

Un Modelo de Altura-Área-Duración (AAD) de tormentas en Venezuela

Edilberto Guevara Pérez,

*Escuela de Ingeniería Civil, Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico,
Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela, Email: eguevara@thor.uc.edu.ve*

Resumen

Los hidrólogos usan relaciones Altura - Área de tormentas en los proyectos de planificación de los recursos hídricos. Estas relaciones se presentan como familia de curvas para diferentes duraciones, de las cuales se determina el factor de reducción por área, y se aplica a la precipitación puntual de una determinada frecuencia para estimar la lluvia media correspondiente sobre dicha área. En este trabajo se desarrollan modelos de Altura - Área - Duración para las tormentas de Venezuela usando los datos de 47 eventos ocurridos en las regiones Nor - Oriental, Andes, Central y Centro - Occidental de Venezuela. El análisis de mínimos cuadrados usado para el ajuste de los parámetros arroja coeficientes de correlación mayores que 0.98, suficientemente elevados como para utilizar los modelos en estudios preliminares al nivel nacional.

Palabras clave: Análisis de tormentas, análisis AAD, reducción de la lluvia puntual.

A Depth-Area-Duration (DAD) Model for storms in Venezuela

Abstract

Hydrologists use Depth - Area relationships in planning projects of water resources. These relations are presented as family of curves for different durations, from which, area reduction factors of point rainfall are determined to estimate the aerial mean rainfall for a given frequency. In this research regional Height-Area-Duration models are developed based on the analysis of 47 storms events occurred on Northeast, Andes, Central and Central west regions of Venezuela. The correlation coefficients obtained are always over 0.98, sufficiently high to use the models for preliminary studies in Venezuela.

Key words: Storm analysis, Height-Area-Duration analysis, reduction of point rainfall.

1. INTRODUCCIÓN

Los hidrólogos han utilizado siempre modelos *Altura-Área-Duración* (AAD) de tormentas en la planificación de proyectos de los recursos hídricos. Estas relaciones han sido muy importantes para el diseño de las estructuras hidráulicas y aún se usan actualmente porque pueden aplicarse con datos fácilmente disponibles. En los últimos años dichos modelos han adquirido especial relevancia debido al creciente énfasis que ha tomado la planificación y manejo de las fuentes no puntuales de contaminación de la escorrentía.

La relación entre la altura (profundidad) de la precipitación y el área de influencia de la tormenta normalmente se presenta como una familia de curvas para diferentes intervalos de duración. De estas curvas se determina un factor de reducción para un área dada, y se aplica a la lluvia puntual asociada con una determinada frecuencia para estimar la lluvia media sobre dicha área. La lluvia media, a su vez, se usa como variable de entrada en varios modelos o ecuaciones que permiten estimar la magnitud de la escorrentía. Curvas de ese tipo se encuentran a disposición del ingeniero para muchas áreas en informes hidrológicos del Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales Renovables (MARN), o se elaboran sobre la base de la información disponible

hidráulicos. Sin embargo, en la mayoría de las cuencas no se cuenta con suficientes estaciones de medición y los presupuestos asignados a los proyectos no contemplan inversiones para la instalación de puntos de colección de información básica. En estos casos, el hidrólogo está obligado a utilizar la poca información que pueda estar disponible y llevar a cabo estudios de regionalización para estimar la lluvia media sobre el área de la cuenca de interés aplicando factores de reducción de la lluvia puntual.

En este trabajo se desarrolla un modelo regional general para determinar las características de la curva Profundidad - Área - Duración de tormentas en Venezuela.

2. MARCO TEÓRICO

En las referencias técnicas se reportan relaciones regionales gráficas o empíricas para el análisis de Altura-Área-Duración (AAD) de tormentas. Court (1961) propuso un modelo gaussiano y compara los resultados con los de otros estudios; Renard y Brakensiek (1976) encontraron variaciones muy marcadas entre los resultados de diferentes modelos al discutir las características de las tormentas en la región intermontañosa occidental de EE.UU. Nicks e Igo (1980) encontraron que sobre la base de resultados preliminares obtenidos en Oklahoma, USA, la distribución aérea de las lluvias no siempre se ajusta a los modelos existentes de otras áreas; además, muchos de los modelos no reflejan la modificación que se espera en la relación altura - área debido a la duración de las tormentas; por ello, desarrollaron un modelo matemático para relacionar la lluvia media sobre un área dada y la lluvia puntual en el centro de la tormenta. El modelo se basa en el hecho observado de que la lluvia media decrece con la distancia desde el centro de la tormenta y de que la tasa de reducción de los valores puntuales se incrementa a medida que disminuye la duración de la lluvia puntual en el centro de la tormenta. La experiencia obtenida de curvas individuales de altura - área, conducen a un modelo de la siguiente estructura para calcular la lluvia media que cubre un área dada y una duración determinada:

$$P_A = P_p - \frac{[P_p A D^m]}{[a + bA]} \quad (1)$$

Donde P_A es la lluvia media en mm a ser estimada para el área A en Km^2 ; P_p es la lluvia puntual en el centro de la tormenta en mm; D es la duración de la lluvia puntual en el centro de la tormenta en horas; $m = -0.1478$; $a = 337.4767$; y $b = 1.0935$; siendo estos tres últimos parámetros regionales de regresión del modelo, ajustados sobre la base de los datos pluviométricos de 138 estaciones utilizando el procedimiento de optimización no lineal de mínimos cuadrados desarrollado por Decoursey y Snyder (1969), habiendo obtenido un coeficiente de correlación múltiple de 0.88 y un error estándar de estimación de 11.8 mm.

La Dirección de Hidrología del antiguo Ministerio de Obras Públicas de Venezuela encontró sobre la base del análisis de 50 tormentas registradas en la red pluviométrica nacional que la duración de las tormentas de diseño es generalmente de 3 h y no va más allá de 6 h; y que la reducción de la lluvia puntual P_p para obtener un valor medio sobre el área de la cuenca, P_A , se ajusta a la siguiente relación (Guevara y Cartaya, 1991):

$$R_D = 100 \left(\frac{P_A}{P_p} \right) = m e^{-A/n} \quad (2)$$

Donde R_D es el factor de reducción para la tormenta de duración D en h; A es el área cubierta por la tormenta en Km^2 ; e es la base de los logaritmos neperianos; m y n son parámetros regionales de ajuste que varían con la duración D , como sigue: Para $D = 1, 3, 6$ h: $m = 95.40; 96.70; 97.40$; $n = 1337.00; 1904.00; 3449.00$, respectivamente.

3. METODOLOGÍA

El trabajo se desarrolló en las siguientes etapas:

Fundamentación teórica

Para desarrollar el modelo indicado, se parte del concepto matemático de linealización de las curvas AAD (Altura - Área - Duración) de las tormentas de acuerdo al siguiente razonamiento:

- Sea X el área de influencia A de la tormenta sobre la que se desea estimar la precipitación media P .
- Sea Y la inversa de la precipitación media estimada $= 1/P_A$.

Aplicando la función inversa de la relación “Precipitación Acumulada - Duración” se obtiene:

$$Y = \frac{1}{P_A} = a + bX \quad (3)$$

Donde a y b son parámetros de ajuste del modelo resultante en esa relación.

La Ecuación (3) también puede expresarse como sigue:

$$P_A = \frac{1}{Y} = \frac{1}{a + bX} \quad (4)$$

Por definición se sabe que la lluvia puntual P_p es aquella que corresponde a un valor de área igual a cero; es decir, para $X = 0$ en la relación (4), la lluvia puntual será:

$$P_p = \frac{1}{a} \quad (5)$$

con lo cual, se obtiene para el factor de reducción de la lluvia puntual el siguiente modelo matemático:

$$\frac{P_A}{P_p} = R_D = \frac{a}{a + bX} \quad (6)$$

La Ecuación (6) constituye un modelo general para estimar el factor de reducción R_D de la lluvia puntual sobre el área de influencia de la tormenta. El análisis de los eventos disponibles de tormentas indica que este modelo general es aplicable en forma individual para cada duración. En otras palabras, es factible establecer una relación lineal entre el factor R_D y la duración D .

Información Básica

Se utilizó la información disponible en el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARN) sobre 47 tormentas ocurridas en las regiones Nor - Oriental, Central, Centro - Occidental, y Andes (cuencas de los ríos Chama, Guasare Limón, Motatán; ríos Matícora, Tocuyo, Yaracuy, Cojedes, Guanare, Guárico, Masparro - Santo Domingo, Orituco, Tinaco San Carlos, Portuguesa, Uribante; Región Carabobo - Aragua; ríos Guaire, Tuy, Unare, Neveri, San Juan - Manzanarez y San Juan Grande Carinacua.

Análisis AAD

Del análisis de Altura - Área - Duración efectuado con los datos de las 47 tormentas disponibles, se logró obtener curvas AAD sólo para las duraciones que se indican a continuación:

$D = 1$ h; $n = 38$ eventos

$D = 2$ h; $n = 34$ eventos

$D = 3$ h; $n = 34$ eventos

$D = 4$ h; $n = 4$ eventos

$D = 6$ h; $n = 47$ eventos

$D = 9$ h; $n = 15$ eventos

$D = 12$ h; $n = 6$ eventos

Formulación del Modelo Regional

Como se ha visto anteriormente, la estructura del modelo general está dada por la Ecuación (6). Luego de haber establecido las curvas AAD para las duraciones indicadas, se aplicó a los resultados un análisis de correlación y regresión, para determinar los parámetros de los modelos parciales (3) y (4) y del modelo general (6).

