



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

**ÁREA TÉCNICA**

TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**“Validación de Técnicas de Tránsito Hidrológico en una Microcuenca Andina.”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

**AUTOR:** Ríos Ríos, Antonio Minos

**DIRECTOR:** Oñate Valdivieso, Fernando Rodrigo, PhD.

LOJA - ECUADOR

2016



*Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>*

*Febrero, 2016*

## **APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

PhD.

Fernando Rodrigo Oñate Valdivieso.

**DOCENTE DE LA TITULACIÓN**

De mi consideración:

El presente trabajo de fin de titulación: “Validación de Técnicas de Tránsito Hidrológico en una Microcuenca Andina” realizado por Ríos Ríos Antonio Minos, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por tanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, febrero de 2016

f)

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Antonio Minos Ríos Ríos, declaro ser autor del presente trabajo de fin de titulación: Validación de Técnicas de Tránsito Hidrológico en una Microcuenca Andina, de la Titulación de Ingeniería Civil, siendo el PhD. Fernando Oñate Valdivieso director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 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 o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f)

Autor: Antonio Minos Ríos Ríos.

Cédula: 1104376486

## DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a Dios y a la Virgen del Cisne, por las múltiples bendiciones recibidas a través de mi vida universitaria y por poder culminar esta meta tan anhelada.

A mis amados Padres Edilberto Ríos Celi y Dolores Marina Ríos Fajardo, quienes han sido mi sombra y apoyo tanto en mi formación personal como profesional, de manera especial a mi madre quien ha sabido inculcar en mí el ánimo de superación y de ser más.

A mis hermanos, Jorge Iván, Ítalo Andrés, María del Cisne, Edison Alexander, Dalton David y Ángel Daniel, que la culminación de esta meta sirva de ejemplo para cada uno de ellos, de manera especial a mi hermano mayor Jorge, por ser un ejemplo positivo en mi vida.

A mi amada Esposa Andrea Elizabeth, mi compañera de vida quien ha sido un apoyo fundamental para la culminación de la presente. Gracias por el cariño y paciencia KF.

A mis amados hijos, Cristina Abigail y Antonio Emmanuel, motivos de alegrías mil y quienes han sido inspiración para mí.

A mi familia, y a todos mis amigos que de una u otra manera fueron partícipes de mi formación profesional.

*Antonio Minos Ríos Ríos*

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente agradezco a Dios y a la Virgen del Cisne, por darme vida, salud y sabiduría para poder culminar mi formación profesional.

Agradezco a mis padres que han sido mi guía y apoyo y quienes con amor y paciencia me han apoyado para la culminación del presente.

Un especial agradecimiento a mi esposa e hijos, que son mi motor gracias por su cariño.

Mi más profundo agradecimiento al PhD. Fernando Oñate Valdivieso, Director de Tesis, quien ha sido la principal guía para la culminación del presente trabajo investigativo, mis sinceros sentimientos de admiración y gratitud, por su apoyo y la dedicación de su tiempo.

A la Universidad Técnica Particular de Loja, a través de los docentes de la Escuela de Ingeniería Civil, ya que de ellos recibí la formación profesional.

Finalmente agradezco a mis amigos, compañeros y a todos quienes de manera directa o indirecta me apoyaron para culminar mi meta.

*Antonio Minos Ríos Ríos*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA .....	i
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	3
1.1    Introducción.....	4
1.2    Justificación.....	4
1.3    Objetivos .....	5
1.3.1    Objetivo general. ....	5
1.3.2    Objetivos específicos.....	5
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS .....	6
2.4    Área de estudio. ....	7
2.4.1    Ubicación.....	7
2.4.2    Clima. ....	7
2.4.3    Características morfométricas de la cuenca. ....	8
2.4.4    Tramo de estudio.....	8
2.4.4.1    Levantamiento topográfico del tramo. ....	9
2.4.4.2    Estaciones de control.....	10
2.5    Hidrogramas.....	11
2.6    Tránsito de avenidas .....	13
2.6.1    Tránsito de avenidas en cauces. ....	14
2.6.1.1    Método de muskingum.....	14
2.6.1.2    Método de muskingum-cunge.....	17
2.6.1.3    Método de la onda cinemática.....	19
2.7    Parámetros de validación .....	23
2.7.1    Coeficiente de correlación ( $R^2$ ).....	23

2.7.2	Error cuadrático medio (RMSE) .....	24
2.7.3	Eficiencia de nash-sutcliffe (EF).....	24
CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		26
3.1	Método de muskingum .....	27
3.2	Método de muskingum-cunge.....	31
3.3	Método de onda cinemática.....	35
3.4	Parámetros de validación .....	39
CONCLUSIONES .....		40
RECOMENDACIONES.....		41
BIBLIOGRAFÍA.....		42
ANEXOS.....		43
ANEXO 1 .....		44
.....		45
ANEXO 2 .....		46
ANEXO 3.....		49
ANEXO 4.....		53



## RESUMEN

El presente trabajo está enfocado en validar técnicas o métodos de tránsito hidrológico para una microcuenca de la Provincia de Zamora Chinchipe.

Para la presente investigación fue necesario conocer las características del cauce, por lo cual se hizo el levantamiento topográfico del mismo.

Al inicio del tramo de estudio se encuentran instalados dos dispositivos de medición de altura del nivel de agua denominados caudalímetros, las medidas de estos nos dan los caudales de entrada para el tránsito.

En la salida, la medición se la realiza con el instrumento llamado Thalimedes, estos datos se recolectaron para obtener los caudales de salida, y usarlos para la validación de los métodos de tránsito.

Los métodos usados son: Muskingum, Muskingum-Cunge y Onda Cinemática, los cuales se aplicaron a diferentes Eventos de Avenidas, para poder realizar la validación de los métodos se emplearon los siguientes parámetros: Error Cuadrático Medio, Coeficiente de Correlación y Eficiencia de Nash-Sutcliffe.

Una vez finalizada la investigación, se concluye que los métodos para el tránsito de avenidas aplicados, son adecuados para la microcuenca El Limón.

**PALABRAS CLAVES:** Tránsito Hidrológico, Caudalímetro, Thalimedes, Muskingum, Muskingum-Cunge, Onda Cinemática, Parámetros de Validación.

## ABSTRACT

This work is focused on validating techniques or methods of hydrologic watershed of transit for the Province of Zamora Chinchipe.

For the present investigation was necessary to know the characteristics of the channel, whereby the same survey was done.

At the beginning of the study reach two devices are installed to measure water level height called flowmeters, these measures give us the flows of entry for transit.

At checkout, the measurement is performed with an instrument called Thalimedes, these data were collected for output flows and use them for validation of methods of transit.

The methods used are: Muskingum, Muskingum-Cunge and wave kinematics, which are applied to different events Avenues, to perform the validation of methods were used the following parameters: Mean Squared Error, Correlation Coefficient and Efficiency Nash Sutcliffe.

After the investigation, we conclude that the methods for the Routing that were applied are suitable for the microbasin El Limon.

**KEYWORDS:** Traffic Hydrological, Flowmeter, Thalimedes, Muskingum, Muskingum-Cunge, Wave Kinematics, Validation parameters.

## **CAPÍTULO I: GENERALIDADES**

## **1.1 Introducción**

El tránsito de una creciente en un cauce permite cuantificar gastos y niveles en puntos del río donde no se cuenta con datos de un aforo.

Cuando la onda de una creciente viaja por un cauce, o pasa a través de un embalse, su duración aumenta y disminuyen las magnitudes de sus gastos; este fenómeno es conocido como Atenuación o Subsistencia de la Onda, de manera que el Tránsito o Propagación de Crecientes se define como el proceso de determinación progresiva en función del tiempo, de la forma de una onda de creciente en los sucesivos puntos de un río o a través de un embalse (WMO-UNESCO, 1974).

La utilidad práctica del procedimiento es evidente: por ejemplo, el carácter catastrófico de una avenida está relacionado directamente con la altura del pico del hidrograma (el caudal máximo), de modo que es fundamental calcular cómo ese pico va disminuyendo a medida que nos movemos aguas abajo.

Los métodos existentes para el tránsito de avenidas en cauces se pueden dividir en dos tipos: hidráulicos e hidrológicos. En el presente trabajo se analizarán los hidrológicos.

Los métodos hidrológicos más conocidos son el de Muskingum y su posterior modificación en el año de 1969 denominado Muskingum – Cunge.

El Método Muskingum fue desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos del distrito de Muskingum (Ohio, USA) para prevención de avenidas, se lo presentó por primera vez en 1938

## **1.2 Justificación**

En nuestro medio no existen estudios detallados de la aplicación de metodologías que permitan determinar las técnicas apropiadas del tránsito hidrológico en una determinada zona de estudio.

Es por esto que se ha considerado realizar una investigación más profunda sobre los métodos para el cálculo del tránsito hidrológico de la microcuenca "El Limón" que se encuentra ubicada en la captación de agua para abastecimiento de agua potable para la ciudad de Zamora.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general.**

Validar metodologías de cálculo del tránsito hidrológico en la microcuenca el Limón Provincia de Zamora, Cantón Zamora.

#### **1.3.2 Objetivos específicos.**

- Investigar al menos dos métodos aplicables a la zona de estudio.
- Establecer las características de la sección, en los tramos del cauce.
- Encontrar parámetros como el área, pendiente, caudal máximo, topografía, velocidad, profundidad de la corriente, radio hidráulico.
- Recopilar, organizar e interpretar los datos existentes de la microcuenca.
- Realizar la validación de los métodos estudiados.

## **CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS**

## 2.4 Área de estudio.

La presente investigación se aplica específicamente a la microcuenca El Limón.

### 2.4.1 Ubicación.

Se encuentra ubicada al sureste de la ciudad de Zamora, cantón de la provincia de Zamora, limita al norte con la quebrada Chorrillos, al sur, este y oeste limita con el Parque Nacional Podocarpus. (Cuenca Capa, 2006)

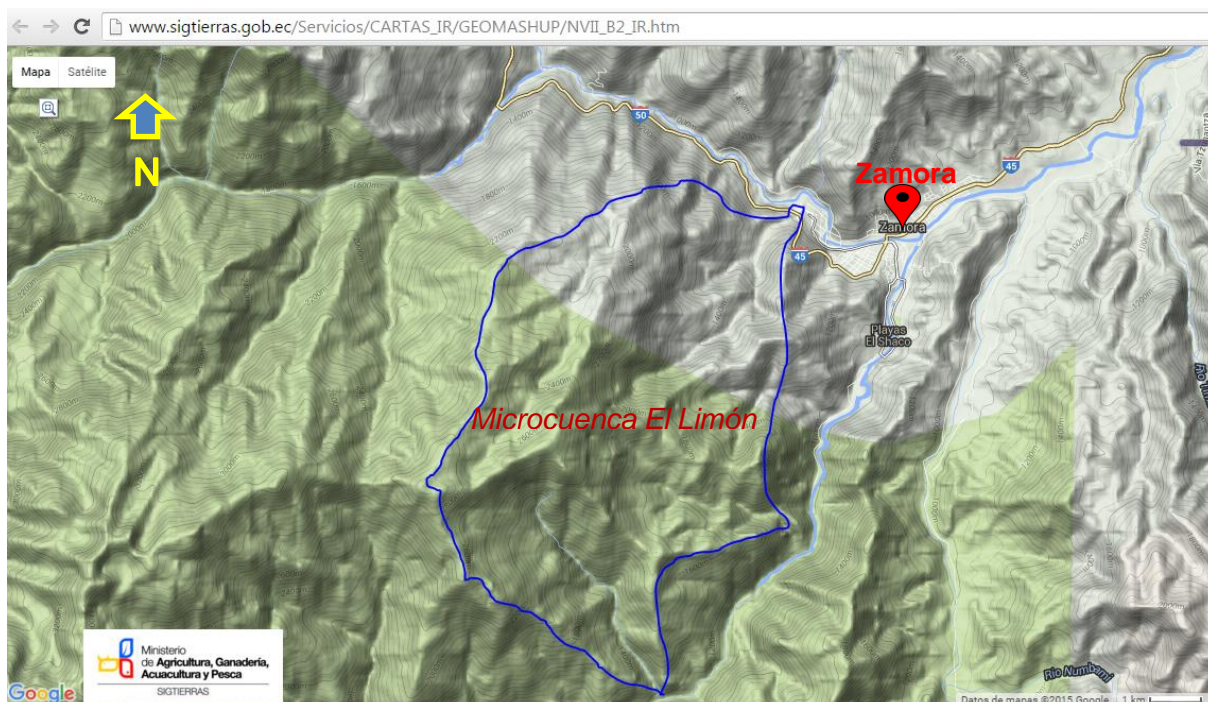


Figura 0-1: Ubicación de la Microcuenca El Limón

Fuente: Elaboración propia (Basado en cartas geográficas de Sigtierras NNVII\_A1 y NVII\_B2\_IR)

La topografía del área es muy irregular y en su mayoría pendientes con promedio del 70 %, especialmente el lado que comprende el límite del Parque Nacional Podocarpus. (Cuenca Capa, 2006)

### 2.4.2 Clima.

Posee un clima subtropical, templado - húmedo con una temperatura media anual de 20°C, la precipitación oscila entre los 1 847 y 2 200 mm anuales, y una humedad que en algunos meses sobrepasa el 90%. (Cuenca Capa, 2006)

### 2.4.3 Características morfométricas de la cuenca.

Coronel y Castro (2005), resumen las características morfométricas de la microcuenca en la siguiente tabla:

Tabla 1: Características morfométricas de la microcuenca El Limón

Parámetro	Unidad	Resultado	Interpretación
<b>Morfología de la microcuenca</b>			
Área	Km <sup>2</sup>	10.19	Cuenca pequeña
Perímetro	Km	15.30	
Longitud Axial	Km	6.27	
Ancho promedio	Km	1.26	
Factor de forma		0.25	Microcuenca alargada, poco peligro de crecidas
Coefficiente de compacidad		1.34	Oval redonda a oval oblonga (ovalada)
Índice simétrico		7.3	Microcuenca asimétrica
<b>Fisiografía</b>			
Mediana de altitud	m s.n.m.	1 592	
Altura media	m s.n.m	880	
Altitud media	m s.n.m.	1 676.3	
Pendiente media	%	62.4	
Orientación		Este - Oeste	
Coefficiente de masividad	Km/Km <sup>2</sup>	0.086	
Coefficiente orográfico	m	75.68	Relieve accidentado
<b>Morfología de drenaje</b>			
Clasificación de corrientes		Corriente perenne	Transporta agua todo el año y siempre están alimentadas totalmente
Orden de corrientes		Orden 3	
Densidad de drenaje	Km/Km <sup>2</sup>	1.78	Se trata de una microcuenca mal drenada

Fuente: Adaptado de (Coronel Castro & Jaramillo Ordóñez, 2005)

### 2.4.4 Tramo de estudio.

El tramo en donde se van a aplicar los métodos de tránsito hidrológico de avenidas es el comprendido desde los caudalímetros en la parte alta hasta llegar a la captación de San Rafael donde se encuentra ubicado el Thalimedes.



Las coordenadas del tramo de estudio son:

Inicio: E 724090.218 N 9548727.944 Z 1332.949

Fin: E 725138.648 N 9549891.977 Z 1100.355

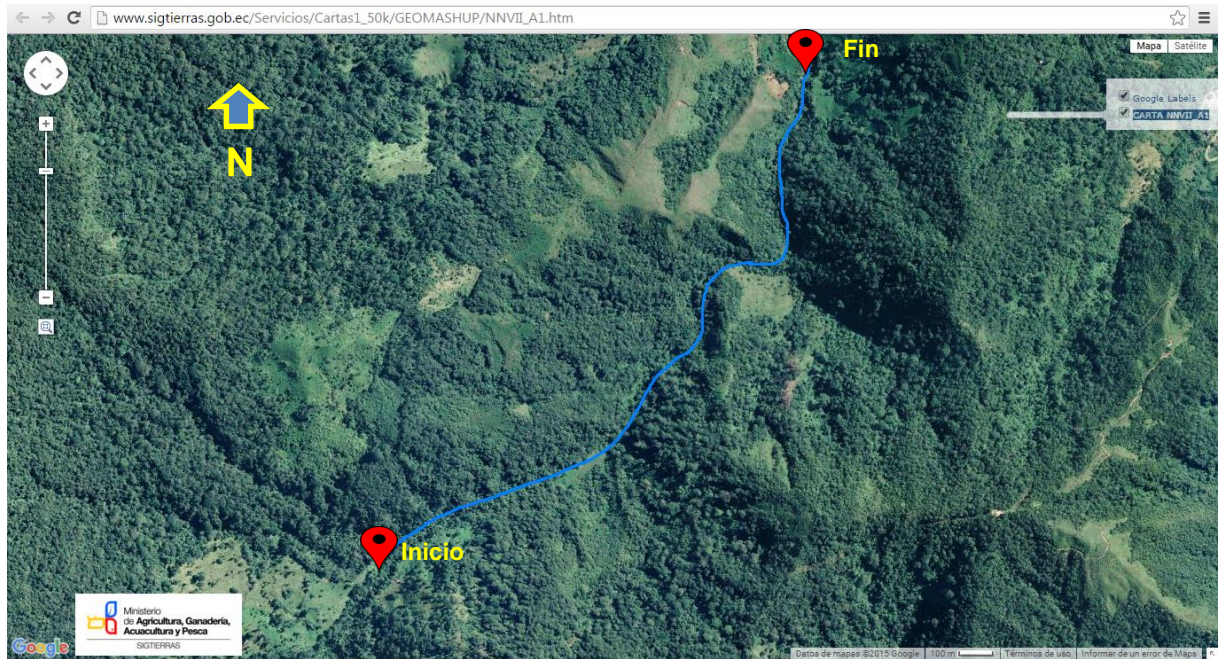


Figura 0-2: Ubicación del tramo de estudio de la Microcuenca El Limón

Fuente: Elaboración propia (Basado en Carta Geográfica de Sigtierras NNVII\_A1)

#### **2.4.4.1 Levantamiento topográfico del tramo.**

Para poder determinar las características del cauce que se necesitan para poder aplicar los métodos de tránsito de avenidas, se procedió a realizar el levantamiento topográfico desde la captación San Rafael en donde se encuentra ubicado el Thalimedes, hasta la parte alta o inicio del tramo donde se encuentran ubicados los caudalímetros.



