MATEMÁTICA
ESPOL - FCNM JOURNAL
2021, Vol. 19, No. 1 Enero - Junio

Análisis de regresión para la obtención de las curvas de intensidad, duración y frecuencia de lluvias para la cuenca del río Rocafuerte

Regression analysis to obtain the curves of intensity, duration and frequency of rain for the Rocafuerte river basin

Jorge Mendoza y Antonio Campos

Recepción: 12/11/2020 **Aceptación:** 18/01/2021 **Publicación:** 31/01/2021

Abstract The management of water resources is a task that all the countries of the world approach in different ways, and this depends on the state and perspective of development of natural resources. Ecuador is a country whose climatic trend is based on two maritime currents: the Humboldt and the Niño, which regulate the rain regime during all months of the year. As a trend, it should be noted that the intensity of these currents is very irregular and to some extent unpredictable.
The diversity of rainfall patterns varies in the hydrographic demarcations of Ecuador, depending on their location and characteristics of the soils in terms of uses and vegetation cover. The objective of this work is aimed at obtaining the intensity, duration and frequency curves of one of the micro-basins of the Manabí River Basin, called Rocafuerte.
For this purpose, the rainfall data from the National Institute of Meteorology and Hydrology of Ecuador (INAMHI) corresponding to the period 1964-2019 were used. The records used correspond to the maximum rainfall in 24 hours. As an initial task, the missing data was filled in, then with the complete data, the maximum values in 24-hour rains were chosen for each of the years considered.
These data were processed following the Pearson type III methodology, for the respective extrapolation that allowed us to determine rainfall values corresponding to longer return periods, finally, using least squares, the respective calculations were made to obtain the curves of Intensity, Duration and Frequency for 9 return periods.
Keywords duration and frequency of rains, INAMHI, intensity, maximum daily rainfall.

Jorge Jhonny Mendoza Cedeño, Mgtr.(c) en Estadística: Mención Estadística Aplicada
Estudiante, Universidad Técnica de Manabí, Instituto de Postgrado, Portoviejo - Av. 5 de Junio, Manabí, Ecuador, e-mail: jorgejhonny2001@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-1668-9194

Antonio Fermín Campos Cedeño. Ph.D.
Docente, Universidad Técnica de Manabí, Departamento de Construcciones Civiles, Portoviejo - Calle Francia e Inglaterra, Manabí, Ecuador, e-mail: arcangelitok@yahoo.com, https://orcid.org/0000-0003-4266-5169

Resumen El manejo de los recursos hídricos es una tarea que abordan todos los países del mundo de manera diversa y está en función del estado, así como de la perspectiva de desarrollo de los recursos naturales. El Ecuador es un país cuya tendencia climática depende de dos corrientes marítimas: la de Humboldt y la del Niño, mismas que regulan el régimen de lluvia durante todos los meses del año. Como tendencia cabe indicar que la intensidad de estas corrientes es muy irregular y hasta cierto punto impredecible.
La diversidad de los patrones de lluvia varía en las demarcaciones hidrográficas del Ecuador, de acuerdo a su localización y características de los suelos en lo que se refiere a usos y cobertura vegetal. El objetivo de este trabajo se orienta a obtener las curvas de intensidad, duración y frecuencia de una de las microcuencas de la Demarcación Hidrográfica de Manabí, denominada Rocafuerte.
Para el efecto, se emplearon los datos de lluvia del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI) del periodo de 1964-2019. Los registros utilizados corresponden a las precipitaciones máximas en 24 horas. Como tarea inicial se hizo el llenado de datos faltantes, luego con los datos completos, se escogieron los valores máximos en lluvias de 24 horas para cada uno de los años considerados.
Estos datos fueron procesados siguiendo la metodología de Pearson tipo III, para la extrapolación respectiva que permitió determinar valores de lluvias correspondientes a periodos de retorno mayores. Finalmente, empleando el método de los mínimos cuadrados se hicieron los cálculos necesarios para obtener las curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia para 9 periodos de retorno.
Palabras Claves duración y frecuencia de lluvias, INAMHI, intensidad, precipitaciones máximas diarias.

