

# ESTIMACIÓN DE LÁMINAS DE LLUVIAS MÁXIMAS DIARIAS Y PARÁMETROS ESTADÍSTICOS EN COSTA RICA

Sebastián Arias Chacón<sup>1, 2, 4, 5, 6, 7</sup>, Nicolás F. Guillén<sup>2, 3</sup>, Carlos M. García<sup>2, 3</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), Costa Rica.

<sup>2</sup>CETA. Centro de Estudios y Tecnología del Agua- Universidad Nacional de Córdoba-Laboratorio de Hidráulica, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales., Universidad Nacional de Córdoba (UNC), Av. Filloy s/n, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

<sup>3</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina. Argentina.

<sup>4</sup>Acueducto, Municipalidad de Oreamuno, Cartago, Costa Rica.

<sup>5</sup>Comisión Asesora en Cuenca e Ingeniería en Aguas, Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA), Costa Rica.

<sup>6</sup>Comisión Paritaria Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA), Costa Rica.

<sup>7</sup>Organización de los Estados Americanos (OEA).

E-mail: sach\_cr@yahoo.com, nfguillen@hotmail.com, cgarcia2mjc@gmail.com

## Introducción

El diseño hidrológico se define como la evaluación del impacto de los procesos hidrológicos y la estimación de valores de las variables relevantes para modificarlo. El análisis hidrológico se puede utilizar para mitigar amenazas hidrometeorológicas proyectando medidas estructurales, tal es el caso de una represa para el control de crecientes, sistemas de control de excedentes de escorrentía superficial en obras viales, entre otras, o bien, desarrollando medidas no estructurales como ser la determinación de áreas de riesgo, entre otros.

La escala de análisis hidrológico es el rango en magnitud de la variable de diseño dentro del cual se debe seleccionar un valor para determinar el flujo de entrada al sistema. 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.

Generalmente al análisis hidrológico utiliza para la estimación de la creciente de proyecto. Sin embargo la estimación de los caudales escurridos en la creciente de proyecto está afectada por la insuficiencia estadística de los registros históricos de caudales, lo cual lleva a evaluar indirectamente estos caudales mediante el uso modelos de transformación lluvia – caudal (P-Q), los cuales son alimentados por eventos hipotéticos críticos (lluvias de diseño). Si bien tienen otros componentes, estas lluvias de diseño parten de un vínculo esencial entre los rasgos característicos de la precipitación: la función intensidad-duración-periodo de retorno (i-d-T). Las relaciones i-d-T y el patrón de distribución temporal de las lluvias, requeridos para estimar crecientes de proyecto, solo se pueden extraer de extensos registros de alta frecuencia, normalmente fajas pluviográficas. Aun remplazando caudal por intensidad de lluvia se continúa teniendo un problema, ya que las series pluviográficas largas también son escasas, aunque menos que las hidrométricas. En cambio, es habitual otro dato de lluvia provisto por pluviómetros: la lámina de lluvia diaria. De esta manera, los técnicos y proyectistas pueden proceder a la estimación mediante un análisis de estadística inferencial de las láminas de lluvias máximas diarias asociadas a diferentes periodos de retorno, a partir de las series de datos pluviométricos registrados en diversos puntos de la cuenca.

En este trabajo se estimó la lámina de lluvia máxima diaria asociada a diferentes periodos de retorno para todo el territorio de Costa Rica. A partir de ella, pueden estimarse relaciones i-d-T en todo el territorio para posteriormente emplearlas en un modelo de transformación P-Q para obtener caudales de diseño.

## Objetivo

El objetivo general del presente trabajo es la elaboración de mapas digitales de lluvias máximas diarias asociados a

recurrencias de 2, 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años para todo el territorio de Costa Rica.

## Materiales y métodos

A continuación se detalla de manera condensada la metodología empleada con la finalidad de cumplimentar el objetivo citado. El proceso se puede resumir de la siguiente manera:

1. Recopilación y pre-procesamiento de series pluviométricas de las distintas estaciones existentes.
2. Ubicación espacial de las distintas estaciones pluviométricas preseleccionadas.
3. Determinación del año hidrológico.
4. Generación de la serie hidrológica de máximas lluvias diarias.
5. Verificación de hipótesis estadísticas de las series históricas de máximas lluvias diarias seleccionadas tales como independencia, estacionalidad y homogeneidad, además de la detección de datos atípicos en las series de precipitación.
6. Determinación de los parámetros provenientes del análisis de estadística descriptiva (media y desvío estándar).
7. Análisis de estadística inferencial mediante el ajuste de distribución de probabilidad.
8. Interpolación de la información puntual, generación de grillas de análisis mediante el uso de un Sistema de Información Geográfica.

## Resultados

Se recopiló información de la lámina de lluvia diaria de las estaciones pluviométricas instaladas en las diferentes provincias de la región de estudio. Para la obtención de datos se recurrió a diferentes fuentes como:

- Instituto Meteorológico Nacional (IMN).
- Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento (SENARA).
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Entre otras.

