

# ESTIMACIÓN DE VOLÚMENES DE ESCURRIMIENTO EN CUENCAS NO AFORADAS

Carlos Escalante-Sandoval y Sixta Mendoza-Pérez

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México.  
E-mail: caes@unam.mx, sixtamendoza@gmail.com

## Introducción

La planeación y diseño de almacenamientos con fines de abastecimiento de agua potable y/o riego requiere del conocimiento del régimen hidrológico de la corriente por aprovechar, sin embargo, en la mayoría de las ocasiones dicha información no se encuentra disponible, por lo que cualquier medio que permita estimarlo será muy importante.

En México se cuenta con cerca de 1,000 estaciones hidrométricas distribuidas a lo largo y ancho del territorio nacional (CONAGUA, 2018a), las cuales aforan grandes extensiones de terreno, sin embargo, es común la necesidad de construir una obra hidráulica en una de sus subcuencas.

En este trabajo se presenta una metodología que permite estimar el volumen de escurrimiento en cada una de las subcuencas no aforadas que forman parte de una gran cuenca aforada.

## Materiales

El sitio en estudio es la cuenca hidrológica del río San Lorenzo, la cual está definida por la estación hidrométrica 10040 Santa Cruz (Figura 1). La estación cuenta con información de escurrimientos mensuales y anuales del periodo 1994 a 2014 (CONAGUA, 2018).

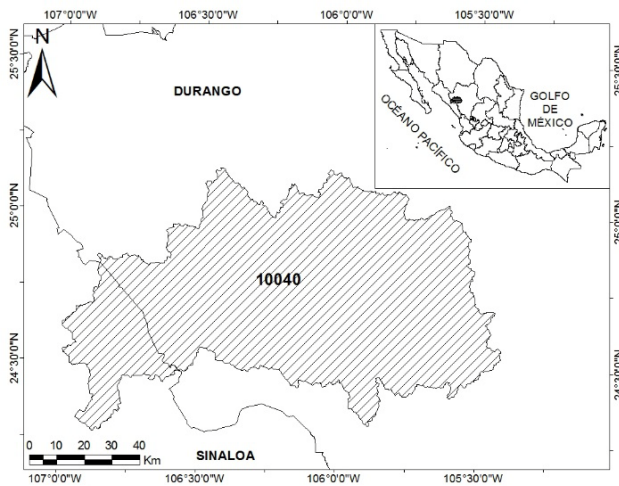


Figura 1.- Ubicación zona de estudio.

Esta cuenca se puede subdividir en 5 subcuencas (Figura 2), y en ellas se encuentran localizadas 18 estaciones climatológicas que cuentan con información de lluvia diaria, mensual y anual del periodo 1924 a 2014 (CISESE, 2018).

Respecto a los cambios de usos de suelo y vegetación, el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática cuenta con cinco series de los periodos 1979-1991, 1993-1999, 2002-2005, 2006-2009 y 2011-2012 (INEGI, 2013), con las cuales fue posible determinar dentro de la cuenca en estudio los tipos de cobertura vegetal y sus cambios durante estos periodos.

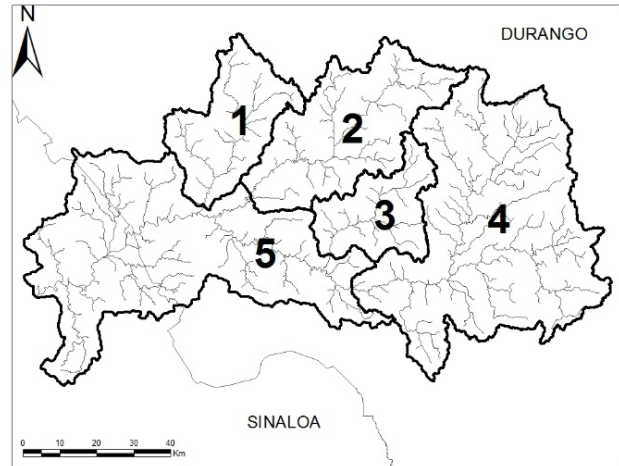


Figura 2.- Subcuencas de la cuenca hidrológica del río San Lorenzo.