1 Introducción

Dentro de las ciencias, la tendencia de desarrollo consiste en perfeccionar los métodos existentes o contribuir con nuevos métodos y tecnologías para dar solución a los problemas del hombre y del medio en general. El objetivo principal de la presente investigación consiste en obtener las curvas de intensidad, duración y frecuencia para el territorito de la cuenca del río Rocafuerte.

En este trabajo de investigación se tiene como objeto de estudio al cantón Rocafuerte, que es un territorio de gran potencial de desarrollo agro-socioeconómico, pero que tiene grandes deficiencias en el manejo de sus recursos hídricos debido al déficit de agua y a la falta de infraestructura para el almacenamiento del líquido en el periodo lluvioso (Campos-Aranda, 2010).

Entre las demarcaciones hidrográficas del Ecuador, que en su total son 9, resalta la demarcación hidrográfica de Manabí por ser un territorio que no recibe aporte del deshielo de la cordillera de los Andes. Al interior de esta demarcación se tienen 24 unidades administrativas con condiciones climáticas similares. Entre ellas resalta el

cantón Rocafuerte, que es un territorio que tiene una superficie de 280.4 km^2; en esta investigación se estiman variables relacionadas con la Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF) de las lluvias para esta zona.

Durante el proceso se emplearon métodos estadísticos para el llenado de datos faltantes de los registros correspondientes a los periodos 1964-2019. Para la extrapolación de datos se empleó la metodología de Pearson tipo III (Pizarro, Abarza, Cesar, y Jordán, 2003; Acosta Castellanos y Sierra Aponte, 2013).

Los periodos de retornos considerados en el estudio corresponden a 2, 3, 5, 10, 20, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años para duraciones de lluvias de hasta 24 horas (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador, INAMHI, 2015).

Se realza que la novedad de este trabajo consistió en la obtención de 11 ecuaciones de intensidad de lluvia, a través de las curvas IDF, mismas que se recomiendan ser empleadas en la estimación de la escorrentía superficial en el territorio del cantón Rocafuerte (Huertas y Muñoz Barragán, 2018).

2 Insumos y Aspectos Metodológicos

Como insumo principal para el desarrollo de este trabajo investigativo se emplearon los registros pluviométricos de precipitaciones máximas en 24 horas registrados en la estación meteorológica Rocafuerte (M165), para el periodo comprendido en los años 1964 y 2019. Esta información fue proporcionada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) (Ismaiylov y Perminov, 2013). El total de registros de precipitaciones máximas en 24 horas empleados asciende a la cantidad de 672, correspondientes a los 12 meses de los 56 años, comprendidos en el periodo antes indicado.

La estación meteorológica del estudio se encuentra localizada en la cuenca del río Rocafuerte, la cual corresponde a la estación de Rocafuerte con código (M165), localizada en las inmediaciones de este cantón, en las coordenadas 561349.93, 9905400.22 (Figura 1).

Como estudio previo se hizo la revisión de trabajos ejecutados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), como son los estudios de lluvias intensas llevados a cabo en los años 1999 y 2015 (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador, INAMHI, 2015), y que, en dichos estudios el INAMHI obtuvo una serie de ecuaciones para la estimación de las intensidades de lluvia en función del periodo de retorno (Soriano Pacheco y García Lopez, 2015).

Esta investigación es un complemento a trabajos realizados anteriormente, extendiéndose el periodo de análisis hasta el año 2019, muy útiles al momento de calcular la escorrentía, producto del drenaje de las aguas lluvias (Golian, Saghafian, Elmi, y Maknoon, 2011).

