



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
*La Universidad Católica de Loja*

---

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**“Implementación de un modelo lluvia escorrentía de evento en el laboratorio virtual de hidrología (HydroVLab)”**

TESIS DE GRADO PREVIA A LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL

**AUTOR:**

**Jaime Patricio Armijos Toledo**

**DIRECTOR:**

**Fernando Rodrigo Oñate Valdivieso, Ph.D.**

**LOJA – ECUADOR**

**2012**



## CERTIFICACIÓN

**Ph.D. Fernando Rodrigo Oñate Valdivieso**

DIRECTOR

CERTIFICA:

Que el Sr. Jaime Patricio Armijos Toledo, autor de la tesis **“Implementación de un Modelo Lluvia Escorrentía de Evento en el Laboratorio Virtual de Hidrología (HYDROVLAB)”**, ha cumplido con los requisitos estipulados en el Reglamento General de la Universidad Técnica Particular de Loja, la misma que ha sido coordinada y revisada durante su desarrollo, por lo cual autorizo su presentación.

---

Ph.D. Fernando Rodrigo Oñate Valdivieso

DIRECTOR DE TESIS



## AUTORÍA

---

El proceso de investigación realizado en la presente tesis como: conceptos, análisis, diseños, cálculos, resultados, verificaciones, conclusiones y recomendaciones que se exponen en el presente texto son de exclusiva responsabilidad del autor.

Además, cabe indicar que la información recopilada para el presente trabajo, se encuentra debidamente especificada en el apartado de las referencias.

---

Jaime Patricio Armijos Toledo



## **CESIÓN DE DERECHOS**

Yo, Jaime Patricio Armijos Toledo, declaro ser autor del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja, que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”.

---

Jaime Patricio Armijos Toledo

**AUTOR**



## **DEDICATORIA**

---

El presente trabajo lo dedico principalmente a Dios, por haberme permitido culminar con éxito todos los objetivos propuestos.

A mis queridos padres Jaime y Francia por su apoyo, sacrificio, amor y paciencia durante mi formación profesional y personal, ya que sin su entrega no podría haber logrado todas mis metas, gracias por todo, los amo mucho.

A mi hermana y hermanos Isabel, Jail y Joel, que han sido un impulso más durante mi vida, gracias por su cariño.

A mis abuelitos Eugenio y Eleuterio; hombres de trabajo y dedicación; que aunque ya no estén conmigo, su legado es lo que me ha hecho perseverar.

Jaime Patricio Armijos Toledo



## **AGRADECIMIENTO**

---

Agradecer sobre todo a Dios por estar conmigo en cada paso y por tener la dicha de tener a mis padres Jaime y Francia juntos; guiando mi camino y mi formación como profesional y personal; con paciencia, comprensión y entrega, gracias por todo, los amo mucho

A mis hermanos Isabel, Jail y Joel, que son una fuente de cariño en mi vida que me ayuda mucho, para alcanzar mis metas.

Al Ingeniero Fernando Oñate Valdivieso, Director de tesis, le expreso mis sinceros sentimientos de respeto, admiración y agradecimiento por su generoso asesoramiento y colaboración para la culminación del presente trabajo investigativo.

Al Ingeniero Santiago Quiñones, por su generoso asesoramiento y colaboración en la parte de programación en Visual.Net 2008.

A la UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR de LOJA, a través de los Docentes de la Escuela de Ingeniería Civil, ya que por medio de ellos recibí la formación y preparación profesional para el servicio a la sociedad.

Finalmente a mis compañeros, amigos y a quienes directa o indirectamente me ayudaron a culminar mis metas.

Jaime Patricio Armijos Toledo



## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	ii
<b>AUTORÍA</b> .....	iii
<b>CESIÓN DE DERECHOS</b> .....	iv
<b>DEDICATORIA</b> .....	v
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	vi
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	1
<b>ABREVIATURA</b> .....	4
<b>SIMBOLOGÍA</b> .....	4
<b>RESUMEN</b> .....	6
<b>1. Introducción</b> .....	7
1.1 Descripción General del Proyecto.....	8
1.2 Objetivos de la Investigación .....	10
1.2.1 Objetivo General.....	10
1.2.2 Objetivos Específicos .....	10
<b>2. Metodología</b> .....	11
2.1 PRECIPITACIÓN .....	12
2.1.1 Definiciones y Generalidades .....	12
2.1.1.1 Precipitación media de una Cuenca .....	12
2.1.1.1.1 Método de la Media Aritmética .....	13
2.1.1.1.2 Polígonos de Thiessen .....	13
2.1.1.1.3 Curvas Isoyetas .....	14
2.2 ANÁLISIS DE HIDROGRAMAS DE CRECIENTE .....	15
2.2.1 Definiciones y Generalidades .....	15
2.2.2 Hidrogramas .....	15
2.2.3 Precipitación efectiva.....	17
2.2.4 Hidrograma Unitario Sintético.....	18



2.2.4.1	Hidrograma Unitario Triangular .....	19
2.2.4.1.1	Definición y Fórmulas .....	19
2.2.4.2	Hidrograma Unitario Adimensional del S.C.S .....	21
2.2.4.2.1	Definición y Generalidades .....	21
2.2.4.2.2	Parámetros Utilizados.....	22
2.2.4.3	Estimación del número de Curva de Escorrentía, CN.....	23
2.2.4.3.1	Factores que influyen en la capacidad de infiltración.....	24
2.3	TRÁNSITO DE AVENIDAS .....	28
2.3.1	Definiciones y Generalidades .....	28
2.3.2	Métodos de tránsito de avenidas .....	30
2.3.2.1	Tránsito a través de cauces.....	30
2.3.2.1.1	Método de Muskingum - Cunge.....	30
2.4	IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS.....	34
2.4.1	MICROSOFT VISUAL STUDIO.....	34
2.4.2	ASP.NET .....	34
2.4.3	AJAX.....	34
2.4.4	ChartDirector .....	35
2.4.5	OpenLayers .....	36
<b>3.</b>	<b>Análisis de Resultados .....</b>	<b>38</b>
3.1	APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA MODELO DE LLUVIA ESCORRENTÍA.....	39
3.1.1	Pasos de cálculo un modelo de lluvia escorrentía.....	39
3.1.2	Modelo de Lluvia Escorrentía .....	42
3.1.2.1	Modelo de Lluvia Escorrentía – HydroVlab .....	44
3.1.2.2	Modelo de Lluvia Escorrentía – HydroVlab (Efecto de la precipitación efectiva en la tormenta, Método de Muskingum - Cunge) .....	54
3.1.2.3	Modelo de Lluvia Escorrentía – Excel.....	70
3.1.3	Resumen de la Validación de Resultados .....	73
<b>4.</b>	<b>Conclusiones y Recomendaciones.....</b>	<b>76</b>
4.1	CONCLUSIONES.....	77



4.2 RECOMENDACIONES.....	78
<b>5. Bibliografía .....</b>	<b>79</b>
5.1 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	80
5.2 ENLACES WEB.....	80



## ABREVIATURA

<i>m</i>	Metro
<i>mm</i>	Milímetro
<i>Km</i>	Kilómetro
<i>Km<sup>2</sup></i>	Kilómetro cuadrado
<i>m/s</i>	Metro/segundo
<i>m<sup>2</sup>/s</i>	Metro cuadrado
<i>m<sup>3</sup>/s</i>	Metro cúbico/segundo
<i>m/m</i>	Metro/ metro
<i>h</i>	Hora
<i>s</i>	Segundo
<i>mm/h</i>	Milímetro/hora

## SIMBOLOGÍA

<i>P</i>	Precipitación
<i>A<sub>i</sub></i>	Área
<i>NC</i>	Número de la curva de escorrentía
<i>A<sub>c</sub></i>	Área de la cuenca
<i>L</i>	Longitud del cauce.
<i>J</i>	Pendiente media del cauce
<i>de</i>	Duración efectiva
<i>Pe</i>	Precipitación efectiva
<i>tc</i>	Tiempo de concentración
<i>tr</i>	Tiempo de retraso
<i>tp</i>	Tiempo pico
<i>tb</i>	Tiempo base



$q_p$	Caudal pico
$Q_p$	Caudal máximo
$Q_b$	Caudal base
$A_p$	Área del cauce
$T_p$	Ancho del cauce
$\beta$	Exponente de proporción
$L_t$	Longitud del tramo
$\Delta t$	Intervalo de tiempo
$V$	Velocidad
$c$	Celeridad
$q_0$	Flujo por unidad de ancho
$C$	Número de Courant
$D$	Número de Reynolds
$x$	Coeficiente
$k$	Coeficiente
$C_0$	Coeficiente de tránsito
$C_1$	Coeficiente de tránsito
$C_2$	Coeficiente de tránsito
$Q_e$	Caudal de entrada
$Q_s$	Caudal de salida
$P_m$	Precipitación media de la cuenca
$P_n$	Precipitación registrada en la estación o entre isoyetas
$A_n$	Área parcial de cada polígono o isoyetas
$A_t$	Área total



## RESUMEN

La presente investigación se orientó a la elaboración de una herramienta informática para que sea implementada en el Laboratorio Virtual de Hidrología (HydroVLab), un software para el cálculo de un modelo de lluvia – escorrentía de evento, utilizando Microsoft Visual Studio.net 2008, mediante el cual se pretende crear una aplicación que permita facilitar y simplificar los cálculos laboriosos y en la mayoría de casos, muy complejos, que se deben realizar en los estudios hidrológicos.

El software está diseñado para simular la escorrentía superficial, mediante el hidrograma unitario adimensional del S.C.S y el tránsito de avenidas por el método de Muskingum Cunge.

Esta herramienta se encuentra en el HYDROVLAB dentro de la sección de **simulación** → “modelo lluvia escorrentía”.



---

# 1. Introducción

---



## 1.1 Descripción General del Proyecto

En un estudio hidrológico las variables que interviene en el análisis por lo general requieren de un gran número de cálculos, por lo que puede volverse en un proceso complejo que no solamente involucra a variaciones temporales de precipitación sino también, abstracciones hidrológicas y de escurrimiento. Por lo que se hace indispensable para la Ingeniería Hidrológica, la Modelación digital de cuencas; ya sea para análisis y diseño donde el objetivo sea simular la transformación de la precipitación en escurrimiento o también cualquier otro proceso que requiera ser modelado.

Para la aplicación de un modelo, en este caso de lluvia escorrentía, se debe obtener los datos de lluvia de la cuenca y mediante estos valores encontrar la precipitación neta o efectiva, para luego convertirlo en escorrentía o caudal. Este proceso de transformación puede llevarse a cabo en cualquiera de los métodos, ya sea por hidrogramas o por la utilización de modelos de depósito que no es otra cosa que la evolución de un hidrograma a medida que se discurre a lo largo de un cauce; que permite predecir volumen, velocidad y forma del flujo en función del tiempo, en uno o más puntos a lo largo de dicho cauce o canal.

La presente investigación se orientó a la elaboración de una herramienta informática para que sea implementada en el Laboratorio Virtual de Hidrología (HydroVLab), un software para el cálculo de un modelo de lluvia – escorrentía de evento, utilizando Microsoft Visual Studio.net 2008, mediante el cual se pretende crear una aplicación que permita facilitar y simplificar los cálculos laboriosos y en la mayoría de casos, muy complejos, que se deben realizar en los estudios hidrológicos.

Para el desarrollo del modelo de lluvia – escorrentía, se ha visto conveniente utilizar los siguientes métodos:



- Hidrograma Unitario Adimensional del S.C.S.; que es una representación gráfica en el cual se expresa la relación del caudal con respecto al caudal pico ( $Q/Q_p$ ) y la relación del tiempo con respecto al tiempo de ocurrencia del pico ( $t/t_p$ ).
- Muskingum-Cunge, es un método que obtiene la solución a través de una ecuación algebraica lineal donde  $k$  y  $x$  varían con respecto al tiempo y al espacio; para cada punto del cálculo.

El Laboratorio virtual de Hidrología (HydroVLab), se inició como una iniciativa académica que mediante un entorno virtual en Internet tiene la capacidad de proporcionar a estudiantes y profesores un medio para observar, experimentar y comprender el comportamiento de un sistema hidrológico y la interrelación de las variables involucradas.

El laboratorio virtual de Hidrología (HydroVLab) posee tres tipos de servicios:

1. Análisis de datos, que le permiten al usuario realizar análisis de consistencia, modelamiento de series históricas y estimación de información faltante.
2. Simulación de procesos, que permiten estudiar cada una de las fases del ciclo hidrológico y el efecto de la variación de sus parámetros.
3. Diseño de obras relacionadas a la hidrología, la hidráulica y la ingeniería fluvial, que se constituyen en una herramienta de apoyo para el proyectista.

En el caso de esta investigación se incluirá en el menú de simulación de procesos como modelo de lluvia – escorrentía de evento.



## 1.2 Objetivos de la Investigación

### 1.2.1 Objetivo General

- Implementar un modelo lluvia escorrentía de evento en el laboratorio virtual de Hidrología.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Investigar los fundamentos teóricos para un modelo de lluvia – escorrentía.
- Desarrollar herramientas de programación que permitan acoplarse a un modelo lluvia escorrentía de evento.
- Validar la aplicación desarrollada



---

## 2. Metodología

---



A continuación se expone la metodología utilizada para realizar la herramienta “Modelo de Lluvia Escorrentía de evento”

## 2.1 PRECIPITACIÓN

### 2.1.1 Definiciones y Generalidades

La precipitación es el fenómeno que abarca a todos aquellos hidrometeoros que caen, tales como, lluvia, granizo, nieve. Se conoce como hidrometeoro a cualquier producto formado por la condensación del vapor atmosférico ya sea en el aire o en la superficie de la tierra (Monsalve, 2006, Chow, 1994).

El análisis de las precipitaciones es un punto básico en cualquier estudio hidrológico, ya que nos sirve para cuantificar los recursos hídricos de entrada de agua en una cuenca. Además para la previsión de avenidas, diseño de obras hidráulicas y otros estudios como el de erosión entre otros.

#### 2.1.1.1 Precipitación media de una Cuenca

Dentro del manejo de la información pluvial de una cuenca hidrológica, es necesario conocer la altura de la lámina de agua o su equivalente: el volumen total de agua recogido en la cuenca, valor que se lo obtiene si se cuentan en la zona con datos puntuales.

Cuando la lámina de agua está referida a una cuenca hidrográfica, hablamos de la precipitación media de una cuenca. Esta precipitación media puede ser diaria, mensual, anual, plurianual, etc. existen varios procedimientos para determinar la precipitación media, de las cuales destacamos las siguientes:

- media aritmética
- polígonos de Thiessen
- método de las curvas isoyetas



#### 2.1.1.1.1 Método de la Media Aritmética

Se calcula en base a un promedio de las lluvias registradas en los pluviómetros de la zona de estudio. Se aplica en zonas donde las estaciones tengan una distribución uniforme. Se recomienda utilizar este método solo para cálculos preliminares (Aparicio, 1992).

$$P_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_n \quad (2.1)$$

Donde:

$P_m$ : Precipitación media de la cuenca

$P_n$ : Precipitación registrada en la estación  $i$

$n$ : Número de estaciones bajo análisis

#### 2.1.1.1.2 Polígonos de Thiessen

Este método se aplica en zonas donde la topografía no altere la distribución de las lluvias. Básicamente el procedimiento es el siguiente:

Teniendo la cuenca, se unen las estaciones vecinas entre sí, formando triángulos, utilizando el criterio de la menor distancia, luego se trazan mediatrices en cada lado de los triángulos, donde cada estación es representativa del área que la rodea.

La Precipitación media se obtiene aplicando (Aparicio, 1992):

$$P_m = \frac{P_1 \times A_1 + P_2 \times A_2 + \dots + P_n \times A_n}{A_t} \quad (2.2)$$

Donde:

$P_m$ : Precipitación media de la cuenca

$P_n$ : Precipitación registrada en la estación  $i$



An: Área parcial de cada polígono

At: Área total

### 2.1.1.1.3 Curvas Isoyetas

El método consiste en trazar curvas de igual precipitación para un periodo determinado. El procedimiento es el siguiente:

Dentro de un plano de la cuenca, se realiza una triangulación de estaciones vecinas, aplicando el criterio de la menor distancia, teniendo cuidado de no enlazar dos estaciones separadas por un accidente topográfico, donde se registren valores de lluvia diferentes, luego se una interpolación lineal entre las estaciones, con la finalidad de encontrar los puntos de igual precipitación, empleando líneas suaves y curvas continuas se unen los puntos de igual precipitación en forma similar al método empleado en curvas topográficas.

La Precipitación media se obtiene aplicando (Aparicio, 1992):

$$P_m = \frac{P_1 \times A_1 + P_2 \times A_2 + \dots + P_n \times A_n}{A_t} \quad (2.3)$$

Donde:

P<sub>m</sub>: Precipitación media de la cuenca

P<sub>n</sub>: Precipitación promedio entre dos curvas isoyetas

A<sub>n</sub>: Área delimitada por dos curvas isoyetas

A<sub>t</sub>: Área total

Para la aplicación de cualquiera de estos métodos se requiere conocer la precipitación puntual de cada estación, por lo que a mayor cantidad de estaciones se obtiene un valor cercano al real.



## 2.2 ANÁLISIS DE HIDROGRAMAS DE CRECIENTE

### 2.2.1 Definiciones y Generalidades

En lugares donde no se tengan registros de caudales, se suele recurrir a métodos empíricos y en base a estos se puede llegar a conseguir un caudal de diseño. Ante la carencia de información hidrométrica, se puede obtener los hidrogramas producidos en la cuenca de estudio, con el método de los hidrogramas sintéticos unitarios (triangular y adimensional). El método utilizado en esta investigación es el del hidrograma sintético unitario adimensional, que es de gran utilidad para medir el escurrimiento directo producido por una tormenta (Monsalve, 2006, Cueva, 2010).

A continuación se definirán algunos términos que se utilizarán en lo posterior.

**El escurrimiento.-** Es el agua que viene de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para luego ser drenada hasta la salida de la cuenca. Por su naturaleza, el escurrimiento superficial es el que llega más rápidamente a la salida de la cuenca por lo que está relacionado directamente con la precipitación en exceso o efectiva.

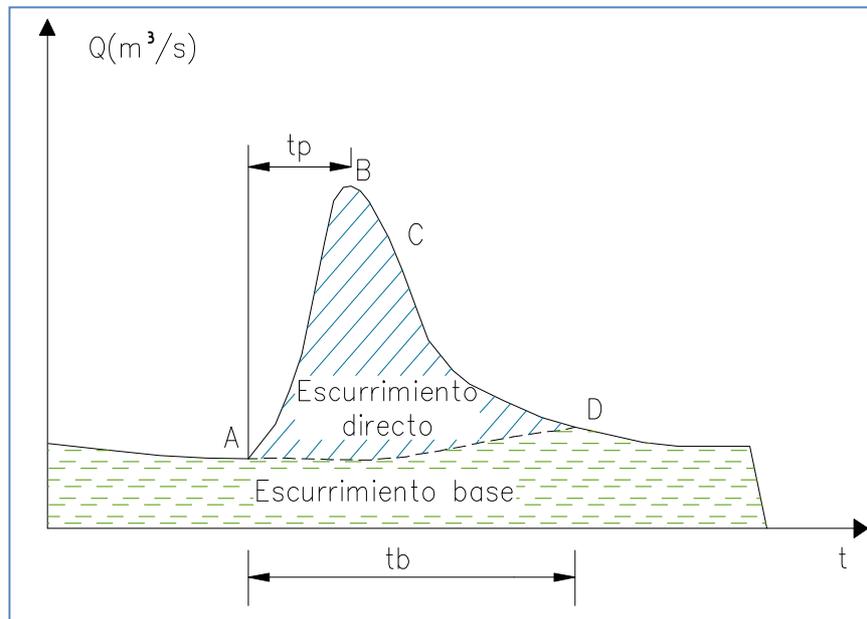
**Caudal.-** Se define como el volumen de escurrimiento por unidad de tiempo ( $m^3/s$ ).

### 2.2.2 Hidrogramas

Un hidrograma no es otra cosa que la expresión gráfica del caudal con respecto al tiempo es decir de  $Q = f(t)$ . Los hidrogramas en general pueden estar constituidos por las siguientes partes (Monsalve, 2006, Cueva, 2010).



**Figura 2.1** Representación gráfica del Hidrograma aislado producido por una cuenca



**Fuente:** "Fundamentos de Hidrología de superficie", Aparicio (1992), pág. 29

**A: punto de levantamiento.**- En este punto el agua de la tormenta comienza a llegar a la salida de la cuenca y se produce inmediatamente después de iniciada la tormenta, durante la misma o incluso algún tiempo después de que comenzó a llover. (Figura 2.1).

**B: pico.**- Es el caudal máximo que se produce por la tormenta. (Figura 2.1).

**C: punto de inflexión.**- Se termina el flujo sobre el terreno, por lo que el agua en la cuenca escurre por los canales y como escurrimiento subterráneo. (Figura 2.1).

**D: final del escurrimiento directo.** - Se presenta escurrimiento sólo de origen subterráneo. (Figura 2.1).

**tp: tiempo de pico.**- Tiempo que transcurre desde el punto de levantamiento hasta el pico del hidrograma. (Figura 2.1).

**tb: tiempo base.**- Es el tiempo que dura el escurrimiento directo. (Figura 2.1).





## 2.2.4 Hidrograma Unitario Sintético

El hidrograma unitario sintético es aquel que se utiliza en cuencas donde no existen datos de aforos (TÁNAGO, 2009), y se aplica solamente a esta y al punto del cauce en donde se midieron los caudales.