Figura 0-3: Levantamiento topográfico del tramo de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Del levantamiento topográfico que se realizó al cauce en estudio, se determinó que la longitud es de 1 925 Km, las pendientes de fondo del cauce son fuertes y varían desde el 10% al 17%, la planimetría y el perfil del tramo se presentan en el Anexo 1.

#### **2.4.4.2 Estaciones de control.**

Las estaciones de control se encuentran el inicio y en el fin del tramo de estudio y son:

##### **2.4.4.2.1 Caudalímetros.**

Los caudalímetros se encuentran ubicados al inicio del tramo y son modelo WL16 de Global Water, los mismos están configurados para coleccionar información cada 10 minutos.



Figura 0-4: Caudalímetro Modelo WL 16 Global Water a) Caudalímetro armado, b) Interfaz USB, c) Interfaz serial

Fuente: Especificaciones Técnicas del Producto

#### 2.4.4.2 Thalimedes

El codificador angular con recolector de datos Thalimedes de mando por flotador permite medir continuamente el nivel de las aguas subterráneas y superficiales.

Un sistema de cable de flotador con contrapeso transmite el cambio del nivel del agua a la rueda del flotador del sensor. La rotación resultante se transforma en una señal eléctrica que se transmite a la unidad recolectora de datos a través del cable del sensor, almacenándose allí como valor medido. Los intervalos de memorización se pueden elegir conforme a las exigencias hidrológicas. (Especificaciones del producto)

El Thalimedes se encuentra configurado para tomar lecturas cada 10 minutos.



Figura 0-5: Colector de datos Thalimedes.

Fuente: Especificaciones del producto

## 2.5 Hidrogramas.

Un hidrograma es una figura gráfica que relaciona el caudal con el tiempo, en una sección determinada del curso de agua.

Los hidrogramas en general están constituidos por las siguientes partes:

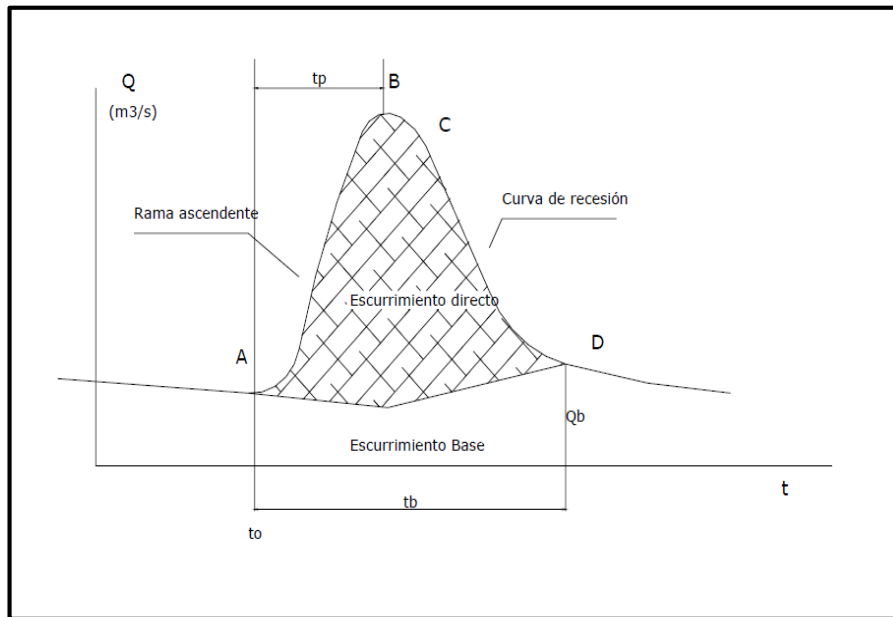


Figura 0-6: Partes de un Hidrograma.

Fuente: (Oñate Valdivieso, 2006)

De donde:

- **Punto de levantamiento (A):** En este instante el agua de la tormenta en análisis comienza a llegar a la salida de la cuenca y se produce dependiendo de las características la cuenca, inmediatamente, durante o después de que empezó la tormenta.
- **Pico (B):** Es el caudal máximo que produce la tormenta. Para fines de diseño resulta ser el punto más importante a considerar.
- **Punto de Inflexión (C):** Es el punto donde aproximadamente termina el flujo sobre el terreno.
- **Final del escurrimiento directo (D):** Es el punto de mayor curvatura de la curva de recesión.
- **Tiempo pico (tp):** Es el tiempo que transcurre desde A hasta B.
- **Tiempo base (tb):** Es el tiempo que va desde A hasta D.
- **Rama ascendente:** Es la parte del hidrograma que va desde A hasta B.
- **Rama descendente o Curva de recesión:** Es la parte del hidrograma que va desde B hasta D.

El área bajo el hidrograma es el volumen total escurrido, el área bajo el hidrograma y arriba de la línea de separación entre gasto base y directo es el volumen de escurrimiento directo.

## 2.6 Tránsito de avenidas

“El tránsito de avenidas es un procedimiento matemático para predecir el cambio en magnitud, velocidad y forma de una onda de flujo en función del tiempo (Hidrograma de avenida), en uno o más puntos a lo largo de un curso de agua (cauce o canal).

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. El tránsito de avenidas se utiliza principalmente para predecir los niveles de máxima crecida, el volumen del agua y el desarrollo temporal del flujo”. (Cueva Moreno, 2010)

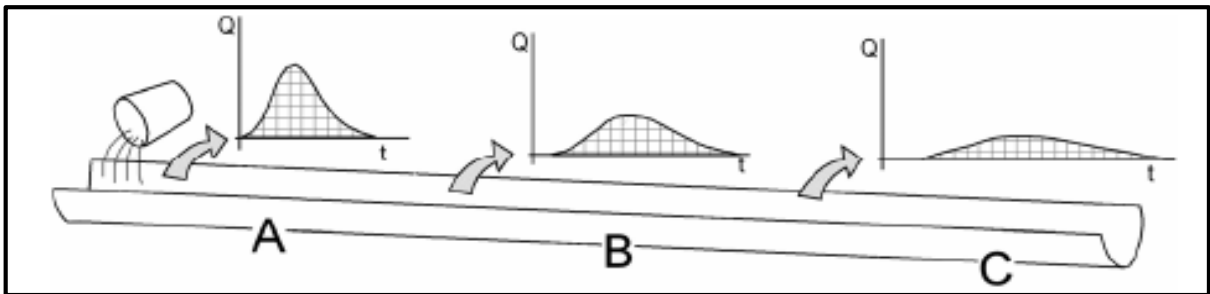


Figura 0-7: Efecto del tránsito a lo largo de un canal o río

Fuente: (Sanchez San Román, 2013)

Una onda atraviesa por un cauce natural, se disipa por dos razones fundamentalmente: la fricción y el almacenamiento. Ambos fenómenos dan lugar a un retraso o desplazamiento del caudal pico y una disminución del mismo dependiendo de las características del cauce y la longitud del tramo.

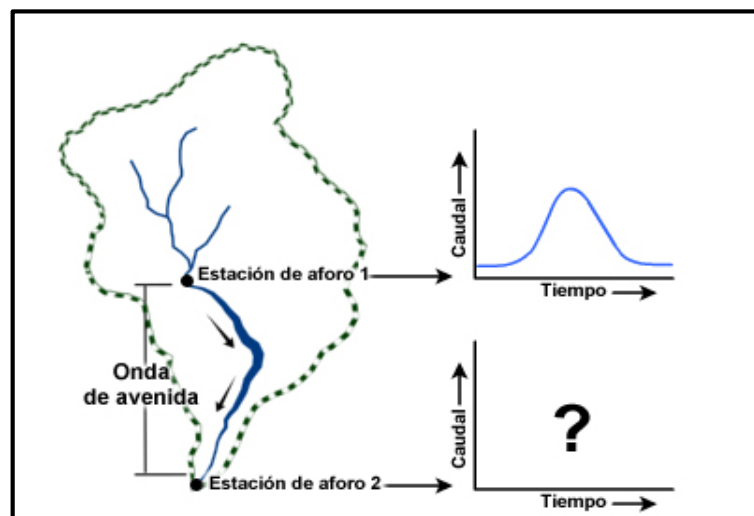


Figura 0-8: Tránsito de avenida

Fuente: (Cueva Moreno, 2010)

### 2.6.1 Tránsito de avenidas en cauces.

En un tramo de un río o cauce, durante el paso de una avenida se producen dos tipos de almacenamiento: almacenamiento en prisma y almacenamiento en cuña.

El los mismos se pueden apreciar a continuación:

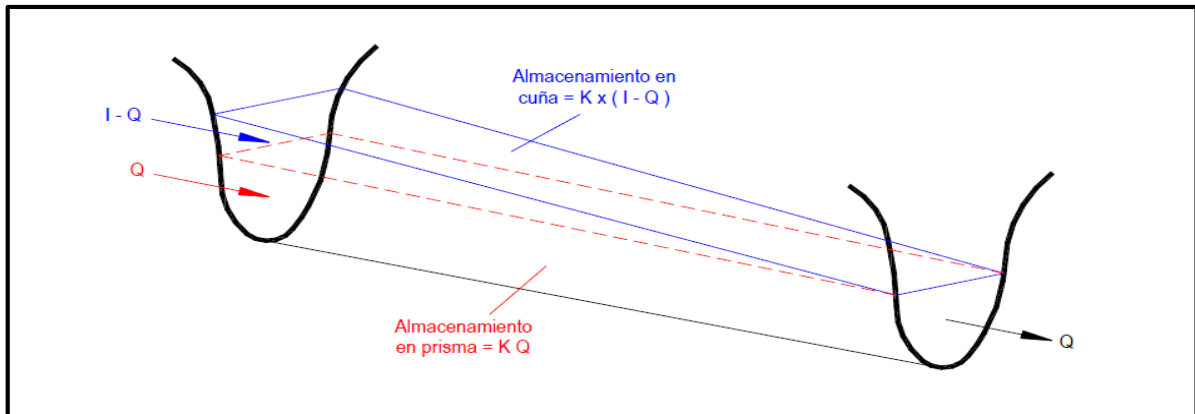


Figura 0-9: Almacenamiento en prisma y cuña en un tramo de canal.

Fuente: (Ayuso Muñoz, 2005)

Existen varios métodos de cálculo para el tránsito de avenidas en cauces los que usaremos en la presente investigación son los siguientes:

#### 2.6.1.1 Método de muskingum

El método de Muskingum es el más conocido y fue desarrollado por G.T. Mc Carthy en 1934, este se basa en el principio que una onda de crecida desplazándose en un río, se amortigua a causa de la fricción del fondo y de sus márgenes, así como por los almacenamientos naturales en el lecho de inundación.

La ecuación de Muskingum se basa en que el almacenamiento en un tramo de un río se puede dividir en dos partes:

- El primero es un almacenamiento en prisma, que depende solamente de las salidas y sería el único si el nivel de superficie libre del agua fuera paralelo al fondo del río.
- El segundo tipo de almacenamiento es el de cuña, este se debe al efecto de la pendiente de la superficie libre del agua en el gasto. Esta pendiente depende tanto de las entradas como de las salidas, y en el método de Muskingum el almacenamiento en cuña se toma como una función lineal de la diferencia de ambas.

Cuando se produce una avenida el caudal de entrada en la sección aguas arriba o inicio del tramo es superior al de la salida aguas abajo, y el almacenamiento toma la forma de un prisma.

Si se supone que el área de la sección transversal del flujo de avenida es directamente proporcional al caudal en dicha sección, entonces el volumen de almacenamiento en prisma será igual a  $kQ$ , en donde  $k$  es un factor de proporcionalidad, y el volumen de almacenamiento por cuña es igual a  $Kx(I - Q)$ , (Ver figura 2-8), donde  $x$  es un factor de ponderación dentro del rango de  $0 < x < 0.5$ .

Por lo tanto el almacenamiento total sería la suma de los dos componentes:

$$S = k[Q + (1 - Q)x] \quad \text{Ec. 1}$$

Esta ecuación puede reordenarse para dar la función de almacenamiento para el método de Muskingum.

$$S = k[Q + x - Qx] \quad \text{Ec. 2}$$

Y representa un modelo lineal para el tránsito de caudales en corrientes  $k[Q(1 - x) + x]$ .

El valor de  $x$  depende de la forma de almacenamiento de la cuña modelado. El valor de  $x$  varía desde 0.0 para un almacenamiento tipo embalse, hasta 0.5 para una cuña completamente desarrollada. Cuando  $x = 0.0$ , no existe cuña y por consiguiente no existe curva de remanso. En este caso la ecuación anterior resulta en un modelo de embalse lineal  $S = kQ$ . En corrientes naturales,  $x$  se encuentra entre 0.00 y 0.3 con un valor medio cercano a 0.2; así mismo, no se necesita una gran precisión en la determinación de  $x$  debido a que los resultados del método son relativamente insensibles al valor de este parámetro. El parámetro  $k$  es el tiempo de tránsito de una onda de creciente a través del tramo del canal. Para el tránsito hidrológico, los valores  $k$  y de  $x$  se suponen especificados y constantes para todo el rango de flujo. (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

Ahora los valores de almacenamiento en los tiempos  $j$  y  $j + 1$  se pueden escribir así:

$$S_j = k[xI_j + (1 - x)Q_j] \quad \text{Ec. 3}$$

y

$$S_{j+1} = k[xI_{j+1} + (1 - x)Q_{j+1}] \quad \text{Ec. 4}$$

Usando las ecuaciones anteriores, el cambio de almacenamiento en el intervalo de tiempo  $\Delta t$  será:

$$S_{j+1} - S_j = k\{[xI_{j+1} + (1-x)Q_{j+1}] - [xI_j + (1-x)Q_j]\} \quad \text{Ec. 5}$$

El cambio de almacenamiento, también puede expresarse como:

$$S_{j+1} - S_j = \frac{(I_j + I_{j+1})}{2} \Delta t - \frac{(Q_j + Q_{j+1})}{2} \Delta t \quad \text{Ec. 6}$$

Combinando las ecuaciones anteriores y simplificando, se obtiene la ecuación de Muskingum para el tránsito de avenidas.

$$Q_{j+1} = C_0 I_{j+1} + C_1 I_j + C_2 Q_j \quad \text{Ec. 7}$$

Dónde:

- $I_{j+1}$  - Caudal de entrada
- $I_j$  - Caudal de entrada anterior
- $Q_{j+1}$  - Caudal de salida
- $Q_j$  - Caudal de salida anterior

Y los coeficientes  $C_0$ ,  $C_1$  y  $C_2$ , están definidos como:

$$C_0 = \frac{\Delta t - 2kx}{2k(1-x) + \Delta t} \quad \text{Ec. 8}$$

$$C_1 = \frac{\Delta t + 2kx}{2k(1-x) + \Delta t} \quad \text{Ec. 9}$$

$$C_2 = \frac{2k(1-x) - \Delta t}{2k(1-x) + \Delta t} \quad \text{Ec. 10}$$

Como comprobación la suma de los tres coeficientes  $C_0$ ,  $C_1$  y  $C_2$ , es igual a 1.

Si se tiene disponibles los hidrogramas de salida y de entrada observados para un tramo de cauce, se pueden estimar los valores de  $k$  y de  $x$ , usando la siguiente ecuación:

$$k = \frac{0.5\Delta t[(I_{j+1} + I_j) - (Q_{j+1} + Q_j)]}{x(I_{j+1} - I_j) + (1-x)(Q_{j+1} - Q_j)} \quad \text{Ec. 11}$$

Dónde:

- $\Delta t$  - Intervalo de tiempo
- $I_{j+1}$  - Caudal de entrada
- $I_j$  - Caudal de entrada anterior



- $Q_{j+1}$  - Caudal de salida
- $Q_j$  - Caudal de salida anterior

En esta ecuación suponemos valores de  $x$  entre 0 y 0.5, y calculamos valores sucesivos tanto del numerador como del denominador, estos se grafican para cada intervalo de tiempo.