La metodología empleada implicó: a) Selección de las estaciones meteorológicas (Mendez y Rodríguez, 2013; Secretaría de Gestión de Riesgos, 2014), b) Recolección de la información requerida, c) Análisis de consistencia de datos, d) Llenado de datos faltantes en las series (Chereque Morán, 1989), e) Análisis de va-

riabilidad, f) Elaboración de la curva de probabilidades (Krochin, 1968; Parvez y Inayathulla, 2019; Rumyantsev, 1992), g) Estimación de intensidades de lluvia (Chow, Maidment, y Mays, 1988); y. h) Obtención de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF).

El soporte informático empleado en la elaboración del artículo incluye, Microsoft Excel para los cálculos rutinarios y para la graficación de las curvas IDF; Microsoft Word, para el levantamiento del texto y el programa QGIS para la elaboración de mapas y la georreferenciación de los sitios de interés.

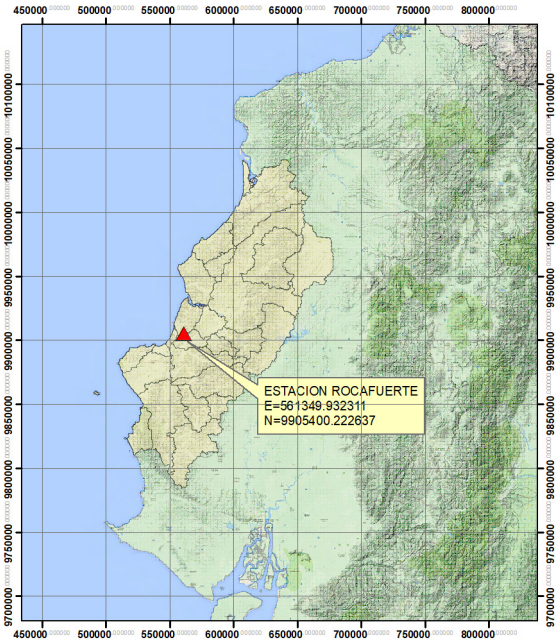

Figura 1: Localización de la zona de estudio
Fuente: Elaboración propia

El llenado de datos faltantes se llevó a cabo mediante el método de regresión ortogonal, donde se tomó como estación índice a la estación pluviométrica de Portoviejo (M005). El modelo de regresión aplicado en esta fase fue: $Y = a + bX$.

Se requiere, con la ayuda del método de los mínimos cuadrados, determinar cierto coeficiente λ, mediante la resolución de la ecuación cuadrática:

$$\lambda^2 - \left(\sigma x^2 + \sigma y^2\right)\lambda + \left(\sigma x^2 \sigma y^2 - [\sigma xy]^2\right) = 0$$

Se debe cumplir la condición:

$$\lambda_1 > \lambda_2 > 0$$

Como convencionalismo a la serie completa se la denomina “serie índice” y se la representa por X, y a la que le faltan datos, se la llama “serie incompleta”, a la que se le asigna la nominación Y. La pendiente de la línea de regresión se la determina por:

$$m = \frac{\sigma_{XY}}{\lambda_1 - \sigma_Y{}^2}$$

Donde:

$$\sigma_x{}^2\, \sigma_y{}^2 = \text{Varianzas para las series } X \text{ y } Y$$
$$\sigma_{XY} = \text{Covarianza}$$

Finalmente, la fórmula para el cálculo de los datos faltantes es:

$$Y = a + bX$$

Donde:

a y b Son coeficientes que se calculan con las fórmulas:

$$a = \bar{Y} m \bar{X}$$
$$b = m$$

Donde:

$$\bar{X} = \text{Valor medio de las observaciones } X$$
$$\bar{Y} = \text{Valor medio de las observaciones } Y$$