Es recomendable que los hidrogramas unitarios no se utilicen en cuencas cuyas áreas sean mayores a 5000 km<sup>2</sup> (Monsalve, 2006)

Existen tres tipos de Hidrogramas sintéticos.

- Aquellos que seleccionan las características del hidrograma (tasa de flujo pico, flujo base, etc.) con las características de la cuenca. (Chow, 1994)
- Aquellos basados en hidrogramas unitarios adimensionales. (S.C.S. U.S., 1972)
- Aquellos basados en modelos de almacenamiento de la cuenca (Aparicio, 1992)

A continuación se describe los pasos para la aplicación del método del hidrograma unitario:

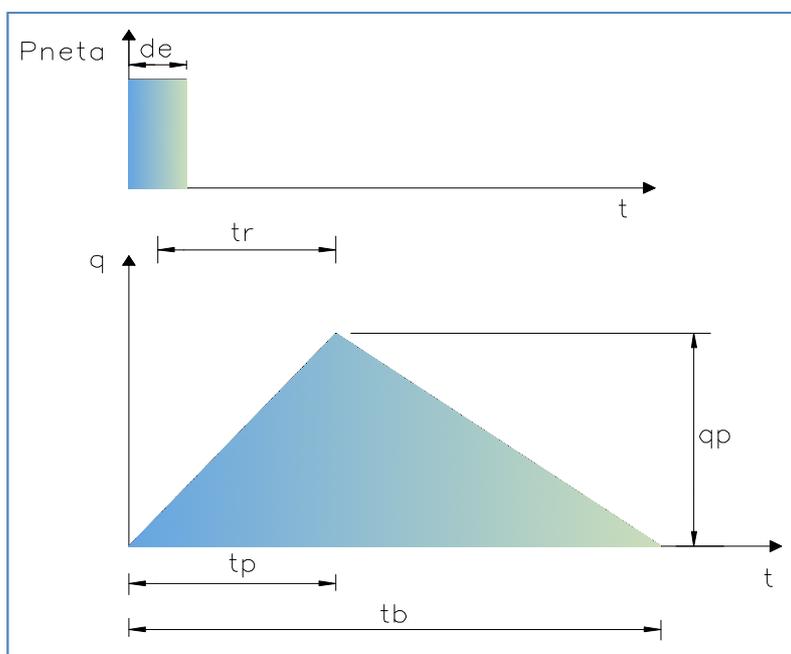
1. Se debe obtener las características de la cuenca a ser evaluada como: Pendiente media del cauce principal (J), área de la cuenca (Ac), longitud del cauce (L), precipitación total (P) y las condiciones hidrológicas del suelo.
2. Cálculo de la lluvia de exceso a partir de la lluvia total de diseño y de la infiltración esperada.
3. Determinación del hidrograma unitario de la cuenca.
4. Aplicación de la lluvia de exceso al hidrograma unitario.
5. Interpretación de los resultados para estimar el caudal pico de creciente.



### 2.2.4.1 Hidrograma Unitario Triangular

Mockus (1957), (citado en Aparicio, 1992), desarrolló un hidrograma unitario sintético de forma triangular. Son los hidrogramas más fáciles de determinar, aunque no representa la forma de un hidrograma original, pero es de utilidad para determinar los parámetros principales de un hidrograma y con estos parámetros y utilizando el hidrograma adimensional se puede llegar a representar la forma original del hidrograma para una cuenca (Figura 2.3).

**Figura 2.3** Hidrograma unitario triangular



**Fuente:** “Hidrología en la Ingeniería”, Germán Monsalve Sáenz (2006), pág. 196

#### 2.2.4.1.1 Definición y Fórmulas

##### 🌐 Tiempo de concentración ( $t_c$ )

Es el tiempo que tarda en viajar una partícula hidrológicamente desde el punto más lejano de la cuenca hasta el sitio de interés.



Existen varias ecuaciones que determinan el tiempo de concentración ( $t_c$ ), pero la que se utiliza en esta investigación es la fórmula de Kirpich, la cual se muestra a continuación (Aparicio, 1992).

$$t_c = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (2.4)$$

Donde:

$t_c$ : tiempo de concentración, ( h ).

L: longitud del cauce principal, (m).

S: Pendiente promedio del recorrido del cauce, (m/m).

#### **Tiempo de retraso ( $t_r$ )**

Chow (1964), (citado en Aparicio, 1992), define al tiempo de retraso como el tiempo desde el centroide de la duración efectiva de la lluvia en exceso o neta de la tormenta hasta el tiempo pico ( $t_p$ ) del hidrograma (Figura 2.3).

$$t_r = 0.6 \times t_c \quad (2.5)$$

#### **Duración en exceso ( $d_e$ )**

Es el tiempo que dura la precipitación efectiva o en exceso, cuando alcanza el caudal máximo de crecida o caudal pico (Aparicio, 1992), (Figura 2.3).

$$d_e = 2 \times \sqrt{t_c} \quad (2.6)$$

#### **Tiempo pico ( $t_p$ )**

Según Chow (1994), es el tiempo que transcurre desde que inicia el escurrimiento directo hasta presentarse el caudal pico (Figura 2.3).



$$t_p = \frac{d_e}{2} + t_r \quad (2.7)$$

### **Tiempo base (tb)**

Es el tiempo que comprende al ancho del hidrograma de escurrimiento directo (Aparicio, 1992), (Figura 2.3).

$$t_b = \frac{8}{3} \times t_p \quad (2.8)$$

### **Caudal Pico (qp)**

Es el caudal máximo observado en el hidrograma de escurrimiento (Aparicio, 1992), (Figura 2.3).

$$q_p = \frac{0.208 \times A_c \times P_e}{t_p} \quad (2.9)$$

Donde:

qp: Caudal pico, (m<sup>3</sup>/s).

Ac: Superficie de la cuenca, (km<sup>2</sup>).

tp: Tiempo pico, (h).

Pe: Precipitación efectiva (mm.)

## **2.2.4.2 Hidrograma Unitario Adimensional del S.C.S**

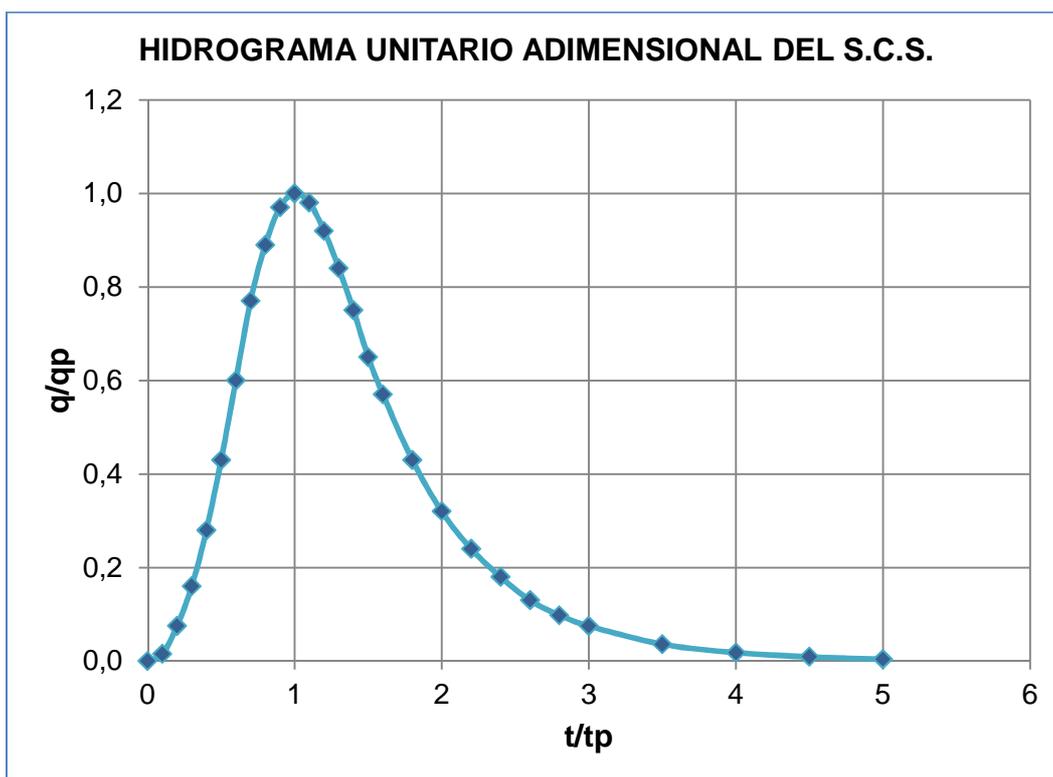
### **2.2.4.2.1 Definición y Generalidades**

Según Mockus (1950), (citado en Cueva, 2010), el hidrograma sintético al igual que el descrito anteriormente (hidrograma triangular), permite obtener el hidrograma unitario sin que se tengan registros de precipitación y escorrentía de la cuenca. El hidrograma unitario sintético de forma triangular se lo utiliza para propósitos prácticos, sin embargo en ciertos diseños la extensión de la curva de recesión tiene



un papel preponderante y en tal virtud se usa el hidrograma curvilíneo adimensional (Figura 2.4).

**Figura 2.4** Representación gráfica del hidrograma unitario adimensional del S.C.S.



**Fuente:** "Hidrología en la Ingeniería", Germán Monsalve Sáenz (2006), pág. 241

#### 2.2.4.2.2 Parámetros Utilizados

El Hidrograma Unitario Adimensional del S.C.S.; es una representación gráfica en el cual se expresa la relación del caudal con respecto al caudal pico ( $Q/Q_p$ ) y la relación del tiempo con respecto al tiempo de ocurrencia del pico ( $t/t_p$ ) (Figura 2.4) y cuyas coordenadas de su respectiva gráfica se encuentran en la (Tabla 2.1).

Para llegar a obtener el hidrograma unitario adimensional a partir de las coordenadas mostradas en la Tabla 2.1 para una cuenca en particular, bastaría con multiplicar las ordenadas por el caudal de pico ( $q_p$ ) y las abscisas por el tiempo de pico ( $t_p$ ). Cabe recordar que los valores del caudal de pico ( $q_p$ ) y el tiempo de pico



(tp) pueden estimarse empleando el modelo simplificado del hidrograma unitario triangular (Cueva, 2010).

**Tabla 2.1** Coordenadas del Hidrograma unitario adimensional del S.C.S.

t/tp	q/qp	t/tp	q/qp
0.0	0	1.4	0.75
0.1	0.015	1.5	0.65
0.2	0.075	1.6	0.57
0.3	0.16	1.8	0.43
0.4	0.28	2.0	0.32
0.5	0.43	2.2	0.24
0.6	0.6	2.4	0.18
0.7	0.77	2.6	0.13
0.8	0.89	2.8	0.098
0.9	0.97	3.0	0.075
1.0	1	3.5	0.036
1.1	0.98	4.0	0.018
1.2	0.92	4.5	0.009
1.3	0.84	5.0	0.004

**Fuente:** S.C.S, U.S. (1972), citado en (Ritzema, 1994). Drainage Principles and Applications, pág. 136

### 2.2.4.3 Estimación del número de Curva de Escorrentía, CN

La finalidad de la estimación del número de curva de escorrentía (CN) es obtener el valor de la precipitación efectiva, neta o en exceso ( $P_e$ ) a partir de la precipitación total ( $P$ ) y las características de la cuenca, debido a que en otros métodos se requiere que la cuenca esté aforada, siendo de gran utilidad en zonas donde no se tiene registros hidrológicos.

La S.C.S, U.S. (1957), (citado en Aparicio, 1992), propone la relación entre la precipitación efectiva ( $P_e$ ), y la precipitación total ( $P$ ) se lo realiza mediante las curvas del número de escorrentía (Figura 2.5), las mismas que se expresan algebraicamente mediante la ecuación.



$$Pe = \frac{\left(P - \frac{508}{CN} + 5.08\right)^2}{P + \frac{2032}{CN} - 20.32} \quad (2.10)$$

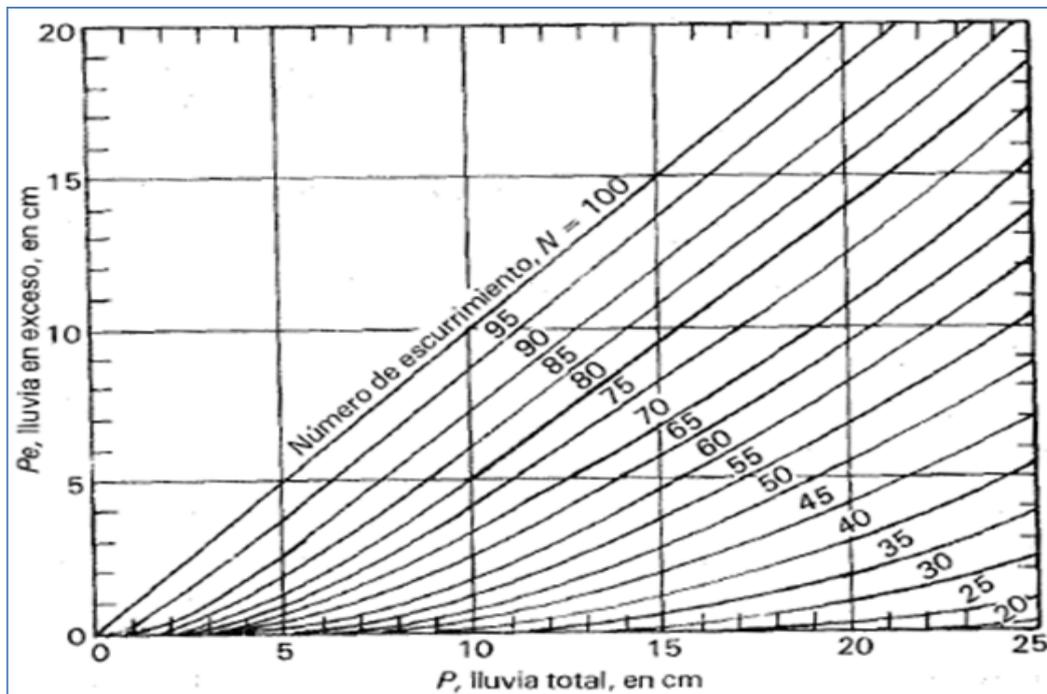
Donde:

Pe: Precipitación efectiva, (cm).

P: Precipitación total para la duración de tormenta seleccionada, (cm).

CN: Numero de curva o de escurrimiento, (adimensional).

**Figura 2.5** Relación entre la precipitación total (P) y la Precipitación efectiva (Pe) para diferentes números de escurrimiento (CN)



**Fuente:** "Fundamentos de Hidrología de superficie", Aparicio (1992), pág. 187

#### 2.2.4.3.1 Factores que influyen en la capacidad de infiltración

Entre los principales factores tenemos:

- Uso del suelo. (sin cultivo, pastizales, etc.)
- Tratamiento superficial al que ha sido sometido el suelo.



- Condición hidrológica del suelo: pobre (suelos erosionados); buena (suelos con cobertura vegetal).
- Grupo hidrológico del suelo (Tabla 2.2); presenta las texturas para diferentes tipos de suelo:

A: muy permeable.

B: permeable

C: impermeable

D: muy impermeable

**Tabla 2.2** Grupo hidrológico del suelo

Tipo de Suelo	Textura del Suelo
A	Arenas con poco limo y arcilla : Suelos muy permeables
B	Arenas finas y limos: Suelos permeables
C	Arenas muy finas, limos, suelos con alto contenido de arcilla: Suelos impermeables
D	Arcillas en grandes cantidades; suelos poco profundos con subhorizontes de roca sana: Suelos muy impermeables.

**Fuente:** “Fundamentos de Hidrología de superficie”, Aparicio (1992), pág. 189

- Humedad antecedente: relacionada con la cantidad de lluvia caída en la cuenca durante los 5 días precedentes ( $II_5$ ). Se definen 3 grupos.

**Tabla 2.3** Humedad antecedente

<b>CN I</b>	Suelos secos; Si $II_5 < 2.5$ cm, hacer corrección (Tabla 3.3).
<b>CN II</b>	Suelos intermedios; Si $2.5 < II_5 < 5$ cm, no hacer corrección.
<b>CN III</b>	Suelos húmedos; Si $II_5 > 5$ cm, hacer corrección (Tabla 3.3).

**Fuente:** “Fundamentos de Hidrología de superficie”, Aparicio (1992), pág. 189



El verdadero valor de CN es igual a cualesquiera de los 3 tipos (CN I, CN II, CN III), por lo que este vendría a ser el valor definitivo del número de la curva y de acuerdo a las condiciones que se encuentra expuesto el suelo.

**Tabla 2.4** Valores de CN para diferentes condiciones de humedad del suelo.

CN I	CN II	CN III
100	100	100
95	87	98
90	78	96
85	70	94
80	63	91
75	57	88
70	51	85
65	45	82
60	40	78
55	35	74
50	31	70
45	26	65
40	22	60
35	18	55
30	15	50

**Fuente:** S.C.S, U.S. (1972), citado en (Ritzema, 1994). Drainage Principles and Applications, pág. 129

Otra manera de determinar CN I y CN III en función de CN II es mediante las siguientes ecuaciones (Chow, 1994):

$$CN I = \frac{4.2 \times CN II}{10 - 0.058 \times CN II} \quad (2.11)$$

$$CN III = \frac{23 \times CN II}{10 + 0.13 \times CN II} \quad (2.12)$$

El número de curva resultante estará comprendido entre 0 y 100. Para elegir el número de curva de una zona hay que utilizar unas tablas que figuran en la mayor parte de los libros de Hidrología. Se trata de elegir la descripción de la tabla que



más se asemeje al lugar de estudio, entre este sinnúmero de tablas se ha creído conveniente considerar la siguiente tabla de ajuste general (Tabla 2.5).

**Tabla 2.5** Valores de CN II para diferentes usos y tratamientos del suelo

Uso de la tierra y cobertura	Tratamiento del suelo	Pendiente del terreno en %	Tipo de suelo				
			A	B	C	D	
Sin cultivo	Surcos rectos	—	77	86	91	94	
Cultivos en surcos	Surcos rectos	> 1	72	81	88	91	
		< 1	67	78	85	89	
	Contorneo	> 1	70	79	84	88	
		< 1	65	75	82	86	
	Terrazas	> 1	66	74	80	82	
		< 1	62	71	78	81	
Cereales	Surcos rectos	> 1	65	76	84	88	
		< 1	63	75	83	87	
	Contorneo	> 1	63	74	82	85	
		< 1	61	73	81	84	
	Terrazas	> 1	61	72	79	82	
		< 1	59	70	78	81	
Leguminosas o praderas con rotación	Surcos rectos	> 1	66	77	85	89	
		< 1	58	72	81	85	
	Contorneo	> 1	64	75	83	85	
		< 1	55	69	78	83	
	Terrazas	> 1	63	73	80	83	
		< 1	51	67	76	80	
Pastizales	-----	> 1	68	79	86	89	
		< 1	39	61	74	80	
	Contorneo	> 1	47	67	81	88	
		< 1	6	35	70	79	
Pradera permanente	-----	< 1	30	58	71	78	
Bosques naturales	Muy ralo	-----	—	56	75	86	91
	Ralo	-----	—	46	68	78	84
	Normal	-----	—	36	60	70	77
	Espeso	-----	—	26	52	62	69
	Muy espeso	-----	—	15	44	54	61
Caminos	de terracería	-----	—	72	82	87	89
	de superficie dura	-----	—	74	84	90	92

**Fuente:** “Fundamentos de Hidrología de superficie”, Aparicio (1992), pág. 188



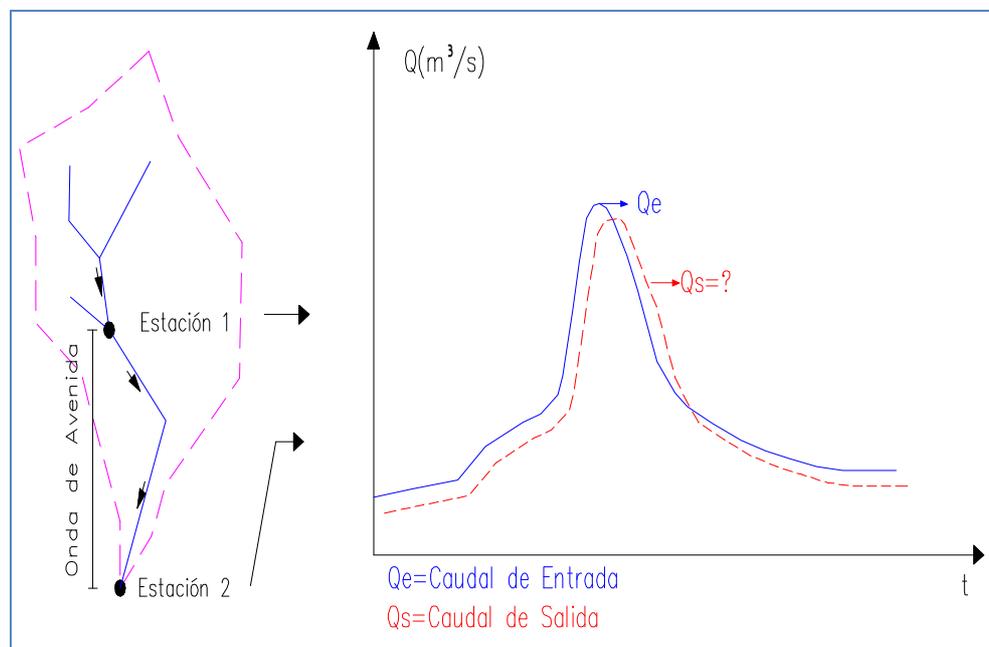
Números de curva altos implican escorrentías elevadas. En cambio, números de curva bajos aseguran altas tasas de infiltración, baja escorrentía superficial y escasa erosión hídrica.

