



<https://www.abebooks.com/9783659033742/Crecimiento-camar%C3%B3n-factores-hidrol%C3%B3gicos-relaci%C3%B3n-365903374X/plp>

---

---

# Regionalización de Parámetros Hidrológicos: Aplicación para Intensidad Media de Precipitación

---

---

Acosta C. Pedro Mauricio  
Caro C. Carlos Andrés

# Regionalización de Parámetros Hidrológicos: Aplicación para Intensidad Media de Precipitación

ACOSTA C. Pedro Mauricio  
Universidad Santo Tomas-Tunja  
Pedro.acosta@usantoto.edu.co

CARO C. Carlos Andres  
Universidad Santo Tomas-Tunja  
Decano.civil@usantoto.edu.co

*Resumen: Este artículo presenta la regionalización de curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF) para Boyacá, Colombia, que comprende dieciséis centros poblados, incluida la capital del departamento, Tunja. La regionalización se realizó a través de la interpolación de intensidad media de precipitación, en tanto la interpolación de datos se realizaron con la asistencia del software ArcGIS. Para el desarrollo del proyecto se buscó la opción que proporcionara un mayor grado de confiabilidad y que permitiera determinar cuál de las opciones y formas de regionalizar es la mejor. Como resultado final se realizaron mapas de isolíneas; en el caso de la regionalización por intensidades, cada mapa se asocia a diferentes periodos de retorno y duración, a fin de poder construir curvas IDF en la zona de estudio.*

*Palabras clave: regionalización, intensidad media de precipitación, hidrología.*

*Abstract: This research presents the regionalization of IDF curves for the department of Boyacá, Colombia, comprising 16 population centers, including the provincial capital, Tunja. For regionalization was performed by interpolating average intensity of precipitation. Regionalization and interpolation of data were performed with the assistance of ArcGIS software. Within the development of the project the best choice to provide a level of reliability such that to determine which of the options and ways to regionalize is best sought. The end result isolines maps were made in the case of regionalization intensities, each map is associated with different return periods and duration in order to build IDF curves in the study area.*

*Keywords: regionalization, average intensity of precipitation, hydrology.*

## 1. Introducción

La construcción de las curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF) es de suma importancia para el óptimo diseño de diferentes estructuras de tipo hidráulico, que en su gran mayoría están dirigidas a la evacuación, la vigilancia, el registro y el control de eventos de precipitación, mediante obras como alcantarillados, desagües viales, presas, jarillones y canales. Con estas curvas se obtiene la intensidad de precipitación, asociada a una duración de evento y un periodo de retorno; datos son utilizados para el diseño hidráulico de las estructuras antes mencionadas.

Ya que generalmente esta información se obtiene de manera puntual para el sitio donde se encuentra la estación pluviográfica o hidrometeorológica, resulta de gran importancia aplicar una metodología práctica, con el fin de determinar las curvas en sitios que no cuentan con instrumentación. En razón de lo anterior, se plantearán diferentes alternativas, y para ello se utilizarán dos métodos de construcción de las curvas que a su vez permitan la regionalización.

Para la realización de este proyecto se tomó el departamento de Boyacá, Colombia, particularmente la zona limitada por los municipios de Tunja, Pesca, Toca, Aquitania, Paipa, Cómbita y Cucaita, debido a que esta zona geográfica cuenta con estaciones meteorológicas con pluviógrafos y una cantidad significativa de registros históricos de precipitación.

## 1. Referentes

### Curvas de intensidad, duración y frecuencia:

Las curvas IDF son aquellas resultantes de la unión de puntos específicos de la intensidad media o profundidad, en intervalos de diferente duración, y pertenecientes a su vez a una misma frecuencia, también llamada *periodo de retorno*. Los datos se representan a manera de gráfica en un plano cartesiano, en el que se muestra una serie de curvas, una para cada uno de los periodos de retorno (Cabrera, 1987). La duración está situada en el eje horizontal, y en el eje vertical van las intensidades.