En el caso cuando la línea de regresión intersecta al eje de la X en el punto $X_0 > 0$, para todos $X < X_0$, los valores de las magnitudes Y serán negativos, por lo que, para resolver esta contradicción, se recomienda utilizar para rellenar los datos, la expresión:

$$Y = \bar{Y}^{\left(\frac{X}{\bar{X}}\right)^{\left(\frac{m\bar{X}}{\bar{Y}}\right)}}$$

Con la ayuda de las precipitaciones máximas en 24 horas, obtenidos con el análisis de distribución de Pearson Tipo III, se llevó a cabo la extrapolación de datos para la obtención de valores de intensidad correspondientes a periodos de retorno a 2, 3, 5,10, 20, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años (Acosta Castellanos y Sierra Aponte, 2013), los cuales, con la ayuda de la curva de probabilidades, sirvieron de base para la elaboración de las respectivas curvas IDF. Las fórmulas principales empleadas con la metodología de Pearson Tipo III, se indican a continuación:

$$x = \bar{x}\,(1 + TC_v) \tag{1}$$

Donde:

x : Evento (precipitación) para periodo de retorno específico, [mm]

$\bar{x}$: Media aritmética de registros, [mm]

T : Coeficiente de Foster-Rybkin (Teoría de las probabilidades)

C_v : Coeficiente de variación.

Las ecuaciones para la determinación de las intensidades de lluvia se obtuvieron mediante el análisis del método de los mínimos cuadros, donde se muestra la siguiente expresión matemática:

$$i = \frac{a}{b + t} \tag{2}$$

Donde:

i : Intensidad de lluvia, [mm/h]

t : Duración de lluvia, [min]

a y b : Coeficientes según el periodo de retorno.

3 Resultados esperados

En concordancia con la metodología indicada, se procesaron los datos con la consecuente obtención de las ecuaciones de intensidad para el cantón Rocafuerte, las cuales son el soporte matemático para la obtención de las curvas IDF de dicha zona.

El análisis de regresión efectuado, donde se tomó como estación índice Portoviejo y como estación de datos faltantes, a la de Rocafuerte; permitió el llenado de datos faltantes para la estación de Rocafuerte. El modelo utilizado fue $Y = a + Bx$, modelo descrito en la sección 2. Insumos y Aspectos Metodológicos, con el cual se obtuvo un coeficiente de correlación de $R = 0{,}81$, este valor indica que dichas estaciones tomadas, muestran una funcionalidad entre los datos, por lo tanto, es aceptable el llenado de datos.

En la Figura 2 se indica la serie temporal de la variabilidad de las precipitaciones máximas anuales observadas en 24 horas para la estación Rocafuerte. Se puede ver que existe una gran no-uniformidad en los valores analizados, lo cual cuantitativamente se evidencia con el cálculo del coeficiente de variación, el cual alcanzó un valor de 0.44.

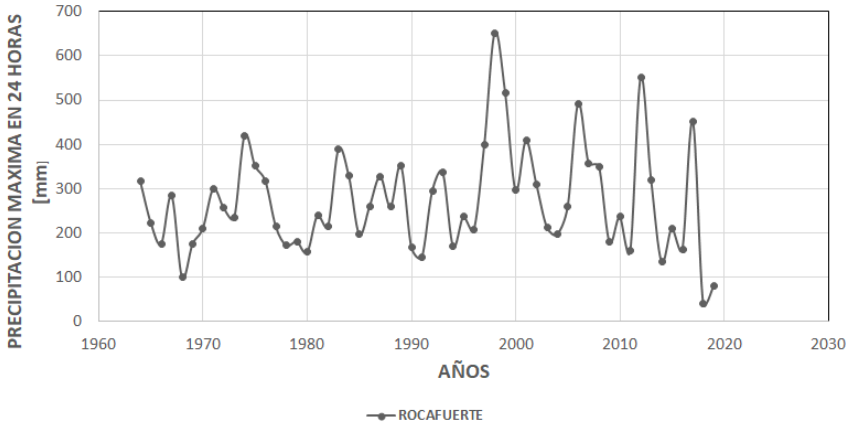

Figura 2: Serie temporal de precipitación máximas en 24 horas
Fuente: Elaboración propia

