



*Asesorías y Tutorías para la Investigación Científica en la Educación Puig-Salabarría S.C.
José María Pino Suárez 400-2 esq a Lerdo de Tejada. Toluca, Estado de México. 7223898475*

RFC: ATI120618V12

Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores.

<http://www.dilemascontemporaneoseducacionpoliticayvalores.com/>

Año: VIII Número: 1 Artículo no.:82 Período: 1 de Septiembre al 31 de diciembre, 2020

TÍTULO: Hietograma sintético de tormenta para la microcuenca El Progreso-Portoviejo, costa ecuatoriana.

AUTORES:

1. Ing. Andrea Ninoska Mendoza-Zambrano.
2. Máster. Andy Miguel Giler-Ormaza.
3. PhD. Vicente David Vásquez Granda.
4. Máster. José Ramón Alarcón Loor.
5. Máster. Jhon Enrique Félix Mera.

RESUMEN: La importancia del presente estudio radica en la generación de patrones de tormenta que sirvan como base para el diseño obras hidráulicas y civiles. El objetivo general de esta investigación es elaborar hietogramas sintéticos en la microcuenca “El Progreso”, Portoviejo, Ecuador. La metodología utilizada se basó en métodos existentes, utilizando coeficientes de avance (r) para la posterior elaboración de los hietogramas sintéticos. Se utilizan dos fuentes de datos de diferentes años. Como resultado se tienen valores de r de 0.31 y 0.29. El pico de la lluvia se encuentra antes de la mitad de la tormenta. En futuras investigaciones se evaluará la sensibilidad de los resultados con respecto a las fórmulas de tiempo de concentración.

PALABRAS CLAVES: hietogramas sintéticos, microcuenca, coeficiente de avance, costa ecuatoriana.

TITLE: Synthetic Storm hyetograph for El Progreso microbasin, Portoviejo, Ecuadorean coastal region.

AUTHORS:

1. Ing. Andrea Ninoska Mendoza-Zambrano.
2. Master. Andy Miguel Giler-Ormaza.
3. PhD. Vicente David Vásquez Granda.
4. Master. José Ramón Alarcón Loor.
5. Master. Jhon Enrique Félix Mera.

ABSTRACT: The importance of this study lies in the generation of storm patterns that serve as the basis for the design of hydraulic and civil works. The general objective of this research is to produce synthetic hietograms in the micro-basin "El Progreso", Portoviejo, Ecuador. The methodology used was based on methods already known, using advancement coefficients (r) for the subsequent elaboration of the synthetic hietograms. Two data sources from different years are employed. As a result, two r values of 0.31 and 0.29 are found. The peak of the rain is before half the duration the storm. Future research will evaluate the sensitivity of the results with respect to the concentration time formulas.

KEY WORDS: Synthetic Hyetograph, micro-basin, advancement coefficient, Ecuadorean coastal region

INTRODUCCIÓN.

Los estudios hidrológicos parten de la necesidad de estipular crecidas en un sitio específico, prevenir inundaciones o desastres provocados por lluvias intensas y diseñar sistemas de drenaje urbano eficientes y eficaces. Es común que grandes esfuerzos se centren en los estudios

hidrológicos en zonas urbanas (P.ej. Perrín & Bouvier, 2004; USDA, 1986). En la costa ecuatoriana; y en particular, en Manabí no se conoce de estudios de este tipo.

Con respecto al insumo de la precipitación, se han desarrollado tormentas de diseño a partir de varios métodos y ecuaciones para estimación de hietogramas sintético, entre ellos la metodología del hietograma triangular, bloques alternos; método de intensidad instantánea (I_{ins}) (Chow 1994) método de Chicago (Lopes, 2016). Estas han sido ajustadas por varios investigadores. Así, por ejemplo, en el I_{ins} se han ajustado coeficientes de avance para diferentes regiones del globo (p.ej. Preul & Papdakís, 1973).

El objetivo general planteado en este Trabajo es investigar los patrones de tormenta de diseño con una duración de 15 min y un periodo de retorno de 2 años para la zona periurbana de la Ciudad de Portoviejo en la micro-cuenca “El Progreso”,. Los objetivos específicos (Oe) fueron: i) Recolectar y procesar información hidrometeorológica y geográfica base para el estudio del tema; ii) Definir una expresión de la relación IDF para el área de estudio; iii) Estimar los coeficientes de avance para la zona de estudio; iv) Elaborar hietogramas sintéticos para la selección de tormentas de diseño en la zona de estudio.

DESARROLLO.

Materiales y Métodos.

Para el desarrollo del presente estudio fue necesaria la obtención de datos de precipitación antecedente, mismos que fueron solicitados al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI). El periodo empleado fue de 6 años consecutivos (2013-2018). En la tabla 1 se detallan los datos de la estación meteorológica más cercana a la microcuenca “El Progreso” objeto de estudio.

Tabla 1. Estación Seleccionada.

Estación INAMHI	Cód.	Latitud	Longitud	Elevación
Portoviejo UTM	M005	1° 02' 15" S	80° 27' 35" W	46

Fuente: INAMHI (2014).