Los valores calculados de denominador y de numerador se grafican para cada intervalo de tiempo, con el numerador en la escala vertical y el denominador en la escala horizontal. Esto usualmente produce una gráfica en forma de rizo. El valor de  $x$  que produzca el rizo más parecido a una línea única se toma como el valor correcto para ese tramo, y  $k$ , de acuerdo con la ecuación anterior, es igual a la pendiente de esa línea. Como  $k$  es el tiempo requerido para que la onda de creciente incremental atraviese el tramo, su valor también puede estimarse como el tiempo de tránsito observado del pico de flujo a través del tramo. (Chow, Maidment, & Mays, 1994)

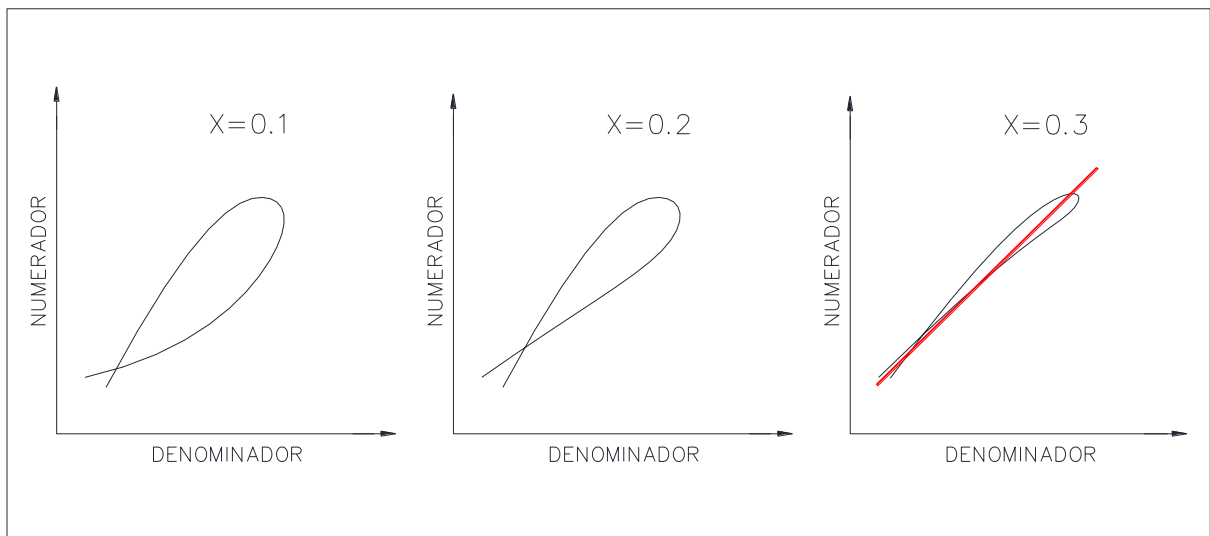


Figura 0-10: Determinación de los valores de  $k$  y de  $x$ , Método de Muskingum.

Fuente: Elaboración propia.

### 2.6.1.2 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).

Para la aplicación de este método se debe calcular la celeridad de la onda cinemática que está dada por la siguiente ecuación:

$$c = \beta(V) \quad \text{Ec. 12}$$

De manera que los coeficientes de tránsito serán:

$$C_0 = \frac{c \left( \frac{\Delta t}{\Delta x} \right) - 2x}{2(1-x) + c \left( \frac{\Delta t}{\Delta x} \right)} \quad \text{Ec. 13}$$

$$C_1 = \frac{c \left( \frac{\Delta t}{\Delta x} \right) + 2x}{2(1-x) + c \left( \frac{\Delta t}{\Delta x} \right)} \quad \text{Ec. 14}$$

$$C_2 = \frac{2(1-x) - c \left( \frac{\Delta t}{\Delta x} \right)}{2(1-x) + c \left( \frac{\Delta t}{\Delta x} \right)} \quad \text{Ec. 15}$$

Los valores de  $k$  y  $x$  son calculados mediante las siguientes ecuaciones:

$$k = \frac{\Delta x}{c} \quad \text{Ec. 16}$$

$$x = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{Q}{cBS_0\Delta x} \right) \quad \text{Ec. 17}$$

La correcta aplicación de este método requiere elegir correctamente el  $\Delta t$  y  $\Delta x$ . Para ellos se dividirá el tramo de estudio en sub-tramos, de modo que el caudal de salida de uno de ellos será el de entrada del siguiente.

Una versión mejorada del método de Muskingum-Cunge es gracias a Ponce- Yevjevich, la cual incorpora el Número de Courant y el Número Reynolds los mismos que se calculan con las siguientes ecuaciones respectivamente:

$$C = c \left( \frac{\Delta t}{\Delta x} \right) \quad \text{Ec. 18}$$

$$D = \frac{q_0}{S_0 c \Delta x} \quad \text{Ec. 19}$$

Ahora sabiendo que  $D$  es el número de Reynolds y reemplazando en la ecuación de  $x$  se tiene:

$$x = 1 - D \quad \text{Ec. 20}$$

Los coeficientes para el tránsito tomando en cuenta el número de Reynolds y el de Courant serán:

$$C_0 = \frac{-1 + C + D}{1 + C + D} \quad \text{Ec. 21}$$

$$C_1 = \frac{1 + C - D}{1 + C + D} \quad \text{Ec. 22}$$

$$C_2 = \frac{1 - C + D}{1 + C + D} \quad \text{Ec. 23}$$

### 2.6.1.3 Método de la onda cinemática

Una onda es una variación del flujo, tal como en cambio en el caudal o en la elevación de la superficie del agua, y la celeridad de onda es la velocidad con la cual esta variación se mueve a lo largo del canal. La celeridad depende del tipo de onda que se considere y puede ser bien diferente a la velocidad del agua. Para una onda cinemática, los términos de aceleración y de presión en la ecuación de momentum son despreciables, luego el movimiento de la onda se describe principalmente por la ecuación de continuidad. El nombre cinemática es entonces aplicable, ya que cinemática se refiere al movimiento sin tener en cuenta la influencia de la masa y la fuerza; en dinámica se incluyen estas cantidades. (Chow, Maidment, & Mays, 1994)

De acuerdo a Ven Te Chow, define el modelo mediante las siguientes ecuaciones:

- Ecuación de Continuidad:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad \text{Ec. 24}$$

- Ecuación de Momentum:

$$S_o = S_f \quad \text{Ec. 25}$$

De donde la ecuación de momentum también puede expresarse de la siguiente manera:

$$A = \alpha (Q^\beta) \quad \text{Ec. 26}$$

Por ejemplo, la ecuación de Manning escrita con  $S_o = S_f$  y  $R = A/P$  es:

$$Q = \left( \frac{nP^{2/3}}{1.49\sqrt{S_0}} \right)^{3/5} Q^{3/5} \quad \text{Ec. 27}$$

Esta ecuación puede resolverse para A como:

$$A = \left( \frac{nP^{2/3}}{1.49\sqrt{S_0}} \right)^{3/5} Q^{3/5} \quad \text{Ec. 28}$$

Luego

$$\alpha = \left( \frac{nP^{2/3}}{1.49\sqrt{S_0}} \right)^{0.6} \quad \text{Ec. 29}$$

$\beta = 0.6$  en este caso.

La ecuación de continuidad contiene dos variables dependientes, A y Q, pero A puede eliminarse diferenciando de la ecuación Ec. 26, por lo tanto:

$$\frac{\partial A}{\partial t} = \alpha\beta Q^{\beta-1} \left( \frac{\partial Q}{\partial t} \right) \quad \text{Ec. 30}$$

y sustituyendo para  $\partial A/\partial t$  en la ecuación de continuidad obtenemos:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \alpha\beta Q^{\beta-1} \left( \frac{\partial Q}{\partial t} \right) = q \quad \text{Ec. 31}$$

Y debido a que las ondas cinemáticas resultan de cambios en Q. Un incremento en el flujo  $\partial Q$ , puede escribirse como:

$$dQ = \frac{\partial Q}{\partial x} dx + \frac{\partial Q}{\partial t} dt \quad \text{Ec. 32}$$

Dividiendo esta ecuación para  $\partial x$  y reordenando se llega a:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{dt}{dx} \frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{dQ}{dx} \quad \text{Ec. 33}$$

Las ecuaciones Ec. 31 y Ec. 33 son idénticas si:

$$\frac{dQ}{dx} = q \quad \text{Ec. 34}$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{1}{\alpha\beta Q^{\beta-1}} \quad \text{Ec. 35}$$

Diferenciando la ecuación de momentum y reordenando se llega a:

$$\frac{dQ}{dA} = \frac{1}{\alpha \beta Q^{\beta-1}} \quad \text{Ec. 36}$$

Y comparando la Ec. 34 con la Ec. 35, puede verse que:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{dQ}{dA} \quad \text{Ec. 37}$$

$$c_k = \frac{dQ}{dA} = \frac{dx}{dt} \quad \text{Ec. 38}$$

Donde  $c_k$  es la celeridad de onda cinemática. Esto implica que un observador moviéndose a una velocidad  $dx/dt = c_k$  con el flujo vería que el caudal se incrementa a una tasa de  $dQ/dx = q$ . Si  $q = 0$ , el observador vería un caudal constante.

Las ecuaciones: Ec. 34 y Ec. 38, son las ecuaciones características para una onda cinemática, dos ecuaciones diferenciales ordinarias que son matemáticamente equivalentes a las ecuaciones de continuidad y de momentum.

La celeridad de onda cinemática también puede expresarse en términos de la profundidad como:

$$c_k = \frac{1}{B} \frac{dQ}{dy} \quad \text{Ec. 39}$$

Donde:

$$dA = B dy. \quad \text{Ec. 40}$$

Tanto el movimiento de onda cinemática como el movimiento de onda dinámica están presentes en las ondas de crecientes naturales. En muchos casos la pendiente del canal domina la ecuación de momentum; por consiguiente, la mayor parte de la onda de creciente se mueve como una onda cinemática.

#### 2.6.1.3.1 Solución Numérica de la Onda Cinemática.

Se puede combinar las ecuaciones de continuidad y de momentum de la onda cinemática para producir una ecuación con  $Q$  como la única variable dependiente:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \alpha \beta Q^{\beta-1} \frac{\partial Q}{\partial t} = q \quad \text{Ec. 41}$$

El objetivo de la solución numérica es resolver esta ecuación para  $Q(x, t)$ , en cada uno de los puntos  $x-t$ , dados los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ , el flujo lateral  $q(t)$  y las condiciones iniciales y de frontera.

El propósito de la solución numérica es determinar el hidrograma de salida  $Q(L, t)$ .

Aplicando el esquema lineal de diferencias finitas se tiene:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} \approx \frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_j^{j+1}}{\Delta x} \quad \text{Ec. 42}$$

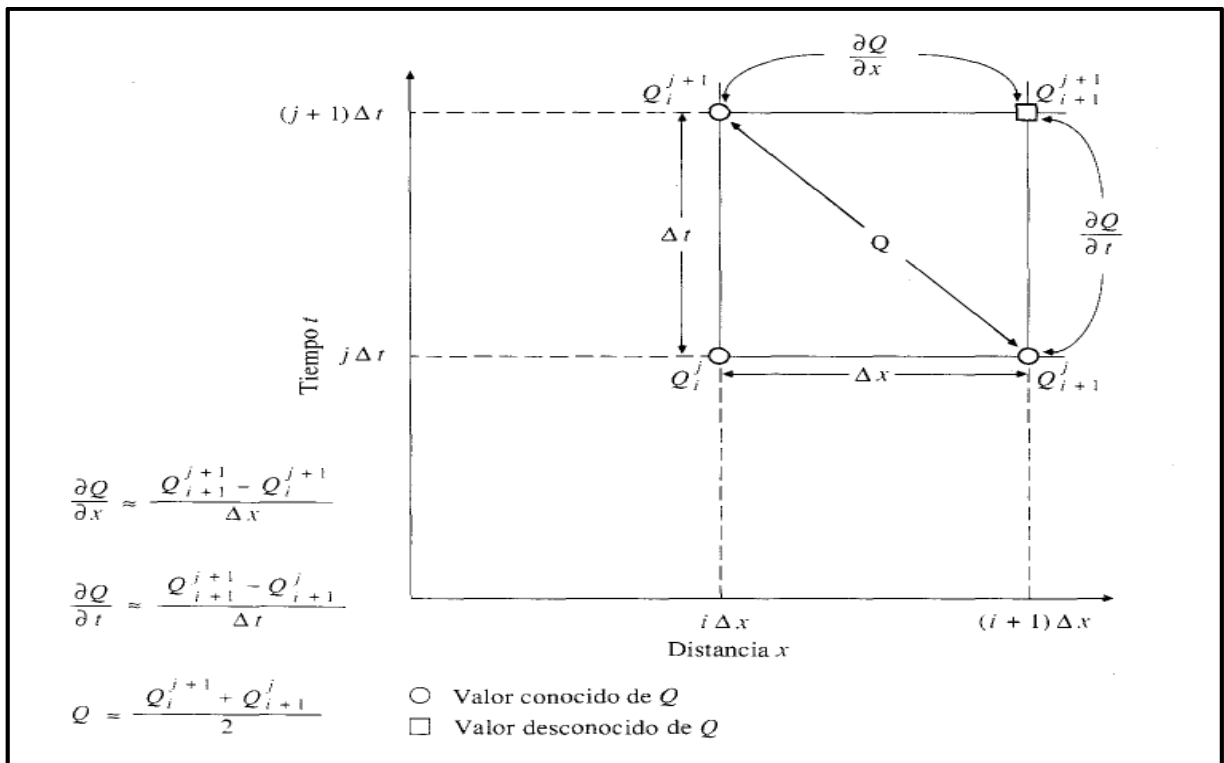


Figura 0-11: Caja de diferencias finitas para la solución de la ecuación de onda cinemática lineal mostrando las ecuaciones de diferencias finitas.

Fuente: (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

El caudal lateral será definido por:

$$q \approx \frac{q_{i+1}^{j+1} + q_{i+1}^j}{2} \quad \text{Ec. 43}$$

Sustituyendo las ecuaciones Ec. 42 y Ec. 43, en la Ec.41 se obtiene la forma de diferencias finitas de la onda cinemática lineal:

$$\frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_j^{j+1}}{\Delta x} + \alpha\beta \left( \frac{Q_{j+1}^j + Q_j^{j+1}}{2} \right)^{\beta-1} \left( \frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_{i+1}^j}{\Delta t} \right) = \frac{q_{i+1}^{j+1} + q_{i+1}^j}{2} \quad \text{Ec. 44}$$

Resolviendo esta ecuación para  $Q_{i+1}^{j+1}$ , será:

$$Q_{i+1}^{j+1} = \frac{\frac{\Delta t}{\Delta x} Q_i^{j+1} + \alpha\beta Q_{i+1}^j \left( \frac{Q_{i+1}^j + Q_i^{j+1}}{2} \right)^{\beta-1} + \Delta t \left( \frac{q_{i+1}^{j+1} + q_{i+1}^j}{2} \right)}{\frac{\Delta t}{\Delta x} + \alpha\beta \left( \frac{Q_{i+1}^j + Q_i^{j+1}}{2} \right)^{\beta-1}} \quad \text{Ec. 45}$$

Esta es la ecuación de la solución numérica de la Onda cinemática.

De donde:

- $\Delta t$  - Intervalo de tiempo
- $\Delta x$  - Longitud del tramo
- $Q_i^{j+1}$  - Caudal de Entrada
- $Q_{i+1}^j$  - Caudal de salida anterior
- $\alpha$  - Definida por  $\alpha = \left( \frac{nP^{2/3}}{1.49\sqrt{S_0}} \right)^{0.6}$
- $\beta$  - 0.6 para este caso.

## 2.7 Parámetros de validación

Los parámetros que vamos a usar son medidas de bondad de ajuste, que nos permitirán determinar la dispersión entre los datos simulados y los datos reales para así poder concluir la investigación.

Los parámetros usados para la presente investigación son los siguientes.

### 2.7.1 Coeficiente de correlación ( $R^2$ )

Es una medida relativa la cual indica el grado de ajuste a una línea recta entre los datos observados y los simulados, se determina mediante la siguiente ecuación:

$$R^2 = \left( \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_c(i) - \mu_c)(Q_D(i) - \mu_D)}{\sigma_c \times \sigma_D} \right)^2 \quad \text{Ec. 46}$$

En donde:

$Q_C$	-	Caudal Observado.
$Q_D$	-	Caudal Calculado o simulado.
$\sigma_C$	-	Desviación estándar del caudal observado.
$\sigma_D$	-	Desviación estándar del caudal calculado.
$\mu_C$	-	Media de los caudales observados.
$\mu_D$	-	Media de los caudales calculados.
$N$	-	Número total de Observaciones.

### 2.7.2 Error cuadrático medio (RMSE)

Este parámetro permite comparar el ajuste que existe entre los datos observados en el campo y los calculados.

Los valores del error cuadrático medio van desde 0 hasta el infinito positivo, mientras más se acerque el RMSE a 0 se tendrá un ajuste óptimo entre los datos reales y los calculados.

La ecuación para su cálculo es:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Q_C(i) - Q_D(i))^2}{N}} \quad \text{Ec. 47}$$

En donde:

$Q_C$	-	Caudal Observado.
$Q_D$	-	Caudal Calculado o simulado.
$N$	-	Número total de Observaciones.

### 2.7.3 Eficiencia de nash-sutcliffe (EF)

Este parámetro nos permite verificar el grado de relación 1:1 de los datos en análisis, se pueden obtener valores menores o iguales a 1, mientras más se acerque a 1 indican un mejor ajuste.