## 2.3 TRÁNSITO DE AVENIDAS

### 2.3.1 Definiciones y Generalidades

El tránsito de avenidas es un procedimiento matemático que permite predecir el cambio en magnitud, velocidad y forma de una onda de flujo en función del tiempo (Hidrograma de avenida), que discurre a lo largo de un canal a través de un depósito o embalse (Figura 2.6). El curso de agua puede ser un río, una quebrada, un canal de riego o drenaje, etc. y el hidrograma de avenida puede resultar del escurrimiento producto de la precipitación y/o deshielo y descargas de un embalse, etc. (Sánchez, 2004, Cueva, 2010a, Chavarri, 2008).

Figura 2.6 Tránsito de Avenidas



Fuente: Elaboración propia



El tránsito de avenidas se utiliza principalmente para determinar el nivel de máxima crecida en lugares río abajo, y con esto estimar si las alcantarillas y los aliviaderos o vertederos son adecuados, además nos ayuda a pronosticar el nivel que pueden alcanzar las crecidas en las llanuras de inundación entre otros cálculos que dependen del caudal como es el caso de una presa o un embalse de control de crecidas.

Para el tránsito de avenidas se emplean métodos basados en la física donde se aplican los principios de la masa y de conservación del momento; de los cuales existen dos enfoques: hidrológico e hidráulico (Cueva, 2010a).

- Los métodos hidrológicos aplican la ecuación de conservación de la masa, pero hacen algunas suposiciones simplificadoras, estas ecuaciones se pueden resolver manualmente, si resulta necesario.
- Los métodos hidráulicos hacen menos suposiciones y aplican las ecuaciones de conservación de la masa y del movimiento del fluido, pero exigen mucha más información topográfica y de caudal. Debido a que los métodos numéricos empleados son muy complejos, las ecuaciones de cálculo hidráulico de tránsito de avenidas es mucho más rápido resolverlas utilizando un software informático.

Si se adopta un enfoque hidrológico, necesitamos saber el cambio en el volumen de agua que entra y sale de un tramo de un cauce o río. Mientras que si se toma en cuenta un enfoque hidráulico, se requiere el cambio de volumen y los cambios de energía del sistema fluvial (Cueva, 2010a).

Dentro del tránsito de avenidas es importante destacar tres aspectos:

- Si los caudales afluente (entrante) y efluente (saliente) del sistema son iguales, el nivel del agua y el volumen asociado permanecerán iguales.



- Si el caudal afluente excede el caudal efluente, el nivel y el volumen del agua aumentarán.
- Finalmente, si el caudal efluente excede el caudal afluente, el nivel y el volumen del agua bajarán.

### 2.3.2 Métodos de tránsito de avenidas

De entre los métodos de tránsito de avenidas que existen, en esta investigación se analizara el método de tránsito a través de cauces

#### 2.3.2.1 Tránsito a través de cauces

El río es también una especie de almacenador de agua alargado la cual utiliza la ecuación de la continuidad para su solución y alguna relación entre almacenamiento y caudal de salida (Aparicio, 1992).

En este tipo de tránsito se distinguen dos métodos: Muskingum y el método utilizado en esta investigación que es el de Muskingum-Cunge.

##### 2.3.2.1.1 Método de Muskingum - Cunge

El método de Muskingum - Cunge es una variación del método de Muskingum hecha por Cunge, la cual consiste en cambiar la base cinemática del método de Muskingum a un método análogo del tipo difusivo para tener la capacidad de predecir la atenuación de la onda del hidrograma (Ponce, 1994).

Este método calcula las dos constantes utilizadas en el método de Muskingum,  $k$  y  $x$ , mediante parámetros hidráulicos del cauce así:

$$k = Lt/C \quad (2.13)$$

$$x = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{q_0}{S_0 \times c \times Lt} \right) \quad (2.14)$$



Donde:

Lt: Longitud del tramo del cauce considerado.

c: Celeridad

S<sub>o</sub>: Pendiente media del cauce (adimensional).

q<sub>o</sub>: Flujo por unidad de ancho

La celeridad de la onda cinemática la calculamos con la siguiente fórmula:

$$c = \beta \times V \quad (2.15)$$

Además los coeficientes de tránsito son:

$$C_0 = \frac{c \times \left(\frac{\Delta t}{L_t}\right) - 2 \times (x)}{2 \times (1 - x) + c \times \left(\frac{\Delta t}{L_t}\right)} \quad (2.16)$$

$$C_1 = \frac{c \times \left(\frac{\Delta t}{L_t}\right) + 2 \times (x)}{2 \times (1 - x) + c \times \left(\frac{\Delta t}{L_t}\right)} \quad (2.17)$$

$$C_2 = \frac{2 \times (1 - x) - c \times \left(\frac{\Delta t}{L_t}\right)}{2 \times (1 - x) + c \times \left(\frac{\Delta t}{L_t}\right)} \quad (2.18)$$

Una característica única del método Muskingum-Cunge es la independencia de la red del hidrograma de salida calculado, lo que lo distingue de otras soluciones de onda cinemática lineal con la difusión incontrolada numérica y la dispersión.

La correcta aplicación de este método requiere elegir correctamente el  $\Delta t$  y  $L_t$ . Para ello se dividirá el tramo estudiado en subtramos, de modo que el caudal de salida de uno de ellos será el caudal de entrada del siguiente.

Si la dispersión numérica se reduce al mínimo, el caudal de salida calculado en el extremo inferior de un tramo del canal será esencialmente el mismo,



independientemente del número de tramos que se utilizan en el cálculo. Esto se debe a que  $(x)$  es una función de  $Lt$ , y los coeficientes  $C_0$ ,  $C_1$  y  $C_2$  varían de acuerdo al alcance de la longitud de tránsito (Adaptado Ponce, 1994).

Una versión mejorada del método Muskingum-Cunge es gracias a Ponce - Yevjevich. El valor de  $(C)$  es el número de Courant y se utiliza la siguiente fórmula:

$$C = c \times \frac{\Delta t}{Lt} \quad (2.19)$$

El Número de Reynolds se calcula con:

$$D = \frac{q_0}{S_0 \times c \times Lt} \quad (2.20)$$

Donde  $D$  es el número de Reynolds por lo tanto:

$$x = \frac{1}{2} \times (1 - D) \quad (2.21)$$

El término para calcular el coeficiente de tránsito tomando en cuenta el coeficiente de Courant ( $C$ ) y el número de Reynolds (Ponce, 1994).

$$C_0 = \frac{-1 + C + D}{1 + C + D} \quad (2.22)$$

$$C_1 = \frac{1 + C - D}{1 + C + D} \quad (2.23)$$

$$C_2 = \frac{1 - C + D}{1 + C + D} \quad (2.24)$$

Una vez definido  $\Delta t$  se calcula  $Lt$  como:

$$Lt = c \times (\Delta t) \quad (2.25)$$

Para poder realizar los cálculos del método de Muskingum-Cunge es necesario conocer las siguientes fórmulas básicas:



Velocidad media:

$$V = \frac{Q_p}{A_p} \quad (2.26)$$

La onda de celeridad:

$$c = \beta \times (V) \quad (2.27)$$

Flujo por unidad de ancho  $q_o$ :

$$q_o = \frac{Q_p}{T_p} \quad (2.28)$$

Donde:

$Q_p$ : Caudal máximo ( $m^3/s$ )

$A_p$ : Área del cauce, ( $m^2$ )

$V$ : Velocidad, ( $m/s$ )

$\beta$ : Exponente de proporción, (adimensional)

$T_p$ : Ancho del cauce, (m)

Mediante esta herramienta “Modelo de Lluvia – Escorrentía de evento” se pretende que el usuario pueda analizar el comportamiento hidrológico de la cuenca, simulando la escorrentía superficial y tránsito de caudales. Para un procedimiento más detallado acerca del funcionamiento de esta herramienta de simulación, se recomienda ver el manual del usuario en el laboratorio virtual (HydroVLab) en la sección simulación – modelo lluvia escorrentía de evento, y se lo puede ubicar en la siguiente dirección de internet:

[http://www.hydrovlab.utpl.edu.ec/hydrovlexperimentos/simulación/modelolluviaescorrentia/Modelo\\_lluvia\\_escorrentia.aspx](http://www.hydrovlab.utpl.edu.ec/hydrovlexperimentos/simulación/modelolluviaescorrentia/Modelo_lluvia_escorrentia.aspx)



## 2.4 IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS

La herramienta del HYDROVLAB realizada en esta investigación (Modelo de Lluvia Escorrentía de Evento) se codificó en MICROSOFT VISUAL STUDIO ASP.NET 2008. Adicionalmente se utilizó controles de herramientas de AJAX para acelerar el proceso de los resultados.

### 2.4.1 MICROSOFT VISUAL STUDIO<sup>1</sup>

Es un entorno de desarrollo integrado (IDE, por sus siglas en inglés) para sistemas operativos Windows. Soporta varios lenguajes de programación tales como Visual C++, Visual C#, Visual J#, ASP.NET y Visual Basic .NET, aunque actualmente se han desarrollado las extensiones necesarias para muchos otros.

Visual Studio permite a los desarrolladores crear aplicaciones, sitios y aplicaciones web, así como servicios web en cualquier entorno que soporte la plataforma .NET (a partir de la versión net 2002). Así se pueden crear aplicaciones que se intercomunican entre estaciones de trabajo, páginas web y dispositivos móviles.

### 2.4.2 ASP.NET<sup>2</sup>

Es un framework para aplicaciones web desarrollado y comercializado por Microsoft. Es usado por programadores para construir sitios web dinámicos, aplicaciones web y servicios web XML.

### 2.4.3 AJAX<sup>3</sup>

Son las siglas de **A**synchronous **J**avaScript **A**nd **X**ML. No es un lenguaje de programación sino un conjunto de tecnologías (HTML-JavaScript-CSS-DHTML-PHP/ASP.NET/JSP-XML) que nos permiten hacer páginas de internet más interactivas.

<sup>1</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Microsoft\\_Visual\\_Studio](http://es.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Visual_Studio)

<sup>2</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/ASP.NET>

<sup>3</sup> <http://www.ajaxya.com.ar/temarios/descripcion.php?cod=8&punto=1>



La característica fundamental de AJAX es permitir actualizar parte de una página con información que se encuentra en el servidor sin tener que refrescar completamente la página. De modo similar podemos enviar información al servidor.

La complejidad se encuentra en que debemos dominar varias tecnologías:

- ④ HTML o XHTML
- ④ CSS
- ④ JavaScript
- ④ DHTML Básicamente debemos dominar todos los objetos que proporciona el DOM.
- ④ XML Para el envío y recepción de los datos entre el cliente y el servidor.
- ④ PHP o algún otro lenguaje que se ejecute en el servidor (ASP.Net/JSP)

#### 2.4.4 ChartDirector<sup>4</sup>

Es un componente gráfico profesional para aplicaciones Windows y Web que crea varios tipos de gráficas (circulares, de anillos, barras, etc.) y permite su personalización. ChartDirector está disponible en los siguientes lenguajes de programación y tecnologías de componentes.

- ④ ASP / COM / Visual Basic / VBScript / JScript
- ④ .NET (C#, VB.NET, Managed C++, JScript.NET, J#)
- ④ Java
- ④ PHP
- ④ Perl
- ④ Python
- ④ C++

---

<sup>4</sup> <http://www.advsofteng.com/index.html>



### 2.4.5 OpenLayers<sup>5</sup>

OpenLayers es una biblioteca pura de JavaScript para la visualización de los datos del mapa en la mayoría de los navegadores web modernos, sin dependencias del lado del servidor. OpenLayers implementa una API de JavaScript para la construcción de ricas aplicaciones basadas en web geográficos, de forma similar a la de Google Maps y MSN Virtual Earth API, con una diferencia importante - OpenLayers es un software libre, desarrollado por y para la comunidad de software Open Source.

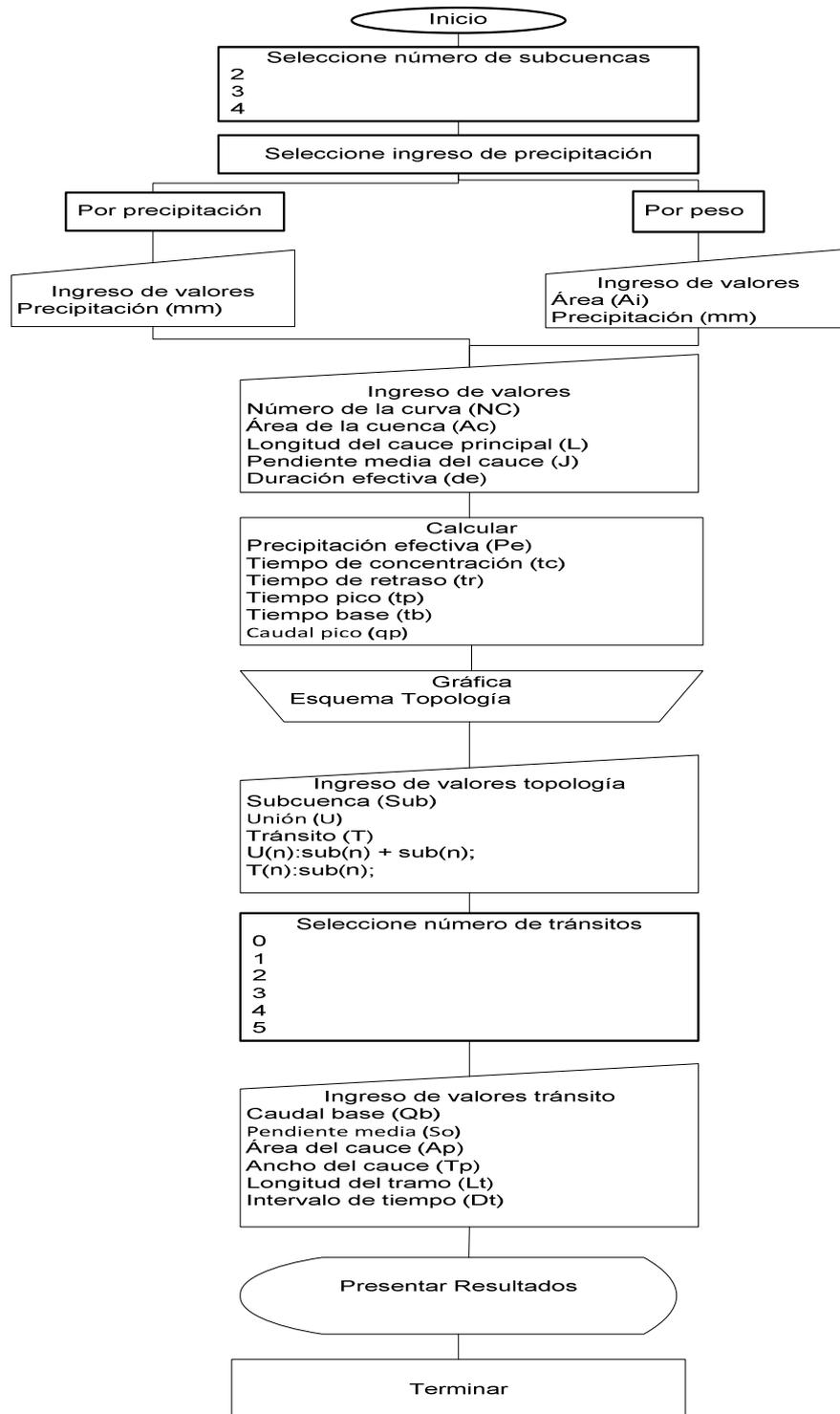
A continuación en la (Fig. 2.7) se muestra el diagrama de flujo del modelo de lluvia escorrentía de evento.

---

<sup>5</sup> <http://openlayers.org/>



Figura 2.7 Diagrama de flujo para el modelo de lluvia – escorrentía de evento



Fuente: Elaboración propia



---

## 3. Análisis de Resultados

---



Esta parte de la investigación contiene un ejemplo de cálculo que nos permitirá hacer comparaciones entre el programa realizado con otros similares y hojas de excel.

Los resultados nos permitirán comparar y con esto verificar y validar los resultados.

## 3.1 APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA MODELO DE LLUVIA ESCORRENTÍA

### 3.1.1 Pasos de cálculo un modelo de lluvia escorrentía

1.- Los datos para los hidrogramas son la Precipitación media de la cuenca (P), número de la curva (NC), área de la cuenca (Ac), Longitud del cauce principal (L), pendiente media del cauce (J), duración efectiva (de)

2.- Realizamos los cálculos para las gráficas:

☉ Precipitación efectiva:

$$Pe = \frac{\left(P - \frac{508}{CN} + 5.08\right)^2}{P + \frac{2032}{CN} - 20.32}$$

☉ Tiempo de concentración:

$$tc = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

☉ Tiempo de retraso:

$$tr = 0.6 \times tc$$

☉ Tiempo pico:

$$tp = \frac{de}{2} + tr$$

☉ Tiempo base:



$$tb = \frac{8}{3} \times tp$$

🌀 Caudal Pico:

$$qp = \frac{0.208 \times Ac \times Pe}{tp}$$

3.- Introducir la topología de la cuenca:

🌀 Para unión de Hidrogramas

$$U_{(1-3)}: sub_{(n)} + sub_{(n)};$$

$$U_{(1-3)}: sub_{(n)} + T_{(1-5)};$$

🌀 Para tránsito de avenidas

$$T_{(1-5)}: sub_{(n)};$$

$$T_{(1-5)}: U_{(1-3)};$$

*n= 1 hasta 4*

*El programa permite realizar calcular hasta cuatro (4) subcuencas, tres (3) uniones, cinco (5) tránsitos.*

4.- Los datos para el tránsito de avenidas son el caudal base ( $Q_b$ ), pendiente media ( $S_o$ ), área del cauce ( $A_p$ ), ancho del cauce ( $T_p$ ),  $\beta$ , longitud del tramo ( $L_t$ ), intervalo de tiempo ( $D_t$ ), y caudal de entrada ( $Q_e$ ) que se lo ubica (columna 1) de acuerdo a la topología de la cuenca

5.- Realizamos los cálculos previos al tránsito:

🌀 Velocidad:

$$V = \frac{Q_p}{A_p}$$



- Celeridad:

$$c = \beta \times V$$

- Flujo por unidad de ancho:

$$q_0 = \frac{Q_p}{T_p}$$

- Número de Courant:

$$C = c \times \frac{\Delta t}{L_t}$$

- Número de Reynolds:

$$D = \frac{q_0}{S_0 \times c \times L_t}$$

- Coeficiente (x):

$$x = \frac{1}{2}(1 - D)$$

- Coeficiente (k):

$$k = \frac{L_t}{C}$$

- Coeficientes  $C_0$ ,  $C_1$  y  $C_2$  respectivamente:

$$C_0 = \frac{-1 + C + D}{1 + C + D},$$

$$C_1 = \frac{1 + C - D}{1 + C + D},$$

$$C_2 = \frac{1 - C + D}{1 + C + D}$$

6.- Realizamos los siguientes cálculos de las columnas (3, 4 y 5) con las expresiones respectivamente:

$$(3) C_0 Q_e2, (4) C_1 Q_e1, (5) C_2 Q_s1$$



7.- Para calcular el caudal de salida se calcula:

$$Q_s = C_0 Q_{e2} + C_1 Q_{e1} + C_2 Q_{s1}$$

8.- Para las graficas del tránsito se utiliza la columna 2 (tiempo) en el eje X y la columna 1 (Qe) y columna 6 (Qs) en el eje Y

9.- Para realizar la topología de la cuenca; en caso de ser una unión, se suma tiempo con tiempo y caudal con caudal del hidrograma S.C.S, si en caso contrario es un tránsito, el valor de caudal máximo (Qp), se escoge de entre los valores de caudal del hidrograma S.C.S, el valor mayor es dicho caudal.

