



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

Universidad del Azuay

Departamento de Posgrados

Maestría en Hidrosanitaria

**DETERMINACIÓN DEL MÉTODO EMPÍRICO MÁS ADECUADO
PARA LA ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN EN
CUENCAS DE MONTAÑA: CASO DE ESTUDIO RÍO YANUNCAY**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de
Magister en Hidrosanitaria**

Autor: Ing. Sandra Elizabeth Vázquez García

Director: Ing. Carlos Javier Fernández De Córdova Webster, PhD

Cuenca, Ecuador

2022

Dedicatoria

El presente trabajo lo dedico a:
mi papá, mi mamá y mi hermana,
quienes son los cimientos de mi vida,
por su constante motivación para
seguir adelante y alcanzar mis metas,
por su apoyo y ayuda incondicional
en todo momento.

Agradecimiento

A Dios por permitirme concluir estos estudios de maestría y porque es muy generoso con las bendiciones que da a mi vida.

Al Ing. Carlos Javier Fernández de Córdova Webster, PhD. por su colaboración y guía en el desarrollo del presente trabajo.

Índice de Contenido

Índice de Contenido	iii
Índice de Tablas	v
Índice de Figuras	vi
Resumen	viii
Abstract	ix
Introducción	1
Objetivo general:	2
Objetivos específicos:	2
Capítulo 1 : Estado del arte y Marco Teórico.....	4
1.1 Conceptos Hidrológicos.....	6
1.1.1 Cuenca Hidrográfica	6
1.1.2 Parámetros fisiográficos	6
1.1.3 Clasificación de la cuenca según su tamaño.....	7
1.2 Métodos para estimar el tiempo de concentración	8
1.2.1 Método del hidrograma para estimar el tiempo de concentración.....	8
1.2.2 Método de los trazadores para estimar el tiempo de concentración	12
1.2.3 Métodos empíricos para estimar el tiempo de concentración	13
1.2.3.1 Fórmula de Kirpich	13
1.2.3.2 Ecuación de California	15
1.2.3.3 Fórmula de Giandotti	15
1.2.3.4 Fórmula de Témez	16
1.2.3.5 Ecuación de onda cinemática Ragan y Flemming	16
1.2.3.6 Ecuación de retardo SCS	18
1.2.3.7 Método Johnstone-Cross	18
1.2.3.8 Fórmula de Dooge	19
1.2.3.9 Hatkanir y Sezen.....	19
1.2.3.10 Ventura	20
1.2.3.11 Pilgrim and Mac Dermott	20
1.2.3.12 Williams	21
1.2.3.13 Arizona DOT	21
1.2.3.14 Modelo de Chow	22
1.2.3.15 Fórmula de Fattorelli y Marchi.....	22
1.2.3.16 Fórmula de Puglisi y Zanframundo.....	22
Capítulo 2 : Materiales y Métodos.....	24
2.1 Estimación del tiempo de concentración mediante el análisis del hidrograma	28
2.2 Estimación del tiempo de concentración mediante ecuaciones empíricas	33
Capítulo 3 : Resultados y Discusión	35

3.1	Métodos Empíricos	35
3.2	Método Gráfico	36
3.2.1	Definición: El tiempo desde el final del exceso de lluvia hasta el punto de inflexión en el hidrograma total de tormentas (TcG1)	36
3.2.2	Definición: El tiempo desde la máxima intensidad de lluvia hasta el momento de la descarga máxima (TcG2).....	54
3.3	Evaluación del desempeño de los métodos empíricos en la cuenca del río Yanuncay	73
	Capítulo 4 : Conclusiones	78
	Capítulo 5 : Recomendaciones	80
	Referencias bibliográficas.....	81

Índice de Tablas

Tabla 1.1	Clasificación propuesta para las cuencas	7
Tabla 1.2	Valores de N de Manning para flujo superficial.	17
Tabla 2.1	Resumen de las características fisiográficas de la cuenca del río Yanuncay.....	26
Tabla 2.2	Cobertura vegetal y área de ocupación de la cuenca del río Yanuncay.	28
Tabla 2.3	Ecuaciones empíricas para la estimación del tiempo de concentración.	34
Tabla 3.1	Valores del tiempo de concentración obtenidos mediante la aplicación de los métodos empíricos (TcME).....	36
Tabla 3.2	Valores del tiempo de concentración estimados mediante el método gráfico.	72
Tabla 3.3	Valores del tiempo de concentración estimados por los métodos empíricos y gráfico.	73
Tabla 3.4	Diferencias relativas entre el tiempo de concentración estimados mediante el método gráfico y los métodos empíricos.	75
Tabla 3.5	Diferencias entre los valores del tiempo de concentración estimados mediante el método gráfico y los métodos empíricos.	77