La ecuación para determinar el Coeficiente de Nash-Sutcliffe es:

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_C(i) - Q_D(i))^2}{\sum_{i=1}^N (Q_D - \bar{Q}_C)^2} \quad \text{Ec. 48}$$



En donde:

$Q_C$	-	Caudal observado.
$Q_D$	-	Caudal calculado o simulado.
$\overline{Q_C}$	-	Caudal observado medio
N	-	Número total de observaciones

Algunos valores sugeridos para la toma de decisiones son resumidos en la siguiente tabla:

Tabla 2: Valores referenciales del criterio de Nash-Sutcliffe

<b>E</b>	<b>Ajuste</b>
< 0.2	Insuficiente
0.2 – 0.4	Satisfactorio
0.2 – 0.6	Bueno
0.6 – 0.8	Muy Bueno
> 0.8	Excelente

Fuente: Molnar, (2011), citado de por Cabrera, (2012)

## **CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En este capítulo se presentan los hidrogramas de entrada, de salida y los caudales obtenidos por los métodos de tránsito, y también se procederá a la aplicación de los parámetros de validación para los datos calculados vs los datos observados por el Thalimedes.

Para validar los métodos de tránsito de avenidas de la información existente, se eligieron siete eventos de crecida.

### 3.1 Método de muskingum

A continuación se muestran los hidrogramas correspondientes a los siete eventos analizados, el ejemplo de cálculo para el primer evento se encuentra en el Anexo 2.

En la aplicación del método de Muskingum para el primer evento, se observa que se adapta óptimamente a los datos de campo, el caudal pico simulado se asemeja al medido en la salida por el Thalimedes, también se puede destacar que existe un desfase en el tiempo del caudal pico simulado y el de campo. El caudal pico del evento es de  $4.02 \text{ m}^3/\text{s}$ , el caudal pico transitado y el observado coinciden en  $3.84 \text{ m}^3/\text{s}$ , existiendo una diferencia de 10 minutos en el instante en que llegaría el pico a la salida del tramo, ya que el caudal pico observado a la salida coincide en el tiempo con el caudal pico en la entrada podría tratarse de una descalibración en el reloj de los equipos de registro.

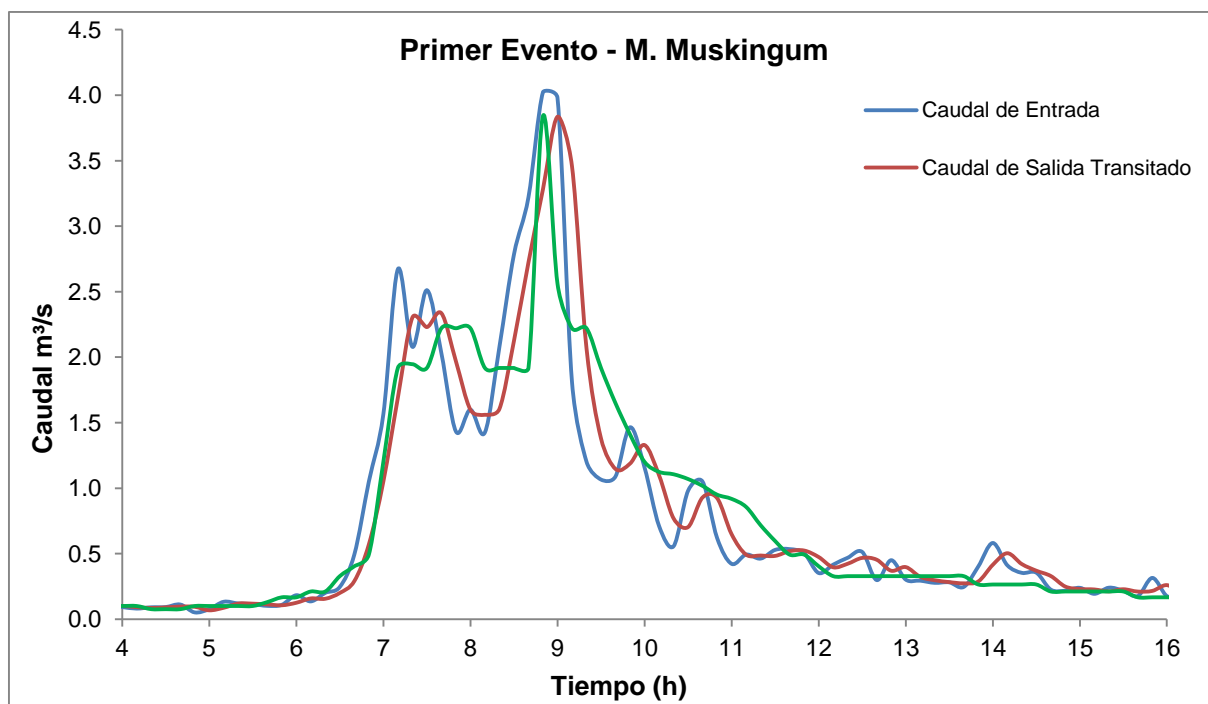


Figura 0-1: Hidrogramas para el primer evento de avenida – Método de Muskingum

Fuente: Elaboración propia.

En el segundo evento, los caudales transitados se asemejan de mejor manera a los calculados, siendo el caudal pico a la entrada de  $5.08 \text{ m}^3/\text{s}$ , el caudal pico transitado en la salida es de  $4.61 \text{ m}^3/\text{s}$ , y el caudal observado a la salida es de  $4.71 \text{ m}^3/\text{s}$ , para la simulación el pico se presenta en la salida 10 min luego de pasar por el inicio del tramo, en las observaciones el pico ocurre a los 20 minutos.

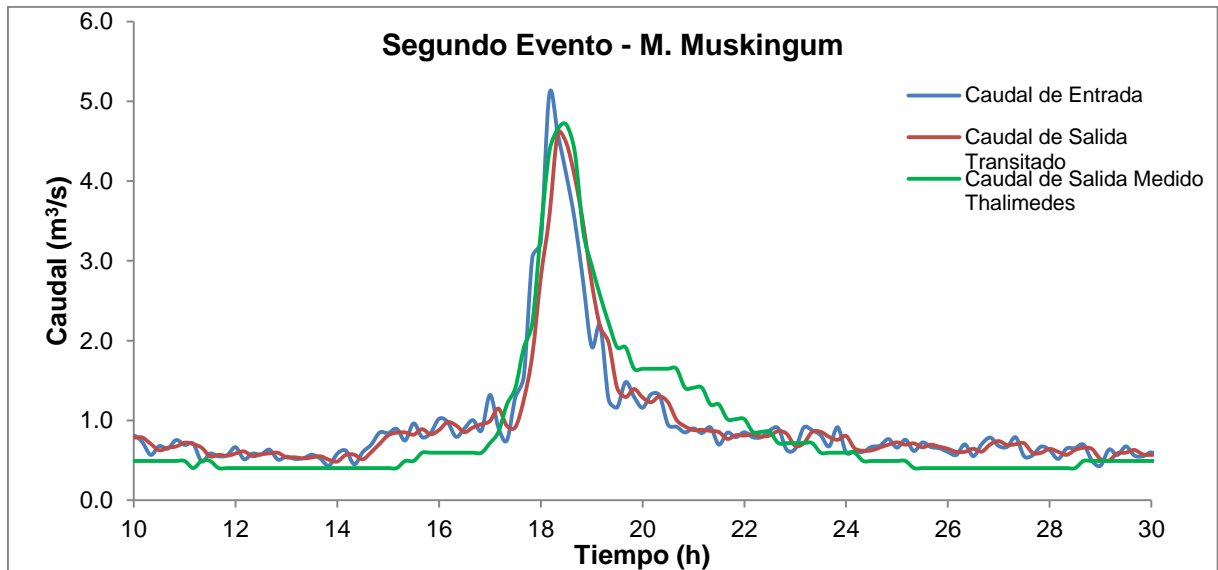


Figura 0-2: Hidrogramas para el segundo evento de avenida – Método de Muskingum  
Fuente: Elaboración propia.

Para el tercer evento se ve que los caudales transitados son mayores a los medidos por el Thalimedes, siendo el caudal pico a la entrada de  $6.23 \text{ m}^3/\text{s}$ , en la salida el pico transitado es de  $5.57 \text{ m}^3/\text{s}$  y el pico observado es de  $4.95 \text{ m}^3/\text{s}$ , en este caso tanto el caudal pico transitado como el observado llegan a salida en un lapso de 10 min.

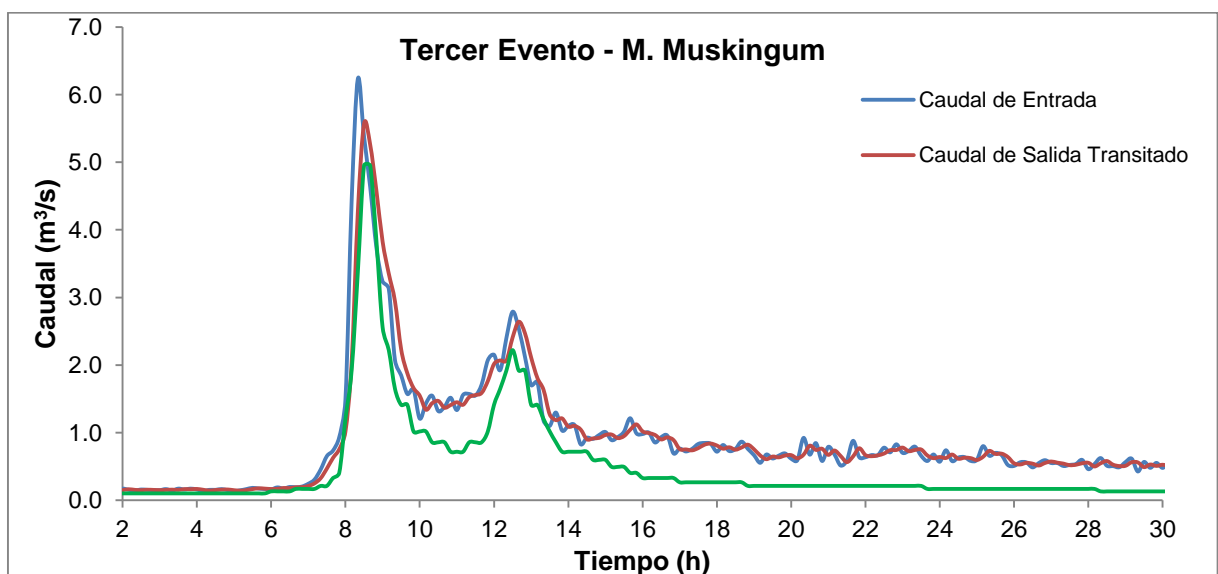


Figura 0-3: Hidrogramas para el tercer evento de avenida – Método de Muskingum.  
Fuente: Elaboración propia.

En el cuarto evento se ve que los caudales transitados son mayores a los medidos por el Thalimedes, el caudal pico a la entrada es  $4.36 \text{ m}^3/\text{s}$ , en la salida el pico transitado es de  $4.19 \text{ m}^3/\text{s}$ , el pico observado es de  $3.84 \text{ m}^3/\text{s}$ , aquí el caudal pico transitado y el observado se dan al mismo tiempo luego de 10 min que el pico se dio en la entrada.

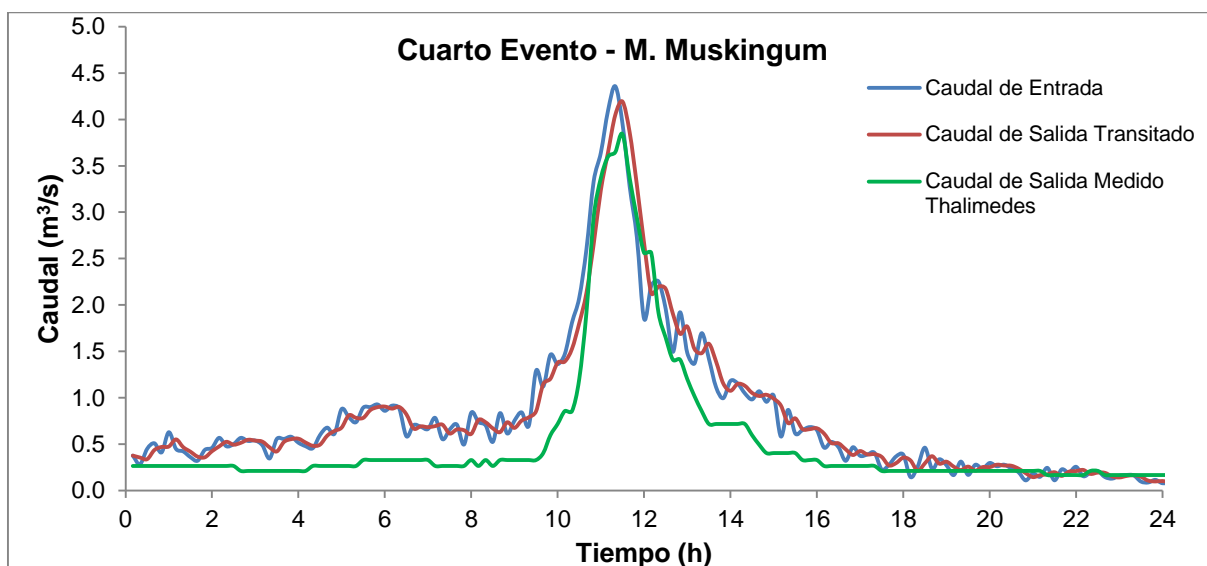


Figura 0-4: Hidrogramas para el cuarto evento de avenida – Método de Muskingum.  
Fuente: Elaboración propia.

En el quinto evento, existe un mayor desplazamiento de tiempo en los caudales de campo, y el caudal pico de campo es mayor que el transitado, el caudal pico de entrada es de  $3.60 \text{ m}^3/\text{s}$ , el pico transitado a la salida  $3.15 \text{ m}^3/\text{s}$  y se da luego de 10 min, el pico observado es de  $3.36 \text{ m}^3/\text{s}$ , y se da luego de 30 min de haberse producido el pico en la entrada, lo cual sugiere que los aparatos de medición están desajustados.

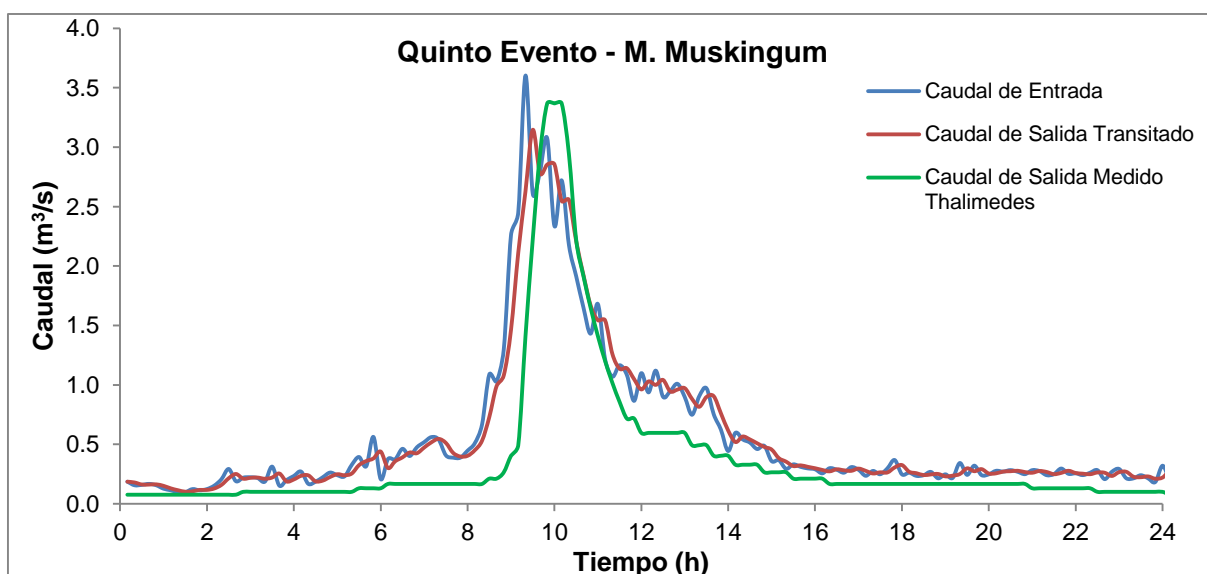


Figura 0-5: Hidrogramas para el quinto evento de avenida – Método de Muskingum.  
Fuente: Elaboración propia.

En el sexto evento, existe un mayor desplazamiento de tiempo en los caudales de campo, y el caudal pico transitado es mayor que el de campo, el pico transitado es de 2.45 m<sup>3</sup>/s y se da luego de 10 min de pasar el pico por la entrada, el pico observado es de 2.28 m<sup>3</sup>/s y se da luego de 50 min de haberse dado el pico en el inicio del tramo. Al ser el caudal pico un valor relativamente bajo respecto a los primeros eventos, se produce mayor diferencia entre los caudales pico observado y simulado, así como también ocurre que estos se presentan con mayor diferencia de tiempo.