Tabla 1: Coeficientes de las ecuaciones de lluvia – Estación Rocafuerte

Tr [años]	a	b
1000	40637.3176	128.1165747
500	33466.00454	128.1165747
200	30119.39177	128.1165747
100	24966.67054	128.1165747
50	22523.11201	128.1165747
25	15723.64481	128.1165747
20	14554.98639	128.1165747
10	13598.81131	128.1165747
5	12005.18619	128.1165747
3	8711.694264	128.1165747
2	7808.640026	128.1165747

Fuente: Elaboración propia

En las Tablas 1 y 2 se despliegan los resultados obtenidos por los autores, con la ayuda del método de mínimos cuadrados se obtienen los coeficientes de las ecuaciones de intensidad de lluvia para los periodos de retorno correspondientes a 2, 3, 5,10, 20, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años para la estación Rocafuerte.

Para la siguiente estación Rocafuerte, aplicando las ecuaciones obtenidas, se estimaron valores diversos de intensidades de lluvia que van de 5 a 120 minutos, valores

Tabla 2: Intensidades de lluvias para estación Portoviejo-UTM [mm/h]

	Tiempo de retorno (años)										
t (minutos)	1000	500	200	100	50	25	20	10	5	3	2
0	317.19	261.22	235.09	194.87	175.80	122.73	113.61	106.14	93.71	68.00	60.95
5	305.28	251.40	226.26	187.55	169.20	118.12	109.34	102.16	90.19	65.44	58.66
10	294.22	242.30	218.07	180.77	163.07	113.84	105.38	98.46	86.92	63.07	56.54
15	283.95	233.84	210.45	174.45	157.38	109.87	101.70	95.02	83.88	60.87	54.56
30	257.01	211.65	190.49	157.90	142.45	99.44	92.05	86.00	75.93	55.10	49.39
45	234.74	193.31	173.98	144.22	130.10	90.83	84.08	78.55	69.35	50.32	45.11
60	216.02	177.90	160.11	132.72	119.73	83.58	77.37	72.29	63.82	46.31	41.51
120	163.78	134.88	121.39	100.62	90.78	63.37	58.66	54.81	48.39	35.11	31.47

Fuente: Elaboración propia

que oscilan entre 31.47 a 317.19 mm/h. Estos resultados al detalle se concretan en la Tabla 2.

Las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) se encuentran graficadas en la Figura 3. En el gráfico se presentan 3 variables, que se deben tener en cuenta para la planificación, diseño y control de los recursos hídricos, siendo estas: la intensidad de lluvia, la duración de la tormenta con su respectiva frecuencia en el tiempo (Ling, 2015).

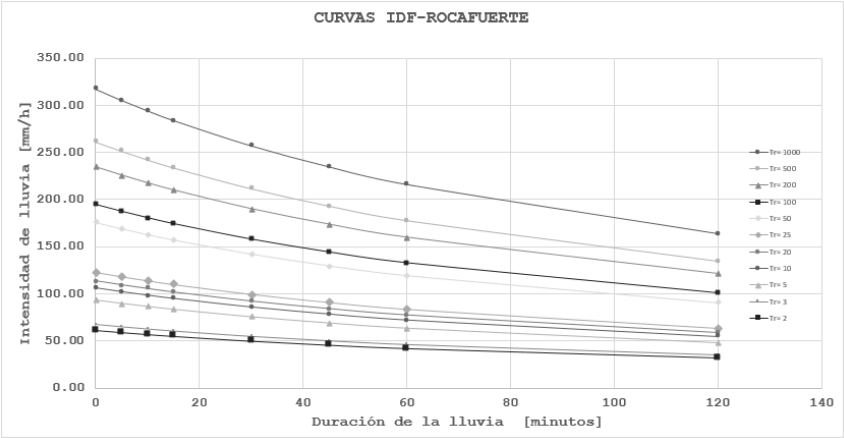

Figura 3: Curvas IDF – Estación Rocafuerte
Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidas las ecuaciones de intensidad de lluvia, para su validación, se consideraron para ambas estaciones duraciones de lluvias que van desde los 5 a 120 minutos. Para el caso de la estación de Rocafuerte (MO165).