### 3.1.2 Modelo de Lluvia Escorrentía

Sabiendo los valores:

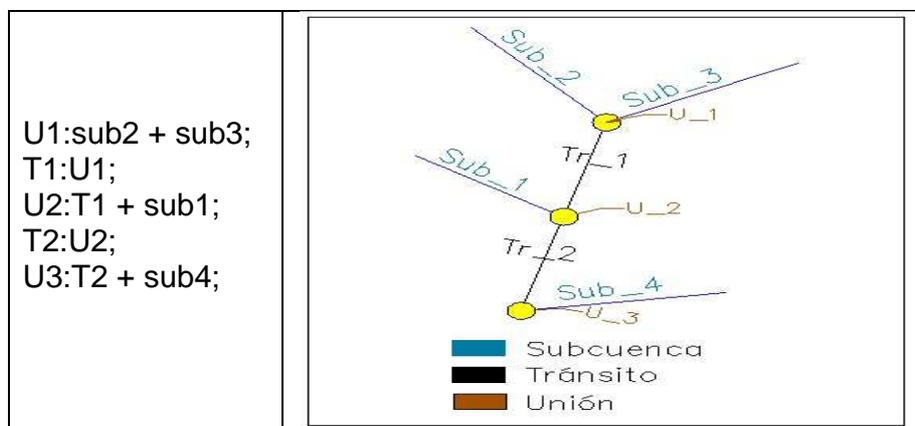
☁ Para los hidrogramas, para cuatro subcuencas en estudio

Número de subcuencas		4					
Subcuenca 1		Subcuenca 2		Subcuenca 3		Subcuenca 4	
Área (Ai)	P(mm)	Área (Ai)	P(mm)	Área (Ai)	P(mm)	Área (Ai)	P(mm)
10.6	64	10.5	60	9.2	10.5	10.5	74
11.8	60	11.8	55	8.5	12	12	84
12.9	79	10.9	79	9	9	9	86
9.5	80	10.2	70	10.8	10.8	10.8	82
8.7	78	9.8	75	9.8	9.8	9.8	87
7.9	73	9.5	71	5.8	8.6	8.6	65
P= 72 mm		P= 68 mm		P= 55 mm		P= 80 mm	
			Subcuenca1	Subcuenca2	Subcuenca3	Subcuenca4	
NÚMERO DE LA CURVA NC =			77	82	80	77	



ÁREA DE LA CUENCA $A_c$ (Km <sup>2</sup> )=	18.9	21.4	25	23.5
LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL $L$ (Km)=	23	44	25	47
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE $J$ (m/m)=	0.04	0.07	0.02	0.03
DURACIÓN EFECTIVA (h)=	3	3	3	3

La topología de la cuenca



Para los tránsitos

	Tránsito 1	Tránsito 2
Caudal Base ( $Q_b$ ), (m <sup>3</sup> /s)	0	0
Pendiente media ( $S_o$ ), (m/m)	0.00087	0.0007
Área del cauce ( $A_p$ ), (m <sup>2</sup> )	11.2	15
Ancho del cauce ( $T_p$ ), (m)	5	4
$\beta$	1.6	1.6
Longitud del tramo ( $L_t$ ), (Km)	12	16
Intervalo de tiempo ( $D_t$ ), (h)	1	1



### 3.1.2.1 Modelo de Lluvia Escorrentía – HydroVlab



MODELO DE LLUVIA - ESCORRENTIA DE EVENTO

**DESCARGAR MANUAL**

**DATOS DE ENTRADA**

**EJEMPLO** **LIMPIAR**

Ingrese número de subcuencas

Sub cuenca 1  
 Por precipitación  
 Por pesos

Sub cuenca 2  
 Por precipitación  
 Por pesos

Sub cuenca 3  
 Por precipitación  
 Por pesos

Sub cuenca 4  
 Por precipitación  
 Por pesos

area (Ai)	P(mm)						
10.6	64	10.5	60	9.2	53	10.5	74
11.8	60	11.8	55	8.5	55	12	84
12.9	79	10.9	79	9	60	9	86
9.5	80	10.2	70	10.8	50	10.8	82
8.7	78	9.8	75	9.8	56	9.8	87
7.9	73	9.5	71	5.8	58	8.6	65

	subcuenca 1	subcuenca 2	subcuenca 3	subcuenca 4
NÚMERO DE LA CURVA NC	77	82	80	77
ÁREA DE LA CUENCA $A_c$ (Km <sup>2</sup> )	18.9	21.4	25	23.5
LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL L ( Km )	23	44	25	47
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE J ( m / m )	0.04	0.07	0.02	0.03
DURACIÓN EFECTIVA de ( h )	3	3	3	3

**CALCULAR**

	subcuenca 1	subcuenca 2	subcuenca 3	subcuenca 4
PRECIPITACIÓN EFECTIVA $P_e$ ( mm )	24.34	28.7	16.91	29.87
TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (tc)	2.55	3.39	3.56	4.95
TIEMPO DE RETRASO $t_r$ ( h )	1.53	2.03	2.14	2.97
TIEMPO PICO $t_p$ ( h )	3.03	3.53	3.64	4.47
TIEMPO BASE $t_b$ ( h )	8.09	9.425	9.719	11.935
CAUDAL PICO $Q_p$ ( m <sup>3</sup> / s )	31.579	36.19	24.157	32.663

Sigue...



...Continuación

Ingrese Topología **SUBCUENCA: sub**  
**UNION: U**  
**TRANSITO: T**

U1:sub2 + sub3;  
 T1:U1;  
 U2:T1 + sub1;  
 T2:U2;  
 U3:T2 + sub4;

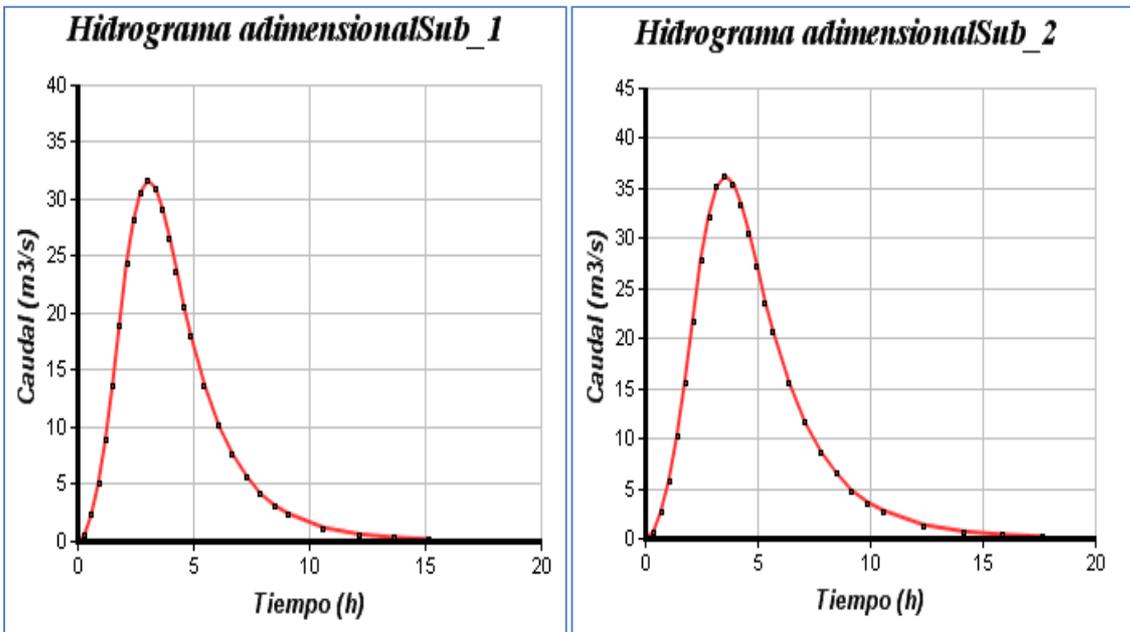
ver gráficas de resultados  
[sub1](#) [U1](#) [T1](#)  
[sub2](#) [U2](#) [T2](#)  
[sub3](#) [U3](#)  
[sub4](#)

Topología EJEMPLO

Ingrese número de tránsitos

TRANSITO 1		TRANSITO 2	
Caudal Base (Qb), (m³/s):	<input type="text" value="0"/>	Caudal Base (Qb), (m³/s):	<input type="text" value="0"/>
Pendiente media (So), (m/m):	<input type="text" value="0.00087"/>	Pendiente media (So), (m/m):	<input type="text" value="0.0007"/>
Área del cauce (Ap), (m²):	<input type="text" value="11.2"/>	Área del cauce (Ap), (m²):	<input type="text" value="15"/>
Ancho del cauce (Tp), (m):	<input type="text" value="5"/>	Ancho del cauce (Tp), (m):	<input type="text" value="4"/>
β:	<input type="text" value="1.6"/>	β:	<input type="text" value="1.6"/>
Longitud del tramo (Lt), (km):	<input type="text" value="12"/>	Longitud del tramo (Lt), (km):	<input type="text" value="16"/>
Intervalo de tiempo (Dt), (h):	<input type="text" value="1"/>	Intervalo de tiempo (Dt), (h):	<input type="text" value="1"/>

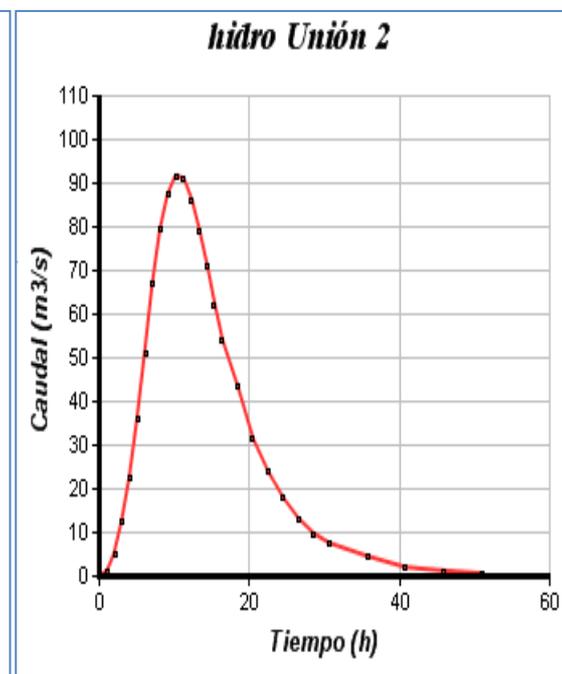
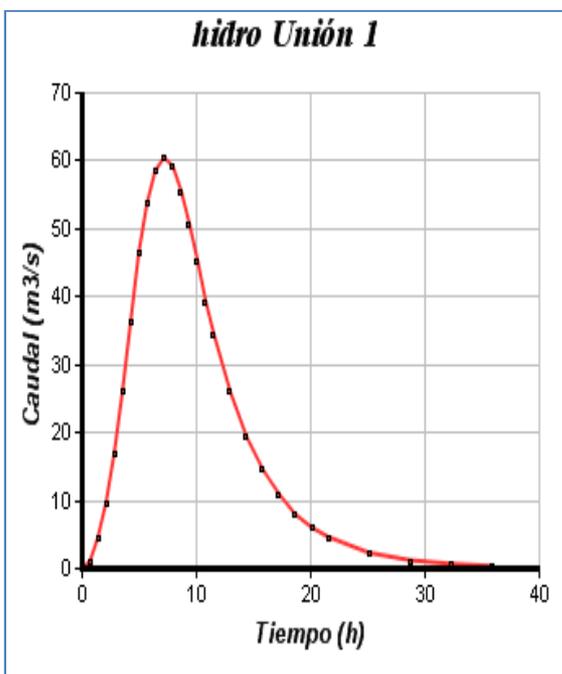
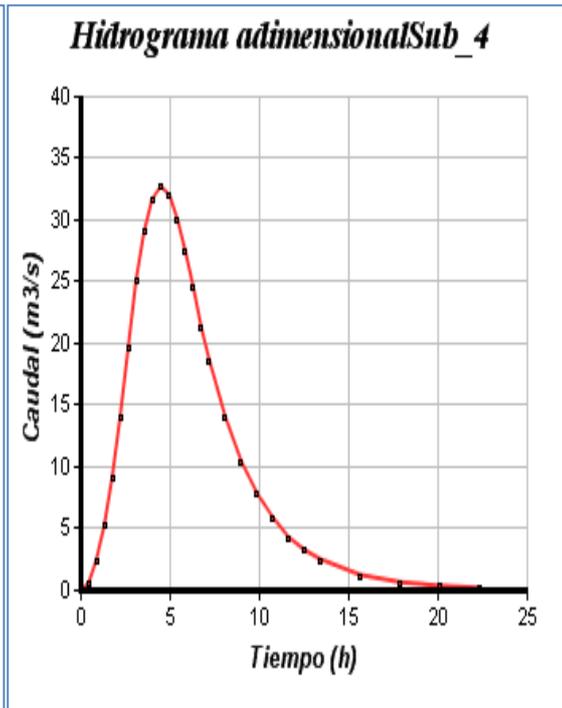
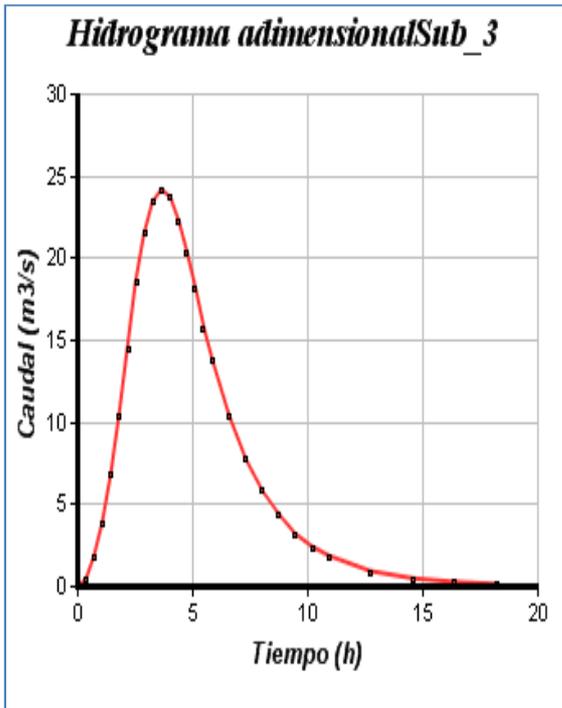
GRAFICAS



Sigue...



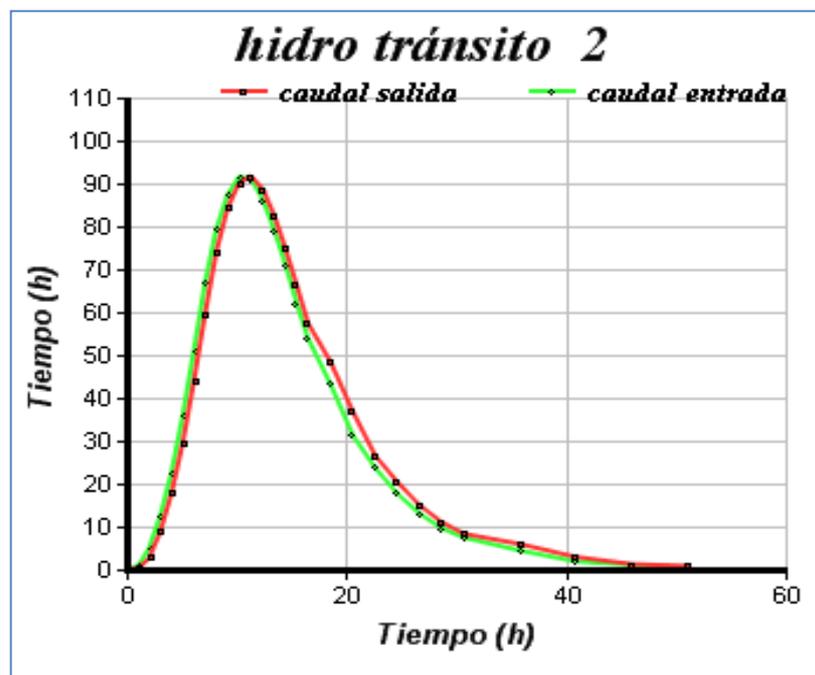
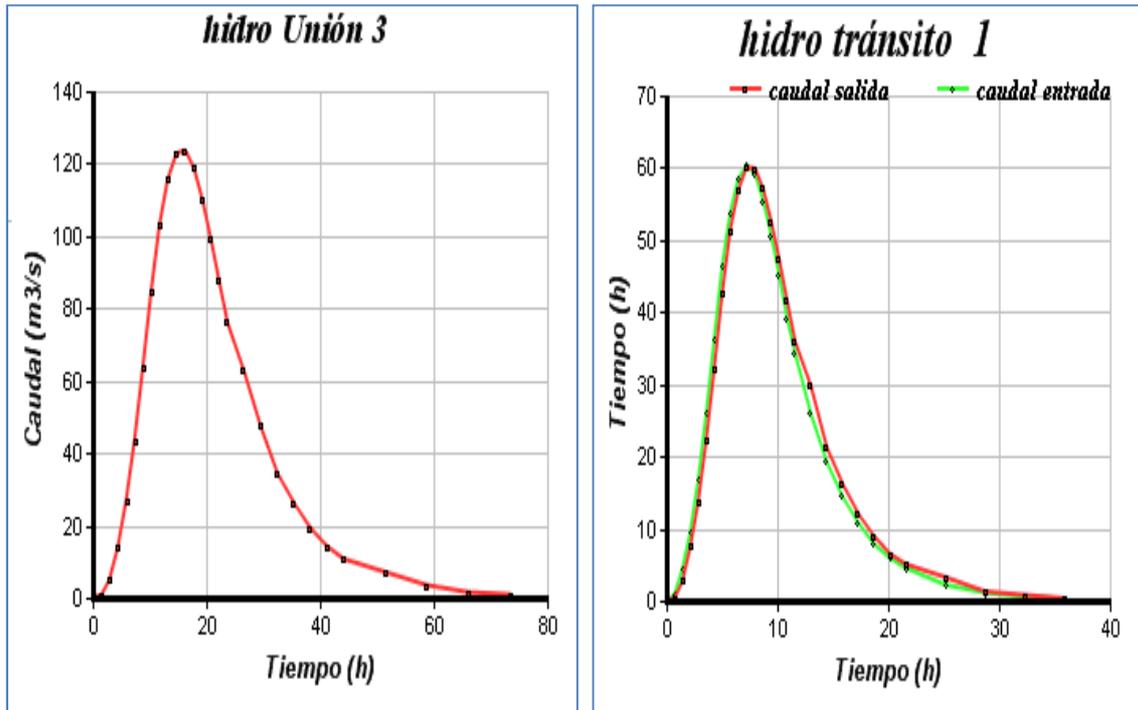
...Continuación



Sigue...



...Continuación



Sigue...



...Continuación

RESULTADOS

hidro base		hidro sub 1		hidro sub 2		hidro sub 3		hidro sub 4	
t/tp	Q/Qp	t/tp	Q/Qp	t/tp	Q/Qp	t/tp	Q/Qp	t/tp	Q/Qp
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	0.02	0.3	0.47	0.35	0.54	0.36	0.36	0.45	0.49
0.2	0.08	0.61	2.37	0.71	2.71	0.73	1.81	0.89	2.45
0.3	0.16	0.91	5.05	1.06	5.79	1.09	3.86	1.34	5.23
0.4	0.28	1.21	8.84	1.41	10.13	1.46	6.76	1.79	9.15
0.5	0.43	1.52	13.58	1.76	15.56	1.82	10.39	2.24	14.04
0.6	0.6	1.82	18.95	2.12	21.71	2.18	14.49	2.68	19.6
0.7	0.77	2.12	24.32	2.47	27.87	2.55	18.6	3.13	25.15
0.8	0.89	2.42	28.1	2.82	32.21	2.91	21.5	3.58	29.07
0.9	0.97	2.73	30.63	3.18	35.1	3.28	23.43	4.02	31.68
1	1	3.03	31.58	3.53	36.19	3.64	24.16	4.47	32.66
1.1	0.98	3.33	30.95	3.88	35.47	4	23.67	4.92	32.01
1.2	0.92	3.64	29.05	4.24	33.3	4.37	22.22	5.36	30.05
1.3	0.84	3.94	26.53	4.59	30.4	4.73	20.29	5.81	27.44
1.4	0.75	4.24	23.68	4.94	27.14	5.1	18.12	6.26	24.5
1.5	0.65	4.54	20.53	5.3	23.52	5.46	15.7	6.7	21.23
1.6	0.57	4.85	18	5.65	20.63	5.82	13.77	7.15	18.62
1.8	0.43	5.45	13.58	6.35	15.56	6.55	10.39	8.05	14.04
2	0.32	6.06	10.1	7.06	11.58	7.28	7.73	8.94	10.45
2.2	0.24	6.67	7.58	7.77	8.69	8.01	5.8	9.83	7.84
2.4	0.18	7.27	5.68	8.47	6.51	8.74	4.35	10.73	5.88
2.6	0.13	7.88	4.11	9.18	4.7	9.46	3.14	11.62	4.25
2.8	0.1	8.48	3.1	9.88	3.55	10.19	2.37	12.52	3.2
3	0.08	9.09	2.37	10.59	2.71	10.92	1.81	13.41	2.45
3.5	0.04	10.6	1.14	12.36	1.3	12.74	0.87	15.64	1.18
4	0.02	12.12	0.57	14.12	0.65	14.56	0.44	17.88	0.59
4.5	0.01	13.64	0.28	15.88	0.33	16.38	0.22	20.11	0.29
5	0	15.15	0.13	17.65	0.14	18.2	0.1	22.35	0.13

Sigue...



...Continuación

RESULTADOS unión sub2 + sub3

t/tp	Q/Qp
0	0
0.72	0.9
1.43	4.53
2.15	9.65
2.87	16.9
3.58	25.95
4.3	36.21
5.02	46.47
5.74	53.71
6.45	58.54
7.17	60.35
7.89	59.14
8.6	55.52
9.32	50.69
10.04	45.26
10.76	39.23
11.47	34.4
12.91	25.95
14.34	19.31
15.77	14.48
17.21	10.86
18.64	7.84
20.08	5.91
21.51	4.53
25.1	2.17
28.68	1.09
32.26	0.54
35.85	0.24

RESULTADOS TRANSITO1

Caudal Máximo (Qp ), (m <sup>3</sup> /s):	60.347
Velocidad (V), (m/s):	5.388
Celeridad (c), (m/s):	8.621
Flujo por unidad de ancho (qo), (m <sup>2</sup> /s):	12.069
Número de Courant(C) $0.5 < C < 2$ :	2.586
Número de Reynolds(D):	0.134
x (coeficiente):	0.433

Sigue...