### Regionalización de las curvas IDF

La regionalización se apoya en el concepto esencial de homogeneidad hidrológica en una región, es decir, dividir la zona de estudio en regiones cuyas características climáticas, orográficas, etc., sean similares (homogeneidad estadística). Desde esta noción se han desarrollado diferentes métodos, entre ellos la regionalización de características medias de la cuenca, encaminadas a regionalizar parámetros que permiten evaluar eventos máximos para diferentes periodos de retorno, en lugares donde no es posible acceder a información de este tipo; para este caso, estaciones pluviográficas. Adicionalmente, se dispone de variables geomorfoclimáticas de apoyo de fácil medición.

Los estudios sobre regionalización de curvas IDF en Colombia son prácticamente nulos. Existe únicamente un método que fue avalado por el Instituto Nacional de Vías (Invías), donde el país es caracterizado en zonas o regiones con comportamiento similar en cuanto a precipitaciones. Este método, como se mostrará en el análisis posterior, muestra mayores resultados de intensidad, asociados a un periodo de retorno hasta en un 300%.

La regionalización de las curvas IDF permite inferir que se deben relacionar espacialmente tres parámetros: la intensidad media de precipitación, la duración del evento y la frecuencia de ocurrencia o periodo de retorno. Así, en este caso es necesario buscar alternativas para poder lograr la interrelación de estos tres parámetros en mapas típicos de la regionalización.

### Aplicación de la regionalización

La regionalización de parámetros hidrológicos es muy útil, puesto que hay lugares o zonas de los que no se tiene información puntual, debido, normalmente, a que no hay instrumentación para medir algún tipo de parámetro. Es el caso de la precipitación, ya sea medida como evento diario totalizado (pluviómetro) o como un evento registrado en tiempo real (pluviógrafo).

Si bien se sabe la importancia que tiene la utilización de las curvas IDF a la hora de realizar cualquier obra que tenga relación directa con el ámbito hidrológico o hidráulico, no se cuenta con estaciones en todas

partes, sino con un determinado número en zonas específicas; pero conviene preguntarse: ¿qué pasa cuando se requiere realizar una obra hidráulica y no existe información de precipitación del sitio?

La regionalización es una solución a la falta de información de este tipo, ya que con la triangulación, interpolación y extrapolación de estaciones, y con los datos proporcionados por las estaciones pluviográficas, se puede obtener un estimado del comportamiento en un sitio determinado donde no se cuenta con dicha información. Por esto es de suma importancia buscar alternativas que permitan que esta regionalización arroje datos confiables, es decir, que su porcentaje de diferencia, comparado con una misma estación, sea confiable o, mínimo, sea comparado con otro método.

Actualmente es sabido que para una obra hidráulica no basta con valerse de la información de la estación pluviográfica más cercana, dado que son muchas las variables que hacen que este comportamiento varíe respecto a la distancia; por esto, la regionalización busca hacer una aproximación, sin pretender que sea completamente confiable, pero proporcionando una visión más acertada del comportamiento de la precipitación en esta zona. Con ello se corren menos riesgos que al asumir información errónea de un sitio diferente evaluado.

## 2. Descripción de la investigación

Una de las bases que cimientan el diseño de estructuras o sistemas de carácter hidráulico en general, así como el diseño de un drenaje urbano, es la obtención del evento o los eventos de precipitación que deben usarse. Generalmente es utilizada una tormenta de diseño, es decir, un evento crítico y representativo de la región o del sitio puntual en que se proyecta implantar el diseño; o algunas veces se toma un evento que relacione una interacción entre intensidad de lluvia o profundidad, la duración y las frecuencias o periodos de retorno consecuente en el sitio de ejecución o implantación del proyecto.

En el territorio nacional es posible encontrar en gran cantidad de estaciones hidrometeorológicas con pluviógrafo, que cuentan con curvas IDF construidas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (Ideam), a partir de la información histórica de eventos de precipitación; sin embargo, estas curvas no son

proporcionadas de manera gratuita: el valor ronda los 300 dólares. El método de construcción de las curvas se da por medio de Gumbell y momentos ordinarios, utilizando papel probabilístico.