Según el análisis de variabilidad en las series de precipitaciones máximas en 24 horas, se ha determinado históricamente que existe una gran no-uniformidad en la distribución de las precipitaciones con coeficientes de variación superiores a 0.44, lo que conlleva a la formación de picos recurrentes, estimándose en concordancia con la tendencia, que a futuro habrá un incremento en los valores de precipitación máximas en 24 horas por sobre los 90 mm.

Tabla 3: Valores porcentuales de exceso de intensidad, Invetigación - INAMHI

	Periodos de retorno (años)										
t (minutos)	1000	500	200	100	50	25	20	10	5	3	2
5	5.34	15.75	12.69	23.02	23.39	59.94	67.31	62.04	66.09	112.63	123.75
10	-11.77	-3.05	-5.61	3.04	3.35	33.96	40.14	35.72	39.11	78.09	87.41
15	-19.34	-11.37	-13.71	-5.80	-5.52	22.47	28.11	24.08	27.18	62.82	71.33
30	-28.06	-20.95	-23.04	-15.99	46.57	9.23	14.26	10.66	13.43	45.21	52.80
45	-43.00	-37.08	-38.37	-32.42	-31.90	-11.33	-7.10	-17.84	-6.93	19.55	26.13
60	-48.19	-42.81	-43.98	-38.57	-38.10	-19.40	-15.56	-17.84	-15.40	8.66	14.65
120	-55.55	-50.94	-51.95	-47.30	-46.90	-30.86	-27.56	-29.52	-27.43	-6.78	-1.65

Nota: Los valores porcentuales fueron estimados en función del exceso respecto a los valores obtenidos en la investigación.
Fuente: Elaboración propia

4 Conclusiones

El organismo gubernamental que ha liderado la ejecución de los proyectos, relacionados con la elaboración de las curvas de intensidad, duración y frecuencia ha sido el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Uno de los productos generados en este sentido, ha sido el llamado Estudio de Lluvias Intensas, cuya versión inicial salió a flote en 1999, teniendo una actualización en el 2015.

Después de haber llevado a cabo un análisis comparativo, entre los valores de precipitación máximas en 24 horas, los cuales fueron obtenidos mediante las ecuaciones propuestas por el INAMHI en el estudio de lluvias intensas (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador, INAMHI, 2015), con los obtenidos de este estudio; se ha llegado a establecer que existe una notable diferencia en los

valores de intensidad para los periodos de retorno de 2 y 3 años, notándose en valores porcentuales, que los datos del INAMHI superan a los de la investigación hasta en un 123.75 %, tal como se indica en la Tabla 3.

Se ejecutaron todos los procesos correspondientes para la obtención de las curvas de intensidad duración y frecuencia para la estación Rocafuerte, ubicada en la cuenca del río Rocafuerte. Cada uno de los gráficos consta de 11 curvas para los periodos de retorno correspondientes a 2, 3, 5,10, 20, 25,50, 100, 200, 500 y 1000 años. Estas curvas constituyen una información actualizada al año 2019 y sirven de instrumento de planificación dentro del campo del manejo y optimización de los recursos hídricos para el territorio ubicado dentro de la cuenca referida.

Se llegó a estimar que las intensidades para periodos de retorno comprendidos entre 2 a 1000 años, se encuentran en el intervalo de 31.47 a 317.19 mm/h.

