

Evaluación de intensidades de precipitación influenciadas por oscilaciones decadales: Cuenca del Río Paute

Félix Guerrero , José David Serpa , Diego Mora 

Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Av. 12 de abril y Agustín Cueva, Cod. Postal: 010103, Cuenca, Ecuador.

Autor para correspondencia: rigoberto.guerrero94@ucuenca.ec

Fecha de recepción: 15 de julio de 2017 - Fecha de aceptación: 20 de septiembre de 2017

RESUMEN

Las intensidades de precipitación a nivel global registran anomalías positivas y negativas a larga escala temporal, en parte debido al cambio climático. El Ecuador, específicamente en la Cuenca del Río Paute, posee alta variabilidad espacial y temporal en sus regímenes de precipitación. Dicha variabilidad ocasiona oscilaciones decadales, las cuales presentan periodos en los que se distinguen: periodo húmedo, seco, de tendencia creciente y decreciente, en los niveles de precipitación. La identificación de estos periodos, en la oscilación del registro completo de la serie histórica de precipitación, permite el cálculo de sus correspondientes intensidades de diseño. Además, con los registros comprendidos en el periodo de estudio, se obtienen las ecuaciones de las curvas IDF que permiten establecer la marcada diferencia en las intensidades de diseño. Las intensidades para periodos húmedos son mayores a las de periodos secos. Esto permite afinar los cálculos de diseño para obras hidráulicas.

Palabras clave: Intensidad de precipitación, cambio climático, variabilidad, oscilaciones decadales.

ABSTRACT

Precipitation intensities at the global level depict positive and negative long-term anomalies, partly because of climate change. Ecuador, specific the Paute River Basin is characterized by high spatial and temporal variability in precipitation regime, causing decadal oscillations, marked by a succession of wet and dry periods, and periods with increasing and decreasing tendency in the level of precipitation. Identification of these periods in the decadal oscillations of the complete record of the historical precipitation series allows calculation of the corresponding design rainfall. In addition, based on the records included in the study period, the equations of the IDF curves could be defined, allowing the definition of differences in design intensities. Results reveal that the intensities for wet periods are greater than those for dry periods. The latter allows to fine-tune the design calculations for hydraulic works.

Keywords: Rainfall intensity, climate change, variability, decadal oscillations.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Cambio climático y variabilidad climática

El cambio y la variabilidad climática reflejan, cada día más, alteraciones al ecosistema, y no cabe duda de que en un futuro la magnitud de estas afecciones incrementa. Según Vicenti *et al.* (2012), el cambio climático se define como una modificación del clima, duradera y significativa con respecto a un historial climático, tanto a escala regional como global y sobre variados parámetros meteorológicos. Por otro lado, la variabilidad climática consiste en aquellos cambios sobre el clima que dependen de

condiciones atmosféricas extremas, es decir, que exceden en mucho a los promedios estándares (IPPC, 2007). El análisis de cambio climático proyecta incrementos en la precipitación (Mora, Campozaño, Cisneros, Wyseure, & Willems, 2014). Según Buytaert et al. (2010) en los Andes ecuatorianos se espera un aumento de las precipitaciones de entre el 7.5 y 10%, junto con un aumento de temperatura de alrededor de 3°C.

1.2. Variabilidad climática en la zona de estudio

La variabilidad espacial de la precipitación en la cuenca del río Paute ha sido analizada relacionando la variación en precipitación y temperatura con la elevación (Mora & Willems, 2012). Debido a los anteriores parámetros y a la variada orientación, la cuenca está caracterizada en función de su estacionalidad, diferenciando dos regímenes de precipitación: un unimodal (UM) y un bimodal (BM) (Mora, Campozaño, Cisneros, Wyseure, & Willems, 2013; Celleri, Willems, & Feyen, 2007). Por otro lado, la variación histórica de precipitación en la cuenca del Paute es alta en intensidad y duración, debido a su amplio gradiente altitudinal (4250 a 550 m s.n.m) (Mora & Willems, 2012). El análisis de la información pluviométrica de un periodo de 30 años muestra que existen correlaciones positivas y negativas con los principales regímenes hidrológicos que influyen en la cuenca. Según los autores anteriores, esto significa que existen altas anomalías en la precipitación durante periodos de tiempo considerables.