Varios investigadores hacen hincapié a los estudios de carácter hidrológico, sin embargo, para la presente investigación se tomaron como referencia las fórmulas dispuestas en el estudio de Preul y Papadakis (EPA, 1972), que, anteriormente fue realizado por Keifer and Chu (1957), mismas que se muestran con detalle en las tablas 2, 3 y 4.

Tabla 2. Ecuación de Intensidad Media.

Fórmula	Descripción
$iav = a/(td + b)^c$	Donde: iav: intensidad media en pulgadas por hora a, b, c: constantes a calcular para cada frecuencia seleccionada N. td: duración de la lluvia máxima en minutos

Fuente: Sherman (1931) citado por Preul y Papadakis (1973).

Tabla 3. Ecuaciones para hallar el coeficiente de avance.

Fórmula	Descripción
$P = iav td/60$	Donde: P: volumen de agua iav: intensidad media en pulgadas por hora td: duración de la lluvia máxima en minutos
$i = \frac{a [(1 - c) td + b]}{(td + b)^{1+c}}$	Donde: i: intensidad de lluvia en pulgadas por hora a, b, c: constantes a calcular para cada frecuencia seleccionada N. td: duración de la lluvia máxima en minutos

$Pb = rP \frac{ratd}{60(td + b)^c}$	<p>Donde: Pb: masa precipitada antes del pico. r: coeficiente de avance P: Volumen de agua td: duración de la lluvia máxima en minutos a, b, c: constantes a calcular para cada frecuencia seleccionada N.</p>
$A = [Pb]td = tc - [Pb]td = td$ $= \frac{r a tc}{60 (tc + b)^c} - \frac{r a td}{60 (td + b)^c}$	<p>Donde: A: masa antecedente Pb: masa precipitada antes del pico. tc: tiempo de concentración r: coeficiente de avance td: duración de la lluvia máxima en minutos a, b, c: constantes a calcular para cada frecuencia seleccionada N.</p>

Fuente: Sherman (1931) citado por Preul y Papadakis (1973).

Tabla 4. Ecuaciones para elaborar hietogramas sintéticos.

Fórmula	Descripción
$ib = \frac{a \left[(1 - c) \frac{tb}{r} + b \right]}{\left[\frac{tb}{r} + b \right]^{1+c}}$	<p>Donde: ib: intensidad de lluvia antes del pico. a, b, c: constantes a calcular para cada frecuencia seleccionada N. tb: duración antes del pico y se mide desde el pico a la izquierda. r: coeficiente de avance</p>
$ia = \frac{a \left[(1 - c) \frac{ta}{1-r} + b \right]}{\left[\frac{ta}{1-r} + b \right]^{1+c}}$	<p>Donde: ia: intensidad de lluvia después del pico. a, b, c: constantes a calcular para cada frecuencia seleccionada N. ta: duración que ocurre después del pico y se mide desde el pico a la derecha. r: coeficiente de avance.</p>

Fuente: Sherman (1931) citado por Preul y Papadakis (1973).

En base a estas fórmulas planteadas, los autores referidos bosquejaron un hietograma tipo para demostrar de manera gráfica el producto obtenido de su aplicación, este bosquejo se muestra en la figura 1.

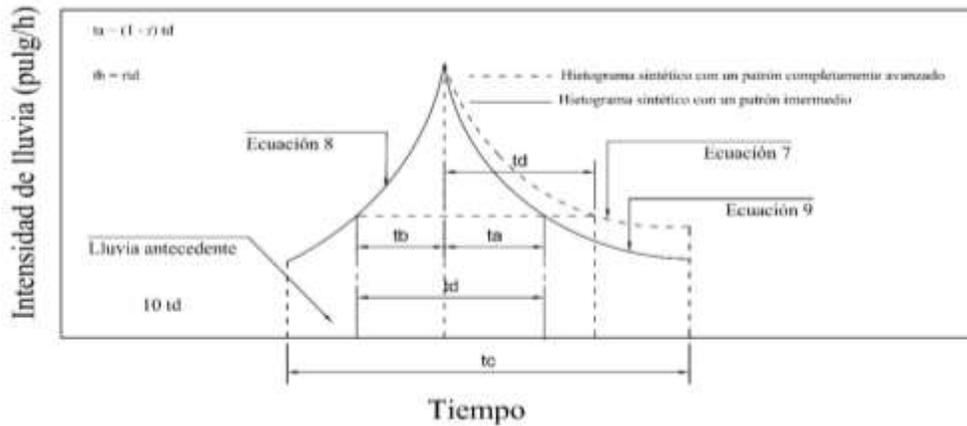


Figura 1. Patrones de tormenta completamente avanzados e intermedios por Preul y Papadakis (1973).

La particularidad de este estudio enfoca una comparación del proceso anteriormente explicado mediante las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia de los estudios de tormentas intensas dispuestos por la Agencia de Cooperación Internacional del Japón JICA y el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI en los años 1992 y 2015 respectivamente. En las figuras 2 y 3 se muestran las curvas IDF empleadas en el cálculo correspondiente.