La metodología aquí empleada para la obtención de las curvas de intensidad, duración y frecuencia para la estación de Rocafuerte, puede ser repetida para la obtención de curvas similares de otras localidades de la provincia de Manabí, de las demás provincias del Ecuador y otros lugares del mundo.

El análisis de regresión empleado en la presente investigación, que conllevó a la obtención de las curvas de intensidad, duración y frecuencia; constituye un insumo muy importante dentro del campo del desarrollo y optimización de los recursos hídricos, vinculados con los aportes a la cuenca de la escorrentía superficial de la zona inscrita en la cuenca del río Rocafuerte.

5 Bibliografía

Referencias

Acosta Castellanos, P. M., y Sierra Aponte, L. X. (2013). Evaluación de métodos de construcción de curvas IDF a partir de distribuciones de probabilidad y parámetros de ajuste. *Revista Facultad De Ingeniería*, *22*(35), 25. doi: 10 .19053/01211129.2512

Campos-Aranda, D. (2010). Intensidades máximas de lluvia para diseño hidrológico urbano en la República Mexicana Rainfall Maximum Intensities. *Ingeniería, investigación y tecnología*, *XI*(2), 179–188.

Chereque Morán, W. (1989). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*.

Chow, V. T., Maidment, D. R., y Mays, L. W. (1988). *Applied hydrology (letters)*.

Golian, S., Saghafian, B., Elmi, M., y Maknoon, R. (2011). Probabilistic rainfall thresholds for flood forecasting: Evaluating different methodologies for modelling rainfall spatial correlation (or dependence). *Hydrological Processes*, *25*(13), 2046–2055. doi: 10.1002/hyp.7956

Huertas, E. Z., y Muñoz Barragán, J. E. (2018). Regionalización de ecuaciones para el cálculo de curvas de intensidad, duración y frecuencia mediante mapas de isolíneas en el departamento de Boyacá. *Tecnura*, *22*(58), 53–64.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador, INAMHI. (2015). Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación. *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología*(2), 282.

Ismaiylov, G., y Perminov, A. (2013). *Balance Hídrico Mundial y Recursos Hídricos de la Tierra, Catastro del Agua y Supervisión de los Elementos Hídricos* (Inf. Téc.). Moscú.

Krochin, S. (1968). *Diseño hidráulico*. Editorial Universitaria.

Ling, L. (2015, 11). The collective visual representation of rainfall- runoff difference model. En (Vol. 9429, p. 271-282). doi: 10.1007/978-3-319-25939-0_24

Mendez, J., y Rodríguez, C. (2013). *Revisión de metodologías para la construcción de curvas IDF a partir de registros diarios de precipitación y su aplicación en el estudio de la escorrentía urbana. Caso de estudio: Canal del Virrey.* (Vol. 53; Inf. Téc. n.º 9). Colombia: Universidad Católica de Colombia.

Parvez, M. B., y Inayathulla, M. (2019). Assesment of the Intensity Duration Frequency Curves for Storms in Upper Cauvery Karnataka Based on Pearson Type III Extreme Value. *World Academics Journal of Engineering Sciences*, *6*(1), 26–46.

Pizarro, R., Abarza, A., Cesar, F., y Jordán, C. (2003). Construcción de curvas IDF(Intensidad-Duración-Frecuencia) en zonas semiáridas de Chile central. En *Xii congreso forestal mundial* (Vol. 7, pp. 1–16).

Rumyantsev, V. (1992). *Hydrological calculations in hydrotechnical constructions*. Peoples' Friendship University of Russia.

Secretaría de Gestión de Riesgos. (2014). *Anuarios Meteorológicos.* Descargado de `https://www.serviciometeorologico.gob.ec`

Soriano Pacheco, P., y García Lopez, A. (2015). *Estudio del comportamiento hidrológico e implantacion de obras de mejora para el drenaje urbano y escorrentía superficial en la zona norte de Murcia, Churra (Murcia)* (Inf. Téc.). Universidad Politécnica de Cartagena.