

# **1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1 Introducción**

El agua es un recurso fundamental para la vida y un factor esencial para el sector productivo, por lo que la determinación de los caudales en una región, tiene especial importancia debido al predominio de las actividades relacionadas con el aprovechamiento de los recursos hídricos. A través de esto es posible obtener información valiosa para la gestión del agua, en términos de los usos: agrícolas, forestales, energéticos, de uso doméstico, construcción de obras civiles, etc.

Por otro lado, estudiar las precipitaciones y conocer su distribución temporal es motivo de interés para estudios hidrológicos. La precipitación, como variable de estado hidrológica, se puede caracterizar a través de la intensidad, su distribución en el espacio y en el tiempo, y su frecuencia o probabilidad de ocurrencia, y para poder caracterizarla es necesario un gran número de observaciones, extraídas de series pluviográficas, con el objeto de deducir el patrón de comportamiento en una zona determinada y permitir un análisis o uso posterior. A la vez se pueden proporcionar índices para realizar estudios de crecidas, para un adecuado diseño y dimensionamiento de las obras civiles. Para esto es necesario conocer las intensidades de precipitación, para distintos períodos de retorno.

Ahora bien, los cálculos de caudales máximos son imprescindibles para el diseño y planificación de obras civiles. Pero muchas veces no se dispone de registros que nos permitan determinar estos caudales, es por esto que se hace necesario contar con metodología que nos permita determinar los valores de caudales máximos empíricamente.

Las metodologías para el cálculo de caudales máximos utilizadas en El Salvador pueden subestimar o sobreestimar los valores de caudales máximos, ya que se basan en ecuaciones o coeficientes empíricos desarrollados para puntos geográficos con características diferentes a las del país. El necesitar definir cuales son la o las metodologías que sean aplicables para las características físicas hidrológicas de las diferentes regiones

salvadoreñas, nos impulsa a realizar un trabajo de investigación que solvente estas necesidades de la mejor manera posible.

En el documento que se presenta, se analizan y validan las metodologías para la determinación de tiempos de concentración de Kirpich, Giandotti, Administración Federal de Aviación y la del Servicio de Conservación del Suelo (SCS), además de las metodologías para la determinación de caudales máximos por Método Racional; Hidrogramas Unitarios Complejos y Sintéticos: de Snyder, Triangular y SCS.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Validar metodologías de estimación de caudales máximos en las regiones hidrográficas siguientes: Paz, Cara Sucia-San Pedro, Grande-Sonsonate, Mandinga-Comalapa, Jiboa, Bahía de Jiquilisco, Río Grande de San Miguel, Sirama y Goascorán; todas dentro de territorio salvadoreño que a lo largo del presente documento se llamarán “*regiones hidrográficas analizadas*”.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Validación de fórmulas empíricas para la estimación de tiempos de concentración.
- Estimación de curvas Intensidad – Frecuencia – Duración en las regiones hidrográficas analizadas.
- Determinación de hidrogramas unitarios para las regiones hidrográficas analizadas.
- Estimación del número de curva CN y coeficiente de escurrimiento C.
- Cálculo de caudales máximos por medio de metodologías hidrometeorológicas.

- Análisis estadístico de series de caudales máximos y determinación de función de distribución de mejor ajuste.
- Comparación de resultados de metodologías hidrometeorológicas con resultados de metodologías estadísticas puntuales y regionales.
- Validación de las metodologías de Fórmula Racional, Soil Conservation Service USA (SCS) e Hidrogramas Unitarios para la estimación de caudales máximos en las regiones hidrográficas Paz, Cara Sucia-San Pedro, Grande-Sonsonate, Mandinga-Comalapa, Jiboa, Bahía de Jiquilisco, Río Grande de San Miguel, Sirama y Goascorán, todas dentro de territorio salvadoreño.
- Determinación de factores de ajuste para la aplicación de metodologías hidrometeorológicas en El Salvador.

### **1.3 Límites y alcances**

- Validación de las fórmulas empíricas para cálculo de tiempos de concentración, validando factores o determinando nuevos.
- Determinación de curvas de Intensidad – Frecuencia – Duración, para las siguientes estaciones: Güija, Izalco, Galera, El Papalón, Santa Cruz Porrillo y Aeropuerto de Ilopango de las regiones hidrográficas analizadas, las cuales serán utilizadas en el cálculo de caudales máximos de dichas regiones.
- Se determinarán los hidrogramas unitarios para estimar caudales máximos esperados en las regiones hidrográficas analizadas, para períodos de retorno de 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años, en las estaciones: San Lorenzo, La Atalaya, Sensunapán, Conacaste Herrado, San Luis-Comalapa, San Ramón, Los Tihuilotes, Hato Nuevo, Villerías, Moscoso y Pasaquina.

- La determinación de coeficientes de escurrimiento  $C$  y Número de Curva  $CN$  se hará a través de tablas obtenidas de las siguientes instituciones gubernamentales de Los Estados Unidos de América: Soil Conservación Service SCS y U.S. Geological Survey USGS, a analizar para la aplicación de metodologías de fórmula racional y SCS, con base en la cobertura vegetal, tipo de suelo y pendiente del terreno, información obtenida de los mapas proporcionados por el Ministerio de Agricultura y Ganadería, para cada una de las regiones hidrográficas analizadas.
- Aplicación de metodologías hidrometeorológicas para el cálculo de caudales máximos para períodos de retorno de 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años, por las fórmulas empíricas: Fórmula Racional, Soil Conservation Service e Hidrogramas Unitarios; para las estaciones: San Lorenzo, La Atalaya, Sensunapán, Conacaste Herrado, San Luis-Comalapa, San Ramón, Los Tihuilotes, Hato Nuevo, Villerías, Moscoso y Pasaquina, de las regiones hidrográficas analizadas.
- Aplicación de metodologías estadísticas para el cálculo de caudales máximos para períodos de retorno de 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años, que serán: Distribuciones Log-Normal II, Log-Pearson III y Gumbel; para las estaciones: San Lorenzo, La Atalaya, Sensunapán, Conacaste Herrado, San Luis-Comalapa, San Ramón, Los Tihuilotes, Hato Nuevo, Villerías, Moscoso y Pasaquina, de las regiones hidrográficas analizadas.
- De las metodologías estadísticas aplicadas, se seleccionará la de mejor ajuste para cada zona hidrográfica.
- Se compararán los resultados de las metodologías hidrometeorológicas aplicadas con los resultados de las metodologías: estadística puntual de mejor ajuste y regional.
- Se validarán la o las metodologías hidrometeorológicas que apliquen en cada región hidrográfica analizada y de ser necesario se determinará el coeficiente de ajuste para su aplicación.