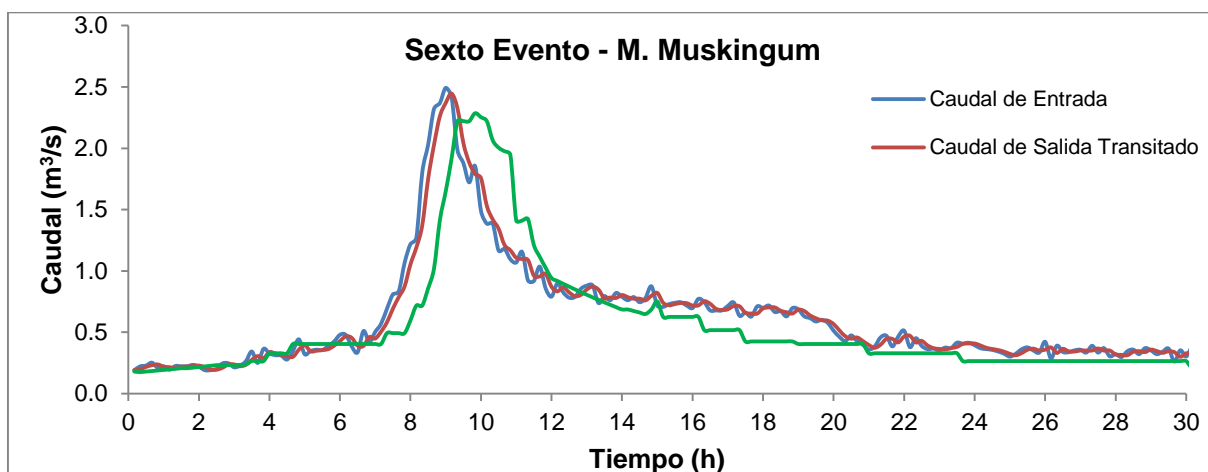


Figura 0-6: Hidrogramas para el sexto evento de avenida – Método de Muskingum.  
Fuente: Elaboración propia.

En el séptimo evento, existe un muy marcado desplazamiento de tiempo en los caudales de campo, y el caudal pico transitado es mayor que el de campo, el caudal pico a la entrada es de 2.51 m<sup>3</sup>/s, a la salida el pico transitado es de 2.44 m<sup>3</sup>/s y se da a los 10 min de haberse presentado en la entrada, el pico observado es de 2.32 m<sup>3</sup>/s y se da a los 50 min. Se repite lo sucedido en el anterior evento, sin embargo se mantiene la hipótesis de que existan desajustes en los aparatos de medición.

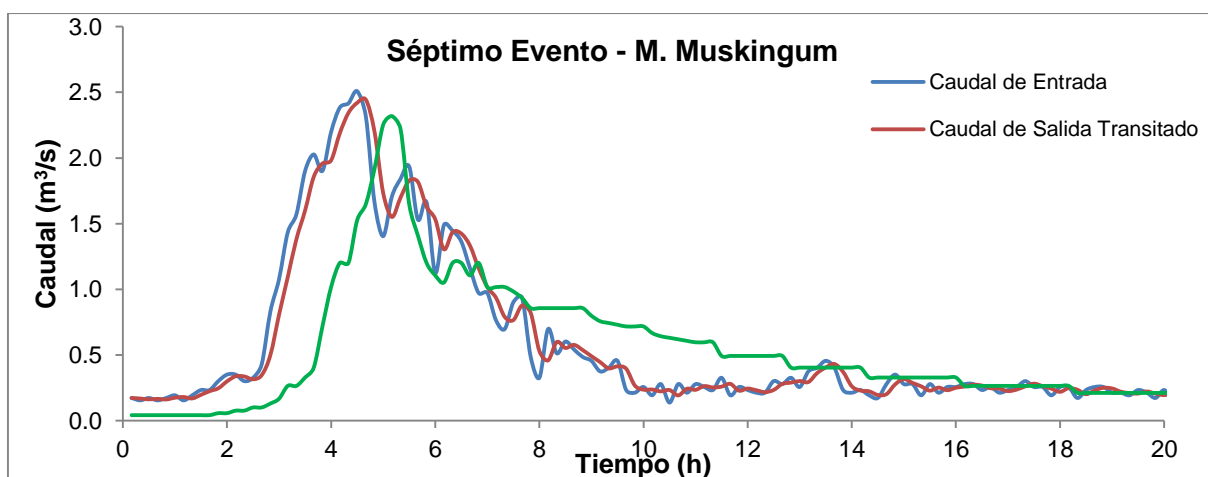


Figura 0-7: Hidrogramas para el séptimo evento de avenida – Método de Muskingum.  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.2 Método de muskingum-cunge.

A continuación se muestran los hidrogramas correspondientes a los siete eventos analizados, el ejemplo de cálculo para el primer evento se encuentra en el Anexo 3.

En la aplicación del método de Muskingum-Cunge, al ser esta una versión modificada del método anterior, para el primer evento, vemos que el caudal pico transitado es menor que el de campo, también se destaca que existe el desfase de tiempo en los caudales pico, el caudal pico del evento es de  $4.02 \text{ m}^3/\text{s}$ , el caudal pico transitado es  $3.65 \text{ m}^3/\text{s}$ , y el observado  $3.84 \text{ m}^3/\text{s}$ , existiendo una diferencia de 10 minutos en el instante en que llegaría el pico a la salida del tramo, ya que el caudal pico observado a la salida coincide en el tiempo con el caudal pico en la entrada podría tratarse de una des calibración en el reloj de los equipos de registro.

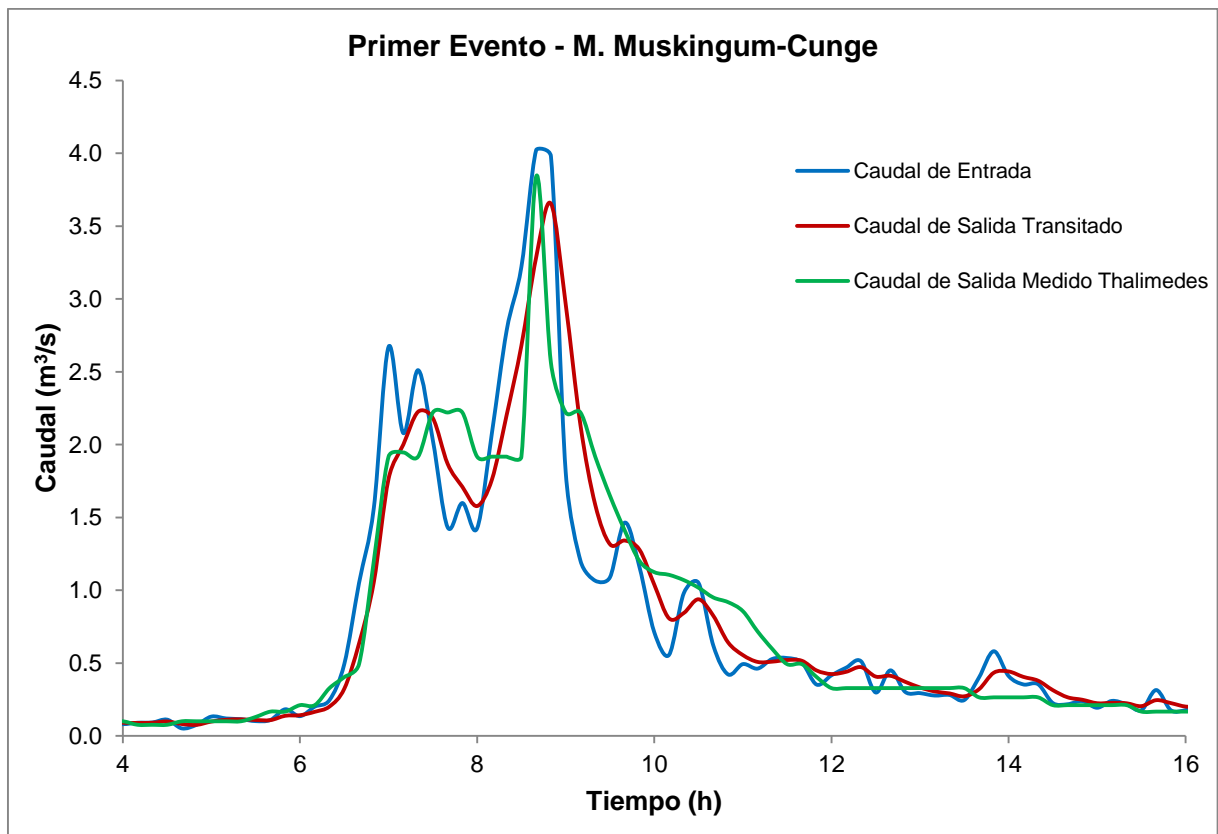


Figura 0-8: Hidrogramas para el primer evento de avenida – Método de Muskingum-Cunge.  
Fuente: Elaboración propia.

Para el segundo evento, el caudal pico transitado es menor que el de campo, siendo el caudal pico a la entrada de 5.08 m<sup>3</sup>/s, el caudal pico transitado en la salida es de 4.25 m<sup>3</sup>/s, y el caudal observado a la salida es de 4.94 m<sup>3</sup>/s, en este caso el pico se presenta a la salida en el caso del transitado 10 min luego de pasar por el inicio del tramo, y el observado se presenta a los 20 minutos.

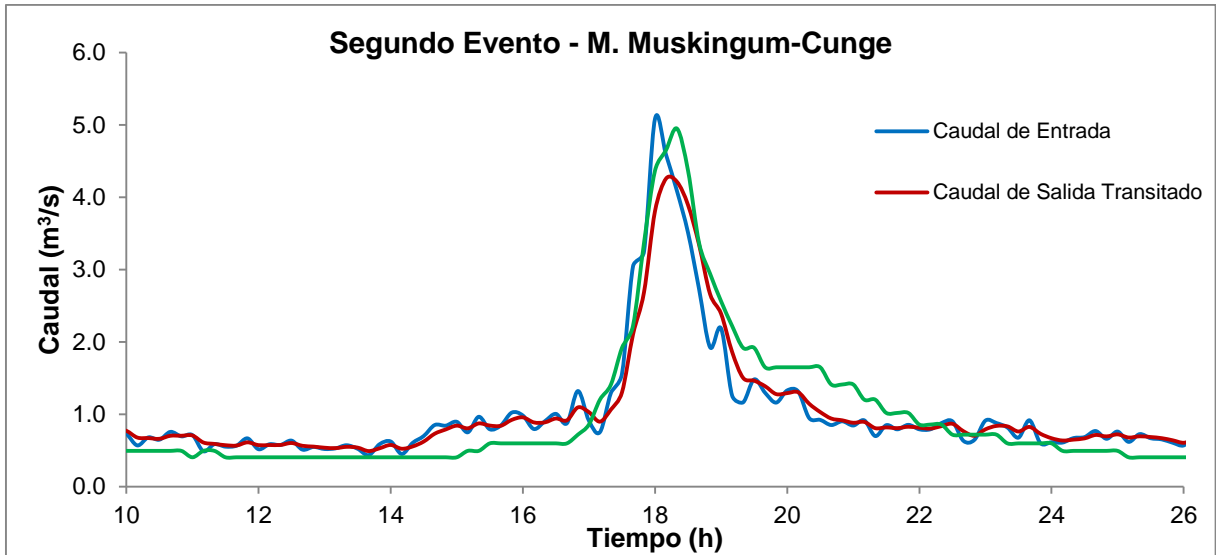


Figura 0-9: Hidrogramas para el segundo evento de avenida – Método de Muskingum-Cunge. Fuente: Elaboración propia.

En el tercer evento, el caudal pico transitado se asemeja al registrado por el Thalimedes, siendo el caudal pico a la entrada de 6.23 m<sup>3</sup>/s, en la salida el pico transitado es de 5.04 m<sup>3</sup>/s y el pico observado es de 4.95 m<sup>3</sup>/s, en este caso tanto el caudal pico transitado como el observado llegan a salida en un lapso de 10 min.

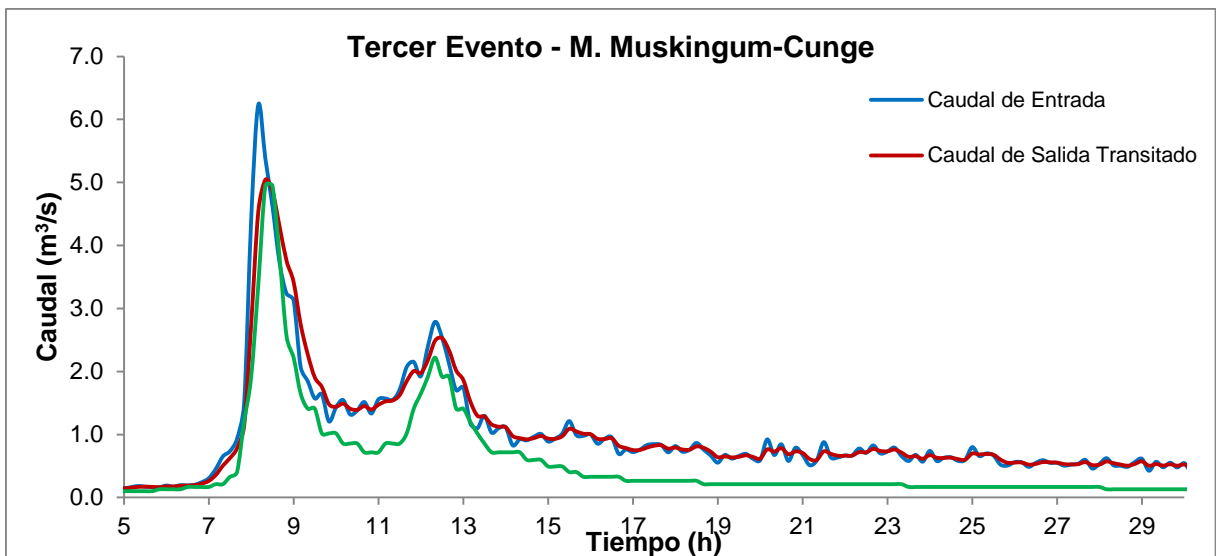


Figura 0-10: Hidrogramas para el tercer evento de avenida – Método de Muskingum-Cunge. Fuente: Elaboración propia



En el cuarto evento, los caudales transitados son mayores que los caudales observados en el campo, el caudal pico a la entrada es  $4.36 \text{ m}^3/\text{s}$ , en la salida el pico transitado es de  $4.02 \text{ m}^3/\text{s}$ , el pico observado es de  $3.84 \text{ m}^3/\text{s}$ , en este caso se da que el caudal pico transitado y el observado se dan al mismo tiempo luego de 10 min que el pico se dio en la entrada, se presenta una considerable diferencia entre el caudal pico simulado y el de campo.

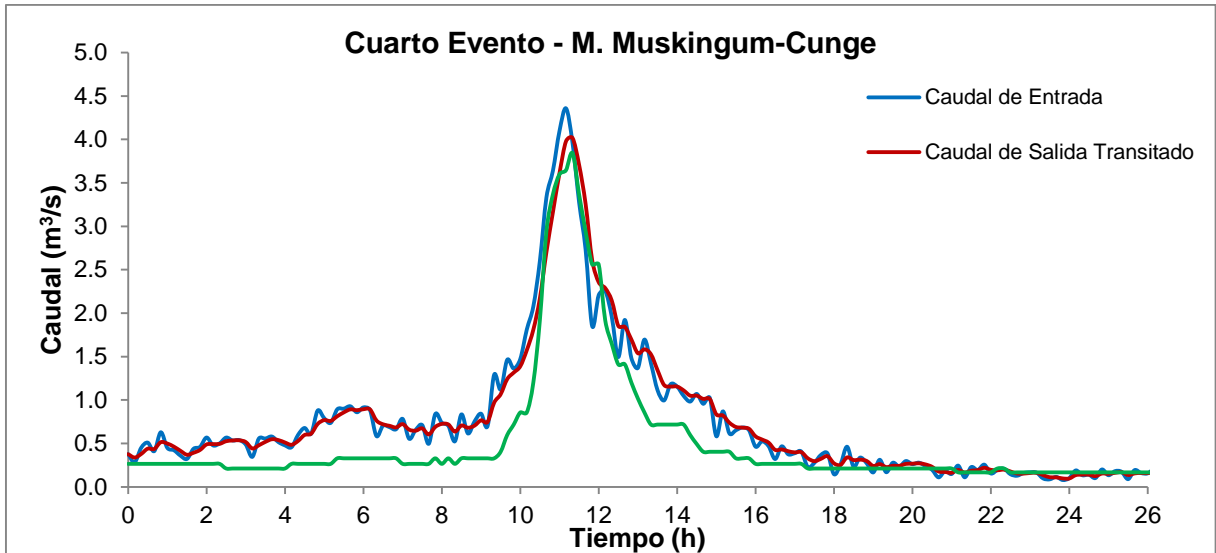


Figura 0-11: Hidrogramas para el cuarto evento de avenida – Método de Muskingum-Cunge.  
Fuente: Elaboración propia.

En el quinto evento, el caudal pico transitado es menor que el de campo, y el caudal pico de campo es mayor que el transitado, el caudal pico de entrada es de  $3.60 \text{ m}^3/\text{s}$ , el pico transitado a la salida  $2.89 \text{ m}^3/\text{s}$  y se da luego de 10 min, el pico observado es de  $3.36 \text{ m}^3/\text{s}$ , y se da luego de 30 min de haberse producido el pico en la entrada, lo cual sugiere que los aparatos de medición están desajustados.