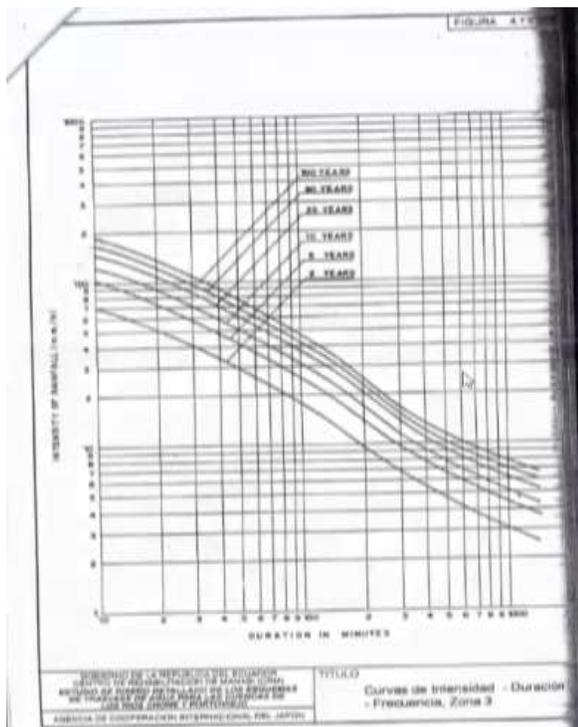


Figura 2. Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia de la Estación M0005 Portoviejo (JICA - 1992).

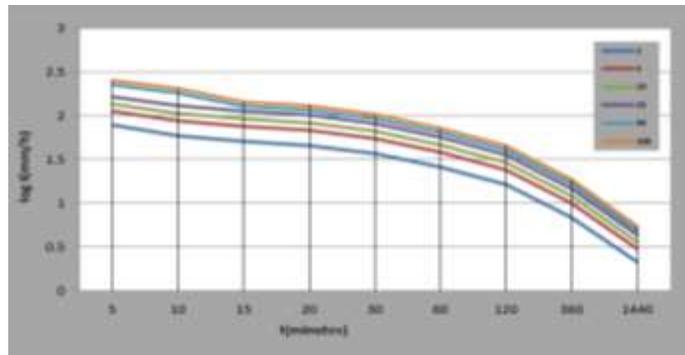


Figura 3. Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia de la Estación M0005 Portoviejo (INAMHI - 2019).

Resultados.

En base a la metodología planteada anteriormente, se presentan a continuación los resultados obtenidos en la zona de estudio.

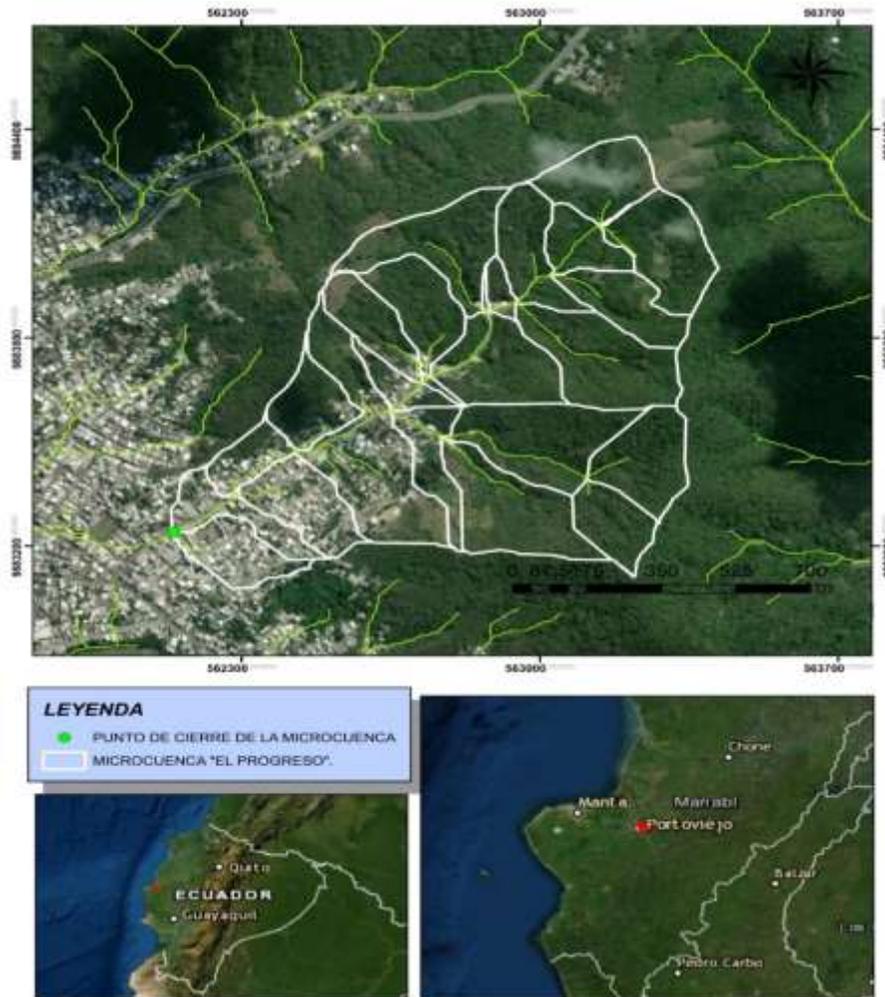


Figura 4. Delimitación de la microcuenca "El Progreso"

