (2, 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años) y sus respectivos intervalos de confianza para cada estación.
8. Generación de la base de datos georeferenciados con los resultados obtenidos en los puntos 6 y 7.
9. Análisis geoestadístico de las bases de datos conformada en el punto 8. Depuración de la variable teniendo en cuenta la homogeneidad espacial, estacionalidad y consistencia, así como determinación de datos atípicos poblacionales e internos.
10. Evaluación de la correlación espacial de la variable PMD y modelado del variograma.
11. Predicción geoestadística de PMD, conformación de grillas predictivas de resolución espacial 25 km<sup>2</sup>.

## Resultados

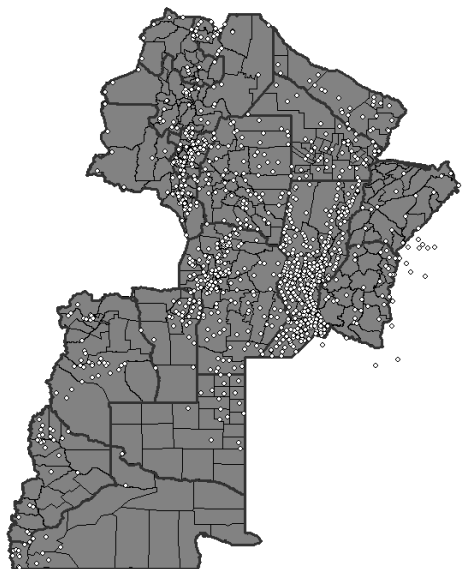
Se aplicó el análisis estadístico inferencial sobre la PMD en 17 provincias Argentinas, sobre la base de datos definida para series de más de 14 años de longitud, la cual se confeccionó con información de la lámina de lluvia máxima diaria y otras variables de interés. Esta información se obtuvo de estaciones pluviométricas operadas por distintas Instituciones pudiéndose citar entre las principales al:

- La Red Hidrológica Nacional, dependiente de la Secretaría

de Infraestructura y Política Hídrica

- Instituto Nacional del Agua (INA) e Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).
- Entes de Recursos Hídricos de las diferentes provincias, etc.

Se observó, en lo concerniente al año hidrológico de la mayoría de las estaciones analizadas, que las máximas lluvias se registraban en el periodo comprendido entre los meses de Octubre y Abril, por lo que se adoptó como año hidrológico al periodo conformado entre Julio a Junio del año (calendario) siguiente. Luego se elaboraron las series hidrológicas anual de lluvias máximas diarias para cada una de las estaciones consideradas. Continuando con la metodología propuesta se realizaron sobre cada una de las estaciones recopiladas las diferentes pruebas y criterios estadísticos de acuerdo a lo propuesto por Watt, 1989 (aleatoriedad, independencia, homogeneidad, estacionalidad y datos atípicos). La Figura 1 muestra la distribución espacial de las estaciones cuyas series verificaron las hipótesis planteadas.



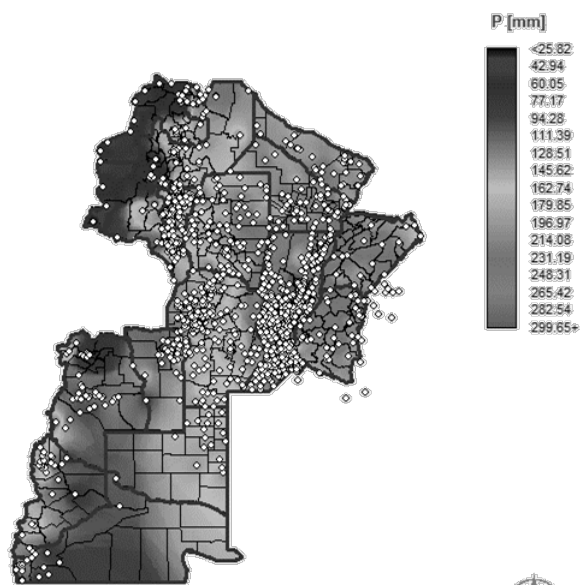
**Figura 1.-** Estaciones pluviométricas que verificaron las pruebas y criterios estadísticos establecidos.