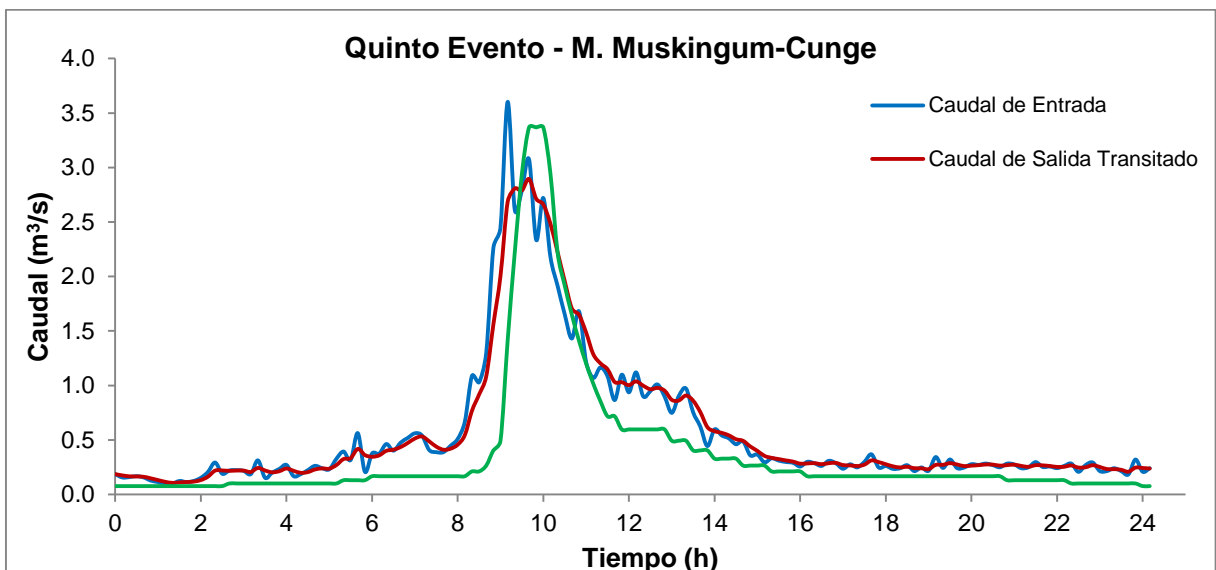


Figura 0-12: Hidrogramas para el quinto evento de avenida – Método de Muskingum-Cunge.  
Fuente: Elaboración propia.

En el sexto evento, el caudal pico transitado se asemeja al de campo, también se mantiene el desfase de tiempo en los caudales, el pico transitado es de  $2.32 \text{ m}^3/\text{s}$  y se da luego de 10 min de pasar el pico por la entrada, el pico observado es de  $2.28 \text{ m}^3/\text{s}$  y se da luego de 50 min de haberse dado el pico en el inicio del tramo, al ser el caudal pico un valor relativamente bajo respecto a los primeros eventos, se produce mayor diferencia entre los caudales pico observado y simulado, así como también ocurre que estos se presentan con mayor desplazamiento en el tiempo que se producen.

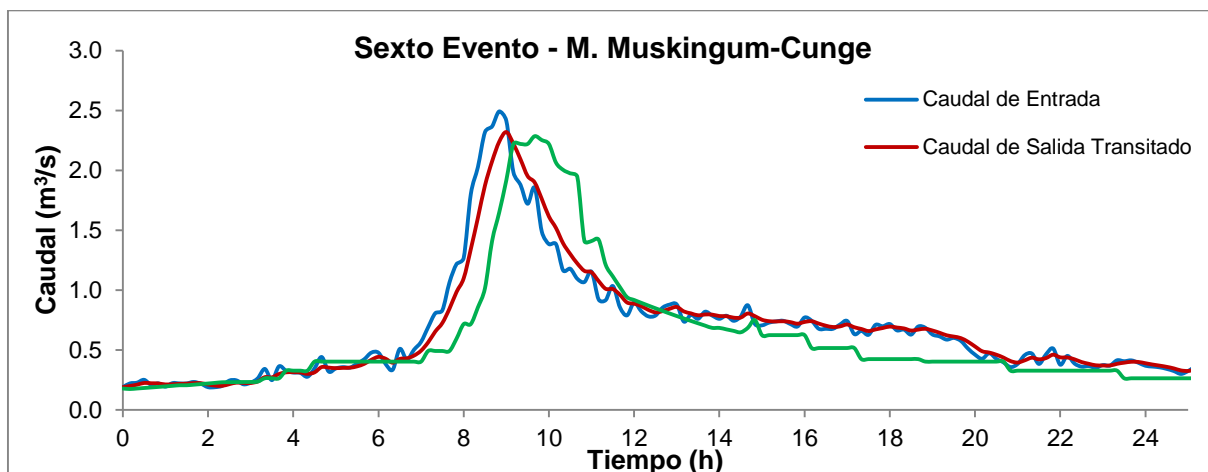


Figura 0-13: Hidrogramas para el sexto evento de avenida – Método de Muskingum-Cunge.  
Fuente: Elaboración propia.

En el séptimo evento, el caudal pico transitado se asemeja al de campo, además se mantiene el desfase de tiempo en los caudales, y el caudal pico transitado es mayor que el de campo, el caudal pico a la entrada es de  $2.51 \text{ m}^3/\text{s}$ , a la salida el pico transitado es de  $2.38 \text{ m}^3/\text{s}$  y se da a los 10 min de haberse presentado en la entrada, el pico observado es de  $2.32 \text{ m}^3/\text{s}$  y ocurre a los 50 min. Se repite lo sucedido en el anterior evento, continua la hipótesis de que existan desajustes en los aparatos de medición.

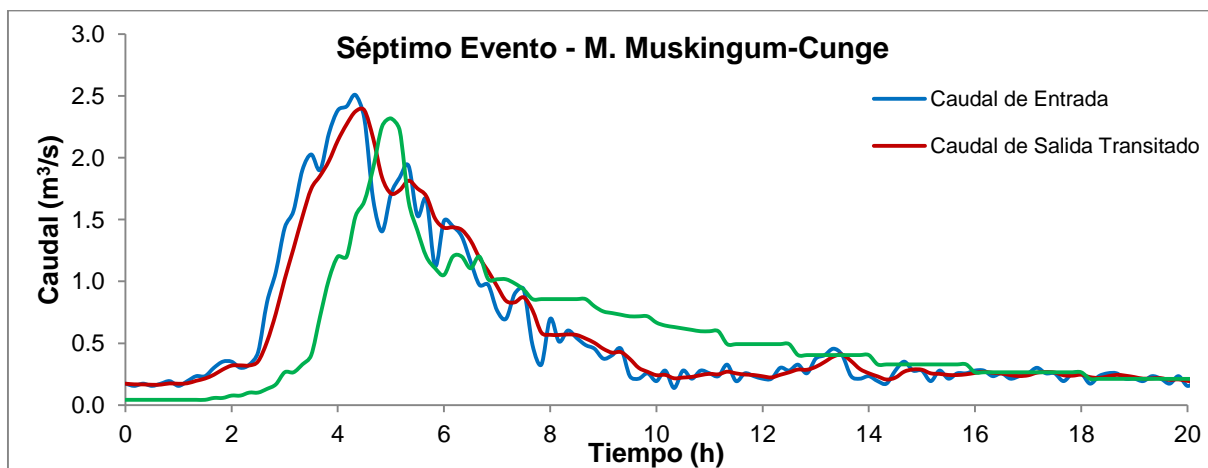


Figura 0-14: Hidrogramas para el séptimo evento de avenida – Método de Muskingum-Cunge.  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.3 Método de onda cinemática

A continuación se muestran los hidrogramas correspondientes a los siete eventos analizados, el ejemplo de cálculo para el primer evento se encuentra en el Anexo 4.

Al aplicar el método de Onda Cinemática los resultados para cada evento son:

En el primer evento, los caudales transitados se asemejan a los caudales de campo, pero esta vez el caudal pico transitado es mayor que el de campo, el caudal pico del evento es de  $4.02 \text{ m}^3/\text{s}$ , el caudal pico transitado es  $3.92 \text{ m}^3/\text{s}$ , y el observado  $3.84 \text{ m}^3/\text{s}$ , existiendo una diferencia de 10 minutos en el instante en que llegaría el pico a la salida del tramo, ya que el caudal pico observado a la salida coincide en el tiempo con el caudal pico en la entrada podría tratarse de una des calibración en el reloj de los equipos de registro.

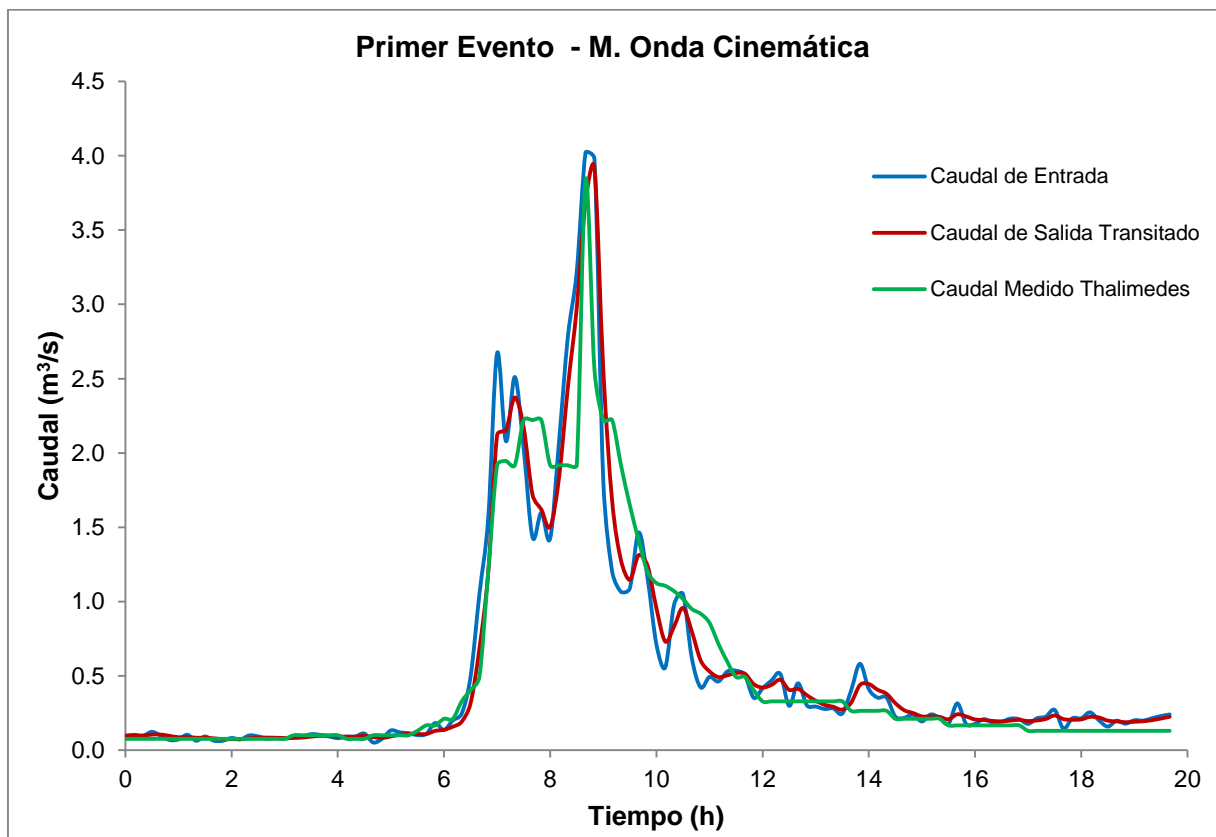


Figura 0-15: Hidrogramas para el primer evento de avenida – Método de Onda Cinemática.  
Fuente: Elaboración propia.

En el segundo evento se puede ver que el caudal pico transitado es menor que le medido por el Thalimedes, siendo el caudal pico a la entrada de 5.08 m<sup>3</sup>/s, el caudal pico transitado en la salida es de 4.60 m<sup>3</sup>/s, y el caudal observado a la salida es de 4.94 m<sup>3</sup>/s, en este caso el pico se presenta a la salida en el caso del transitado 10 min luego de pasar por el inicio del tramo, y el observado se presenta a los 20 minutos.

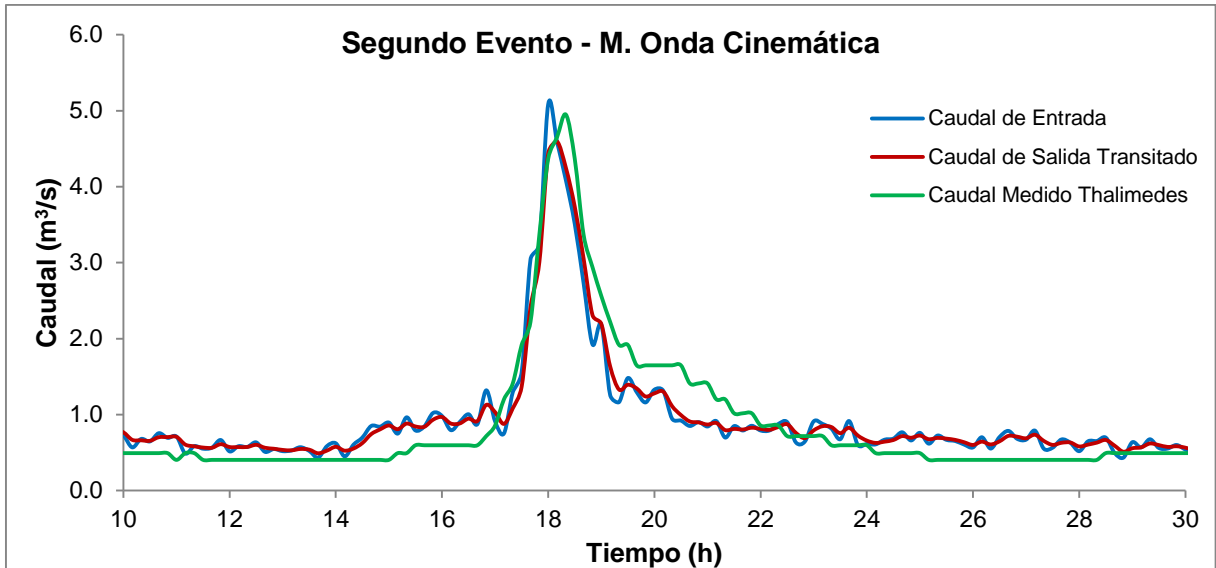


Figura 0-16: Hidrogramas para el segundo evento de avenida – Método de Onda Cinemática. Fuente: Elaboración propia.

En el tercer evento se puede ver que el caudal pico transitado es mayor que le medido por el Thalimedes, siendo el caudal pico a la entrada de 6.23 m<sup>3</sup>/s, en la salida el pico transitado es de 5.46 m<sup>3</sup>/s y el pico observado es de 4.95 m<sup>3</sup>/s, en este caso tanto el caudal pico transitado como el observado llegan a salida en un lapso de 10 min.

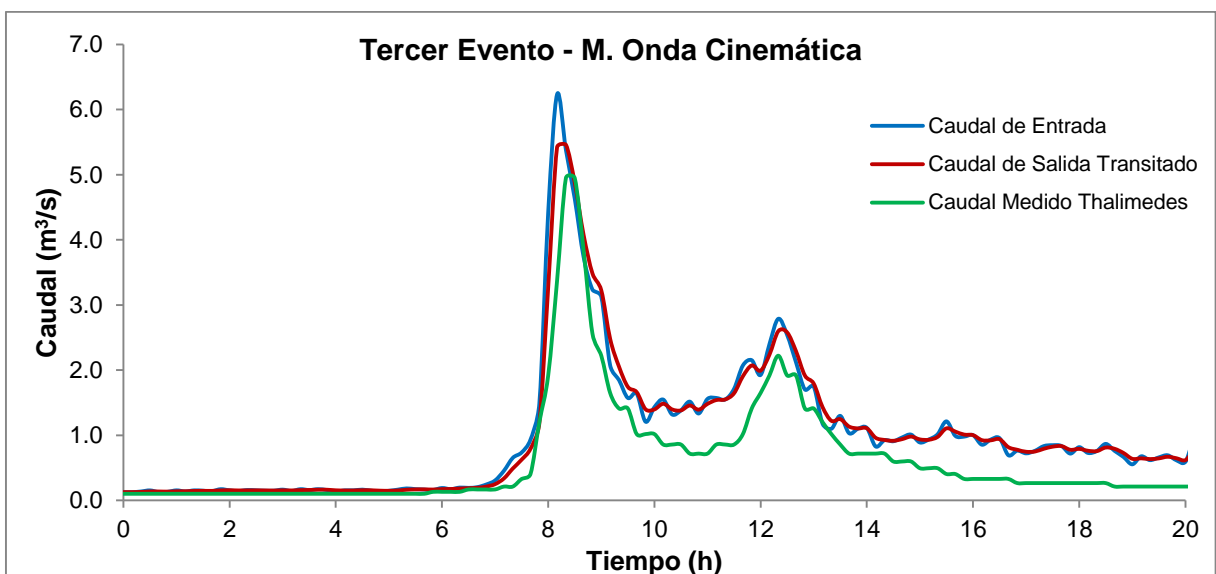


Figura 0-17: Hidrogramas para el tercer evento de avenida – Método de Onda Cinemática. Fuente: Elaboración propia.