...Continuación

k (coeficiente):	4.64
C0 (Coef. Descarga):	0.462
C1 (Coef. Descarga):	0.928
C2 (Coef. Descarga):	-0.39
(Dx)c:	1609.195
C0 + C1 + C2 = 1:	1

C. de Entrada (m3/s)	Tiempo (horas)	C0Qe2 (3)	C1Qe1 (4)	C2Qs1 (5)	C. de Salida (m3/s)
0	0	0	0	0	0
0.9	0.72	0.42	0	0	0.42
4.53	1.43	2.09	0.84	-0.16	2.77
9.65	2.15	4.46	4.2	-1.08	7.58
16.9	2.87	7.81	8.96	-2.96	13.81
25.95	3.58	11.99	15.68	-5.39	22.28
36.21	4.3	16.73	24.08	-8.69	32.12
46.47	5.02	21.47	33.6	-12.53	42.54
53.71	5.74	24.81	43.12	-16.59	51.34
58.54	6.45	27.04	49.84	-20.02	56.86
60.35	7.17	27.88	54.32	-22.18	60.03
59.14	7.89	27.32	56	-23.41	59.91
55.52	8.6	25.65	54.88	-23.37	57.16
50.69	9.32	23.42	51.52	-22.29	52.65
45.26	10.04	20.91	47.04	-20.53	47.42
39.23	10.76	18.12	42	-18.49	41.63
34.4	11.47	15.89	36.4	-16.24	36.06
25.95	12.91	11.99	31.92	-14.06	29.85
19.31	14.34	8.92	24.08	-11.64	21.36
14.48	15.77	6.69	17.92	-8.33	16.28
10.86	17.21	5.02	13.44	-6.35	12.11
7.84	18.64	3.62	10.08	-4.72	8.98
5.91	20.08	2.73	7.28	-3.5	6.51
4.53	21.51	2.09	5.49	-2.54	5.04
2.17	25.1	1	4.2	-1.97	3.24
1.09	28.68	0.5	2.02	-1.26	1.26
0.54	32.26	0.25	1.01	-0.49	0.77
0.24	35.85	0.11	0.5	-0.3	0.32

Sigue...



...Continuación

RESULTADOS unión T1 + sub1

t/tp	Q/Qp
0	0
1.02	0.89
2.04	5.14
3.06	12.63
4.08	22.65
5.1	35.86
6.12	51.07
7.14	66.86
8.16	79.45
9.18	87.49
10.2	91.6
11.22	90.86
12.24	86.22
13.26	79.17
14.28	71.1
15.3	62.16
16.32	54.06
18.36	43.43
20.4	31.47
22.44	23.86
24.48	17.79
26.52	13.09
28.56	9.6
30.6	7.41
35.7	4.38
40.8	1.82
45.9	1.05
51	0.44

RESULTADOS TRANSITO2

Caudal Máximo ( $Q_p$ ), ( $m^3/s$ ):	91.605
Velocidad ( $V$ ), ( $m/s$ ):	6.107
Celeridad ( $c$ ), ( $m/s$ ):	9.777
Flujo por unidad de ancho ( $q_0$ ), ( $m^2/s$ ):	22.901
Número de Courant( $C$ ) $0.5 < C < 2$ :	2.199
Número de Reynolds( $D$ ):	0.209
x (coeficiente):	0.395

Sigue...



...Continuación

k (coeficiente):	7.278
C0 (Coef. Descarga):	0.413
C1 (Coef. Descarga):	0.877
C2 (Coef. Descarga):	-0.29
(Dx)c:	3348.214
C0 + C1 + C2 = 1:	1

C. de Entrada (m3/s)	Tiempo (horas)	C0Qe2 (3)	C1Qe1 (4)	C2Qs1 (5)	C. de Salida (m3/s)
0	0	0	0	0	0
0.89	1.02	0.37	0	0	0.37
5.14	2.04	2.12	0.78	-0.11	2.8
12.63	3.06	5.22	4.5	-0.81	8.91
22.65	4.08	9.36	11.08	-2.58	17.85
35.86	5.1	14.81	19.87	-5.18	29.5
51.07	6.12	21.09	31.45	-8.56	43.99
66.86	7.14	27.61	44.78	-12.76	59.64
79.45	8.16	32.81	58.63	-17.3	74.15
87.49	9.18	36.14	69.68	-21.5	84.31
91.6	10.2	37.83	76.73	-24.45	90.12
90.86	11.22	37.53	80.34	-26.13	91.73
86.22	12.24	35.61	79.69	-26.6	88.69
79.17	13.26	32.7	75.61	-25.72	82.59
71.1	14.28	29.37	69.43	-23.95	74.85
62.16	15.3	25.67	62.36	-21.71	66.32
54.06	16.32	22.33	54.51	-19.23	57.6
43.43	18.36	17.93	47.41	-16.7	48.64
31.47	20.4	13	38.08	-14.1	36.98
23.86	22.44	9.85	27.6	-10.72	26.73
17.79	24.48	7.35	20.93	-7.75	20.52
13.09	26.52	5.4	15.61	-5.95	15.06
9.6	28.56	3.97	11.48	-4.37	11.08
7.41	30.6	3.06	8.42	-3.21	8.27
4.38	35.7	1.81	6.5	-2.4	5.91
1.82	40.8	0.75	3.84	-1.71	2.88
1.05	45.9	0.43	1.6	-0.83	1.2
0.44	51	0.18	0.92	-0.35	0.76

Sigue...



...Continuación

RESULTADOS unión T2 + sub4

t/tp	Q/Qp
0	0
1.47	0.86
2.93	5.25
4.4	14.14
5.87	27
7.34	43.54
8.8	63.58
10.27	84.79
11.74	103.22
13.2	115.99
14.67	122.78
16.14	123.74
17.6	118.74
19.07	110.03
20.54	99.35
22	87.55
23.47	76.22
26.41	62.68
29.34	47.43
32.27	34.57
35.21	26.4
38.14	19.3
41.08	14.28
44.01	10.72
51.34	7.08
58.68	3.46
66.02	1.49
73.35	0.89

Fuente: Elaboración propia



### 3.1.2.2 Modelo de Lluvia Escorrentía – HydroVlab (Efecto de la precipitación efectiva en la tormenta, Método de Muskingum - Cunge)

Antes de empezar con los cálculos en el hydroVlab se requiere encontrar la precipitación efectiva para cada subcuenca

- Cálculo para la Precipitación efectiva para la subcuenca 1

$$Pe = \frac{\left(7.2 - \frac{508}{77} + 5.08\right)^2}{7.2 + \frac{2032}{77} - 20.32}$$

$$Pe = \frac{32.2919}{13.2696} = 2.4335\text{cm} = 24.34\text{mm}$$

- Cálculos para el hidrograma de la subcuenca 1 (Efecto de la precipitación efectiva en la tormenta)



#### EFFECTO DE LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA EN LA TORMENTA

DESCARGAR MANUAL

DATOS DE ENTRADA	
ÁREA DE LA CUENCA $A_c$ ( Km <sup>2</sup> )	18.9
LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL $L$ ( Km )	23
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE $J$ ( m / m )	0.04
DURACIÓN EFECTIVA $d_e$ ( h )	3
PRECIPITACIÓN EFECTIVA $P_e$ ( mm )	24.34

Sigue...



...Continuación

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (tc)	
FÓRMULA DE KIRPICH (h)	2.555
FÓRMULA CALIFORNIANA DEL U.S.B.R. (h)	2.548
FÓRMULA DE GIANDOTTI (h)	2.138
FÓRMULA DE TÉMEZ (h)	6.234
TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DEFINITIVO tc (h)	2.555

PARÁMETROS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL HIDROGRAMA

TIEMPO DE RETRASO tr (h)	1.533
TIEMPO PICO tp (h)	3.033
TIEMPO BASE tb (h)	8.098
CAUDAL PICO Qp (m <sup>3</sup> /s)	31.548

### RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

#### EFFECTO DE LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA EN LA TORMENTA

#### HIDROGRAMA DEL S.C.S

Pe(mm)= 24.34  
 Qp(m<sup>3</sup>/s)= 31.548

t(h)	Q(m <sup>3</sup> /s)
0	0
0.303	0.473
0.607	2.366
0.91	5.048
1.213	8.833
1.517	13.566
1.82	18.929
2.123	24.292
2.426	28.078
2.73	30.602

Sigue...



...Continuación

3.033	31.548
3.336	30.917
3.64	29.024
3.943	26.5
4.246	23.661
4.55	20.506
4.853	17.982
5.459	13.566
6.066	10.095
6.673	7.572
7.279	5.679
7.886	4.101
8.492	3.092
9.099	2.366
10.616	1.136
12.132	0.568
13.649	0.284
15.165	0.126

- 🌀 Cálculo para la Precipitación efectiva para la subcuenca 2

$$Pe = \frac{\left(6.8 - \frac{508}{82} + 5.08\right)^2}{6.8 + \frac{2032}{82} - 20.32}$$

$$Pe = \frac{32.3181}{11.26} = 2.870\text{cm} = 28.70\text{mm}$$

- 🌀 Cálculos para el hidrograma de la subcuenca 2 (Efecto de la precipitación efectiva en la tormenta)

#### EFFECTO DE LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA EN LA TORMENTA

DESCARGAR MANUAL

DATOS DE ENTRADA	
ÁREA DE LA CUENCA Ac( Km2 )	21.4
LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL L( Km )	44
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE J( m / m )	0.07
DURACIÓN EFECTIVA de ( h )	3
PRECIPITACIÓN EFECTIVA Pe ( mm )	28.70

Sigue...



...Continuación

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (tc)	<b>3.394</b>
FÓRMULA DE KIRPICH (h)	<b>3.386</b>
FÓRMULA CALIFORNIANA DEL U.S.B.R (h)	<b>1.903</b>
FÓRMULA DE GIANDOTTI (h)	<b>9.224</b>
FÓRMULA DE TÉMEZ (h)	<b>3.394</b>
TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DEFINITIVO tc (h)	<b>3.394</b>

PARÁMETROS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL HIDROGRAMA

TIEMPO DE RETRASO tr (h)	<b>2.036</b>
TIEMPO PICO tp (h)	<b>3.536</b>
TIEMPO BASE tb (h)	<b>9.442</b>
CAUDAL PICO Qp (m <sup>3</sup> /s)	<b>36.124</b>

HIDROGRAMA TRIANGULAR

HIDROGRAMA DEL S.C.S

### RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

#### EFFECTO DE LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA EN LA TORMENTA

#### HIDROGRAMA DEL S.C.S

Pe(mm)= 28.7  
 Qp(m³/s)= 36.124

t(h)	Q(m³/s)
0	0
0.354	0.542
0.707	2.709
1.061	5.78
1.415	10.115
1.768	15.533
2.122	21.674
2.475	27.815
2.829	32.15

Sigue...



...Continuación

3.183	35.04
3.536	36.124
3.89	35.402
4.244	33.234
4.597	30.344
4.951	27.093
5.305	23.481
5.658	20.591
6.366	15.533
7.073	11.56
7.78	8.67
8.487	6.502
9.195	4.696
9.902	3.54
10.609	2.709
12.377	1.3
14.146	0.65
15.914	0.325
17.682	0.144

- 🌀 Cálculo para la Precipitación efectiva para la subcuenca 3

$$Pe = \frac{\left(5.5 - \frac{508}{80} + 5.08\right)^2}{5.5 + \frac{2032}{80} - 20.32}$$

$$Pe = \frac{17.8929}{10.58} = 1.691\text{cm} = 16.91\text{mm}$$

- 🌀 Cálculos para el hidrograma de la subcuenca 3 (Efecto de la precipitación efectiva en la tormenta)

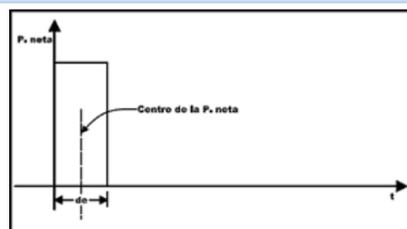
#### EFFECTO DE LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA EN LA TORMENTA

[DESCARGAR MANUAL](#)

##### DATOS DE ENTRADA

ÁREA DE LA CUENCA  $A_c$  (  $\text{Km}^2$  )  
 LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL  $L$  (  $\text{Km}$  )  
 PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE  $J$  (  $\text{m} / \text{m}$  )  
 DURACIÓN EFECTIVA  $d_e$  (  $\text{h}$  )  
 PRECIPITACIÓN EFECTIVA  $Pe$  (  $\text{mm}$  )

25
25
0.02
3
16.91



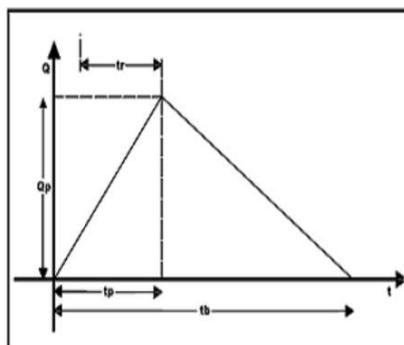
Sigue...



...Continuación

CALCULAR  $t_c$  EJEMPLO LIMPIAR

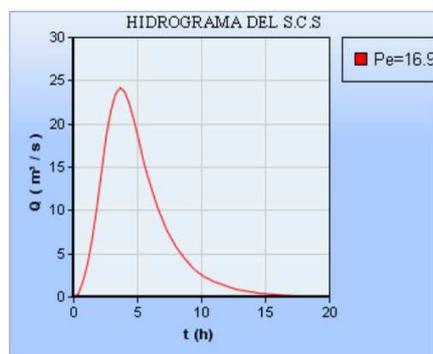
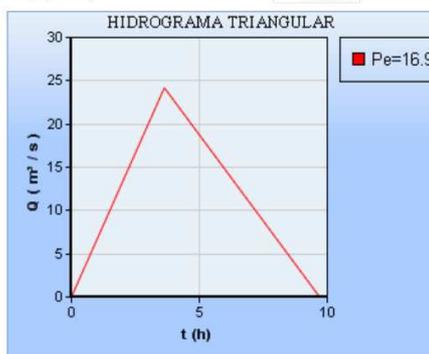
TIEMPO DE CONCENTRACIÓN ( $t_c$ )	
FÓRMULA DE KIRPICH ( h )	3.558
FÓRMULA CALIFORNIANA DEL U.S.B.R ( h )	3.549
FÓRMULA DE GIANDOTTI ( h )	3.214
FÓRMULA DE TÉMEZ ( h )	7.596
TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DEFINITIVO $t_c$ ( h )	3.558



PARÁMETROS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL HIDROGRAMA

TIEMPO DE RETRASO $t_r$ ( h )	2.135
TIEMPO PICO $t_p$ ( h )	3.635
TIEMPO BASE $t_b$ ( h )	9.705
CAUDAL PICO $Q_p$ ( m <sup>3</sup> / s )	24.192

GRAFICAR HIDROGRAMAS



### RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

#### EFFECTO DE LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA EN LA TORMENTA

#### HIDROGRAMA DEL S.C.S

Pe(mm)= 16.91  
Qp(m³/s)= 24.192

t(h)	Q(m³/s)
0	0
0.363	0.363
0.727	1.814
1.09	3.871
1.454	6.774
1.817	10.403
2.181	14.515
2.544	18.628
2.908	21.531
3.271	23.466
3.635	24.192

Sigue...



...Continuación

3.998	23.708
4.362	22.257
4.725	20.321
5.089	18.144
5.452	15.725
5.816	13.789
6.543	10.403
7.27	7.741
7.997	5.806
8.724	4.355
9.45	3.145
10.177	2.371
10.904	1.814
12.722	0.871
14.539	0.435
16.357	0.218
18.174	0.097

- 🌀 Cálculo para la Precipitación efectiva para la subcuenca 4

$$Pe = \frac{\left(8.0 - \frac{508}{77} + 5.08\right)^2}{8.0 + \frac{2032}{77} - 20.32}$$

$$Pe = \frac{42.0241}{14.0696} = 2.9868\text{cm} = 29.87\text{mm}$$

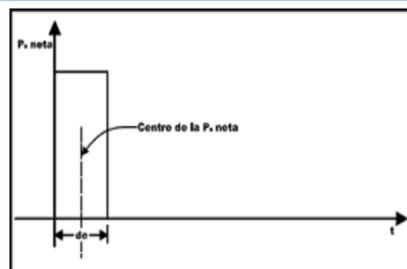
- 🌀 Cálculos para el hidrograma de la subcuenca 4 (Efecto de la precipitación efectiva en la tormenta)

#### EFFECTO DE LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA EN LA TORMENTA

[DESCARGAR MANUAL](#)

##### DATOS DE ENTRADA

ÁREA DE LA CUENCA Ac( Km2 )	23.5
LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL L( Km )	47
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE J( m / m )	0.03
DURACIÓN EFECTIVA de ( h )	3
PRECIPITACIÓN EFECTIVA Pe ( mm )	29.87



Sigue...



...Continuación

TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (tc) **4.948**  
 FÓRMULA DE KIRPICH (h) **4.936**  
 FÓRMULA CALIFORNIANA DEL U.S.B.R (h) **2.992**  
 FÓRMULA DE GIANDOTTI (h) **11.423**  
 FÓRMULA DE TÉMEZ (h) **4.948**  
 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DEFINITIVO tc (h) **4.948**

PARÁMETROS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL HIDROGRAMA

TIEMPO DE RETRASO tr (h) **2.969**  
 TIEMPO PICO tp (h) **4.469**  
 TIEMPO BASE tb (h) **11.932**  
 CAUDAL PICO Qp (m<sup>3</sup>/s) **32.672**

**HIDROGRAMA TRIANGULAR**

**HIDROGRAMA DEL S.C.S**

RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

EFFECTO DE LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA EN LA TORMENTA

HIDROGRAMA DEL S.C.S

Pe(mm)= 29.87  
 Qp(m³/s)= 32.672

t(h)	Q(m³/s)
0	0
0.447	0.49
0.894	2.45
1.341	5.228
1.788	9.148
2.234	14.049
2.681	19.603
3.128	25.157
3.575	29.078

Sigue...



...Continuación

4.022	31.692
4.469	32.672
4.916	32.019
5.363	30.058
5.809	27.444
6.256	24.504
6.703	21.237
7.15	18.623
8.044	14.049
8.938	10.455
9.831	7.841
10.725	5.881
11.619	4.247
12.513	3.202
13.406	2.45
15.641	1.176
17.875	0.588
20.11	0.294
22.344	0.131

Luego de obtener los resultados de cada subcuenca, empezamos a desarrollar la topología de ejemplo.

U1:sub2 + sub3;

Para la unión 1, debemos sumar el t/tp y Q/Qp de la subcuenca 2 y 3, así:

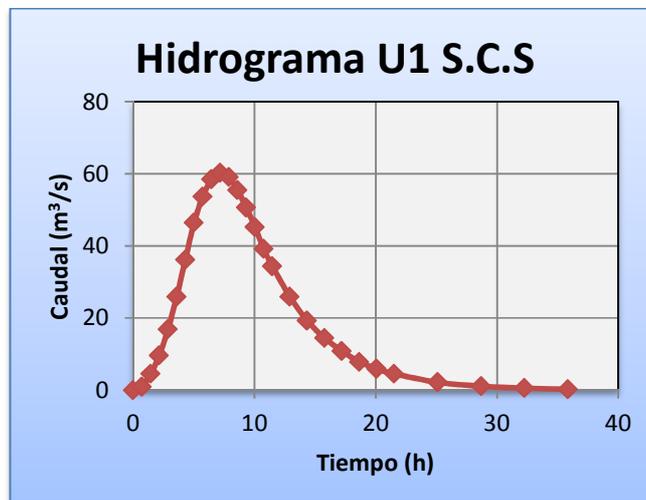
Subcuenca 2		Subcuenca 3		Unión 1	
t(h)	Q(m³/s)	t(h)	Q(m³/s)	t(h)	Q(m³/s)
0	0	0	0	0	0
0.354	0.542	0.363	0.363	0.717	0.905
0.707	2.709	0.727	1.814	1.434	4.523
1.061	5.78	1.09	3.871	2.151	9.651
1.415	10.115	1.454	6.774	2.869	16.889
1.768	15.533	1.817	10.403	3.585	25.936
2.122	21.674	2.181	14.515	4.303	36.189
2.475	27.815	2.544	18.628	5.019	46.443
2.829	32.15	2.908	21.531	5.737	53.681
3.183	35.04	3.271	23.466	6.454	58.506

Sigue...



...Continuación

3.536	36.124	3.635	24.192	7.171	60.316
3.89	35.402	3.998	23.708	7.888	59.11
4.244	33.234	4.362	22.257	8.606	55.491
4.597	30.344	4.725	20.321	9.322	50.665
4.951	27.093	5.089	18.144	10.04	45.237
5.305	23.481	5.452	15.725	10.757	39.206
5.658	20.591	5.816	13.789	11.474	34.38
6.366	15.533	6.543	10.403	12.909	25.936
7.073	11.56	7.27	7.741	14.343	19.301
7.78	8.67	7.997	5.806	15.777	14.476
8.487	6.502	8.724	4.355	17.211	10.857
9.195	4.696	9.45	3.145	18.645	7.841
9.902	3.54	10.177	2.371	20.079	5.911
10.609	2.709	10.904	1.814	21.513	4.523
12.377	1.3	12.722	0.871	25.099	2.171
14.146	0.65	14.539	0.435	28.685	1.085
15.914	0.325	16.357	0.218	32.271	0.543
17.682	0.144	18.174	0.097	35.856	0.241



T1:U1;

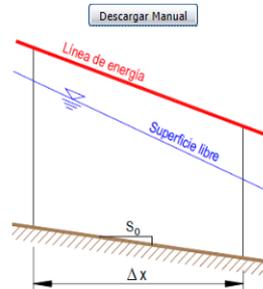
Antes de transitar se necesita saber cuál es el mayor valor de  $Q/Q_p$  de la Unión 1, por lo que 60.32, es el valor de caudal máximo ( $Q_p$ ); luego de esto, se desarrolla el tránsito 1 (Método de Muskingum – Cunge)

Sigue...