Estas anomalías en la precipitación influyen directamente en su intensidad, la cual afecta directamente a la tasa de infiltración (Dunne, Aubry, & Zhang, 1991). Por lo tanto, también tiene efecto en la escorrentía y su tiempo de ocurrencia (Singh, 1997). Además, las subestimaciones que se produzcan en el cálculo de intensidades de diseño provocan errores en el diseño de estructuras hidráulicas, produciéndose un subdimensionamiento con respecto a posibles inundaciones o escorrentías extremas (Krajewski, Lakshmi, Georgakakos, & Jain, 1991). Debido a la variabilidad temporal de la precipitación se pueden tomar datos irreales para el diseño en cuestión. Por estos motivos, el objetivo de este estudio es establecer la existencia de variación temporal en las intensidades de precipitación durante periodos húmedos, secos, crecientes y decrecientes. Periodos que, de poder ser determinados de manera precisa, se tomarían en cuenta para la correcta determinación de intensidades de diseño para estructuras hidráulicas y proyectos de irrigación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio y base de datos

Este estudio se centra en la cuenca del río Paute, ubicada en la depresión interandina que separa la Cordillera Real Occidental y la del Oeste en el sur del Ecuador. Tiene una superficie de 5,066 km² y un rango de elevaciones que va desde los 1,840 a los 4,680 m s.n.m. Se utilizaron registros pluviométricos diarios de 8 estaciones correspondientes a la cuenca del río Paute (Fig. 1). Los cuales datan del año 1964 hasta el año 1993. Los datos no registrados se completaron mediante el método de Quantile Gap Filling (Mora, Wyseure, & Willems, 2014).

Por otro lado, según los gráficos de oscilaciones decadales de precipitación de Mora & Willems (2012), se eligieron estaciones con presencia de anomalías significativas. Así mismo, las estaciones son representativas de cada régimen de precipitación a lo largo de la cuenca: TSA, Brazil (TSA), Enso (DARWIN) y Enso (3-4).

2.2. Intensidades de diseño

Para determinar la intensidad de precipitación de diseño se seleccionaron periodos de registros en intervalos de tiempo representativo, basado en oscilaciones decadales, entre 9 y 11 años. Se tomaron en cuenta las siguientes características: a) periodos húmedos y secos, b) periodos de precipitación creciente y decreciente. Para el cálculo de periodos de retorno se utilizó la distribución de Valores Extremos Tipo I (Gumbel, 1941). Las intensidades de diseño fueron obtenidas mediante el método propuesto por Chow, Maidment, & Mays (1994) (Ec. 1), para un periodo de retorno de 50 años.

$$I = \frac{P[mm]}{t_{duración}[hr]} \quad \text{Ec. 1}$$

Los valores de intensidades a ser comparados corresponden una duración de una hora, típica de un evento para la Cuenca del Río Paute (Estrella & Tobar, 2006).