De cada una de las estaciones finalmente seleccionadas, se determinaron los parámetros estadísticos más importantes de las series, el valor máximo diario anual, el promedio aritmético y desvío estándar para las series. Además, se determinaron las probabilidades empíricas de cada valor registrado de PMD, utilizando la función de distribución de probabilidad empírica de Weibull. Luego, se ajustaron cuatro funciones de distribución de probabilidad teóricas de las cuales a dos de ellas se aplicaron distintos métodos de ajuste a saber: Valores Extremos Generalizados (GEV, por sus siglas en inglés), a través del Método de los Momentos y de Máxima Verosimilitud; Gumbel a través del Método de los Momentos y de Máxima Verosimilitud.; Lognormal a través del Método de Máxima Verosimilitud.; Log Pearson tipo III a través del Método de los Momentos.

Al presentarse aquí una extensión de trabajos previos que se fueron realizando en la región (Caamaño Nelli y Dasso, 2003; Guillen, 2014, Catalini, 2018), se adopta la misma función de distribución de esos estudios, es decir: Log Normal con parámetros ajustados por el método de Máxima Verosimilitud. Al adoptar la función antes indicada, se evaluó la sensibilidad de utilizar esta función de distribución de probabilidad en lugar de las otras 3 propuestas. Para ello se evaluó la variable PMD y su intervalo de confianza para una recurrencia  $T = 100$  años. El

análisis de sensibilidad realizado muestra que la incertidumbre debida al tamaño de las muestras utilizadas es más significativa que la incertidumbre debido al modelo probabilístico utilizado. Por ello, se adoptó la función Lognormal con parámetros estimados por el método de máxima verosimilitud como representativo de la distribución de probabilidad de la variable PMD para los periodos de retorno usuales en ingeniería.

Con los valores de lluvia máxima diaria obtenidos para los distintos periodos de retorno en cada una de las estaciones pluviométricas se utilizaron técnicas geoestadísticas (Catalini, 2018), que permitieron regionalizar la información puntual generando grillas de PMD con recurrencia asociada para toda la región bajo estudio. La Figura 2 muestra el resultado de esta regionalización mediante la predicción por el método Kriging para la precipitación diaria media máxima anual estimada para un período de retorno de cien años [en mm].



**Figura 2.-** Raster interpolado por el método Kriging para la Precipitación media máxima estimada para un período de retorno de cien años [en mm].

## Conclusiones

En este trabajo se presentan mapas de lluvias máximas diarias asociadas a diferentes períodos de retorno en una amplia región de Argentina con un tamaño de grilla de  $25 \text{ km}^2$ , y con una validez hasta los 3000 m snm. Los resultados alcanzados muestran una tendencia incremental sobre los valores de lámina máxima de oeste a este registrándose los máximos sobre las provincias del litoral y con nodos más intensos en las regiones serranas, denotando la influencia orográfica sobre los valores máximos

## Referencias bibliográficas

- Caamaño, Gabriel; Dasso, Clarita** (2003). "Lluvias de Diseño – Conceptos, Técnicas y Experiencias".
- Catalini, Carlos** (2018). "Predicción de Lluvias Máximas en Argentina: Desarrollos y nuevas aplicaciones". Tesis Doctoral. Doctorado en Ciencias de la Ingeniería Mención en Recursos Hídricos. FCEFyN Universidad Nacional de Córdoba.
- Guillén, Nicolás Federico** (2014). "Estudios Avanzados para el Diseño Hidrológico e Hidráulico de Infraestructuras Hídricas" – Tesis de Maestría – Maestría en Ciencias de la Ingeniería Mención Recursos Hídricos – FCEFyN – UNC – Córdoba, Argentina.
- Watt, W.**, (1989). "Hydrology of floods in Canada: a guide to planning and design". Primera ed. Ottawa: Consejo Nacional de Investigación de Canadá.