4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Utilizando el método de los mínimos cuadrados, se calcularon los parámetros de correlación y regresión individualmente para cada Duración (Ecuaciones 3 y 4). Los resultados del análisis de correlación y regresión se presentan en la Tabla 1. Observando los valores dados en la Tabla se encuentra que los parámetros de regresión a y b disminuyen ligeramente con el incremento de D . Sin embargo, esa disminución se hace evidente hasta duraciones de 6 h. Para duraciones mayores, las diferencias se hacen imperceptibles. Tomando en cuenta que la duración de las tormentas en Venezuela rara vez va más allá de las 6 h, el modelo desarrollado se presta para ser aplicado en el país. Los coeficientes de correlación obtenidos son favorablemente elevados. Para la duración de 4 h sólo se contó con 4 eventos; sin embargo, en este caso, el coeficiente de correlación fue el más elevado (0.9975). Para la duración de 12 h, con 6 eventos de tormentas, el coeficiente de correlación fue de 0.9847.

Una vez conocidos los parámetros de correlación y regresión para las diferentes duracio-

nes, se puede aplicar el modelo general dado en la Ecuación (6) para determinar el factor de reducción de la lluvia máxima puntual en función del área.

Se puede decir que la correlación encontrada en la información analizada explica más del 96% de los errores de estimación. Por tanto, los modelos desarrollados se pueden utilizar para estudios preliminares de tormentas en Venezuela.

Los parámetros de regresión a_D y b_D disminuyen con el incremento de la duración, pero tienden a hacerse constantes para duraciones mayores de 12 h. Sobre la base del análisis de las duraciones evaluadas, dichos parámetros se ajustan al siguiente modelo

Reemplazando las relaciones anteriores en la Ecuación (6), se encuentra la siguiente expresión para el modelo general:

$$R_D = \frac{1}{1 + 7.75 \times 10^{-4} \times D^{-0.304} A}$$

donde D es la duración de la tormenta en horas (h) y A el área de influencia en Km^2 .

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este trabajo de investigación se ha desarrollado un modelo sencillo para estimar la lluvia media sobre

Tabla 1. Resultados del análisis de correlación y regresión aplicado a las curvas Altura - Área - Duración de tormentas en Venezuela (el segundo número de cada casilla es la desviación estándar del parámetro).

Duración en horas	Parámetro a	Parámetro b	Coefficiente de correlación R	Número de eventos	Observaciones
1	0.0277 0.0166	0.00002401 0.00001874	0.9817	38	
2	0.0181 0.0108	0.00001286 0.00000845	0.9839	34	
3	0.0140 0.0072	0.00000950 0.00000700	0.9873	34	
4	0.0141 0.0401	0.00000677 0.00000427	0.9975	4	
6	0.0100 0.0044	0.00000528 0.00000382	0.9855	47	
9	0.0103 0.0042	0.00000465 0.00000393	0.9844	15	
12	0.0124 0.0044	0.00000238 0.00000162	0.9847	6	

exponencial, de uso general para cualquier duración dentro del rango de 1 a 12 h.:

$$a_D = 0.0258 D^{-0.471}, \text{ con un coeficiente de correlación de } r = -0.805$$

$$b_D = 2 \times 10^{-5} D^{-0.7749}, \text{ con un coeficiente de correlación de } r = -0.789$$

donde D es la duración de la tormenta en h.

el área, a través de la modelación regional del Factor de Reducción de la lluvia puntual como una función de la duración de la tormenta y de su área de influencia.

Se recomienda utilizar los modelos desarrollados para estimaciones preliminares. Cuando se disponga de más información confiable, se debe re-evaluar la aplicabilidad de los modelos.

6. AGRADECIMIENTO

Este trabajo constituye parte de los resultados de un proyecto más amplio sobre tormentas tropicales financiado por el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad de Carabobo.

7. REFERENCIAS

- [1] Court, A. (1961): "Area" - Depth Formulas, J. Geophys. Res., 66(6), 1823 – 1831.
- [2] Guevara E., y Cartaya H. (1991): "Hidrología". Una introducción a la hidrología aplicada. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad de Carabobo, Valencia - Venezuela.
- [3] Nicks, A. D., and F. A. Igo (1980): "A Depth" - Area - Duration Model for Storm Rainfall in the Southern Great Plains. WRR 16(5), 939 - 945.
- [4] Renard, K G., and D. L. Brakensiek (1976): "Precipitation on intermountain rangeland in the western United States". Paper presented a the Fifth Workshop of USA/Australia Rangeland Panel. Watershed Manege on Range and Forest Lands, Logan, Utah 1976.