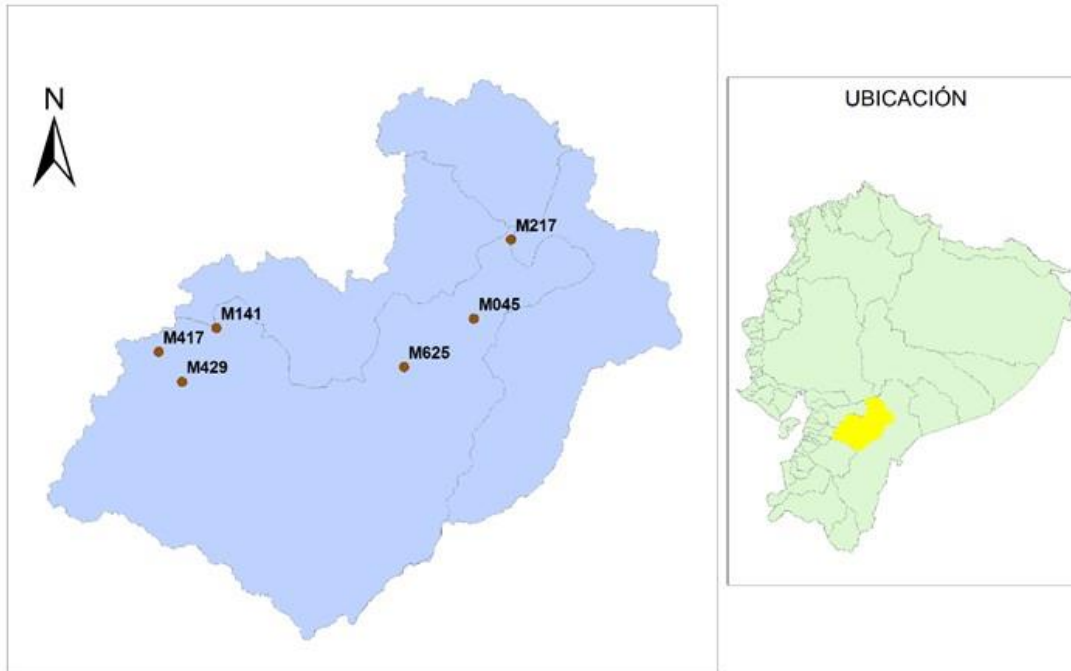


Figura 1. Cuenca del Río Paute y estaciones con georreferenciación disponible.

2.3. Curvas de Intensidad Duración y Frecuencia

El método de Aparicio (2001) utiliza un modelo de regresión lineal que extrapola la ecuación generada a zonas que carezcan de registros pluviométricos y que se encuentren relativamente cerca (Pizarro, Flores, Sangüesa, & Martínez, 1986). Se relacionan simultáneamente tres variables que son: la intensidad I , el periodo de retorno T y la duración t del evento mediante la Ec. 2.

$$I = \frac{K \cdot T^m}{t^n} \quad \text{Ec. 2}$$

donde K , m y n son parámetros de ajuste, hallados mediante regresiones. Finalmente, para hallar la intensidad, se reemplazan los valores $T = 50$ años y $t = 1$ h.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las oscilaciones presentes en las estaciones elegidas permiten distinguir al menos dos de los cuatro periodos (Fig. 2). La figura describe los resultados correspondientes a las oscilaciones de la estación M045. La intensidad de diseño obtenida con todos los datos de la estación ($33.87 \text{ mm}\cdot\text{hr}^{-1}$) tiene un valor intermedio con respecto al de los períodos seco ($30.35 \text{ mm}\cdot\text{hr}^{-1}$) y húmedo ($40.09 \text{ mm}\cdot\text{hr}^{-1}$).

Pues la serie completa se ve influenciada por niveles de precipitación pertenecientes a todos los periodos de estudio.

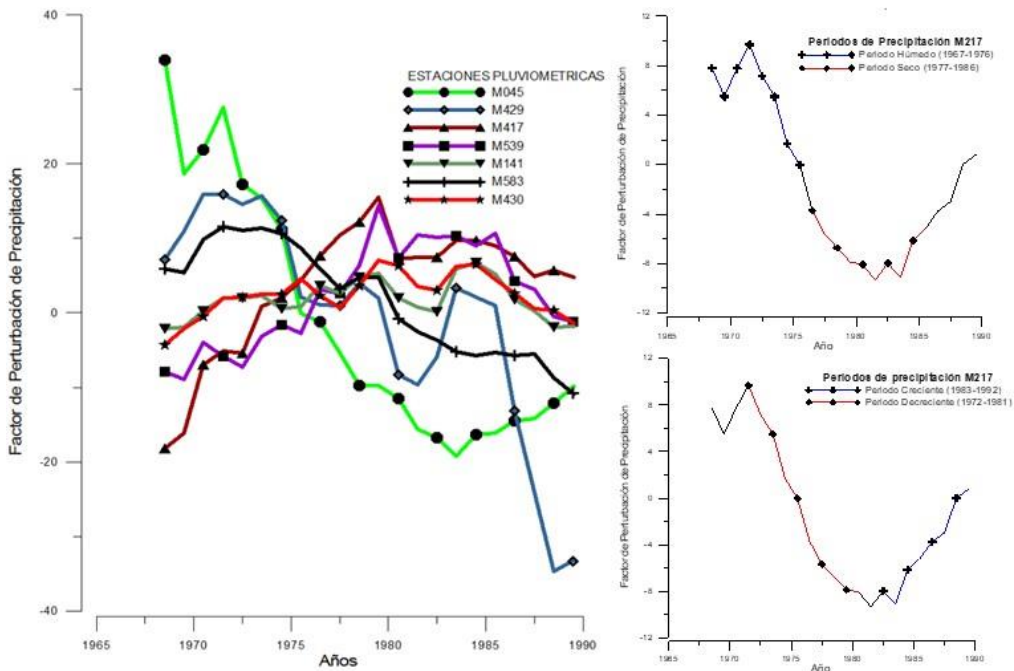


Figura 2. Oscilaciones decadales de precipitación de las estaciones seleccionadas.