La información que arrojan las curvas IDF se presenta generalmente con la duración en el eje horizontal y la intensidad en el eje vertical. Se muestran así una serie de curvas para cada uno de los periodos de retorno de diseño. Estas IDF son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o periodo de retorno. Junto con la definición de las curvas, surgen otros elementos por considerar, como son la intensidad de precipitación, la frecuencia o la probabilidad de excedencia de un determinado evento.

Este proyecto tiene por delimitación geográfica una zona situada en Boyacá, Colombia. Allí se encuentran ubicadas siete estaciones pluviográficas que cuentan con información suficiente: alrededor de 18 a 25 años de registros históricos de precipitación. La zona de estudio es un franja pequeña de aproximadamente 2622 km<sup>2</sup>, dentro de la que se encuentran 23 centros poblados o municipios, incluida la capital de este departamento, Tunja. Es importante resaltar que en Boyacá particularmente no se han llevado a cabo estudios ni investigaciones como esta.

En primera instancia se adquirió la información pluviográfica de las siete estaciones con las que cuenta la zona centro del departamento. Se analizaron cerca de 800.000 datos, lo que implicó el paso de los datos gráficos a datos numéricos y luego a su sistematización. Para obtener las curvas IDF para cada una de las siete estaciones seleccionadas, la construcción de estas se realizó por medio de la distribución de probabilidad tipo I o Gumbell, y la obtención de los parámetros se hizo por medio del método de momentos ordinarios y máxima verosimilitud. Asimismo se llevó a cabo el análisis de las diferentes posibilidades de interpolación que permitan la obtención de curvas IDF para los puntos no instrumentados dentro de la zona de estudio.

Con los resultados se elaboraron mapas mediante la asistencia del *software* ArcGIS. Estos mapas muestran isolíneas entre las estaciones seleccionadas de la zona de estudio en Boyacá. Se

desarrollaron dos tipos de mapas: unos evidencian isolíneas represando valores de los parámetros  $u$  y  $\alpha$ ; los otros muestran isolíneas de intensidad de precipitación. Con ambos se puede realizar las curvas IDF, para cualquier punto geográfico dentro de la zona de estudio.

Se analizaron los métodos utilizados calibrándolos mediante modelaciones, restando estaciones y tomando mediciones de los puntos exactos en lo que se sitúan las estaciones existentes, con el fin de realizar una correlación directa y determinar la variación y a su vez el porcentaje de exactitud. Por otra parte, se realizó una comparación entre los resultados de este proyecto y los arrojados de la metodología actualmente empleada en Colombia, y desarrollada por Invías.

### 3. Localización

El proyecto se desarrolló en Colombia, en la zona centro de Tunja, donde se encuentran 16 centros poblados y algunas partes rurales de otros municipios, dentro de los cuales están enmarcados los siguientes municipios: Motavita, Chíquiza, Sora, Cucaita, Oicata, Chivatá, Toca, Siachoque, Pesca, Tota, Cómbita, Sotaquirá, Arcabuco, Samacá, Soracá, Firavitoba, Iza, Cucaita, Paipa, Tibasosa,

Tunja, entre otros. Se realizó una búsqueda de las estaciones pluviográficas que tuviesen suficiente información; así, se encontró que siete de ellas cuentan con información suficiente de 15 a 25 años de registro (tabla 1).

**Tabla 1.** Estaciones pluviográficas

Nombre	Municipio	Cordx	Cordy
UPTC	Tunja	1079142,62	1107051,33
Villa del Carmen	Samacá	1064371,65	1103348,75
Tunguavita	Paipa	1104966,14	1127364,6
Azulejos	Tuta	1095748,21	1118133,4
Potrerito	Aquitania	1125333,81	1097906,2
Pesca	Pesca	1110546,33	1103410,08

Fuente: autores.

### 4. Regionalización por Intensidades

Una vez obtenida la información primaria, referente a las curvas IDF y, específicamente, a los parámetros de ajuste ( $u$  y  $\alpha$ ), se procede a organizarla de forma tal que se pueda manejar de óptimamente. Se consigna luego la información de cada estación para un periodo de retorno dado, con sus respectivas duraciones, para así tener mayor claridad del comportamiento y la variabilidad de las intensidades entre las estaciones. Las tablas quedan organizadas de la siguiente manera (solo se muestra la información de una de las tablas como ejemplo).