Índice de Figuras

Figura 1.1 Relación del tiempo de concentración (T_c) y el retraso (L) con el hidrograma unitario adimensional	9
Figura 1.2 Componentes de un hidrograma de caudal durante una tormenta.	10
Figura 1.3 Técnicas de separación de flujo base.	11
Figura 2.1 Mapa de ubicación de la cuenca del río Yanuncay, punto de cierre en la estación hidrométrica Yanuncay A.J. Tarqui (Bomberos).	25
Figura 2.2 Lca del río Yanuncay, punto de cierre en la estación hidrométrica Yanuncay A.J. Tarqui (Bomberos).	26
Figura 2.3 Esquema del hietograma de lluvia y del hidrograma de escorrentía para ilustrar las definiciones del tiempo de concentración. (Definiciones 1, 2, 3, 4, 5, 6)	29
Figura 3.1 Hidrograma y Hietograma de precipitación neta, del evento del 16/02/1999 11:10:00 – 17/02/1999 22:45:00 en la cuenca del río Yanuncay.....	38
Figura 3.2 Hidrograma y Hietograma de precipitación neta, del evento del 27/04/1999 19:40:00 – 28/04/1999 23:55:00 en la cuenca del río Yanuncay.....	39
Figura 3.3 Hidrograma y Hietograma de precipitación neta, del evento del 19/05/1999 08:15:00 – 20/05/1999 12:10:00 en la cuenca del río Yanuncay.....	40
Figura 3.4 Hidrograma y Hietograma de precipitación neta, del evento del 08/03/2000 01:55:00 – 09/03/2000 21:10:00 en la cuenca del río Yanuncay.....	41
Figura 3.5 Hidrograma y Hietograma de precipitación neta, del evento del 11/03/2000 19:30:00 – 13/03/2000 21:50:00 en la cuenca del río Yanuncay.....	42
Figura 3.6 Hidrograma y Hietograma de precipitación neta, del evento del 24/03/2000 03:15:00 – 25/03/2000 09:00:00 en la cuenca del río Yanuncay.....	43
Figura 3.7 Hidrograma y Hietograma de precipitación neta, del evento del 01/10/2000 10:20:00 – 02/10/2000 12:05:00 en la cuenca del río Yanuncay.....	44
Figura 3.8 Hidrograma y Hietograma de precipitación neta, del evento del 17/05/2008 09:40:00 – 18/05/2008 14:10:00 en la cuenca del río Yanuncay.....	45
Figura 3.9 Hidrograma y Hietograma de precipitación neta, del evento del 27/05/2008 07:50:00 – 28/05/2008 17:45:00 en la cuenca del río Yanuncay.....	46
Figura 3.10 Hidrograma y Hietograma de precipitación neta, del evento del 31/05/2008 15:50:00 – 01/06/2008 23:50:00 en la cuenca del río Yanuncay.....	47
Figura 3.11 Hidrograma y Hietograma de precipitación neta, del evento del 08/07/2008 11:30:00 – 09/07/2008 18:15:00 en la cuenca del río Yanuncay.....	48
Figura 3.12 Hidrograma y Hietograma de precipitación neta, del evento del 11/06/2009 10:45:00 – 12/06/2009 18:45:00 en la cuenca del río Yanuncay.....	49
Figura 3.13 Hidrograma y Hietograma de precipitación neta, del evento del 06/02/2010 16:00:00 – 08/02/2010 15:00:00 en la cuenca del río Yanuncay.....	50
Figura 3.14 Hidrograma y Hietograma de precipitación neta, del evento del 06/02/2010 16:00:00 – 08/02/2010 15:00:00 en la cuenca del río Yanuncay.....	51
Figura 3.15 Hidrograma y Hietograma de precipitación neta, del evento del 18/06/2010 21:00:00 – 19/06/2010 23:55:00 en la cuenca del río Yanuncay.....	52
Figura 3.16 Hidrograma y Hietograma de precipitación neta, del evento del 19/04/2012 19:45:00 – 20/04/2012 20:00:00 en la cuenca del río Yanuncay.....	53
Figura 3.17 Hidrograma y Hietograma del evento del 16/02/1999 11:10:00 – 17/02/1999 22:45:00 en la cuenca del río Yanuncay.	55
Figura 3.18 Hidrograma y Hietograma del evento del 27/04/1999 19:40:00 – 28/04/1999 23:55:00 en la cuenca del río Yanuncay.	56
Figura 3.19 Hidrograma y Hietograma del evento del 19/05/1999 08:15:00 – 20/05/1999 12:10:00 en la cuenca del río Yanuncay.	57
Figura 3.20 Hidrograma y Hietograma del evento del 08/03/2000 01:55:00 – 09/03/2000 21:10:00 en la cuenca del río Yanuncay.	58
Figura 3.21 Hidrograma y Hietograma del evento del 11/03/2000 19:30:00 – 13/03/2000 21:50:00 en la cuenca del río Yanuncay.	59
Figura 3.22 Hidrograma y Hietograma del evento del 24/03/2000 03:15:00 – 25/03/2000 09:00:00 en la cuenca del río Yanuncay.	60