3.1. Intensidades de diseño para periodos secos y húmedos

Según la Figura 2, el periodo seco transcurre entre 1977 y 1986, y el húmedo desde 1967 a 1976. Las magnitudes de intensidades para periodos secos son inferiores a las de todos los periodos, pues presentan las menores profundidades de precipitación anual. En contraste, las intensidades de periodos húmedos son las mayores. La diferencia entre el periodo húmedo y seco depende de la amplitud de oscilación que presente la estación pues si la oscilación no presenta mayor variabilidad, los valores de las intensidades no difieren considerablemente. La diferencia entre intensidades de periodos secos, húmedos, crecientes y decrecientes se ve reflejada en las curvas IDF (Fig. 3).

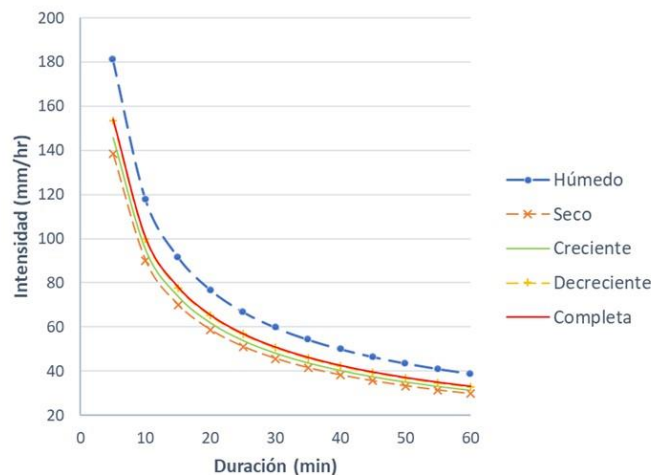


Figura 3. Curvas IDF estación M045.

a. Intensidades de diseño para periodos crecientes y decrecientes

La intensidad obtenida para el periodo creciente es 32.05 mm hr^{-1} mientras que para el periodo decreciente es 33.81 mm hr^{-1} . Esta diferencia se debe a que la oscilación, en el periodo creciente,

permanece más tiempo en el rango seco. En contraste, la intensidad del periodo decreciente está influenciada por oscilaciones dentro del periodo seco y húmedo (Fig. 2), lo que hace que el valor de la intensidad aumente, con relación a la otra. También puede ocurrir que la intensidad del periodo creciente sea mayor a la del periodo decreciente, como se observa en la estación M417 (Tabla 1). Todo esto depende de que la amplitud de la oscilación predomine en los rangos húmedos o secos.

Tabla 1. Intensidades de diseño de las estaciones seleccionadas para diferentes periodos.

Estación	Intensidad de cada serie (mm.hr ⁻¹)								
	Completa	Húmedo	Periodo (año)	Seco	Periodo (año)	Creciente	Periodo (año)	Decreciente	Periodo (año)
M429	15,21	16,94	67-77	10,79	78-88	-	-	16,01	75-85
M625	23,57	24,51	69-78	22,57	83-92	-	-	-	-
M430	21,43	21,17	80-89	18,23	70-79	-	-	-	-
M141	21,54	21,63	80-88	17,50	71-79	-	-	-	-
M045	33,87	40,09	64-74	30,35	80-90	32,05	82-92	33,81	74-84
M217	38,48	42,08	67-76	36,87	77-86	37,84	83-92	39,93	72-81
M417	23,67	29,12	76-86	20,05	68-78	29,07	69-79	19,28	80-90
M539	18,18	18,23	78-88	15,67	65-75	16,91	74-84	-	-

4. CONCLUSIONES

La magnitud de las intensidades de diseño varía según el periodo de tiempo que se analiza, debido a que en un registro histórico de precipitaciones existen anomalías extremas. Estas causan oscilaciones, las cuales determinan aumento o disminución en la profundidad de lluvia de un evento a lo largo del tiempo. El valor más alto de la intensidad de diseño corresponde al periodo húmedo, el más bajo a la del periodo seco. Intermedio a estos dos, se encuentra la intensidad de la serie completa y los periodos creciente y decreciente intermedio a los anteriores. La magnitud de la intensidad de los diferentes periodos es determinada por evolución de la profundidad de precipitación, pues puede aumentar o disminuir en el tiempo. Las curvas IDF correspondientes a cada estación permiten establecer fácilmente estas diferencias. En ellas se observa la diferencia entre las magnitudes de periodo seco y húmedo. La determinación de intensidades de diseño que correspondan al periodo de tiempo en el que se encuentra la oscilación decadal, mejorará la precisión en el diseño de obras hidráulicas. Se recomienda un análisis con registros más extensos.