**Tabla 2.** Intensidades de precipitación para dos años

Nombre	Mun	10 min	20 min	30 min	60 min	120 min	180 min	220 min	280 min	320 min
UPTC	Tunja	31,99	26,19	22,72	14,70	7,82	5,72	4,67	2,95	2,13
Villa del Carmen	Samacá	28,02	21,93	18,09	12,45	7,53	5,21	4,11	3,16	2,35
Tunguavita	Paipa	64,16	47,92	39,41	24,00	14,41	10,52	9,11	7,33	6,56
Azulejos	Tuta	26,91	19,52	15,52	9,99	5,95	3,97	2,88	2,08	2,35
Potrerito	Aquitania	20,42	15,48	12,45	8,96	6,31	4,96	4,11	2,79	2,51
Pesca	Pesca	22,50	18,67	16,69	12,36	7,75	4,85	3,99	3,17	1,64
Tota	Tota	30,98	25,52	22,38	15,73	9,69	6,51	4,86	3,31	2,82

Fuente: autores.

Inicialmente, lo que se realizó para este proyecto, una vez obtenida y organizada la información primaria, fue demostrar que la metodología de regionalización por intensidades fuera válida y analizar bajo qué condiciones se podía trabajar con estas. Esto nos remite a la utilización y el manejo del factor de ponderación ( $m$ ); se utiliza para este factor un valor de 2.

Para realizar esta comprobación fue necesaria la validación del método para una estación con

información real conocida, para así poder establecer un comportamiento de dicho método y decidir si es o no posible trabajar con su metodología. A fin de validar la información, se procedió a suprimir de las tablas anteriores la información de intensidad de precipitación de la estación de la UPTC Tunja, y subir la información al *software* ArcGIS, para proceder a realizar la validación. En resumen, lo que se pretende al suprimir la estación es comprobar la curva IDF que posee esta estación, al compararla con la que se logre construir a partir de la interpolación.



Para hacer la lectura de la intensidad de precipitación en los mapas de isolíneas, es necesario ingresar las coordenadas de la estación o el punto en el cual se va a realizar la lectura; una vez asignadas las coordenadas, se muestra en forma de punto. Posteriormente, se genera el mapa de isolíneas correspondiente a cada periodo de retorno y cada duración. Al generar estos mapas de isolíneas, en ocasiones no se corta con exactitud el punto de interés, y ahí es cuando nos valemos de la herramienta Contour, que permite generar contornos cada vez que sea necesario, para así poder leer con mayor precisión el valor de la intensidad.

Para este caso, que se regionaliza por intensidades, se generaron mapas de isolíneas para cada periodo de retorno y sus respectivas duraciones; con ello se generó un total un total de 72 mapas de isolíneas para la construcción de la curva IDF de la estación de Tunja, por el método IDW, utilizando un factor de ponderación  $m = 2$ .

Luego de realizar los 72 mapas de isolíneas correspondientes, se procede a realizar la tabulación de los datos, para con esta información poder generar la correspondiente curva IDF y ver la variación de los datos obtenidos con los que originalmente se tenían por el método de construcción en la estación de la estación de la UPTC.

## 5. Conclusiones

Para el caso de la regionalización por intensidades, se debe leer cada valor para obtener la información de las curvas IDF del sitio de interés. Para tal fin se deben tomar 72 datos en total; en contraparte, en la regionalización por parámetros se necesita obtener la lectura de datos de  $u$  y  $\alpha$ , que en total son 18 mapas, 9 para  $u$  y 9 para  $\alpha$ .

Al regionalizar los datos de intensidades obtenidos por EVI-OM, se presentaron mayores porcentajes de error comparado con EVI-ML; esto se debe a que el método de momentos ponderados por probabilidad (ML) realiza un cálculo del parámetro a partir del observado en momentos ordinarios (OM). Al utilizar un factor de ponderación  $m = 3$ , para duraciones de 60 a 320 min, se presentan los menores porcentajes de error en comparación con todas las metodologías. Estos valores aumentan y son considerablemente elevados en duraciones que van de 180 a 320 min.