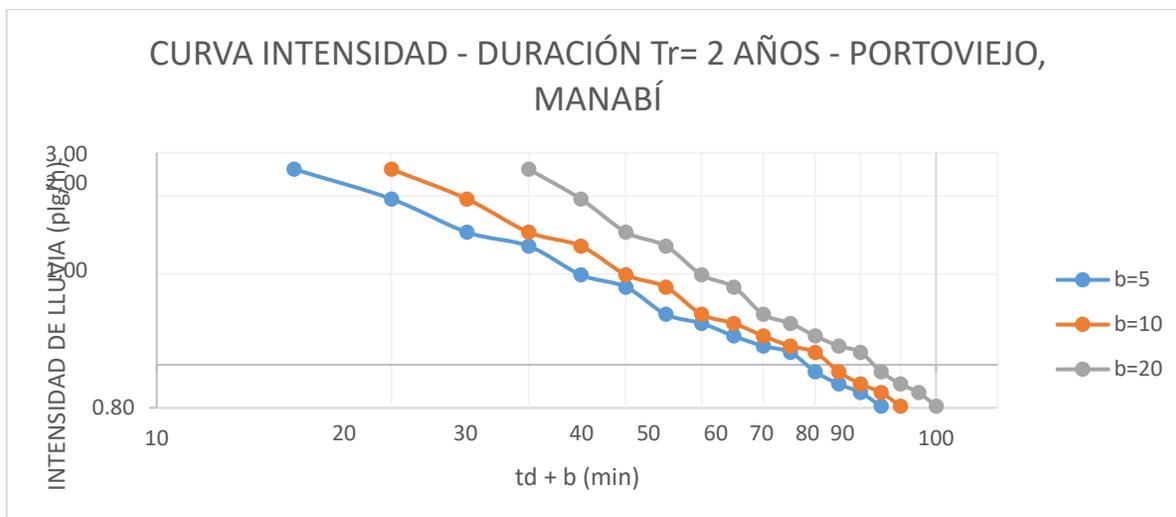


Figura 5. Determinación de la curva Intensidad-Duración para el año 1992

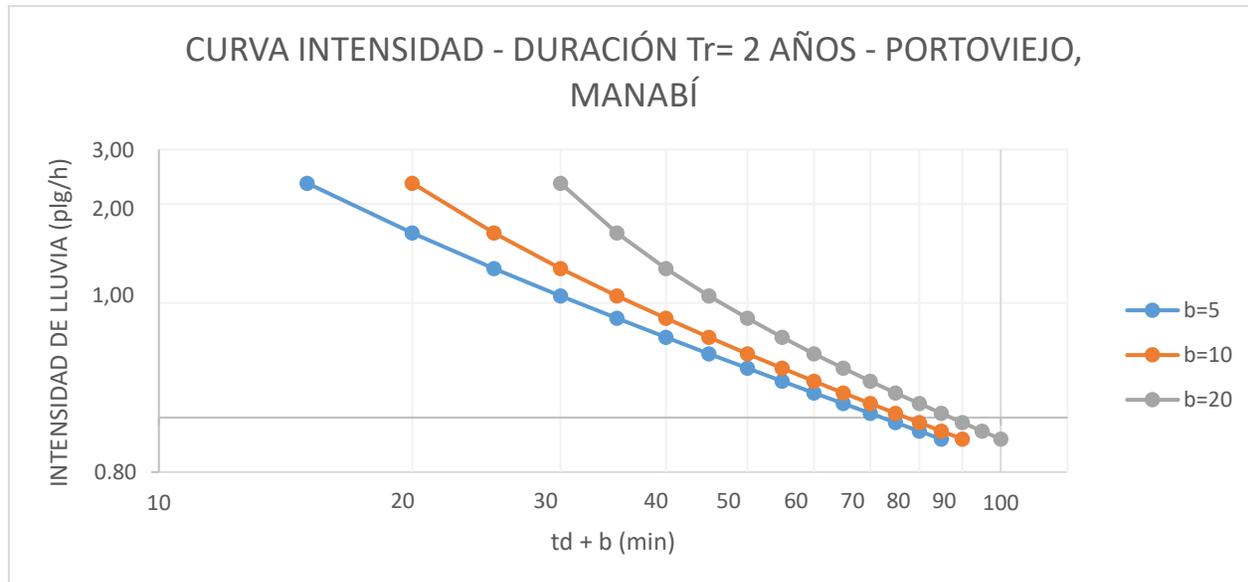


Figura 6. Determinación de la curva Intensidad-Duración para el año 2015.

Tabla 5. Datos de lluvia antecedente.