REFERENCIAS

- Aparicio, F. J. (2001). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México: Editorial LIMUSA.
- Buytaert, W., Vuille, M., Dewulf, A., Urrutia, R., Karmalkar, A., Célleri, R. (2010). Uncertainties in climate change projections and regional downscaling: implications for water resources management. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14, 1247-1258.
<https://doi.org/10.5194/hess-14-1247-2010>
- Celleri, R., Willems, P., Feyen, J. (2007). Space-time rainfall variability in the Paute Basin, Ecuadorian Andes. *Hydrological Processes*, 21(24), 3316-3327.
<https://doi.org/10.1002/hyp.6575>
- Chow, Ven Te, Maidment, D. R., Mays, L. W. (1994). *Hidrología Aplicada*. McGraw-Hill, Bogotá, Colombia: Editorial Nomos S.A., 597 p.
- Dunne, T., Aubry, B. F., Zhang, W. (1991). Effects of rainfall, vegetation, and microtopography on infiltration and runoff. *Water Resources Research*, 27(9), 2271-2285.
<https://doi.org/10.1029/91WR01585>

- Estrella, R., Tobar, V. (2006). *Lluvias intensas en el cantón Cuenca*. Facultad de Ingeniería, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Gumbel, E. J. (1941). The return period of flood flows. *The Annals of Mathematical Statistics*, 12, 163-190.
- IPPC. (2007). *Cambio climático: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Pachauri, R.K., Reisinger, A. (Eds.). Ginebra, Suiza: IPCC (2007), Vol.104.
- Krajewski, W. F., Lakshmi, V., Georgakakos, K. P., Jain, S. C. (1991). A Monte Carlo study of rainfall sampling effect on a distributed catchment model. *Water Resources Research*, 27(1), 119-128. <https://doi.org/10.1029/90WR01977>
- Mora, D. E., Willems, P. (2012). Decadal oscillations in rainfall and air temperature in the Paute River Basin-Southern Andes of Ecuador. *Theoretical and Applied Climatology*, 108(1-2), 267-280. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0527-4>
- Mora, D. E., Campozano, L., Cisneros, F., Wyseure, G., Willems, P. (2013). Climate changes of hydrometeorological and hydrological extremes in the Paute basin, Ecuadorean Andes. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 10(5), 6445-6471. doi: 10.5194/hessd-10-6445-2013
- Mora, D. E., Wyseure, E., Willems, P. (2014). *Gap filling based on a quantile perturbation factor technique*. 11th Int. Conf. on Hydroinformatics. CUNY Academic Works. 9 p. Disponible en https://academicworks.cuny.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1154&context=cc_conf_hic
- Mora, D. E., Campozano, L., Cisneros, F., Wyseure, G., Willems, P. (2014). Climate changes of hydrometeorological and hydrological extremes in the Paute basin, Ecuadorean Andes. *Hydrology and Earth System Science*, 18, 633-648. <https://doi.org/10.5194/hess-18-631-2014>
- Pizarro, T. R., Flores, J. P., Sangüesa, C., Martínez, E. (1986). Determinación de valores probabilísticos para variables hidrológicas. En: *Instructivo*, 5, 78. Chile: Corporación Nacional Forestal (CONAF). Disponible en http://www.uach.cl/externos/epicforce/pdf/guias%20y%20manuales/eias/manuales/a_modulo_1eyes.pdf
- Singh, V P. (1997). Effect of spatial and temporal variability in rainfall and watershed characteristics on stream flow hydrograph. *Hydrological Processes*, 11(12), 1649-1669. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(19971015\)11:12<1649::AID-HYP495>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(19971015)11:12<1649::AID-HYP495>3.0.CO;2-1)
- Vicenti, S. S., Zuleta, D. Moscoso, V., Jacome, P., Vélez, E. P., Villacís, M. (2012). Análisis estadístico de datos meteorológicos mensuales y diarios para la determinación de variabilidad climática y cambio climático en el distrito metropolitano de Quito. *LA GRANJA: Revista de Ciencias de la Vida*, 16(2), 23-47.