En el cuarto evento se puede ver que el caudal pico transitado es mayor que el medido por el Thalimedes, el caudal pico a la entrada es  $4.36 \text{ m}^3/\text{s}$ , en la salida el pico transitado es de  $4.23 \text{ m}^3/\text{s}$ , el pico observado es de  $3.84 \text{ m}^3/\text{s}$ , el caudal pico transitado y el observado se dan al mismo tiempo luego de 10 min que el pico se dio en la entrada, aquí se da una considerable diferencia entre el caudal pico simulado y el de campo.

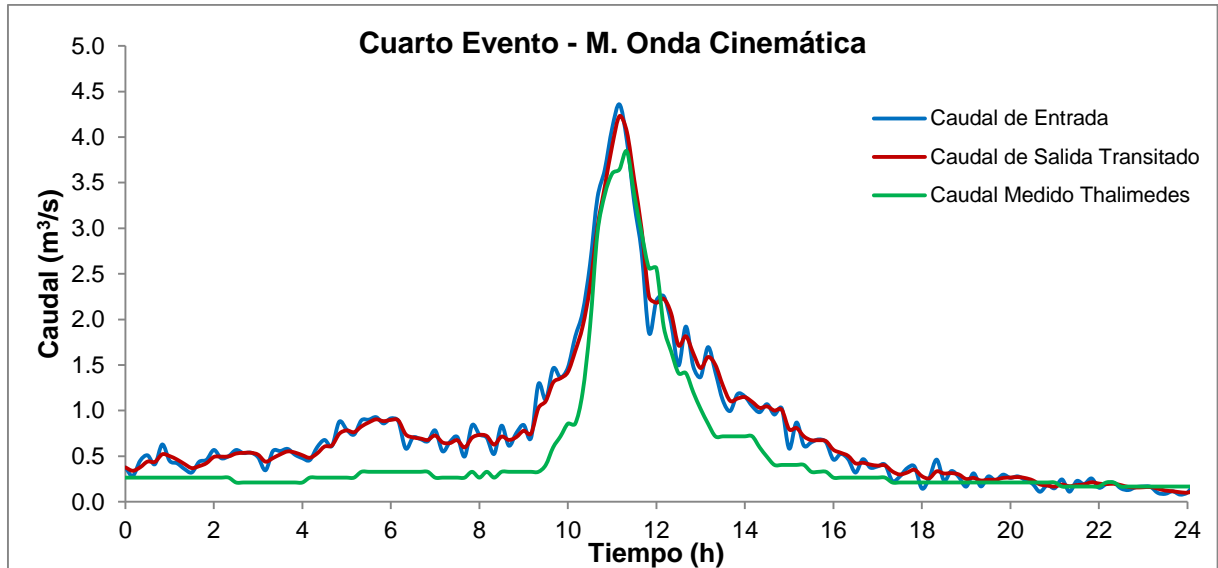


Figura 0-18: Hidrogramas para el cuarto evento de avenida – Método de Onda Cinemática.  
Fuente: Elaboración propia.

En el quinto evento se puede ver que el caudal pico transitado es menor que el medido por el Thalimedes, el caudal pico de entrada es de  $3.60 \text{ m}^3/\text{s}$ , el pico transitado a la salida  $3.14 \text{ m}^3/\text{s}$  y se da luego de 10 min, el pico observado es de  $3.36 \text{ m}^3/\text{s}$ , y se da luego de 30 min de haberse producido el pico en la entrada.

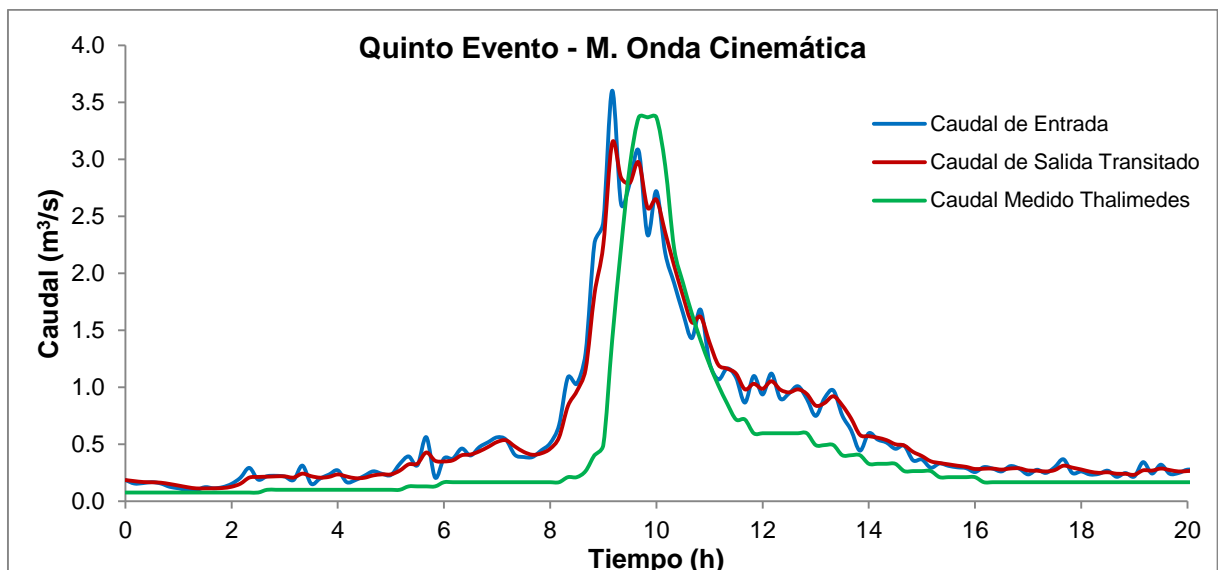


Figura 0-19: Hidrogramas para el quinto evento de avenida – Método de Onda Cinemática.  
Fuente: Elaboración propia.

En el sexto evento se puede ver que el caudal pico transitado es mayor que el medido por el Thalimedes, además se mantiene el desfase de tiempo, el pico transitado es de  $2.43 \text{ m}^3/\text{s}$  y se da luego de 10 min de pasar el pico por la entrada, el pico observado es de  $2.28 \text{ m}^3/\text{s}$  y se da luego de 50 min de haberse dado el pico en el inicio del tramo. Aquí se puede ver que al ser el caudal pico un valor relativamente bajo respecto a los primeros eventos, se produce en mayor diferencia entre los caudales pico observado y simulado, así como también ocurre que estos se presentan con mayor diferencia de tiempo.

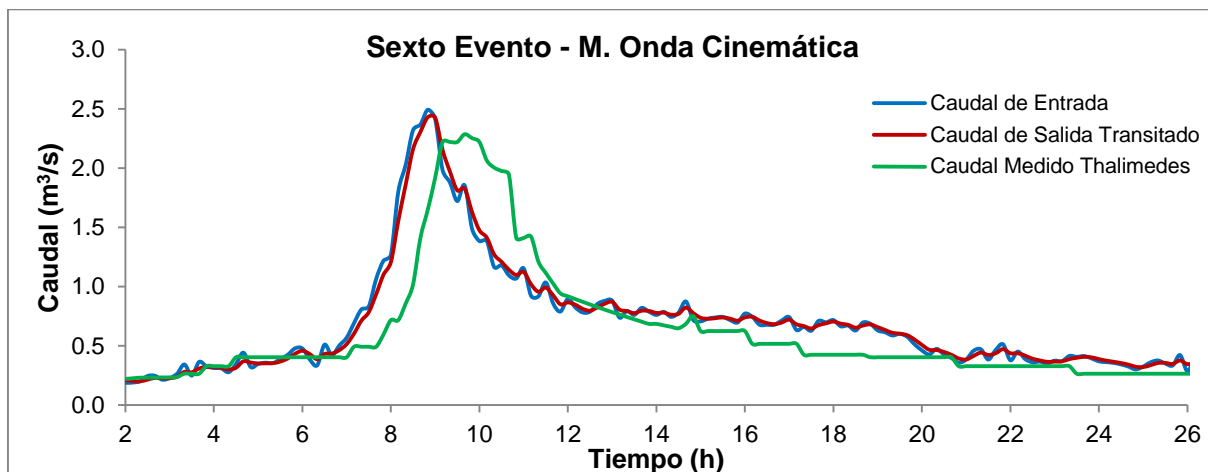


Figura 0-20: Hidrogramas para el sexto evento de avenida – Método de Onda Cinemática.  
Fuente: Elaboración propia.

En el séptimo evento, el caudal pico transitado se asemeja al de campo, además se mantiene el desfase de tiempo en los caudales, y el caudal pico transitado es mayor que el de campo, el caudal pico a la entrada es de  $2.51 \text{ m}^3/\text{s}$ , a la salida el pico transitado es de  $2.46 \text{ m}^3/\text{s}$  y se da a los 10 min de haberse presentado en la entrada, el pico observado es de  $2.32 \text{ m}^3/\text{s}$  y se da a los 50 min. Se repite lo sucedido en el anterior evento, continua la hipótesis de que existan desajustes en los aparatos de medición.

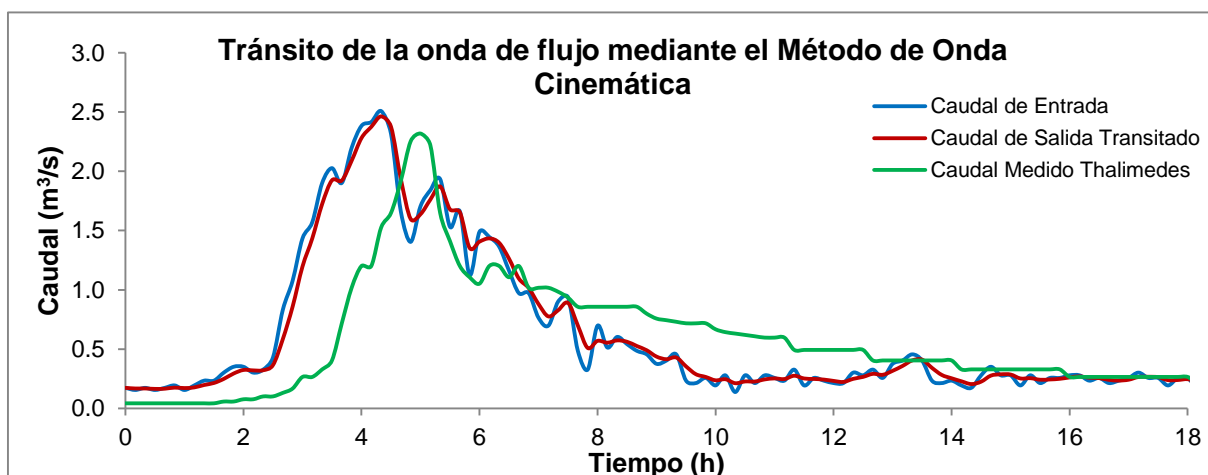


Figura 0-21: Hidrogramas para el séptimo evento de avenida – Método de Onda Cinemática.  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.4 Parámetros de validación

Aquí aplicamos los parámetros de validación a todos los eventos y para cada uno de los métodos de tránsito.

A continuación se muestra la tabla resumen de los parámetros de validación:

Tabla 3: Resumen de Parámetros de Validación.

Evento	Muskingum			Muskingum- Cunge			Onda Cinemática		
	Coefficiente de Correlación	Eficiencia de Nash-Sutcliffe	Error Cuadrático Medio	Coefficiente de Correlación	Eficiencia de Nash-Sutcliffe	Error Cuadrático Medio	Coefficiente de Correlación	Eficiencia de Nash-Sutcliffe	Error Cuadrático Medio
1	0.95	0.90	0.24	0.97	0.93	0.19	0.95	0.91	0.23
2	0.95	0.84	0.20	0.95	0.83	0.20	0.95	0.84	0.20
3	0.97	0.66	0.44	0.96	0.64	0.44	0.96	0.65	0.44
4	0.96	0.84	0.31	0.96	0.84	0.31	0.96	0.84	0.31
5	0.92	0.76	0.31	0.93	0.76	0.31	0.90	0.71	0.34
6	0.89	0.73	0.23	0.91	0.78	0.20	0.87	0.69	0.24
7	0.79	0.62	0.33	0.81	0.66	0.31	0.78	0.60	0.34
<b>MAXIMO</b>	0.97	0.90	0.44	0.97	0.93	0.44	0.96	0.91	0.44
<b>MINIMO</b>	0.79	0.62	0.20	0.81	0.64	0.19	0.78	0.60	0.20
<b>PROMEDIO</b>	0.92	0.76	0.29	0.93	0.78	0.28	0.91	0.75	0.30

Fuente: Elaboración propia

Según estos resultados vemos que los caudales transitados se ajustan a los de campo ya que según la tabla se observa que:

- Los valores del Coeficiente de Correlación se acercan a 1 en todos los casos siendo el valor menor el de 0.78, que se presentó en el séptimo evento con el método de la Onda Cinemática y el mayor es de 0.97, para el tercer evento con el método de Muskingum y Muskingum-Cunge.
- La valores de la Eficiencia de Nash son mayores a 0.6 lo cual, según la Tabla 2, nos indica un grado de ajuste muy bueno. El mínimo se presentó en el séptimo evento usando el método de onda cinemática y es de 0.60, el máximo corresponde al primer evento con el método de Muskingum-Cunge con un valor de 0.97 el cual sería óptimo.
- Los Errores Cuadráticos Medios se acercan a 0 lo cual indica un buen ajuste entre los caudales transitados y los de campo, el valor que más se acercó a 0 es el correspondiente al método de Muskingum-Cunge para el primer evento y es de 0.19, en contraparte el más alejado se da en los tres método para el tercer evento con un valor de 0.44.

## CONCLUSIONES

- Se investigó y aplicó en la zona de estudio los siguientes métodos de tránsito de avenidas: método de Muskingum, método de Muskingum-Cunge y el método de Onda Cinemática.
- La longitud total del tramo es de 1.925 km, la pendiente de fondo promedio es de alrededor de un 12%, el caudal máximo promedio es 4.04 m<sup>3</sup>/s, la velocidad máxima promedio es aproximadamente 3.5 m/s, el área correspondiente al caudal pico promedio es 1.11 m<sup>2</sup>, el espejo de agua máximo promedio es 4.41 m.
- El promedio del coeficiente de Nash-Sutcliffe, para cada método es mayor a 0.7, lo cual da un grado de ajuste muy bueno.
- El promedio de Coeficiente de Correlación, para cada caso es mayor a 0.9, lo cual indica que los datos simulados y reales están muy bien correlacionados.
- El Error Cuadrático Medio presenta valores cercanos a cero lo que indica que no existe mucha diferencia entre los datos simulados y los datos reales.
- Los caudales obtenidos en tres últimos eventos, son los que menos se ajustan a los datos de campo, lo cual podría ser causado por un desajuste del aparato de medición a la salida, ya que el hidrograma es similar pero desplazado en el tiempo.
- A partir de los parámetros de validación se concluye que los métodos para el tránsito de avenidas aplicados en la presente investigación, son adecuados para la microcuenca el Limón ubicada en la Provincia de Zamora Chinchipe, en vista de que los caudales transitados se ajustan a los caudales registrados en el campo.
- El Método de Muskingum-Cunge presentó los datos que más se ajustan a los tomados por el Thalimedes en la salida del tramo de análisis de la microcuenca en comparación con los otros dos métodos aplicados.