Fecha	Lluvia antecedente A (milímetros) anterior a la máxima:	Lluvia antecedente A (pulgadas) anterior a la máxima:
	15 min. Duración	15 min. Duración
03/01/2013	1,20	0,05
06/01/2013	0,90	0,04
18/01/2013	0,80	0,03
20/01/2013	0,80	0,03
22/01/2013	1,50	0,06
23/01/2013	2,10	0,08
26/01/2013	2,20	0,09
30/01/2013	1,70	0,07
01/02/2013	4,40	0,17
03/02/2013	2,10	0,08
04/02/2013	1,50	0,06
20/02/2013	1,30	0,05
27/02/2013	2,30	0,09
27/02/2013	9,00	0,35
02/03/2013	1,50	0,06
03/03/2013	1,60	0,06
04/03/2013	2,40	0,09
05/03/2013	1,90	0,07
06/03/2013	2,40	0,09
09/03/2013	1,10	0,04
13/03/2013	1,10	0,04
15/03/2013	1,70	0,07
01/04/2013	5,00	0,20
08/04/2013	2,30	0,09
18/04/2013	2,30	0,09
22/05/2013	3,90	0,15
12/02/2014	0,90	0,04
20/02/2014	5,10	0,20
21/02/2014	1,20	0,05
24/02/2014	3,60	0,14
26/02/2014	1,00	0,04
01/03/2014	9,60	0,38
03/03/2014	2,90	0,11
22/03/2014	1,00	0,04
23/03/2014	1,00	0,04
25/03/2014	0,50	0,02
27/03/2014	2,20	0,09

28/03/2014	1,00	0,04
01/04/2014	4,00	0,16
06/04/2014	1,30	0,05
22/04/2014	1,00	0,04
24/04/2014	0,80	0,03
26/04/2014	0,50	0,02
01/05/2014	8,50	0,33
08/05/2014	1,70	0,07
12/05/2014	0,70	0,03
26/05/2014	3,00	0,12
28/05/2014	7,70	0,30
29/05/2014	0,70	0,03
23/06/2014	0,40	0,02
22/12/2014	0,90	0,04
27/03/2015	1,20	0,05
01/04/2015	0,60	0,02
03/04/2015	1,00	0,04
04/04/2015	1,40	0,06
05/04/2015	6,00	0,24
27/04/2015	2,60	0,10
29/04/2015	0,90	0,04
14/05/2015	0,90	0,04
30/05/2015	1,20	0,05
01/06/2015	0,70	0,03
03/06/2015	1,20	0,05
06/06/2015	1,20	0,05
08/06/2015	2,30	0,09
20/07/2015	3,10	0,12
26/10/2015	1,30	0,05
25/11/2015	1,20	0,05
27/11/2015	1,60	0,06
01/12/2015	0,60	0,02
02/12/2015	0,90	0,04
10/12/2015	1,40	0,06
17/12/2015	0,90	0,04
11/01/2016	2,80	0,11
18/11/2016	9,10	0,36
22/01/2016	1,40	0,06
24/01/2016	3,90	0,15
25/01/2016	2,80	0,11
06/02/2016	1,60	0,06
08/02/2016	1,50	0,06

09/02/2016	1,10	0,04
11/02/2016	1,00	0,04
16/02/2016	3,70	0,15
17/02/2016	1,90	0,07
20/02/2016	2,10	0,08
21/02/2016	10,00	0,39
22/02/2016	1,30	0,05
23/02/2016	3,10	0,12
29/02/2016	3,90	0,15
02/03/2016	1,80	0,07
04/03/2016	10,00	0,39
08/03/2016	5,90	0,23
16/03/2016	2,80	0,11
21/03/2016	5,40	0,21
08/04/2016	1,00	0,04
10/04/2016	9,40	0,37
18/04/2016	1,00	0,04
27/04/2016	0,50	0,02
11/05/2016	0,70	0,03
08/01/2017	4,50	0,18
20/01/2017	1,60	0,06
21/01/2017	4,40	0,17
21/01/2017	2,70	0,11
29/01/2017	4,10	0,16
30/01/2017	1,50	0,06
01/02/2017	10,00	0,39
02/02/2017	7,10	0,28
03/02/2017	9,50	0,37
04/02/2017	4,80	0,19
07/02/2017	17,80	0,70
10/02/2017	5,60	0,22
12/02/2017	2,90	0,11
24/02/2017	14,20	0,56
28/02/2017	4,10	0,16
01/03/2017	0,80	0,03
06/03/2017	2,60	0,10
07/03/2017	0,60	0,02
09/03/2017	9,20	0,36
18/03/2017	3,30	0,13
19/03/2017	2,50	0,10
21/03/2017	1,00	0,04
01/04/2017	3,30	0,13

07/04/2017	10,20	0,40
08/04/2017	3,70	0,15
11/05/2017	3,80	0,15
19/12/2017	2,30	0,09
25/01/2018	2,40	0,09
29/01/2018	0,40	0,02
01/02/2018	0,80	0,03
04/02/2018	0,70	0,03
05/02/2018	1,00	0,04
06/02/2018	0,40	0,02
08/02/2018	2,30	0,09
09/02/2018	2,30	0,09
12/02/2018	0,50	0,02
13/02/2018	14,50	0,57
14/02/2018	3,70	0,15
15/02/2018	2,00	0,08
16/02/2018	1,90	0,07
17/02/2018	0,60	0,02
18/02/2018	5,40	0,21
19/02/2018	1,30	0,05
20/02/2018	1,10	0,04
03/03/2018	0,80	0,03
17/03/2018	0,50	0,02
19/03/2018	0,90	0,04
Media de A	2,92	0,12
Número de lluvias excesivas	145	

Fuente: INAMHI (2019).