Para el análisis y procesamiento estadístico de las lluvias se dividen las series históricas en “años hidrológicos”. Este concepto, se define como el período anual que no fracciona el ciclo estacional de lluvia, pudiendo ser distinto al año calendario. Luego de observar los registros encontrados de las máximas lluvias se optó por determinar cómo año hidrológico el mismo periodo correspondiente al año calendario. Luego de fijar el año hidrológico se elaboraron las series hidrológicas de máximos anuales de lámina de lluvias diarias. Con esto se pudo determinar que los máximos de lluvia diaria ocurren generalmente entre los meses de abril a noviembre, inclusive. Por ello cuando no se contaba con datos en algunos de esos meses, se prescinde de ese año hidrológico, dado que en esos

meses es probable que se dé la precipitación máxima anual, lo que podría ocasionar subestimaciones en los análisis estadísticos que se realizarán sobre ellas.

A continuación se realizaron sobre las series de lluvia máxima anual las diferentes pruebas estadísticas (detección de presencia de datos atípicos, independencia, homogeneidad y estacionalidad); en la Figura 1 se puede observar la distribución espacial de las estaciones que finalmente pasaron dichas pruebas (“tests”) estadísticas:



**Figura 1.-** Estaciones seleccionadas para la elaboración de los mapas digitales de lluvia máxima diaria.

De cada una de las estaciones que pasaron las pruebas estadísticas, se calcularon los parámetros estadísticos más importantes de las series anuales de máximos de lluvia diaria: Valor máximo observado en la serie, promedio aritmético, desvío estándar, entre otros.

A la hora de realizar estadística inferencial, en primer lugar se determinaron las probabilidades empíricas de cada dato de lluvia diaria máxima anual observado, utilizando la ecuación de Weibull en cada estación pluviométrica. Luego, dichos datos se ajustaron a las 6 funciones de distribución de probabilidad teóricas siguientes:

- GEV (Método de Máxima Verosimilitud).
- Gumbel (Método de Máxima Verosimilitud).
- LogNormal (Método de Máxima Verosimilitud).
- GEV (Método de Momentos).
- Gumbel (Método de Momentos).
- Log Pearson tipo III (Método de Momentos).

Debido a que este trabajo busca extender un análisis de regionalización de lluvias máximas diarias para Costa Rica de forma análoga al aplicado previamente en Argentina por diversos autores (Guillén, 2014; Belli et al., 2012; Caamaño Nelli y Dasso, 2003; Catalini et al., 2010; Catalini et al., 2012), es que se adopta a priori la misma función de distribución comprobada en esos estudios: Log Normal con parámetros ajustados por el método de Máxima Verosimilitud para representar las muestras de valores de lluvias diarias máximas anuales. Esta hipótesis fue verificada posteriormente para todas las estaciones pluviométricas analizadas.

Con los valores de lámina de lluvia estimados para los distintos periodos de retorno en cada una de las estaciones pluviométricas se utilizaron técnicas de análisis espacial para poder interpolar por el método Kriging la información puntual con el objeto de generar grillas de información de la precipitación diaria media máxima anual estimada para la

confección de mapas para las diferentes recurrencias.

Luego, utilizando un ajuste tendencial se construyeron los mapas digitales de lluvia máxima diaria asociados a las diferentes recurrencias partiendo de cada uno de los mapas obtenidos a partir del método de Kriging. A continuación, a modo de ejemplo se muestra el mapa correspondiente al tiempo de retorno 5 años:



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

## Conclusiones

- De las 6 alternativas de función de distribución de probabilidad y de método de ajuste ensayado se adoptó la función LogNormal con parámetros estimados por el método de máxima verosimilitud como representativo y se verificó que la incertidumbre debido al tamaño de las muestras utilizadas es más significativo que la incertidumbre debido al modelo probabilístico utilizado.
- Se crearon mapas de láminas de lluvias máximas diarias asociadas a diferentes períodos de retorno.
- Esta herramienta desarrollada es fundamental para el país de Costa Rica. Previamente al mismo no se contaba con algo igual; y de ahora en adelante se podrá a partir de los mismos estimar relaciones i-d-T en todo el territorio para posteriormente emplearlas en un modelo de transformación P-Q para obtener caudales de diseño.

## Bibliografía

- Belli, Virginia; Cueto, César; Lovera, Daniela; Miguez, Martín; Pinasco, Germán** (2012). “Regionalización de lluvias máximas – Aplicación a las provincias de Córdoba y Santa Fe” - *Trabajo final de la carrera Ingeniería Civil – Facultad de Ingeniería – Universidad Católica de Córdoba – Córdoba, Argentina.*
- Caamaño, Gabriel; Dasso, Clarita** (2003). “Lluvias de Diseño – Conceptos, Técnicas y Experiencias”.
- Catalini, Carlos; Maidah, Andrea; García, Carlos M.; Caamaño, Gabriel** (2010). “Mapas digitales de isohietas de lluvias máximas diarias para la provincia de Córdoba”.
- Catalini, Carlos; Caamaño Nelli, Gabriel ; García Carlos M., Belli, Virginia; Bianchiotti, Bernabé; Cueto, César; Lérica, Gastón; Lovera, Daniela; Miguez, Martín; Pinasco, Germán; Sánchez, Ezequiel** (2012). “Regionalización Paramétrica De Funciones I-D-T. Aplicación A Las Provincias De Córdoba Y Santa Fe”.
- Guillén, Nicolás Federico** (2014). “Estudios Avanzados para el Diseño Hidrológico e Hidráulico de Infraestructura Hídrica” – *Tesis de Maestría – Maestría en Ciencias de la Ingeniería Mención Recursos Hídricos – FCEFYN – UNC – Córdoba, Argentina.*