## Métodos

Con la información disponible es posible proponer la siguiente metodología para obtener los volúmenes de escurrimiento medio anual en las subcuencas que conforman una gran cuenca aforada, Los pasos son los siguientes:

Paso 1. Obtener el valor del escurrimiento superficial medio anual, al separar y sumar el escurrimiento mensual total del base, este último se consideró como Q90 mensual (Figura 3)

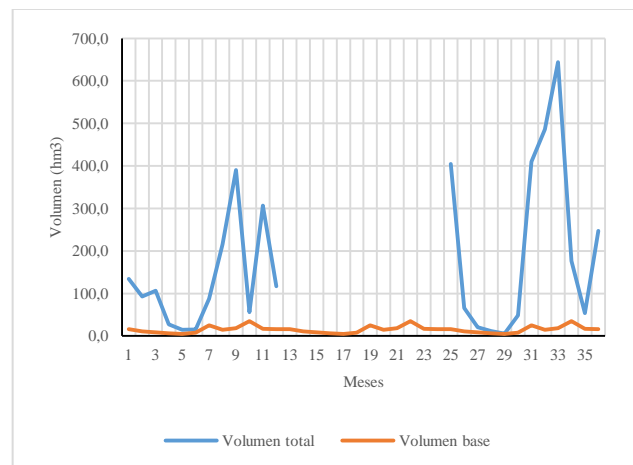


Figura 3.- Separación volumen de escurrimiento directo y base.

Paso 2. Para cada una de las subcuencas se debe obtener: su área, sus cambios de uso de suelo y vegetación, el área de influencia de cada estación climatológica (mediante polígonos de thissen), y la precipitación por estación y total que le corresponde.

Paso 3. Obtener los valores de los coeficientes de escurrimiento por tipo y uso de suelo propuestos por Chow (1988):

**Tabla 1.-** Coeficientes de escurrimiento para el estudio.

Tipo de suelo	Coefficiente
Agricultura de Riego	0.35
Agricultura de Temporal	0.35
Bosque	0.31
Matorral	0.33
Selva	0.31
Sin Vegetación Aparente	0.31
Vegetación Inducida	0.30
Zona Urbana	0.73

Paso 4. Realizar un proceso iterativo de modificación proporcional de los coeficientes de la Tabla 1, de tal forma que al multiplicar cada uno de ellos por la lluvia y área correspondiente nos dé sumando todas las subcuencas el valor del escurrimiento superficial del paso 1.

## Resultados

Al aplicar la metodología en la zona de estudio se tiene:

El valor del escurrimiento superficial medio anual en toda la cuenca es de 1,417.89 hm<sup>3</sup>.

Al considerar los coeficientes de la Tabla 1 el escurrimiento es de 2,639.8 hm<sup>3</sup>, cuando se afectan por un factor de 0.7 el volumen disminuye a 1,847.9 hm<sup>3</sup>, hasta el valor óptimo de 0.5371, donde se obtiene 1,417.8 hm<sup>3</sup> (Tabla 2).

**Tabla 2.-** Volumen de escurrimiento superficial (hm<sup>3</sup>).

Subcuenca	Factor de modificación		
	1.000	0.7000	0.5371
1	332.8	233.0	178.8
2	443.3	310.3	238.1
3	169.6	118.7	91.1
4	892.0	624.4	479.1
5	802.0	561.4	430.8
Cuenca total	2639.8	1847.9	1417.8

Los coeficientes de escurrimiento modificados que fueron aplicados a todas las subcuencas se presentan en la tabla 3.

**Tabla 3.-** Coeficientes de escurrimiento ajustados.

Tipo de suelo	Coefficiente
Agricultura de Riego	0.18799
Agricultura de Temporal	0.18799
Bosque	0.16650
Matorral	0.17724
Selva	0.16650
Sin Vegetación Aparente	0.16557
Vegetación Inducida	0.16113
Zona Urbana	0.39208

Con estos coeficientes se podrán obtener volúmenes de escurrimiento para diferentes lluvias en la zona, los cuales pueden generarse para cada sitio mediante modelos estocásticos

ARMA(1,1) de forma puntual o de multivariada (Salas et al, 1980), y a partir de éstos se podrán obtener volúmenes mensuales al aplicar un modelo de desagregación temporal (Salas et al, 1980).

## Resultados

Se ha presentado un procedimiento simple para la estimación de volúmenes de escurrimiento en subcuencas de gran tamaño contenidas en una cuenca aforada.

La metodología se reprodujo en cuencas vecinas, obteniéndose resultados similares.

Los resultados son importantes, ya que a través de los coeficientes obtenidos se podrá, junto con herramientas de hidrología estocástica, el generar muestras sintéticas de escurrimientos, ya se anuales o mensuales, con propósitos de planeación y diseño de los aprovechamientos hidráulicos.

## Referencias

Chow, Ven Te (1988). *Applied Hydrology*. McGraw Hill. USA.

CICESE (2018). CLImate COMputing project (CLICOM), <http://clicom-mex.cicese.mx/>

CONAGUA (2018). Banco Nacional de Aguas Superficiales (BANDAS), <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/Portada%20BANDAS.htm>

INEGI (2015). Conjunto de Datos Vectoriales de Usos de Suelo y Vegetación escala 1:250000. Series I, II, III, IV y V <https://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/usosuelo/Default.aspx>

Salas, J. D., Delleur, J. W., Yevjevich, V. and Lane, W. L. (1980), *Applied Modeling of Hydrologic Time Series*, Water Resources Publications, Littleton, Colorado, 484 p. USA.