...Continuación

Método de Muskingum - Cunge



Datos de Entrada		Cálculos	
Caudal Máximo (Qp), (m³/s):	60.32	Velocidad (V), (m/s):	5.386
Caudal Base (Qb), (m³/s):	0	Celeridad (c), (m/s):	8.617
Pendiente media (So), (m/m):	0.00087	Flujo por unidad de ancho (qo), (m²/s):	12.064
Área del cauce (Ap), (m²):	11.2	Número de Courant(C) 0.5 < C < 2:	2.585
Ancho del cauce (Tp), (m):	5	Número de Reynolds(D):	0.134
β:	1.6	X (coeficiente):	0.433
Longitud del tramo (C), (km):	12 metros 12000	k (coeficiente):	4.642
Intervalo de tiempo (Dt), (horas):	1 seg 3600	C0 (Coef. Descarga):	0.462
		C1 (Coef. Descarga):	0.928
		C2 (Coef. Descarga):	-0.39
		C0 + C1 + C2 = 1:	1

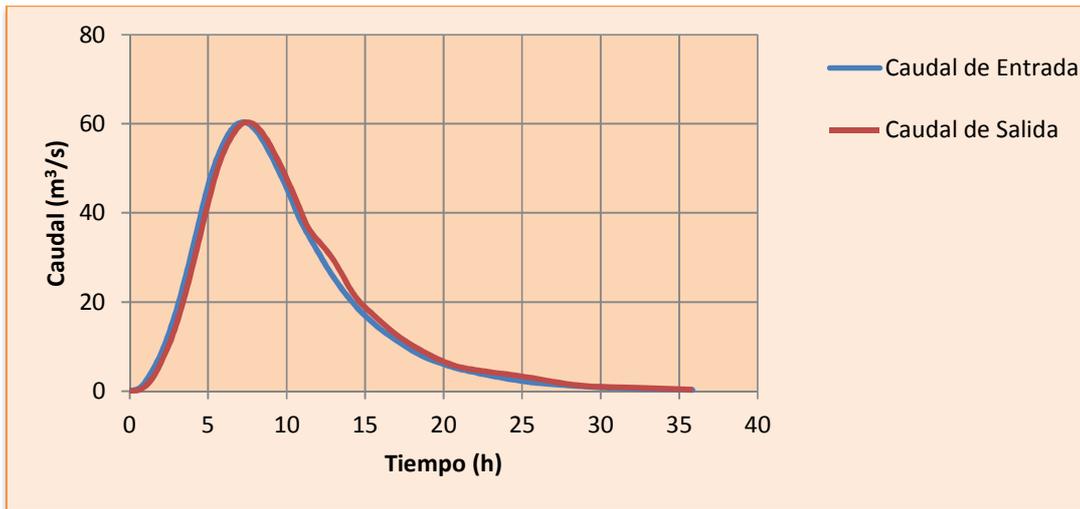
EJEMPLO		Exportar datos a Excel		Nuevo Ejercicio		Calcular		Ver Graficas		Ingresar Dato	
Caudal de entrada (Qe) (m³/s) (1)	Tiempo (horas) (2)	C <sub>1</sub> Qe <sub>2</sub> (3)	C <sub>1</sub> Qe <sub>1</sub> (4)	C <sub>2</sub> Qs <sub>1</sub> (5)	Caudal de salida (Qs) (m³/s) (6)						
0	0.00	0	0	0	0.00						
0.91	1.00	0.42	0.00	0.00	0.42						
4.53	2.00	2.09	0.84	-0.16	2.77						
9.66	3.00	4.47	4.20	-1.08	7.59						
16.9	4.00	7.81	8.96	-2.96	13.81						
25.95	5.00	12.00	16.68	-5.39	22.29						
36.21	6.00	16.74	24.08	-8.70	32.12						
46.47	7.00	21.48	33.60	-12.53	42.55						
53.71	8.00	24.83	43.12	-16.60	51.35						
58.54	9.00	27.06	49.84	-20.03	56.86						
60.35	10.00	27.90	54.32	-22.18	60.03						
59.14	11.00	27.34	56.00	-23.42	59.92						
55.52	12.00	25.66	54.88	-23.38	57.16						
50.69	13.00	23.43	51.52	-22.30	52.65						
45.26	14.00	20.92	47.03	-20.54	47.42						
39.23	15.00	18.13	42.00	-18.50	41.63						
34.4	16.00	15.90	36.40	-16.24	36.06						
25.95	17.00	12.00	31.92	-14.07	29.85						
19.31	18.00	8.93	24.08	-11.65	21.36						
14.48	19.00	6.69	17.92	-8.33	16.28						
10.86	20.00	5.02	13.44	-6.35	12.10						
7.85	21.00	3.63	10.08	-4.72	8.98						
5.91	22.00	2.73	7.28	-3.50	6.51						
4.53	23.00	2.09	5.48	-2.54	5.04						
2.17	24.00	1.00	4.20	-1.97	3.24						
1.09	25.00	0.50	2.01	-1.26	1.25						
0.54	26.00	0.25	1.01	-0.49	0.77						
0.24	27.00	0.11	0.50	-0.30	0.31						

Sigue...



...Continuación

Como podemos ver en la segunda columna los valores que deberían ir son de t/tp de la unión 1, y con dichos valores realizar la gráfica del tránsito, así:



U2:T1 + sub1;

Para la unión 2, debemos sumar el t/tp y Q/Qp de la subcuenca 1 y el tiempo (h) y el caudal de salida (m³/s) del tránsito 1, así:

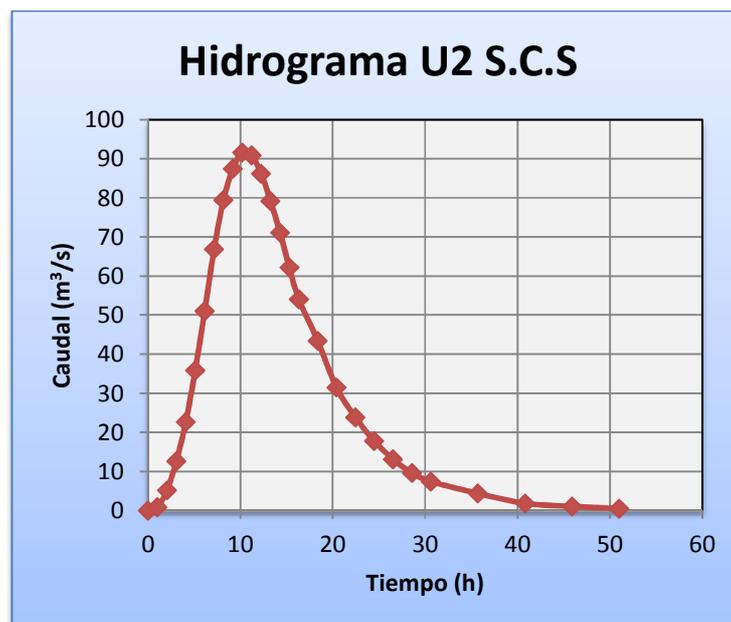
Subcuenca 1		Tránsito 1		Unión 2	
t(h)	Q(m³/s)	t (h)	Qs (m³/s)	t(h)	Q(m³/s)
0	0	0	0	0	0
0.303	0.473	0.717	0.42	1.02	0.893
0.607	2.366	1.434	2.77	2.041	5.136
0.91	5.048	2.151	7.59	3.061	12.638
1.213	8.833	2.869	13.81	4.082	22.643
1.517	13.566	3.585	22.29	5.102	35.856
1.82	18.929	4.303	32.12	6.123	51.049
2.123	24.292	5.019	42.55	7.142	66.842
2.426	28.078	5.737	51.35	8.163	79.428
2.73	30.602	6.454	56.86	9.184	87.462
3.033	31.548	7.171	60.03	10.204	91.578
3.336	30.917	7.888	59.92	11.224	90.837
3.64	29.024	8.606	57.16	12.246	86.184
3.943	26.5	9.322	52.65	13.265	79.15
4.246	23.661	10.04	47.42	14.286	71.081

Sigue...



...Continuación

4.55	20.506	10.757	41.63	15.307	62.136
4.853	17.982	11.474	36.06	16.327	54.042
5.459	13.566	12.909	29.85	18.368	43.416
6.066	10.095	14.343	21.36	20.409	31.455
6.673	7.572	15.777	16.28	22.45	23.852
7.279	5.679	17.211	12.1	24.49	17.779
7.886	4.101	18.645	8.98	26.531	13.081
8.492	3.092	20.079	6.51	28.571	9.602
9.099	2.366	21.513	5.04	30.612	7.406
10.616	1.136	25.099	3.24	35.715	4.376
12.132	0.568	28.685	1.25	40.817	1.818
13.649	0.284	32.271	0.77	45.92	1.054
15.165	0.126	35.856	0.31	51.021	0.436



T2:U2;

Antes de transitar se necesita saber cuál es el mayor valor de  $Q/Q_p$  de la Unión 2, por lo que 91.58, es el valor de caudal máximo ( $Q_p$ ); luego de esto, se desarrolla el tránsito 2 (Método de Muskingum – Cunge)

Sigue...

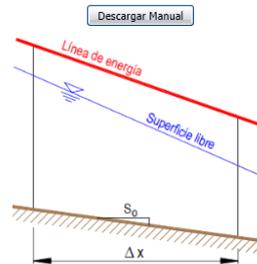
# IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO LLUVIA ESCORRENTÍA DE EVENTO EN EL LABORATORIO VIRTUAL DE HIDROLOGÍA (HYDROVLAB)



Autor: Jaime Patricio Armijos Toledo

...Continuación

## Método de Muskingum - Cunge



Datos de Entrada		Cálculos	
Caudal Máximo (Qp), (m³/s):	91.58	Velocidad (V), (m/s):	6.105
Caudal Base (Qb), (m³/s):	0	Celeridad (c), (m/s):	9.769
Pendiente media (So), (m/m):	0.0007	Flujo por unidad de ancho (qo), (m³/s):	22.895
Área del cauce (Ap), (m²):	15	Número de Courant(C) 0.5 < C < 2:	2.198
Ancho del cauce (Tp), (m):	4	Número de Reynolds(D):	0.209
β:	1.6	X (coeficiente):	0.395
Longitud del tramo (C), (km):	16 metros 16000	k (coeficiente):	7.28
Intervalo de tiempo (Dt), (horas):	1 seg 3600	C0 (Coef. Descarga):	0.413
		C1 (Coef. Descarga):	0.877
		C2 (Coef. Descarga):	-0.29
		C0 + C1 + C2 = 1:	1

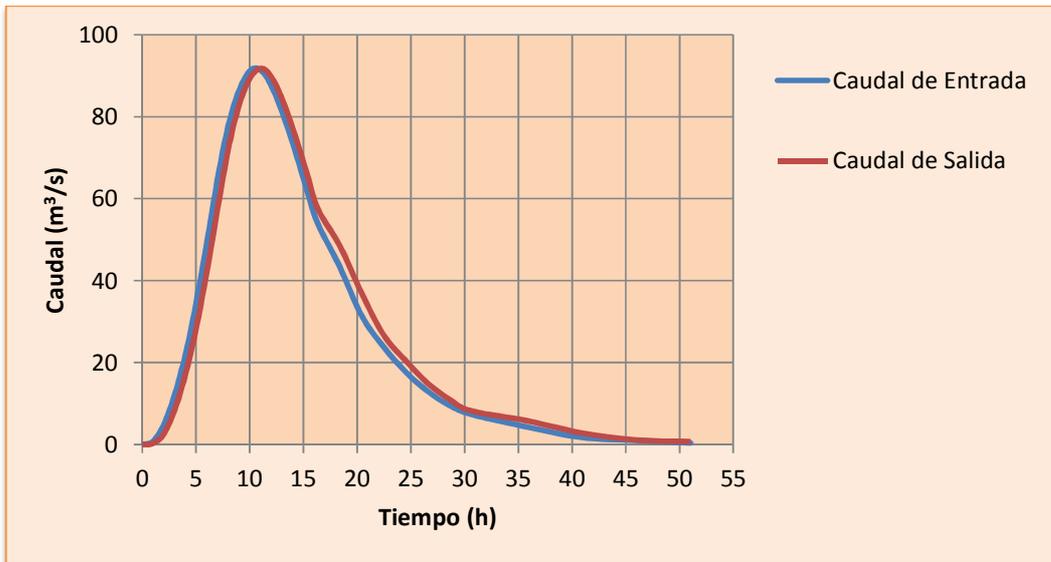
EJEMPLO		Exportar datos a Excel		Nuevo Ejercicio		Calcular		Ver Graficas		Ingresar Dato	
Caudal de entrada (Qe) (m³/s) (1)	Tiempo (horas) (2)	C <sub>0</sub> Qe <sub>2</sub> (3)	C <sub>1</sub> Qe <sub>1</sub> (4)	C <sub>2</sub> Qs <sub>1</sub> (5)	Caudal de salida (Qs) (m³/s) (6)						
0	0.00	0	0	0	0.00						
0.89	1.00	0.37	0.00	0.00	0.37						
5.14	2.00	2.12	0.78	-0.11	2.80						
12.64	3.00	5.22	4.51	-0.81	8.92						
22.64	4.00	9.35	11.09	-2.59	17.85						
35.86	5.00	14.81	19.86	-5.18	29.49						
51.05	6.00	21.08	31.46	-8.56	43.98						
66.84	7.00	27.61	44.78	-12.76	59.62						
79.43	8.00	32.80	58.63	-17.30	74.13						
87.46	9.00	36.12	69.67	-21.51	84.28						
91.58	10.00	37.82	76.72	-24.46	90.08						
90.84	11.00	37.52	80.33	-26.14	91.71						
86.18	12.00	35.59	79.68	-26.61	88.66						
79.2	13.00	32.71	75.59	-25.73	82.58						
71.1	14.00	29.36	69.47	-23.96	74.87						
62.1	15.00	25.65	62.37	-21.72	66.29						
54	16.00	22.30	54.47	-19.24	57.54						
43.4	17.00	17.92	47.37	-16.70	48.59						
31.5	18.00	13.01	38.07	-14.10	36.98						
23.9	19.00	9.87	27.63	-10.73	26.77						
17.8	20.00	7.35	20.96	-7.77	20.55						
13.1	21.00	5.41	15.61	-5.96	15.06						
9.6	22.00	3.96	11.49	-4.37	11.09						
7.4	23.00	3.06	8.42	-3.22	8.26						
4.4	24.00	1.82	6.49	-2.40	5.91						
1.82	25.00	0.75	3.86	-1.71	2.90						
1.05	26.00	0.43	1.60	-0.84	1.19						
0.44	27.00	0.18	0.92	-0.35	0.76						

Sigue...



...Continuación

Como podemos ver en la segunda columna los valores que deberían ir son de t/tp de la unión 2, y con dichos valores realizar la gráfica del tránsito, así:



U3:T2 + sub4;

Para la unión 3, debemos sumar el t/tp y Q/Qp de la subcuenca 4 y el tiempo (h) y el caudal de salida (m³/s) del tránsito 2, así:

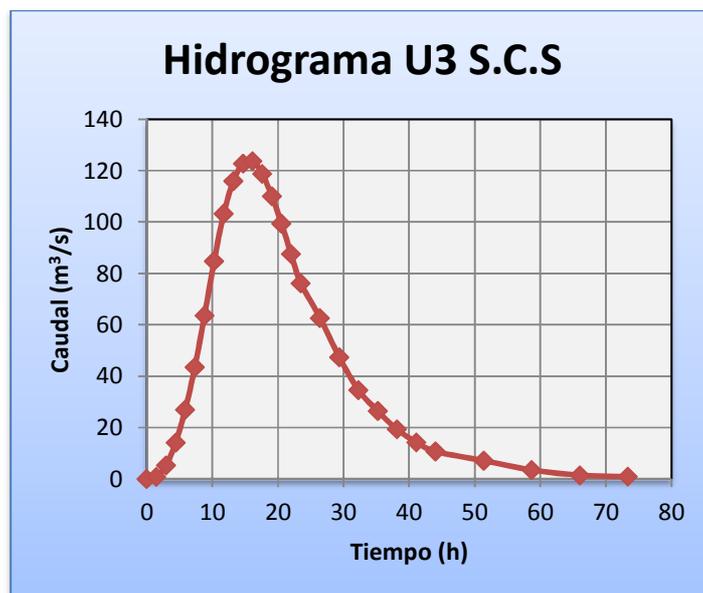
Subcuenca 4		Tránsito 2		Unión 3	
t(h)	Q(m³/s)	t (h)	Qs (m³/s)	t(h)	Q(m³/s)
0	0	0	0	0	0
0.447	0.49	1.02	0.37	1.467	0.86
0.894	2.45	2.041	2.8	2.935	5.25
1.341	5.228	3.061	8.92	4.402	14.148
1.788	9.148	4.082	17.85	5.87	26.998
2.234	14.049	5.102	29.49	7.336	43.539
2.681	19.603	6.123	43.98	8.804	63.583
3.128	25.157	7.142	59.62	10.27	84.777
3.575	29.078	8.163	74.13	11.738	103.208
4.022	31.692	9.184	84.28	13.206	115.972
4.469	32.672	10.204	90.08	14.673	122.752
4.916	32.019	11.224	91.71	16.14	123.729
5.363	30.058	12.246	88.66	17.609	118.718

Sigue...



...Continuación

5.809	27.444	13.265	82.58	19.074	110.024
6.256	24.504	14.286	74.87	20.542	99.374
6.703	21.237	15.307	66.29	22.01	87.527
7.15	18.623	16.327	57.54	23.477	76.163
8.044	14.049	18.368	48.59	26.412	62.639
8.938	10.455	20.409	36.98	29.347	47.435
9.831	7.841	22.45	26.77	32.281	34.611
10.725	5.881	24.49	20.55	35.215	26.431
11.619	4.247	26.531	15.06	38.15	19.307
12.513	3.202	28.571	11.09	41.084	14.292
13.406	2.45	30.612	8.26	44.018	10.71
15.641	1.176	35.715	5.91	51.356	7.086
17.875	0.588	40.817	2.9	58.692	3.488
20.11	0.294	45.92	1.19	66.03	1.484
22.344	0.131	51.021	0.76	73.365	0.891



Fuente: [www.hydrovlab.utpl.edu.ec](http://www.hydrovlab.utpl.edu.ec)



# IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO LLUVIA ESCORRENTÍA DE EVENTO EN EL LABORATORIO VIRTUAL DE HIDROLOGÍA (HYDROVLAB)