Tabla 6. Comparación de resultados.

Ítem Años	1992	2015
Tc Ponderado	48,22	48,22
Tiempo td (min)	15	15
td+10	25	25
(td+10)^{0,91}	26,66	6,99
(a*td)/(60(td+b)^c	0,62	0,54
A/r	0,39	0,42
A (Promedio de la masa precipitada en plg)	0,12	0,12
Coefficiente de avance r	0,31	0,29
A*r	0,04	0,03

Una vez procesados los datos respectivos, el valor de los coeficientes de avance resultan en 0,31 y 0,29 respectivamente, revelando así un pico de lluvia ubicado antes de la mitad de la tormenta. Estos valores se reflejan gráficamente en los hietogramas finales mostrados en las figuras 7 y 8 respectivamente.

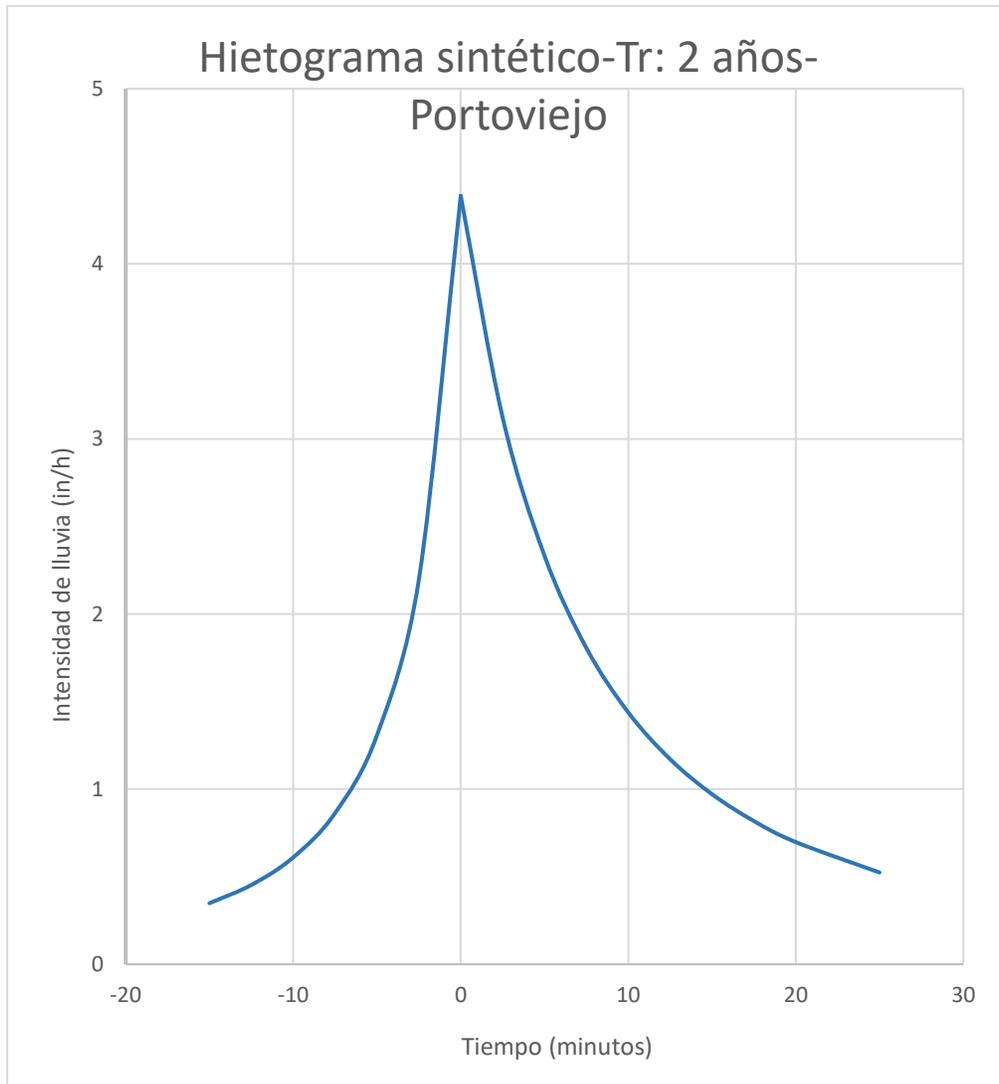


Figura 7. Hietograma sintético para el año 1992.