- El Salvador cuenta con las siguientes diez regiones hidrográficas: Paz, Cara Sucia-San Pedro, Grande-Sonsonate, Mandinga-Comalapa, Jiboa, Bahía de Jiquilisco, Río Grande de San Miguel, Sirama, Goascorán y Lempa, (ver Anexo A), ésta última no será incluida en este estudio debido a su extensión (abarca casi la mitad del territorio salvadoreño).

#### **1.4 Antecedentes**

- Se cuenta con un estudio similar realizado en la cuenca del río San Carlos en el departamento de Antioquia en Colombia, denominado “Diseño hidrológico con información escasa. Un caso de estudio: Río San Carlos”, el cual fue elaborado por la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín en el año de 1997. En él, se presentan los caudales máximos instantáneos asociados a ciertos períodos de retorno obtenidos por varias metodologías. Por las características de la información disponible (calidad y cantidad), para la realización del estudio se aplicaron algunas técnicas de información escasa. Las metodologías utilizadas fueron:
  - Análisis de frecuencia.
  - Modelos lluvia escorrentía.
  - Método racional.

Se presentan conclusiones y recomendaciones referentes, en su mayoría, a que la necesidad de información, para la obtención de resultados confiables, es fundamental en este tipo de estudios. Además, recomiendan el uso discreto de la metodología con información escasa (cálculo de caudales por Hidrogramas Sintéticos).

- Trabajo de graduación “Análisis de intensidades máximas anuales en El Salvador” realizado por José Salvador Perla Argueta, Mauricio Alfaro Osegueda y Roberto Domínguez Rivera; en Agosto de 1990 para la Universidad Tecnológica, en este trabajo de graduación se obtienen una serie de registros de curvas Intensidad-Frecuencia-Duración y mapas representativos de las intensidades máximas anuales producidos por

la precipitación; además enfoca métodos hidrometeorológicos para el cálculo de intensidades en El Salvador. Para su realización se efectúa un análisis de homogeneidad de las series pluviográficas, como también, un análisis de frecuencias para definir la probabilidad de ocurrencia de las intensidades máximas para diferentes períodos de retorno, de las cuales se generan los mapas de intensidades. Este trabajo será utilizado como apoyo para el cálculo de las curvas de Intensidad – Frecuencia – Duración.

- Estudio sobre: "Sistematización por medio de terrazas de predios destinados a la agricultura"; J.C. Molinelli; Dirección de Agronomía, Publ. N° 93, 1948; Montevideo. Citado por Ghiggia, R. 1981. En el cual se determinaron promedios aproximados de velocidades de escurrimiento para calcular tiempos de concentración.
- Estudio sobre "Condicionantes físicos para la ordenación de la orla sudoeste del suelo urbanizable en la ciudad de Zaragoza, España". En él, se presentó una ecuación que relaciona la velocidad de escurrimiento con los tiempos de concentración.
- "Estudio de Regionalización de Caudales Máximos y Medios en El Salvador" realizado por la Ingeniero Adriana Erazo del Servicio Hidrológico Nacional del SNET. En él, se analiza la información, se delimitan las regiones hidrológicamente homogéneas, se determinan factores para el cálculo de caudales para diferentes períodos de retorno así como también las características fisiográficas de las cuencas y se calculan caudales máximos.

## **1.5 Limitaciones**

Información incompleta en algunas de las estaciones, debido a que varias estaciones hidrométricas fueron suspendidas temporalmente por causas de fuerza mayor durante los años ochenta.

Se contó con, aproximadamente, seis meses para la elaboración del trabajo de graduación. Al analizar este período de tiempo con la directora del trabajo y programar las actividades a realizar se llegó a la conclusión de que el tiempo era suficiente para analizar, únicamente,

nueve de las diez regiones hidrográficas con las que cuenta El Salvador, excluyendo la región hidrográfica del río Lempa, la cual abarca casi la mitad del territorio salvadoreño.

La calidad de la información del cálculo de caudales puede verse afectada debido a que al extrapolar valores de caudales para alturas mayores a las aforadas, se pueden presentar errores al extender la curva de caudales, sobreestimando o subestimando así, dichos valores de caudales.

No se contaba con información de lluvias sobre el área de las cuencas para las fechas de los eventos de crecidas máximas extraídas de las curvas de descarga obtenidas de los aforos medidos en las estaciones hidrométricas.

Debido a que las curvas Intensidad-Frecuencia -Duración se calcularon para duraciones no mayores a 360 minutos, los tiempos de concentración mayores a 360 minutos presentaron incertezas en sus cálculos, por lo que no se tomaron en cuenta.

Todas las estaciones contaban con registros de 20 años o menos, lo que dificultó el análisis estadístico puntual por contar con escaso número de registros, no del todo suficientes para hacer un análisis estricto.