Autor: Jaime Patricio Armijos Toledo

## 3.1.2.3 Modelo de Lluvia Escorrentía – Excel

MODELO DE LLUVIA ESCORRENTÍA DE EVENTO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Para realizar el modelo de lluvia escorrentía vamos a pedir al usuario que ubique u otorgue los datos de precipitación de las subcuencas o los pesos según los polígonos de thiesen así:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
# de subcuencas=	4				Esquema																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
<table border="1"> <tr> <th colspan="3">subcuenca 1</th> <th colspan="3">subcuenca 2</th> <th colspan="3">subcuenca 3</th> <th colspan="3">subcuenca 4</th> </tr> <tr> <td>P(mm)</td> <td></td> <td></td> <td>P(mm)</td> <td></td> <td></td> <td>P(mm)</td> <td></td> <td></td> <td>P(mm)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>72.00</td> <td></td> <td></td> <td>68.00</td> <td></td> <td></td> <td>55.00</td> <td></td> <td></td> <td>80.00</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>													subcuenca 1			subcuenca 2			subcuenca 3			subcuenca 4			P(mm)			P(mm)			P(mm)			P(mm)			72.00			68.00			55.00			80.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
subcuenca 1			subcuenca 2			subcuenca 3			subcuenca 4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
P(mm)			P(mm)			P(mm)			P(mm)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
72.00			68.00			55.00			80.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
<table border="1"> <tr> <th colspan="12">Por pesos:</th> </tr> <tr> <th>area (Ai)</th> <th>P(mm)</th> <th>Ai*P</th> <th>area (Ai)</th> <th>P(mm)</th> <th>Ai*P</th> <th>area (Ai)</th> <th>P(mm)</th> <th>Ai*P</th> <th>area (Ai)</th> <th>P(mm)</th> <th>Ai*P</th> </tr> <tr> <td>10.6</td> <td>64</td> <td>678.4</td> <td>10.5</td> <td>60</td> <td>630</td> <td>9.2</td> <td>53</td> <td>487.6</td> <td>10.5</td> <td>74</td> <td>777</td> </tr> <tr> <td>11.8</td> <td>60</td> <td>708</td> <td>11.8</td> <td>55</td> <td>649</td> <td>8.5</td> <td>55</td> <td>467.5</td> <td>12</td> <td>84</td> <td>1008</td> </tr> <tr> <td>12.9</td> <td>79</td> <td>1019.1</td> <td>10.9</td> <td>79</td> <td>861.1</td> <td>9</td> <td>60</td> <td>540</td> <td>9</td> <td>86</td> <td>774</td> </tr> <tr> <td>9.5</td> <td>80</td> <td>760</td> <td>10.2</td> <td>70</td> <td>714</td> <td>10.8</td> <td>50</td> <td>540</td> <td>10.8</td> <td>82</td> <td>885.6</td> </tr> <tr> <td>8.7</td> <td>78</td> <td>678.6</td> <td>9.8</td> <td>75</td> <td>735</td> <td>9.8</td> <td>56</td> <td>548.8</td> <td>9.8</td> <td>87</td> <td>852.6</td> </tr> <tr> <td>7.9</td> <td>73</td> <td>576.7</td> <td>9.5</td> <td>71</td> <td>674.5</td> <td>5.8</td> <td>58</td> <td>336.4</td> <td>8.6</td> <td>65</td> <td>559</td> </tr> <tr> <td>61.4</td> <td>Σ=</td> <td>4420.8</td> <td>62.7</td> <td>Σ=</td> <td>4263.6</td> <td>53.1</td> <td>Σ=</td> <td>2920.3</td> <td>60.7</td> <td>Σ=</td> <td>4856.2</td> </tr> </table>													Por pesos:												area (Ai)	P(mm)	Ai*P	area (Ai)	P(mm)	Ai*P	area (Ai)	P(mm)	Ai*P	area (Ai)	P(mm)	Ai*P	10.6	64	678.4	10.5	60	630	9.2	53	487.6	10.5	74	777	11.8	60	708	11.8	55	649	8.5	55	467.5	12	84	1008	12.9	79	1019.1	10.9	79	861.1	9	60	540	9	86	774	9.5	80	760	10.2	70	714	10.8	50	540	10.8	82	885.6	8.7	78	678.6	9.8	75	735	9.8	56	548.8	9.8	87	852.6	7.9	73	576.7	9.5	71	674.5	5.8	58	336.4	8.6	65	559	61.4	Σ=	4420.8	62.7	Σ=	4263.6	53.1	Σ=	2920.3	60.7	Σ=	4856.2																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Por pesos:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
area (Ai)	P(mm)	Ai*P	area (Ai)	P(mm)	Ai*P	area (Ai)	P(mm)	Ai*P	area (Ai)	P(mm)	Ai*P																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
10.6	64	678.4	10.5	60	630	9.2	53	487.6	10.5	74	777																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
11.8	60	708	11.8	55	649	8.5	55	467.5	12	84	1008																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
12.9	79	1019.1	10.9	79	861.1	9	60	540	9	86	774																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
9.5	80	760	10.2	70	714	10.8	50	540	10.8	82	885.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
8.7	78	678.6	9.8	75	735	9.8	56	548.8	9.8	87	852.6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
7.9	73	576.7	9.5	71	674.5	5.8	58	336.4	8.6	65	559																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
61.4	Σ=	4420.8	62.7	Σ=	4263.6	53.1	Σ=	2920.3	60.7	Σ=	4856.2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
<table border="1"> <tr> <td>P(mm)</td> <td>72.00</td> <td>P(mm)</td> <td>68.00</td> <td>P(mm)</td> <td>55.00</td> <td>P(mm)</td> <td>80.00</td> </tr> </table>													P(mm)	72.00	P(mm)	68.00	P(mm)	55.00	P(mm)	80.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
P(mm)	72.00	P(mm)	68.00	P(mm)	55.00	P(mm)	80.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
<table border="1"> <tr> <th colspan="3">subcuenca 1</th> <th colspan="3">subcuenca 2</th> <th colspan="3">subcuenca 3</th> <th colspan="3">subcuenca 4</th> </tr> <tr> <td>Número de la curva NC=</td> <td>77</td> <td></td> <td>82</td> <td></td> <td></td> <td>80</td> <td></td> <td></td> <td>77</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Area de la cuenca Ac (Km2)=</td> <td>18.9</td> <td></td> <td>21.4</td> <td></td> <td></td> <td>25</td> <td></td> <td></td> <td>23.5</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Longitud del cauce L (Km)=</td> <td>23</td> <td></td> <td>44</td> <td></td> <td></td> <td>25</td> <td></td> <td></td> <td>47</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pendiente media del cauce J (m/m)=</td> <td>0.04</td> <td></td> <td>0.07</td> <td></td> <td></td> <td>0.02</td> <td></td> <td></td> <td>0.03</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Duración efectiva de (h)=</td> <td>3</td> <td></td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td>3</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>													subcuenca 1			subcuenca 2			subcuenca 3			subcuenca 4			Número de la curva NC=	77		82			80			77			Area de la cuenca Ac (Km2)=	18.9		21.4			25			23.5			Longitud del cauce L (Km)=	23		44			25			47			Pendiente media del cauce J (m/m)=	0.04		0.07			0.02			0.03			Duración efectiva de (h)=	3		3			3			3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
subcuenca 1			subcuenca 2			subcuenca 3			subcuenca 4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Número de la curva NC=	77		82			80			77																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Area de la cuenca Ac (Km2)=	18.9		21.4			25			23.5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Longitud del cauce L (Km)=	23		44			25			47																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Pendiente media del cauce J (m/m)=	0.04		0.07			0.02			0.03																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
Duración efectiva de (h)=	3		3			3			3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
<table border="1"> <tr> <th colspan="12">RESULTADOS</th> </tr> <tr> <td>Precipitación efectiva Pe (mm)</td> <td>24.34</td> <td></td> <td>28.70</td> <td></td> <td></td> <td>16.91</td> <td></td> <td></td> <td>29.87</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>tiempo de concentración (tc)</td> <td>2.55</td> <td></td> <td>3.39</td> <td></td> <td></td> <td>3.56</td> <td></td> <td></td> <td>4.95</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>tiempo de retraso (tr)</td> <td>1.53</td> <td></td> <td>2.03</td> <td></td> <td></td> <td>2.14</td> <td></td> <td></td> <td>2.97</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>tiempo pico (tp)</td> <td>3.03</td> <td></td> <td>3.53</td> <td></td> <td></td> <td>3.64</td> <td></td> <td></td> <td>4.470</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>tiempo base (tb)</td> <td>8.09</td> <td></td> <td>9.43</td> <td></td> <td></td> <td>9.72</td> <td></td> <td></td> <td>11.935</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>caudal pico qp (m3/s)</td> <td>31.579</td> <td></td> <td>36.190</td> <td></td> <td></td> <td>24.157</td> <td></td> <td></td> <td>32.663</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>													RESULTADOS												Precipitación efectiva Pe (mm)	24.34		28.70			16.91			29.87			tiempo de concentración (tc)	2.55		3.39			3.56			4.95			tiempo de retraso (tr)	1.53		2.03			2.14			2.97			tiempo pico (tp)	3.03		3.53			3.64			4.470			tiempo base (tb)	8.09		9.43			9.72			11.935			caudal pico qp (m3/s)	31.579		36.190			24.157			32.663																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
RESULTADOS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Precipitación efectiva Pe (mm)	24.34		28.70			16.91			29.87																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
tiempo de concentración (tc)	2.55		3.39			3.56			4.95																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
tiempo de retraso (tr)	1.53		2.03			2.14			2.97																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
tiempo pico (tp)	3.03		3.53			3.64			4.470																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
tiempo base (tb)	8.09		9.43			9.72			11.935																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
caudal pico qp (m3/s)	31.579		36.190			24.157			32.663																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
<table border="1"> <tr> <th colspan="13">GRAFICAS</th> </tr> <tr> <th colspan="13">hidro adimensional base</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="2">SCS</th> <th colspan="2">SCS</th> <th colspan="2">SCS</th> <th colspan="2">SCS</th> <th colspan="2">SCS</th> </tr> <tr> <th>t/tp</th> <th>Q/Qp</th> <th>t/tp</th> <th>Q/Qp</th> <th>t/tp</th> <th>Q/Qp</th> <th>t/tp</th> <th>Q/Qp</th> <th>t/tp</th> <th>Q/Qp</th> <th>t/tp</th> <th>Q/Qp</th> </tr> <tr> <td>0.000</td> <td>0.000</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0.100</td> <td>0.015</td> <td>0.303</td> <td>0.47</td> <td>0.353</td> <td>0.543</td> <td>0.364</td> <td>0.362</td> <td>0.447</td> <td>0.49</td> <td>0.447</td> <td>0.49</td> </tr> <tr> <td>0.200</td> <td>0.075</td> <td>0.606</td> <td>2.37</td> <td>0.706</td> <td>2.714</td> <td>0.728</td> <td>1.812</td> <td>0.894</td> <td>2.45</td> <td>0.894</td> <td>2.45</td> </tr> <tr> <td>0.300</td> <td>0.160</td> <td>0.909</td> <td>5.05</td> <td>1.059</td> <td>5.79</td> <td>1.092</td> <td>3.865</td> <td>1.341</td> <td>5.226</td> <td>1.341</td> <td>5.226</td> </tr> <tr> <td>0.400</td> <td>0.280</td> <td>1.212</td> <td>8.84</td> <td>1.412</td> <td>10.133</td> <td>1.456</td> <td>6.764</td> <td>1.788</td> <td>9.146</td> <td>1.788</td> <td>9.146</td> </tr> <tr> <td>0.500</td> <td>0.430</td> <td>1.515</td> <td>13.58</td> <td>1.765</td> <td>15.562</td> <td>1.82</td> <td>10.388</td> <td>2.235</td> <td>14.045</td> <td>2.235</td> <td>14.045</td> </tr> <tr> <td>0.600</td> <td>0.600</td> <td>1.818</td> <td>18.95</td> <td>2.118</td> <td>21.714</td> <td>2.184</td> <td>14.494</td> <td>2.682</td> <td>19.598</td> <td>2.682</td> <td>19.598</td> </tr> <tr> <td>0.700</td> <td>0.770</td> <td>2.121</td> <td>24.32</td> <td>2.471</td> <td>27.866</td> <td>2.548</td> <td>18.601</td> <td>3.129</td> <td>25.151</td> <td>3.129</td> <td>25.151</td> </tr> <tr> <td>0.800</td> <td>0.890</td> <td>2.424</td> <td>28.11</td> <td>2.824</td> <td>32.209</td> <td>2.912</td> <td>21.5</td> <td>3.576</td> <td>29.07</td> <td>3.576</td> <td>29.07</td> </tr> <tr> <td>0.900</td> <td>0.970</td> <td>2.727</td> <td>30.63</td> <td>3.177</td> <td>35.104</td> <td>3.276</td> <td>23.432</td> <td>4.023</td> <td>31.683</td> <td>4.023</td> <td>31.683</td> </tr> <tr> <td>1.000</td> <td>1.000</td> <td>3.03</td> <td>31.58</td> <td>3.53</td> <td>36.19</td> <td>3.64</td> <td>24.157</td> <td>4.47</td> <td>32.663</td> <td>4.47</td> <td>32.663</td> </tr> <tr> <td>1.100</td> <td>0.980</td> <td>3.333</td> <td>30.95</td> <td>3.883</td> <td>35.466</td> <td>4.004</td> <td>23.674</td> <td>4.917</td> <td>32.01</td> <td>4.917</td> <td>32.01</td> </tr> <tr> <td>1.200</td> <td>0.920</td> <td>3.636</td> <td>29.05</td> <td>4.236</td> <td>33.295</td> <td>4.368</td> <td>22.224</td> <td>5.364</td> <td>30.05</td> <td>5.364</td> <td>30.05</td> </tr> <tr> <td>1.300</td> <td>0.840</td> <td>3.939</td> <td>26.53</td> <td>4.589</td> <td>30.4</td> <td>4.732</td> <td>20.292</td> <td>5.811</td> <td>27.437</td> <td>5.811</td> <td>27.437</td> </tr> <tr> <td>1.400</td> <td>0.750</td> <td>4.242</td> <td>23.69</td> <td>4.942</td> <td>27.143</td> <td>5.096</td> <td>18.118</td> <td>6.258</td> <td>24.497</td> <td>6.258</td> <td>24.497</td> </tr> <tr> <td>1.500</td> <td>0.650</td> <td>4.545</td> <td>20.53</td> <td>5.295</td> <td>23.524</td> <td>5.46</td> <td>15.702</td> <td>6.705</td> <td>21.231</td> <td>6.705</td> <td>21.231</td> </tr> <tr> <td>1.600</td> <td>0.570</td> <td>4.848</td> <td>18</td> <td>5.648</td> <td>20.628</td> <td>5.824</td> <td>13.769</td> <td>7.152</td> <td>18.618</td> <td>7.152</td> <td>18.618</td> </tr> <tr> <td>1.800</td> <td>0.430</td> <td>5.454</td> <td>13.58</td> <td>6.354</td> <td>15.562</td> <td>6.552</td> <td>10.388</td> <td>8.046</td> <td>14.045</td> <td>8.046</td> <td>14.045</td> </tr> <tr> <td>2.000</td> <td>0.320</td> <td>6.06</td> <td>10.11</td> <td>7.06</td> <td>11.581</td> <td>7.28</td> <td>7.73</td> <td>8.94</td> <td>10.452</td> <td>8.94</td> <td>10.452</td> </tr> <tr> <td>2.200</td> <td>0.240</td> <td>6.666</td> <td>7.58</td> <td>7.766</td> <td>8.686</td> <td>8.008</td> <td>5.798</td> <td>9.834</td> <td>7.839</td> <td>9.834</td> <td>7.839</td> </tr> <tr> <td>2.400</td> <td>0.180</td> <td>7.272</td> <td>5.68</td> <td>8.472</td> <td>6.514</td> <td>8.736</td> <td>4.348</td> <td>10.728</td> <td>5.879</td> <td>10.728</td> <td>5.879</td> </tr> <tr> <td>2.600</td> <td>0.130</td> <td>7.878</td> <td>4.11</td> <td>9.178</td> <td>4.705</td> <td>9.464</td> <td>3.14</td> <td>11.622</td> <td>4.246</td> <td>11.622</td> <td>4.246</td> </tr> <tr> <td>2.800</td> <td>0.098</td> <td>8.484</td> <td>3.09</td> <td>9.884</td> <td>3.547</td> <td>10.192</td> <td>2.367</td> <td>12.516</td> <td>3.201</td> <td>12.516</td> <td>3.201</td> </tr> <tr> <td>3.000</td> <td>0.075</td> <td>9.09</td> <td>2.37</td> <td>10.59</td> <td>2.714</td> <td>10.92</td> <td>1.812</td> <td>13.41</td> <td>2.45</td> <td>13.41</td> <td>2.45</td> </tr> <tr> <td>3.500</td> <td>0.036</td> <td>10.605</td> <td>1.14</td> <td>12.355</td> <td>1.303</td> <td>12.74</td> <td>0.87</td> <td>15.645</td> <td>1.176</td> <td>15.645</td> <td>1.176</td> </tr> <tr> <td>4.000</td> <td>0.018</td> <td>12.12</td> <td>0.57</td> <td>14.12</td> <td>0.651</td> <td>14.56</td> <td>0.435</td> <td>17.88</td> <td>0.588</td> <td>17.88</td> <td>0.588</td> </tr> <tr> <td>4.500</td> <td>0.009</td> <td>13.635</td> <td>0.28</td> <td>15.885</td> <td>0.326</td> <td>16.38</td> <td>0.217</td> <td>20.115</td> <td>0.294</td> <td>20.115</td> <td>0.294</td> </tr> <tr> <td>5.000</td> <td>0.004</td> <td>15.15</td> <td>0.13</td> <td>17.65</td> <td>0.145</td> <td>18.2</td> <td>0.097</td> <td>22.35</td> <td>0.131</td> <td>22.35</td> <td>0.131</td> </tr> </table>													GRAFICAS													hidro adimensional base															SCS		SCS		SCS		SCS		SCS		t/tp	Q/Qp	t/tp	Q/Qp	t/tp	Q/Qp	t/tp	Q/Qp	t/tp	Q/Qp	t/tp	Q/Qp	0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.100	0.015	0.303	0.47	0.353	0.543	0.364	0.362	0.447	0.49	0.447	0.49	0.200	0.075	0.606	2.37	0.706	2.714	0.728	1.812	0.894	2.45	0.894	2.45	0.300	0.160	0.909	5.05	1.059	5.79	1.092	3.865	1.341	5.226	1.341	5.226	0.400	0.280	1.212	8.84	1.412	10.133	1.456	6.764	1.788	9.146	1.788	9.146	0.500	0.430	1.515	13.58	1.765	15.562	1.82	10.388	2.235	14.045	2.235	14.045	0.600	0.600	1.818	18.95	2.118	21.714	2.184	14.494	2.682	19.598	2.682	19.598	0.700	0.770	2.121	24.32	2.471	27.866	2.548	18.601	3.129	25.151	3.129	25.151	0.800	0.890	2.424	28.11	2.824	32.209	2.912	21.5	3.576	29.07	3.576	29.07	0.900	0.970	2.727	30.63	3.177	35.104	3.276	23.432	4.023	31.683	4.023	31.683	1.000	1.000	3.03	31.58	3.53	36.19	3.64	24.157	4.47	32.663	4.47	32.663	1.100	0.980	3.333	30.95	3.883	35.466	4.004	23.674	4.917	32.01	4.917	32.01	1.200	0.920	3.636	29.05	4.236	33.295	4.368	22.224	5.364	30.05	5.364	30.05	1.300	0.840	3.939	26.53	4.589	30.4	4.732	20.292	5.811	27.437	5.811	27.437	1.400	0.750	4.242	23.69	4.942	27.143	5.096	18.118	6.258	24.497	6.258	24.497	1.500	0.650	4.545	20.53	5.295	23.524	5.46	15.702	6.705	21.231	6.705	21.231	1.600	0.570	4.848	18	5.648	20.628	5.824	13.769	7.152	18.618	7.152	18.618	1.800	0.430	5.454	13.58	6.354	15.562	6.552	10.388	8.046	14.045	8.046	14.045	2.000	0.320	6.06	10.11	7.06	11.581	7.28	7.73	8.94	10.452	8.94	10.452	2.200	0.240	6.666	7.58	7.766	8.686	8.008	5.798	9.834	7.839	9.834	7.839	2.400	0.180	7.272	5.68	8.472	6.514	8.736	4.348	10.728	5.879	10.728	5.879	2.600	0.130	7.878	4.11	9.178	4.705	9.464	3.14	11.622	4.246	11.622	4.246	2.800	0.098	8.484	3.09	9.884	3.547	10.192	2.367	12.516	3.201	12.516	3.201	3.000	0.075	9.09	2.37	10.59	2.714	10.92	1.812	13.41	2.45	13.41	2.45	3.500	0.036	10.605	1.14	12.355	1.303	12.74	0.87	15.645	1.176	15.645	1.176	4.000	0.018	12.12	0.57	14.12	0.651	14.56	0.435	17.88	0.588	17.88	0.588	4.500	0.009	13.635	0.28	15.885	0.326	16.38	0.217	20.115	0.294	20.115	0.294	5.000	0.004	15.15	0.13	17.65	0.145	18.2	0.097	22.35	0.131	22.35	0.131
GRAFICAS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
hidro adimensional base																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
		SCS		SCS		SCS		SCS		SCS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
t/tp	Q/Qp	t/tp	Q/Qp	t/tp	Q/Qp	t/tp	Q/Qp	t/tp	Q/Qp	t/tp	Q/Qp																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0.100	0.015	0.303	0.47	0.353	0.543	0.364	0.362	0.447	0.49	0.447	0.49																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0.200	0.075	0.606	2.37	0.706	2.714	0.728	1.812	0.894	2.45	0.894	2.45																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0.300	0.160	0.909	5.05	1.059	5.79	1.092	3.865	1.341	5.226	1.341	5.226																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0.400	0.280	1.212	8.84	1.412	10.133	1.456	6.764	1.788	9.146	1.788	9.146																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0.500	0.430	1.515	13.58	1.765	15.562	1.82	10.388	2.235	14.045	2.235	14.045																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0.600	0.600	1.818	18.95	2.118	21.714	2.184	14.494	2.682	19.598	2.682	19.598																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0.700	0.770	2.121	24.32	2.471	27.866	2.548	18.601	3.129	25.151	3.129	25.151																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0.800	0.890	2.424	28.11	2.824	32.209	2.912	21.5	3.576	29.07	3.576	29.07																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
0.900	0.970	2.727	30.63	3.177	35.104	3.276	23.432	4.023	31.683	4.023	31.683																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1.000	1.000	3.03	31.58	3.53	36.19	3.64	24.157	4.47	32.663	4.47	32.663																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1.100	0.980	3.333	30.95	3.883	35.466	4.004	23.674	4.917	32.01	4.917	32.01																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1.200	0.920	3.636	29.05	4.236	33.295	4.368	22.224	5.364	30.05	5.364	30.05																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1.300	0.840	3.939	26.53	4.589	30.4	4.732	20.292	5.811	27.437	5.811	27.437																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1.400	0.750	4.242	23.69	4.942	27.143	5.096	18.118	6.258	24.497	6.258	24.497																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1.500	0.650	4.545	20.53	5.295	23.524	5.46	15.702	6.705	21.231	6.705	21.231																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1.600	0.570	4.848	18	5.648	20.628	5.824	13.769	7.152	18.618	7.152	18.618																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
1.800	0.430	5.454	13.58	6.354	15.562	6.552	10.388	8.046	14.045	8.046	14.045																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
2.000	0.320	6.06	10.11	7.06	11.581	7.28	7.73	8.94	10.452	8.94	10.452																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
2.200	0.240	6.666	7.58	7.766	8.686	8.008	5.798	9.834	7.839	9.834	7.839																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
2.400	0.180	7.272	5.68	8.472	6.514	8.736	4.348	10.728	5.879	10.728	5.879																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
2.600	0.130	7.878	4.11	9.178	4.705	9.464	3.14	11.622	4.246	11.622	4.246																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
2.800	0.098	8.484	3.09	9.884	3.547	10.192	2.367	12.516	3.201	12.516	3.201																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
3.000	0.075	9.09	2.37	10.59	2.714	10.92	1.812	13.41	2.45	13.41	2.45																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
3.500	0.036	10.605	1.14	12.355	1.303	12.74	0.87	15.645	1.176	15.645	1.176																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
4.000	0.018	12.12	0.57	14.12	0.651	14.56	0.435	17.88	0.588	17.88	0.588																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
4.500	0.009	13.635	0.28	15.885	0.326	16.38	0.217	20.115	0.294	20.115	0.294																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
5.000	0.004	15.15	0.13	17.65	0.145	18.2	0.097	22.35	0.131	22.35	0.131																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			

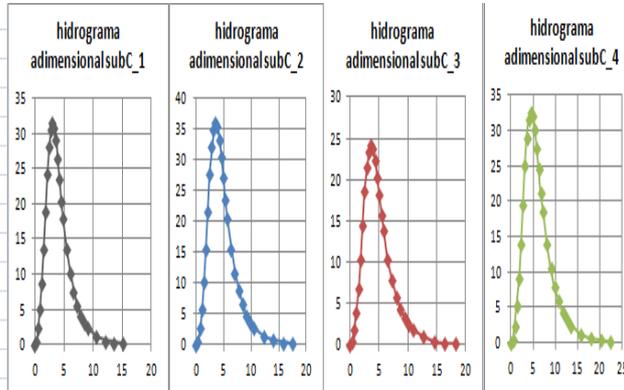
Sigue...



# IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO LLUVIA ESCORRENTÍA DE EVENTO EN EL LABORATORIO VIRTUAL DE HIDROLOGÍA (HYDROVLAB)

Autor: Jaime Patricio Armijos Toledo

...Continuación

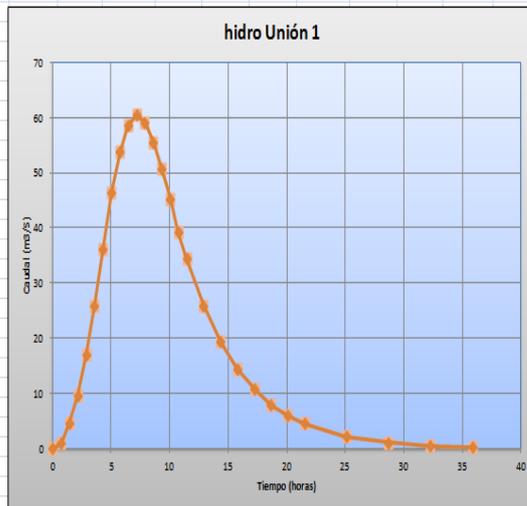


### DESARROLLO DEL HIDROGRAMA DE RESPUESTA

1.) Ahora a partir de la figura o esquema tenemos que la subcuenca 2 suma con la subcuenca 3 y va a formar la Unión 1 (U\_1) así:

hidro unión 1 (sub2+sub3) Gráfica:

t/tp	Q/Qp
0	0
0.717	0.905
1.434	4.526
2.151	9.655
2.868	16.897
3.585	25.95
4.302	36.208
5.019	46.467
5.736	53.709
6.453	58.536
7.17	60.347
7.887	59.14
8.604	55.519
9.321	50.692
10.038	45.261
10.755	39.226
11.472	34.397
12.189	29.95
12.906	25.95
13.623	22.409
14.34	19.311
15.057	16.664
15.774	14.484
16.491	12.587
17.208	10.862
17.925	9.385
18.642	8.147
19.359	7.149
20.076	6.381
20.793	5.844
21.51	5.526
22.227	5.409
22.944	5.482
23.661	5.655
24.378	5.917
25.095	6.284
25.812	6.765
26.529	7.391
27.246	8.114
27.963	8.925
28.68	9.815
29.397	10.777
30.114	11.781
30.831	12.917
31.548	14.155
32.265	15.456
32.982	16.869
33.699	18.344
34.416	19.881
35.133	21.51
35.85	23.231



2.) Una vez obtenida la unión 1 (U\_1) nos fijamos en el esquema, y entendemos que a esta unión debemos transitarla por el método de muskingun-cunge, por lo que ahora vamos a encontrar el transito 1 (tr1)

DATOS DE ENTRADA		
Caudal Máximo (Qp), (m³/s):	60.347	
Caudal Base (Qb), (m³/s):	0	
Pendiente media (So), (m/m):	0.000868	
Área del cauce (Ap), (m):	11.2	
Ancho del cauce (Tp), (m):	5	
β (número de proporción):	1.6	
longitud del tramo (L), (Km):	12	metros: 12000
Intervalo de tiempo (Δt), (horas):	1	seg: 3600

CÁLCULOS	
Velocidad (V), (m/s):	5.388
Celeridad (c), (m/s):	8.621
Flujo por unidad de ancho (qo), (m²/s):	12.069
Número de Courant (C) 0.5 < C < 2:	2.586
Número de Reynolds (D):	0.13
X (coeficiente):	0.43
k (coeficiente):	4.639833
C0 (Coef. Descarga):	0.462
C1 (Coef. Descarga):	0.928
C2 (Coef. Descarga):	-0.390
C0 + C1 + C2 = 1:	1.000

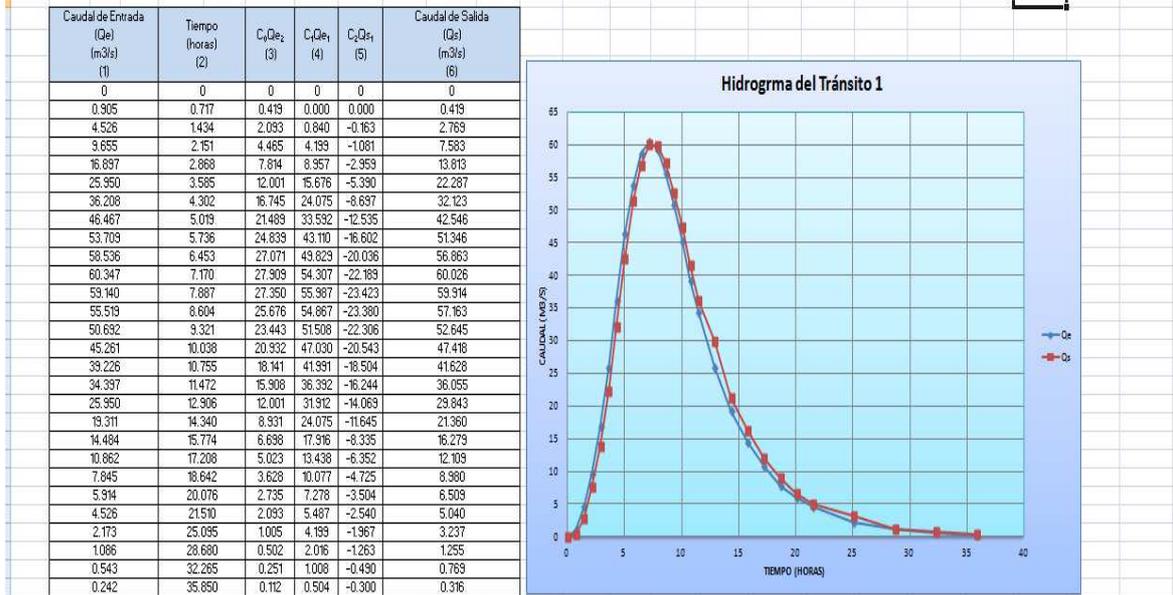
Sigue...



# IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO LLUVIA ESCORRENTÍA DE EVENTO EN EL LABORATORIO VIRTUAL DE HIDROLOGÍA (HYDROVLAB)

Autor: Jaime Patricio Armijos Toledo

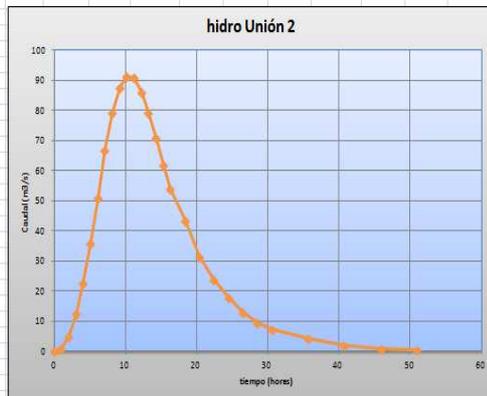
...Continuación



3.) Según el esquema se forma la **unión 2 (U\_2)** que se forma a partir del **transito 1 (tr1)** y la **subcuenca 1 (sub\_1)** así:

hidro unión 2 (Tr1+sub1)

thp	Q/Qp
0	0
1.02	0.89
2.04	5.14
3.06	12.63
4.08	22.65
5.1	35.87
6.12	51.07
7.14	66.87
8.16	79.46
9.18	87.49
10.2	91.61
11.22	90.86
12.24	86.21
13.26	79.17
14.28	71.11
15.3	62.16
16.32	54.06
18.36	43.42
20.4	31.47
22.44	23.86
24.48	17.79
26.52	13.09
28.56	9.60
30.6	7.41
35.7	4.38
40.8	1.83
45.9	1.05
51	0.45



2.) Una vez obtenida la **unión 2 (U\_2)** nos fijamos en el esquema, y entendemos que a esta unión debemos transferirla por el método de muskingum-cunge; por lo que ahora vamos a encontrar el **transito 2 (tr2)**

DATOS DE ENTRADA		CÁLCULOS	
Caudal Máximo (Qp), (m3/s):	91606	Velocidad (V), (m/s):	6.11
Caudal Base (Qb), (m3/s):	0	Celeridad (c), (m/s):	9.77
Pendiente media (So), (m/m):	0.00077	Flujo por unidad de ancho (q0), (m2/s):	22.30
Área del cauce (Ap), (m):	15	Número de Courant (C) 0.5<C<2:	2.199
Ancho del cauce (Tp), (m):	4	Número de Reynolds (D):	0.19
β (índice exponencial de proporción):	1.6	X (coeficiente):	0.40
longitud del tramo (L), (Km):	16 metros: 16000	k (coeficiente):	7.28
Intervalo de tiempo (Δt), (horas):	1 seg: 3600	C0 (Coef. Descarga):	0.410
		C1 (Coef. Descarga):	0.887
		C2 (Coef. Descarga):	-0.287
		C0 + C1 + C2 = 1:	1.000

Sigue...

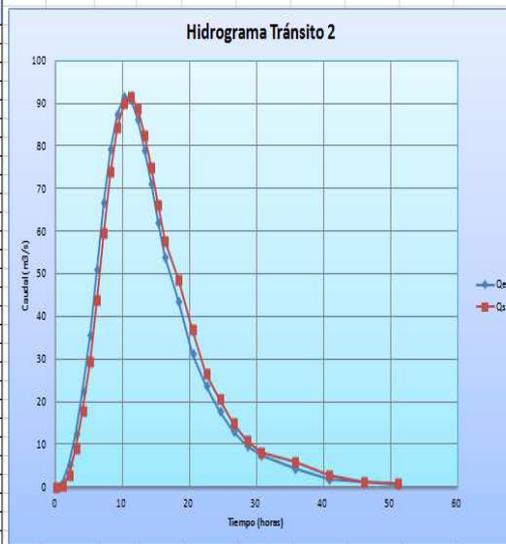


# IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO LLUVIA ESCORRENTÍA DE EVENTO EN EL LABORATORIO VIRTUAL DE HIDROLOGÍA (HYDROVLAB)

Autor: Jaime Patricio Armijos Toledo

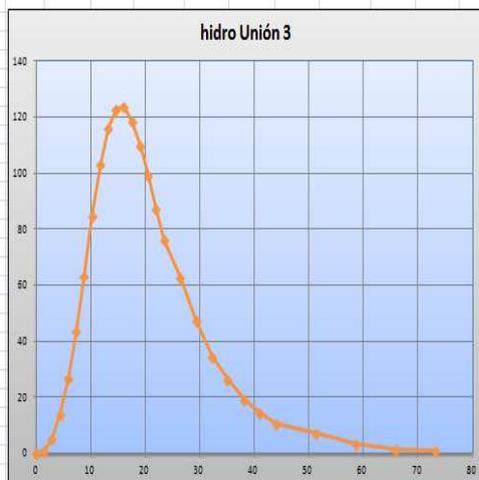
...Continuación

Caudal de Entrada (Qe) (m3/s)	Tiempo (horas)	C <sub>1</sub> (Qe <sub>1</sub> ) (2)	C <sub>2</sub> (Qe <sub>2</sub> ) (3)	C <sub>3</sub> (Qe <sub>3</sub> ) (4)	C <sub>4</sub> (Qe <sub>4</sub> ) (5)	Caudal de Salida (Qs) (m3/s)
0	0	0	0	0	0	0
0.889	1.020	0.364	0.000	0.000	0.000	0.364
5.139	2.040	2.107	0.789	-0.108		2.787
12.633	3.060	5.179	4.561	-0.829		8.911
22.653	4.080	9.285	11.212	-2.650		17.847
35.867	5.100	14.702	20.103	-5.307		29.498
51.073	6.120	20.935	31.830	-8.771		43.994
66.866	7.140	27.409	45.325	-13.082		59.652
79.456	8.160	32.569	59.340	-17.738		74.172
87.493	9.180	35.864	70.513	-22.055		84.322
91.606	10.200	37.550	77.846	-25.073		90.122
90.864	11.220	37.246	81.236	-26.798		91.743
86.213	12.240	35.339	80.637	-27.280		88.696
79.175	13.260	32.454	76.510	-26.374		82.590
71.108	14.280	29.148	70.284	-24.558		74.853
62.158	15.300	25.479	63.105	-22.258		66.326
54.055	16.320	22.158	55.162	-19.722		57.597
43.423	18.360	17.799	47.971	-17.127		48.644
31.470	20.400	12.900	38.536	-14.464		36.971
23.859	22.440	9.780	27.928	-10.994		26.715
17.789	24.480	7.292	21.174	-7.944		20.521
13.090	26.520	5.366	15.788	-6.102		15.050
9.599	28.560	3.935	11.617	-4.475		11.076
7.410	30.600	3.037	8.519	-3.294		8.262
4.377	35.700	1.794	6.576	-2.457		5.913
1.825	40.800	0.748	3.885	-1.758		2.874
1.049	45.900	0.430	1.820	-0.855		1.195
0.446	51.000	0.183	0.931	-0.355		0.758



1) Ahora a partir de la figura o esquema tenemos que el tránsito 2 (t2) suma con la subsecuencia 4 y va a formar la Unión 3 (U\_3) así:

hidro unión	t1p	Q1Qp
0	0	0
1.467	0.8542	
2.934	5.2369	
4.401	14.137	
5.868	26.993	
7.335	43.543	
8.802	63.532	
10.269	84.803	
11.736	103.24	
13.203	116	
14.67	122.79	
16.137	123.75	
17.604	118.75	
19.071	110.03	
20.538	99.35	
22.005	87.557	
23.472	76.215	
24.939	62.689	
26.406	47.423	
27.873	34.554	
29.34	26.4	
30.807	19.296	
32.274	14.277	
33.741	10.712	
35.208	7.0894	
36.675	3.4623	
38.142	1.4889	
39.609	0.8892	



Fuente: Elaboración propia

## 3.1.3 Resumen de la Validación de Resultados

Como se puede apreciar, Microsoft Excel nos proporciona resultados iguales que los obtenidos con la herramienta del HYDROVLAB (modelo lluvia escorrentía), de igual manera con el HYDROVLAB (Efecto de la precipitación efectiva en la



tormenta y método de Muskingum - Cunge), se obtienen resultados muy parecidos, esta diferencia se debe a que al realizar los cálculos se trabaja en herramientas distintas, que trabajan con diferentes cifras decimales para realizar los cálculos como lo hace Microsoft Excel y la herramienta del HYDROVLAB.

En la tabla 3.1 se resumen los cálculos obtenidos con HydroVLab (Modelo lluvia-escorrentía), Microsoft Excel, HydroVLab.

**Tabla 3.1** Resumen de la validación de resultados del modelo de lluvia escorrentía de evento

	HydroVLab (Modelo lluvia-escorrentía)	HydroVLab	Microsoft Excel
tc sub1	2.55	2.555	2.55
tc sub2	3.39	3.394	3.39
tc sub3	3.56	3.558	3.56
tc sub4	4.95	4.948	4.95
tp sub1	3.03	3.033	3.03
tp sub2	3.53	3.536	3.53
tp sub3	3.64	3.635	3.64
tp sub4	4.47	4.469	4.470
qp sub1	31.579	31.548	31.579
qp sub2	36.19	36.124	36.190
qp sub3	24.157	24.192	24.157
qp sub4	32.663	32.672	32.663
qp Unión1	60.347	60.32	60.347
tp Unión1	7.17	7.171	7.17
x Tránsito 1	0.433	0.433	0.43
k Tránsito 1	4.64	4.642	4.6398
qp Unión2	91.605	91.58	91.61
tp Unión2	10.2	10.204	10.2
x Tránsito 2	0.395	0.395	0.40
k Tránsito 2	7.278	7.28	7.28
qp Unión3	123.74	123.73	123.75
tp Unión3	16.14	16.14	16.137

Fuente: Elaboración propia



Como se puede ver en la tabla 3.1 los resultados no varían considerablemente, por tanto se da por aceptado la herramienta “Modelo de Lluvia Escorrentía de Evento”

Este programa realiza los cálculos de manera dinámica e interactiva, de lo cual podemos nombrar las siguientes ventajas:

- Realiza los hidrogramas de hasta 4 subcuencas, para luego poder ser modeladas.
- Obtiene el valor de la precipitación efectiva mediante el cálculo de la precipitación media de la cuenca.
- Permite ingresar la topología de la cuenca, de manera manual, concediendo al usuario la opción de poder cambiarla.
- Tiene el manual de uso explicado paso a paso para descargarlo y tener un conocimiento profundo del manejo del mismo.
- Poseen un ejemplo explicativo para usuarios que participan por primera vez en la utilización del programa.
- Para realizar un tránsito, si el usuario no ingresó todos los datos necesarios para el cálculo en el programa se muestra un mensaje de error.
- A medida que se desarrolla el modelo, se muestran las gráficas de cada componente



---

## 4. Conclusiones y Recomendaciones

---



## 4.1 CONCLUSIONES

De la presente investigación, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- La implementación del Modelo Lluvia Escorrentía de Evento se la realizó con el programa VisualStudio.Net 2008, para que esta herramienta pueda ser utilizada en el entorno web y específicamente en el laboratorio virtual de hidrología (HydroVLab)
- La herramienta “modelo de lluvia escorrentía de evento”, está diseñada para simular la escorrentía superficial, mediante el hidrograma unitario adimensional del S.C.S y el tránsito de avenidas por el método de Muskingum – Cunge y se pueden modelar hasta cuatro (4) subcuencas, tres (3) uniones y cinco (5) tránsitos
- En la herramienta “modelo de lluvia escorrentía de evento”, ofrece al usuario dos formas de introducir la precipitación media; por pesos y por precipitación, y da la facilidad de introducir la topología e interpretarla.
- Se ha chequeado la herramienta minuciosamente para asegurar que los resultados sean efectivos y eficientes, mediante ejercicios hechos en el HydroVLab y mediante hojas electrónicas de Excel
- La comparación de los resultados obtenidos con el HydroVLab y ejemplos de la literatura y sitios Web similares, permitió comprobar una correspondencia en la exactitud de los resultados del 100%, lo que valida la implementación informática de las herramientas desarrolladas.
- Es importante recalcar que la herramienta “modelo de lluvia escorrentía de evento”, ofrece una interfaz gráfica que le permite al usuario trazar la topología de la cuenca.



## 4.2 RECOMENDACIONES

Mediante análisis comparativos, durante el periodo de pruebas que se mantuvieron las herramientas del laboratorio y con los métodos que se han implementado; se recomienda:

- Cuando se haya dejado de usar la herramienta por unos 15 min, los resultados se perderán y los botones de cálculo dejarán de funcionar para ello se recomienda refrescar la herramienta.
- Para otras investigaciones similares revisar el software y si el caso lo amerita actualizar las aplicaciones existentes.
- Para un manejo óptimo del programa es necesario leer el manual que se encuentra dentro del programa en el software.
- Que a futuro se mejore la interfaz gráfica de la herramienta “modelo de lluvia escorrentía de evento”, en la cual se permita al usuario introducir texto, y cargar en la misma gráfica los datos de las subcuencas a medida que se realiza el esquema de la topología.



---

## 5. Bibliografía

---



## 5.1 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ④ Aparicio, F. J. (1992). Fundamentos de Hidrología de superficie. México: Limusa S.A.
- ④ Chow, V. T. (1994). Hidrología Aplicada. Bogota - Colombia: McGraw-Hill.
- ④ Germán, M. S. (2006). Hidrología en la Ingeniería. Bogotá - Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- ④ Nanía, Leonardo S. Clase: método de Transformación Lluvia – escorrentía y de propagación de caudales.
- ④ Cueva, C. Fredy. (2010). Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniero Civil. Loja
- ④ Cueva, Marco. (2010a). Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniero Civil. Loja

## 5.2 ENLACES WEB

- ④ Ponce Victor Miguel, Engineering Hydrology, Principles and Practices, editorial Prentice Hall Englewood Cliffs, N. J, 1994.  
<http://onlinecalc.sdsu.edu/>; año de consulta 2012, estado activo
- ④ Tránsito de Hidrogramas, conceptos básicos.  
[http://web.usal.es/~javisan/hidro/temas/Transito\\_Hidrogramas.pdf](http://web.usal.es/~javisan/hidro/temas/Transito_Hidrogramas.pdf); año de consulta 2012, estado activo
- ④ TÁNAGO, M. G. (2009). OpenCourseWare de la Universidad Politécnica de Madrid.  
<http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/hidrologia-de-superficies-y-conservacion-de-suelos/ocw-marta-pdf/Tema12.pdf>; año de consulta 2012, estado activo
- ④ CHAVARRI, E. A. (2008). Maestría en recursos Hídricos – Ingeniería de recursos Hídricos.



<http://es.scribd.com/doc/57966088/CLASE-11-Transito-de-Avenidas-def>; año de consulta 2012, estado activo

- Ritzema, H. P. (1994). Drainage Principles and Applications.

<http://content.alterra.wur.nl/Internet/webdocs/ilripublicaties/publicaties/Pub162/pub162-h4.1.pdf>; año de consulta 2012, estado activo

- Sánchez, J. S. (2004). Hidrología e Hidrogeología. Obtenido de [http://web.usal.es/~javisan/hidro/temas/Transito\\_Hidrogramas.pdf](http://web.usal.es/~javisan/hidro/temas/Transito_Hidrogramas.pdf); año de consulta 2012, estado activo

- [www.hydrovlab.utpl.edu.ec](http://www.hydrovlab.utpl.edu.ec)