Es importante resaltar la importancia de esta investigación en la confrontación del método simplificado utilizado por Invías en construcción de curvas IDF. Puesto que aquí se presenta una propuesta más cercana a los valores reales de intensidad, adicionalmente, constituye una opción para que esta misma investigación se realice en el ámbito nacional y se genere un aplicativo para la obtención de las curvas IDF en Colombia.

En general, el número de estaciones es aceptable debido a la extensión que abarca la zona de estudio, pero es importante resaltar que si se contara con más estaciones o más información pluviográfica dentro de la zona de estudio, las triangulaciones e interpolaciones serían más exactas, lo que traduce en una mejor descripción de los comportamientos típicos de zonas puntuales donde se busque hallar los valores de intensidad.

Los resultados de este trabajo investigativo son útiles y aplicables, y se ven evidenciados en la construcción de las curvas IDF para los municipios de Motavita, Chíquiza, Sora, Cucaita, Oicatá, Chivatá, Toca, Siachoque, Pesca, Tota, Combita, Sotaquirá, Arcabuco, Samacá, Tunja, Soracá, Firavitoba, Iza y Tibasosa.

## 6. Referencias

- Barrientos, M. (s. f.). 3D Analyst. Arctoolbox: Guía rápida de herramientas. Recuperado de <http://goo.gl/wUCYco>
- Cabrera, J. A. (1987). *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en peauñas cuencas naturales*. Madrid: Alanmer.
- Castellanos, P. M. (2008). *Determinación de curvas IDF a partir de información histórica para zonas sin instrumentación*. *Inteknia*, 3(7), 61-72.
- Dávila, E. G. (2009). *Fórmulas regionales para la estimación de curvas intensidad-frecuencia duración basadas en las propiedades de escala de la lluvia (región Andina colombiana)* (tesis de maestría). Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Durrans, S. y Kirby, J. (2004). Regionalization of extreme precipitation estimates for the Alabama rainfall atlas. *Journal of Hydrology*, 295(1), 101-107.

- Estadística hidrológica análisis de tormentas extremas. (s.f.). maestría en ingeniería sanitaria FIUBA, (pág. 27).
- Estadística hidrológica análisis de tormentas extremas curvas idf hietogramas de diseño. (s.f.).
- Fallas, J. (2007). *Modelos digitales de elevación: teoría, métodos de interpolación y aplicaciones*. San José de Costa Rila: Mapealo.com
- Fornaguera, A. D. (2008). *Automatización del Pluviógrafo P-2*. La Habana: Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”.
- García, V. E. (2010). *Introducción a los sistemas de información geográfica para la administración de la información catastral*. Guatemala, Chiquimula.
- Instituto Nacional de Vías (Invías) (2009). *Manual de drenaje para carreteras*. Bogotá: Autor.
- Mijares, F. J. (1989). *Fundamentos de hidrología en superficie*. Ciudad de México: Limusa.
- Morán, W. C. (1980). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. Lima: Concytec.
- Mesa Sánchez, Ó. J. (2002). Regionalización de características medias de la cuenca con aplicación en la estimación de caudales máximos. *Memorias XX Congreso Latinoamericano de Hidráulica IAHR*. La Habana.
- Pérez, G. (s. f.). Los elementos de la regionalización y la influencia de la planificación. Recuperado de <http://goo.gl/aqfbEQ>
- Sáenz, G. M. (1995). *Hidrología en la Ingeniería*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería
- Tapia, R. P. (2001). *Análisis comparativo de las curvas intensidad duración frecuencia (IDF) en 6 estaciones pluviográficas (VII región del Maule, Chile)*. Chile: Universidad de Talca.
- Téllez, E. A. (2008). Estimación e interpolación. Recuperado de <http://goo.gl/AHHY81>
- Ven Te Chow, D. R. (1994). *Hidrología aplicada*. Bogotá: McGraw-Hill.
- Zamanillo, E. A. (2008). *Procedimientos para la estimación de tormentas de diseño para la provincia de entre ríos*. Buenos Aires: Universidad Tecnológica Nacional.