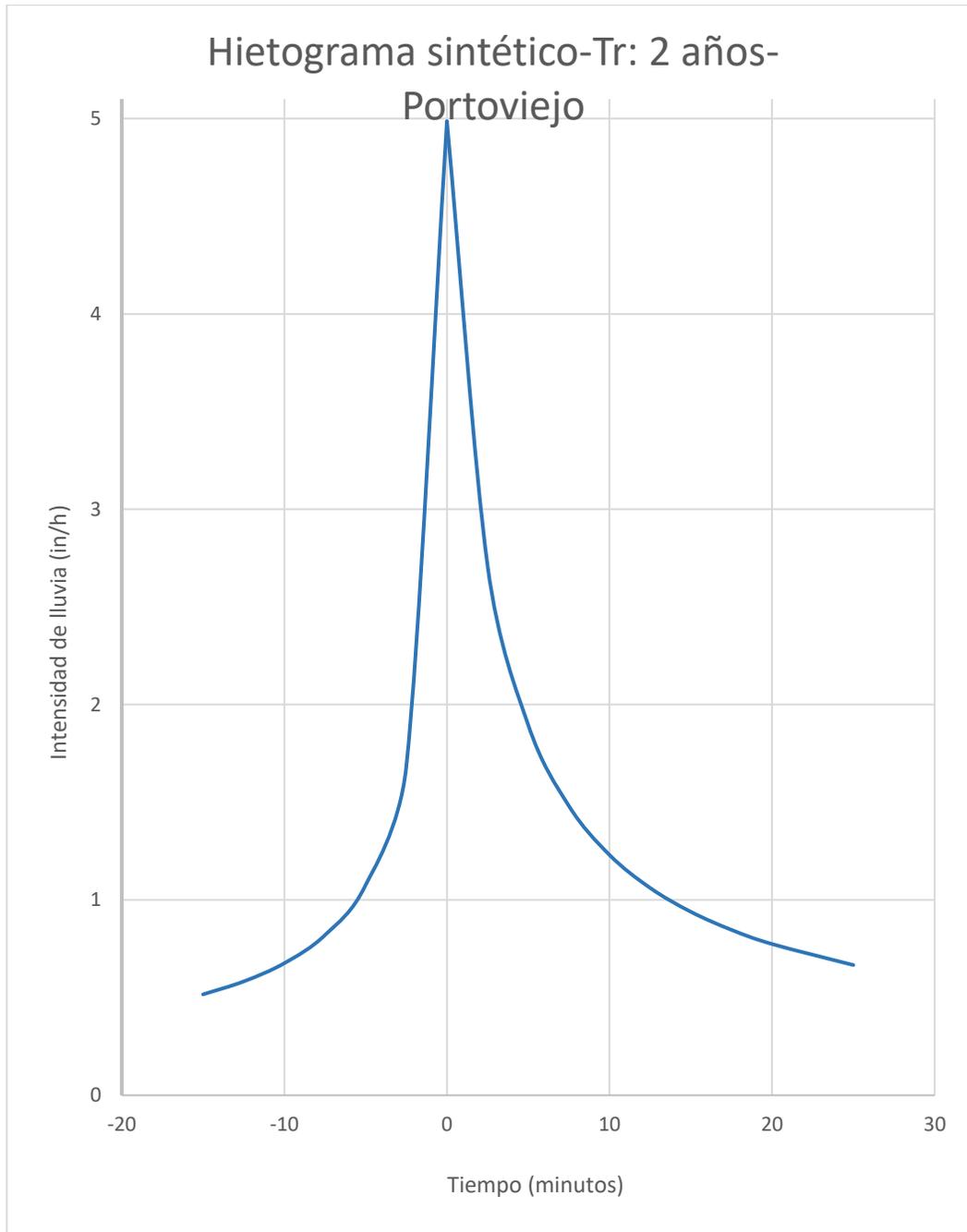


Figura 8. Hietograma sintético para el año 2015.

Discusión de resultados.

Los resultados del estudio de Zamanillo et al (2008) coinciden en la importancia de elaborar patrones de tormenta de diseño para la generación de obras hidráulicas, tales como sistemas de

drenaje rural o urbano, alcantarillas, desagües pluviales, vertederos de represas, entre otras. En esta instancia se deben conocer 3 factores principales: Intensidad, duración y recurrencia.

Con respecto al coeficiente de avance, Chow (1994), lo define como la relación del tiempo antes del pico t_a con respecto al tiempo total T_d . Dado que éstos son menores a 0,5 la mayor intensidad de lluvia se encuentra antes de la mitad de la duración del evento (Chow et al., 1988).

Cortés (2015) realizó un estudio comparativo, donde se muestra cada una de las metodologías para la elaboración de tormentas de diseño y se establece la utilidad de cada método según las características del sitio y datos disponibles, todo esto se requiere tener en consideración para aplicar los productos en el diseño de infraestructuras hidráulicas urbanas.

Dentro de cada categoría metodológica para la generación de hietogramas existen datos primordiales, existen métodos basados en las curvas IDF como lo es el presente estudio. Roux (1996) indica que a partir de estos métodos se obtiene un hietograma más real ya que abarca la distribución temporal mediante la identificación de patrones observados internos en los eventos, el volumen total acumulado, entre otras características afines.

Mcpherson (1978) contrasta y debate estos principios en base a las desventajas del método basado en las curvas IDF ya que la elección del volumen de precipitación total se realiza a partir de una duración arbitraria, las curvas IDF se emplean para obtener el volumen de precipitación y probablemente el inconveniente más importante sea que el período de retorno real de los caudales pico y volúmenes no se conoce (Rivard, 1996).