Figura 3.23 Hidrograma y Hietograma del evento del 01/10/2000 10:20:00 – 02/10/2000 12:05:00 en la cuenca del río Yanuncay.	61
Figura 3.24 Hidrograma y Hietograma del evento del 17/05/2008 09:40:00 – 18/05/2008 14:10:00 en la cuenca del río Yanuncay.	62
Figura 3.25 Hidrograma y Hietograma del evento del 27/05/2008 07:50:00 – 28/05/2008 17:45:00 en la cuenca del río Yanuncay.	63
Figura 3.26 Hidrograma y Hietograma del evento del 31/05/2008 15:50:00 – 01/06/2008 23:50:00 en la cuenca del río Yanuncay.	64
Figura 3.27 Hidrograma y Hietograma del evento del 08/07/2008 11:30:00 – 09/07/2008 18:15:00 en la cuenca del río Yanuncay.	65
Figura 3.28 Hidrograma y Hietograma del evento del 11/06/2009 10:45:00 – 12/06/2009 18:45:00 en la cuenca del río Yanuncay.	66
Figura 3.29 Hidrograma y Hietograma del evento del 06/02/2010 16:00:00 – 08/02/2010 15:00:00 en la cuenca del río Yanuncay.	67
Figura 3.30 Hidrograma y Hietograma del evento del 06/02/2010 16:00:00 – 08/02/2010 15:00:00 en la cuenca del río Yanuncay.	68
Figura 3.31 Hidrograma y Hietograma del evento del 18/06/2010 21:00:00 – 19/06/2010 23:55:00 en la cuenca del río Yanuncay.	69
Figura 3.32 Hidrograma y Hietograma del evento del 19/04/2012 19:45:00 – 20/04/2012 20:00:00 en la cuenca del río Yanuncay.	70

Resumen

En el presente estudio, se compararon 18 métodos empíricos para evaluar e identificar el método más adecuado para la estimación del tiempo de concentración en la cuenca del río Yanuncay. El tiempo de concentración, estimado mediante el método gráfico, basado en datos medidos, se considera como referencia, este valor se compara con los 18 métodos empíricos, para establecer el método empírico que representa de mejor manera el tiempo de concentración para la cuenca de estudio. En la estimación del tiempo de concentración a través del método gráfico, se realiza el análisis de hidrogramas y hietogramas desarrollados en base a la información de 16 eventos de lluvia-esorrentía registrados en la cuenca del río Yanuncay durante el periodo 1999-2012, esta cuenca hidrográfica se encuentra en la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, ubicado al sur del Ecuador. Las diferencias obtenidas entre los valores del tiempo de concentración estimados mediante el método gráfico (T_{CG}) y los valores del tiempo de concentración estimados mediante los métodos empíricos analizados (T_{CME}) se evaluaron con cuatro medidas estadísticas: el error medio (ME), el error absoluto medio (MAE), el error cuadrático medio (RMSE) y el error porcentual medio (MPE); de acuerdo a este estudio, el método que da la mejor estimación del tiempo de concentración en la cuenca del río Yanuncay es la Fórmula de Giandotti con una diferencia relativa de 4.41 %.

Palabras claves: Tiempo de concentración, Cuenca, Río, Métodos empíricos, Hidrograma.

Abstract

In this study, 18 empirical methods were compared to evaluate and identify the most appropriate method for estimating the time of concentration in the Yanuncay river basin, which was carried out using the graphical method, based on measured data and this value was considered as a reference comparing with the 18 empirical methods, to establish the one that best represents the time of concentration for the study basin. In the estimation of the time of concentration through the graphical method, the analysis of hydrographs and hietograms developed based on the information of 16 rainfall-runoff events recorded in the Yanuncay river basin during the period 1999-2012, this watershed is located in the city of Cuenca, province of Azuay, located in southern Ecuador. Differences were obtained between the time of concentration values estimated using the graphical method (T_{cG}) and the time of concentration values estimated using empirical methods (T_{cME}), which were evaluated with four statistical measures: mean error (ME), mean absolute error (MAE), root mean square error (RMSE) and mean percentage error (MPE); according to this study, the method that gives the best estimate of the time of concentration in the Yanuncay river basin is the Giandotti Formula with a relative difference of 4.41 %.

Keywords: Concentration time, Basin, River, Empirical methods, Hydrograph.

Translated by



Sandra Elizabeth Vázquez García