En base a estos criterios también se denotan ventajas importantes de la aplicación de este método, puesto que conlleva un proceso sencillo en su desarrollo y un producto acercado a la realidad del sitio de estudio. Además, este método puede abarcar periodos extensos de precipitación aumentando así su confiabilidad y veracidad en los valores resultantes (Cunnane y Lynn, 1975).

CONCLUSIONES.

La microcuena de estudio posee dos coeficientes de avance estipulados para diferentes periodos de tiempo, resultando en una misma connotación referente a la ubicación del pico de lluvia para un periodo de retorno de 2 años. Los hietogramas resultantes del presente estudio pueden ser utilizados como base para futuras investigaciones en el sitio, constituyéndose como un preámbulo para el desarrollo e implementación de obras hidráulicas y civiles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Chow, V., Maidment, D. & Mays, L., (1988). Applied hidrology. Primera ed. Santafé de Bogotá: McGraw-Hill Interamericana.
2. Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). Hidrología Aplicada. Santafé de Bogotá: McGraw-Hill Interamericana.
3. Cortés, M. (2015). Chaparrón espacio-temporal para aplicaciones en hidrología urbana. Trabajo final de Máster: Universitat Politècnica de València.
4. Cunnane, B. & Lynn, M. (1975). Flood Estimation following the Flood Studies Report. Dublín: The Institution of Engineers of Ireland.
5. EPA. (1972) Urban Runoff Characteristics. Final Report No. 11024. Environmental Protection Agency, Water Quality Office.
<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/40000312.PDF?Dockkey=40000312.PDF>
6. INAMHI. (2014). Anuario meteorológico № 51-2011. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/uploads/anuarios/meteorologicos/Am%202011.pdf>
7. INAMHI. (2019). Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

[http://www.serviciometeorologico.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/ESTUDIO_DE_INTENSI
DADES_V_FINAL.pdf](http://www.serviciometeorologico.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/ESTUDIO_DE_INTENSI
DADES_V_FINAL.pdf)

8. JICA. (1992). Estudio de diseño detallado de los esquemas de trasvase de agua para las cuencas de los ríos Chone y Portoviejo. Agencia de Cooperación Internacional del Japón.
9. Keifer, C. and Chu, H. (1957). Synthetic Storm Pattern for Drainage Design. Journal of the Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, HY 4: 1332-1 to 1332-25.
10. Lopes, A. (2016). Cumulative equations for continuous time Chicago hyetograph method. RBRH, 21(3), 646-651. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.011615094>
11. McPherson, M. (1978). Urban Runoff Control Planning EPA-600/ 9-78-035. Washington, DC: Environmental Protection Agency.
12. Perrin, J. L., & Bouvier, C. (2004). Rainfall–runoff modelling in the urban catchment of El Batán, Quito, Ecuador. Urban Water Journal, 1(4), 299-308.
13. Preul, H. C., & Papadakis, C. N. (1973). development of design storm hyetographs for Cincinnati, Ohio 1. Journal of the American Water Resources Association, 9(2), 291-300.
14. Rivard, G. (1996). Design Storm Events for Urban Drainage Based on Historical Rainfall Data: a conceptual framework for a logical approach. Journal of Water Management, p. 12.
15. Roux, C. (1996). Analyse des précipitations en hydrologie urbaine. Exemple de la Seine-Saint-Denis, France: Hydrologie. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
16. Sherman, C. (1931). Frequency and Intensity of Excessive Rainfalls in Boston, Mass. Transactions of the American Society of Civil Engineers 95: 951
17. USDA, S. (1986). Urban hydrology for small watersheds TR-55. Technical Release. United States Department for Agriculture Soil Conservation Service, Washington DC.

18. Zamanillo, E. y Larenze, G. (2008). Tormentas de diseño para la provincia de Entre Ríos. Buenos Aires: Univ. Tecnológica Nacional.

DATOS DE LOS AUTORES.

1. **Andrea Ninoska Mendoza-Zambrano.** Ingeniera Hidráulica. Graduada de la Carrera de Ingeniería Hidráulica, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí-PUCEM Ecuador.
2. **Andy Miguel Giler-Ormaza.** Master of Science in River Basin Dynamics And Management With Geographical Information Systems. Docente de la Carrera de Ingeniería Hidráulica, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí-PUCEM Ecuador. E-mail: andygiler90@hotmail.es
3. **Vicente David Vásquez Granda.** PHD Degree in Agroecology. Director Ejecutivo del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador.
4. **José Ramón Alarcón Loor.** Máster Universitario En Hidrología y Gestión de los Recursos Hídricos. Docente en la Carrera de Ingeniería Hidráulica, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí-PUCEM Ecuador. E-mail: jarcon@pucem.edu.ec
5. **Jhon Enrique Félix Mera.** Máster Universitario en Hidrología y Gestión de los Recursos Hídricos. Docente en la Carrera de Ingeniería Hidráulica, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí-PUCEM Ecuador. E-mail: jfelix@pucem.edu.ec

RECIBIDO: 6 de mayo del 2020

APROBADO: 1 de junio del 2020