## **RECOMENDACIONES**

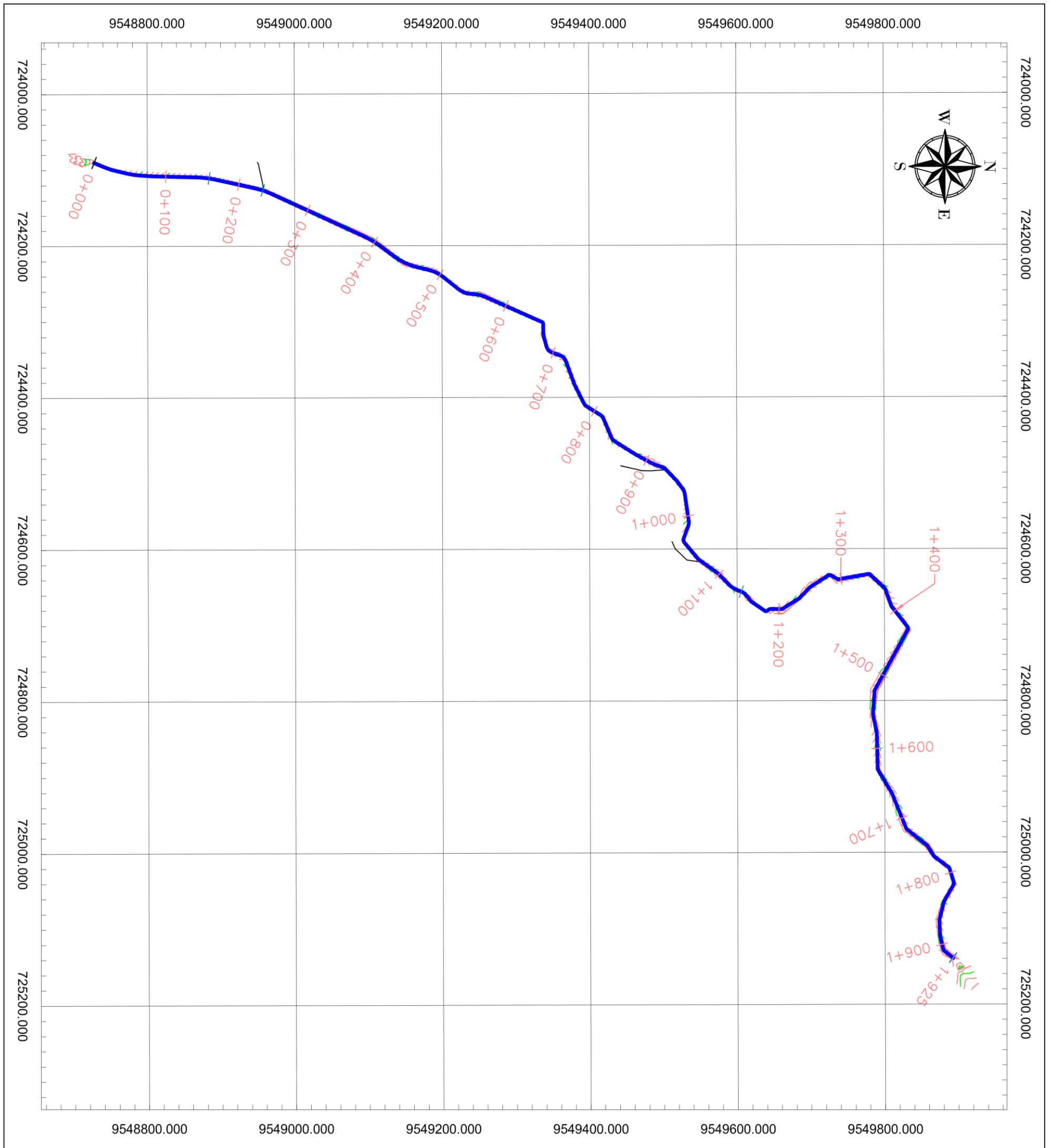
- Que los métodos de tránsito sean aplicados a microcuencas con diferentes características que la microcuenca el Limón.
- Revisar periódicamente los instrumentos de medición para evitar errores de lectura.
- Concientizar a las personas de la zona, para que no manipulen los instrumentos de medición, para evitar desajustes en los mismos.
- Que se realicen la comparación de caudales transitados con los de campo pero aplicando otros métodos de tránsito.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio Mijares, F. J. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Balderas, Mexico: LIMUSA S.A. de C.V.
- Ayuso Muñoz, J. L. (2005). *Métodos de cálculo usuales en el diseño de canales y embalses en cuencas pequeñas*. Córdoba.
- Cabrera, J. (2012). *Calibración de Modelos Hidrológicos*.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología Aplicada*. Santa Fé, Bogota: McGRAW-Hill INTERAMERICANA, S.A.
- Coronel Castro , R. M., & Jaramillo Ordóñez, Á. B. (2005). *Valoración Económica del Servicio Ambiental Hídrico de la Microcuenca Hidrográfica "El Limón"*. Loja.
- Cuenca Capa, P. (2006). *Zonificación ecológica y socioeconómica de la cuenca hidrográfica "El Limón", zona de amortiguamiento del parque Nacional Podocarpus, Zamora-Chinchipe*. Obtenido de Lyonia a journal of ecology and aplicacion: <http://www.lyonia.org/viewArticle.php?articleID=460>
- Cueva Moreno, M. V. (2010). *Implementación de Metodologías para el cálculo de Tránsito de Avenidas en el Laboratorio Virtual de Hidrología (HYDROVLAB)*. Loja.
- Ministerio de Agricultura, G. A. (s.f.). *Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca*. Obtenido de SIGTIERRAS: <http://www.sigtierras.gob.ec/>
- Monsalve Sáenz, G. (1999). *Hidrología en la Ingeniería*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Oñate Valdivieso, F. (2006). *HIDROLOGÍA (Apuntes de Clase)*. Loja.
- Pizarro T., R., Hormazábal V., M., León G., L., & Morales C., C. (2008). *Determinación empírica de los parámetros que modelan el tránsito de avenidas, por el método de Muskingum, en zonas de clima mediterráneo de Chile Central*. Chile.
- Sanchez San Román, F. J. (2013). *Hidrología Hidrogeología*. Obtenido de [http://hidrologia.usal.es/temas/Transito\\_Hidrogramas.pdf](http://hidrologia.usal.es/temas/Transito_Hidrogramas.pdf)

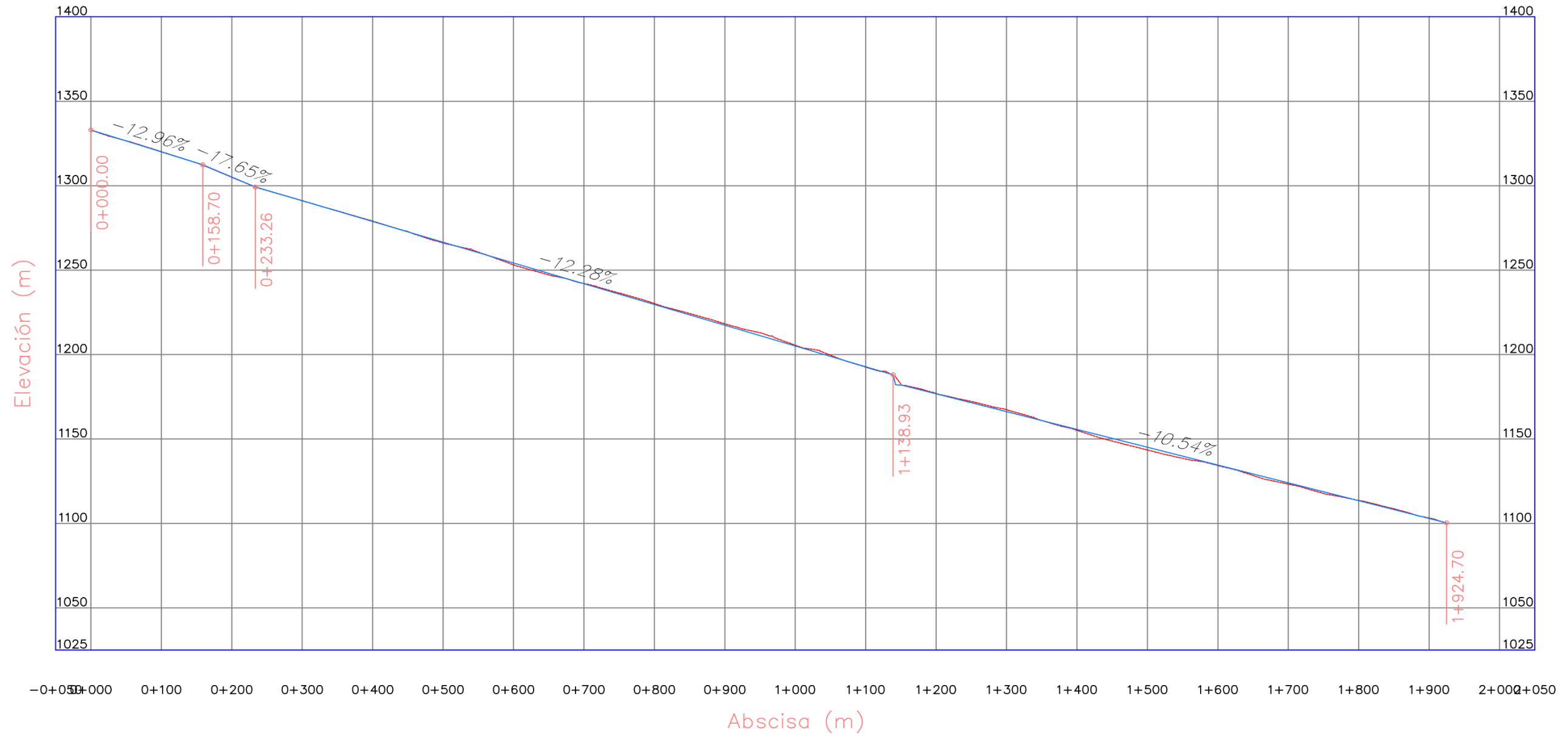
## **ANEXOS**

# ANEXO 1



	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA</b>	
	PROYECTO: TESIS "VALIDACIÓN DE TÉCNICAS DE TRÁNSITO HIDROLÓGICO PARA UNA MICROCUENCA ANDINA"	
	CONTENIDO: PLANIMETRÍA DEL CAUCE	
	PROVINCIA: ZAMORA CHINCHIPE	CANTON: ZAMORA
ELABORACIÓN ANTONIO MINOS RIOS RIOS TESISISTA		REVISIÓN Ph.D. FERNANDO ONATE VALDIVIESO DIRECTOR DE TESIS
LAMINA N° 1 DE 2		FECHA: NOVIEMBRE/2015
ESCALAS H. 1:5000 V. 1:5000		

### PERFIL DE FONDO DEL CAUCE



### UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

PROYECTO: TESIS "VALIDACIÓN DE TÉCNICAS DE TRÁNSITO HIDROLÓGICO PARA UNA MICROCUENCA ANDINA"		LAMINA Nº <b>2</b> DE 2
CONTENIDO: PERFIL DEL FONDO DEL CAUCE		
PROVINCIA: ZAMORA CHINCHIPE	CANTON: ZAMORA	FECHA: NOVIEMBRE 2015
ELABORACIÓN ANTONIO MINOS RIOS RIOS TESISISTA		REVISIÓN PID. FERNANDO ONATE VALDIVIESO DIRECTOR DE TESIS

## ANEXO 2

Tabla 4: Ejemplo de cálculo para primer evento Método de Muskingum

Primer Evento - Método Muskingum						
<b>DATOS:</b>		K=	0.170	<b>CÁLCULOS</b>	C <sub>0</sub> =	0.224924
		X=	0.200		C <sub>1</sub> =	0.534954
		Δt=	0.167		C <sub>2</sub> =	0.240122

Tiempo	Caudal de Entrada	C <sub>0</sub> Q <sub>e2</sub>	C <sub>1</sub> Q <sub>e1</sub>	C <sub>2</sub> Q <sub>s1</sub>	Caudal de Salida Transitado	Caudal de Salida Medido Thalimedes
Δt horas	Q <sub>e</sub> (m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> /s)
0.1667	0.0969				0.0969	0.0766
0.3333	0.1036	0.0233	0.0519	0.0233	0.0984	0.0766
0.5000	0.0969	0.0218	0.0554	0.0236	0.1009	0.0766
0.6667	0.1239	0.0279	0.0519	0.0242	0.1039	0.0766
0.8333	0.0969	0.0218	0.0663	0.0250	0.1130	0.0766
1.0000	0.0682	0.0153	0.0519	0.0271	0.0944	0.0766
1.1667	0.0725	0.0163	0.0365	0.0227	0.0755	0.0766
1.3333	0.1036	0.0233	0.0388	0.0181	0.0802	0.0766
1.5000	0.0639	0.0144	0.0554	0.0193	0.0890	0.0766
1.6667	0.0926	0.0208	0.0342	0.0214	0.0764	0.0766
1.8333	0.0639	0.0144	0.0495	0.0183	0.0822	0.0766
2.0000	0.0639	0.0144	0.0342	0.0197	0.0683	0.0766
2.1667	0.0823	0.0185	0.0342	0.0164	0.0691	0.0766
2.3333	0.0725	0.0163	0.0440	0.0166	0.0769	0.0766
2.5000	0.0998	0.0224	0.0388	0.0185	0.0797	0.0766
2.6667	0.0926	0.0208	0.0534	0.0191	0.0933	0.0766
2.8333	0.0769	0.0173	0.0495	0.0224	0.0892	0.0766
3.0000	0.0823	0.0185	0.0411	0.0214	0.0811	0.0766
3.1667	0.0769	0.0173	0.0440	0.0195	0.0808	0.0766
3.3333	0.0867	0.0195	0.0411	0.0194	0.0800	0.1007
3.5000	0.0926	0.0208	0.0464	0.0192	0.0864	0.1007
3.6667	0.1080	0.0243	0.0495	0.0207	0.0946	0.1007
3.8333	0.1036	0.0233	0.0578	0.0227	0.1038	0.1007
4.0000	0.0926	0.0208	0.0554	0.0249	0.1012	0.1007
4.1667	0.0810	0.0182	0.0495	0.0243	0.0920	0.1007
4.3333	0.0909	0.0204	0.0434	0.0221	0.0859	0.0766
4.5000	0.0926	0.0208	0.0486	0.0206	0.0901	0.0766
4.6667	0.1121	0.0252	0.0495	0.0216	0.0964	0.0766
4.8333	0.0519	0.0117	0.0600	0.0231	0.0948	0.1007
5.0000	0.0768	0.0173	0.0278	0.0228	0.0678	0.1007
5.1667	0.1331	0.0299	0.0411	0.0163	0.0873	0.1007
5.3333	0.1199	0.0270	0.0712	0.0210	0.1192	0.1007
5.5000	0.1151	0.0259	0.0642	0.0286	0.1187	0.1007
5.6667	0.1018	0.0229	0.0616	0.0285	0.1130	0.1305
5.8333	0.1097	0.0247	0.0545	0.0271	0.1063	0.1671
6.0000	0.1831	0.0412	0.0587	0.0255	0.1254	0.1671
6.1667	0.1358	0.0306	0.0979	0.0301	0.1586	0.2115
6.3333	0.2013	0.0453	0.0727	0.0381	0.1560	0.2115

...Continua

6.5000	0.2463	0.0554	0.1077	0.0375	0.2006	0.3287
6.6667	0.4936	0.1110	0.1318	0.0482	0.2910	0.4041
6.8333	1.0503	0.2362	0.2641	0.0699	0.5702	0.4929
7.0000	1.5645	0.3519	0.5619	0.1369	1.0506	1.2012
7.1667	2.6713	0.6008	0.8369	0.2523	1.6901	1.9176
7.3333	2.0789	0.4676	1.4290	0.4058	2.3024	1.9463
7.5000	2.5115	0.5649	1.1121	0.5529	2.2299	1.9176
7.6667	2.0297	0.4565	1.3435	0.5354	2.3355	2.2208
7.8333	1.4333	0.3224	1.0858	0.5608	1.9690	2.2208
8.0000	1.5993	0.3597	0.7667	0.4728	1.5992	2.2208
8.1667	1.4261	0.3208	0.8555	0.3840	1.5603	1.9176
8.3333	2.0795	0.4677	0.7629	0.3747	1.6053	1.9176
8.5000	2.7837	0.6261	1.1125	0.3855	2.1240	1.9176
8.6667	3.2211	0.7245	1.4892	0.5100	2.7237	1.9176
8.8333	4.0232	0.9049	1.7232	0.6540	3.2821	3.8415
9.0000	3.9793	0.8950	2.1522	0.7881	3.8354	2.5613
9.1667	1.8105	0.4072	2.1287	0.9210	3.4569	2.2208
9.3333	1.2028	0.2705	0.9685	0.8301	2.0692	2.2208
9.5000	1.0658	0.2397	0.6435	0.4968	1.3800	1.9176
9.6667	1.0896	0.2451	0.5702	0.3314	1.1466	1.6486
9.8333	1.4647	0.3295	0.5829	0.2753	1.1877	1.4107
10.0000	1.1583	0.2605	0.7836	0.2852	1.3293	1.2012
10.1667	0.7120	0.1601	0.6196	0.3192	1.0990	1.1247
10.3333	0.5564	0.1251	0.3809	0.2639	0.7699	1.1062
10.5000	0.9801	0.2205	0.2976	0.1849	0.7029	1.0700
10.6667	1.0503	0.2362	0.5243	0.1688	0.9294	1.0174
10.8333	0.6203	0.1395	0.5619	0.2232	0.9245	0.9505
11.0000	0.4226	0.0950	0.3318	0.2220	0.6489	0.9185
11.1667	0.4931	0.1109	0.2261	0.1558	0.4928	0.8569
11.3333	0.4625	0.1040	0.2638	0.1183	0.4862	0.7174
11.5000	0.5290	0.1190	0.2474	0.1167	0.4831	0.5967
11.6667	0.5349	0.1203	0.2830	0.1160	0.5193	0.4929
11.8333	0.5037	0.1133	0.2861	0.1247	0.5241	0.4929
12.0000	0.3526	0.0793	0.2695	0.1259	0.4746	0.4041
12.1667	0.4163	0.0936	0.1886	0.1140	0.3962	0.3287
12.3333	0.4689	0.1055	0.2227	0.0951	0.4233	0.3287
12.5000	0.5134	0.1155	0.2508	0.1016	0.4679	0.3287
12.6667	0.2984	0.0671	0.2746	0.1124	0.4541	0.3287
12.8333	0.4503	0.1013	0.1596	0.1090	0.3700	0.3287
13.0000	0.3023	0.0680	0.2409	0.0888	0.3977	0.3287
13.1667	0.2941	0.0661	0.1617	0.0955	0.3233	0.3287
13.3333	0.2774	0.0624	0.1573	0.0776	0.2974	0.3287
13.5000	0.2813	0.0633	0.1484	0.0714	0.2831	0.3287
13.6667	0.2463	0.0554	0.1505	0.0680	0.2739	0.3287
13.8333	0.4019	0.0904	0.1318	0.0658	0.2879	0.2649
14.0000	0.5817	0.1308	0.2150	0.0691	0.4150	0.2649
14.1667	0.4118	0.0926	0.3112	0.0996	0.5034	0.2649
14.3333	0.3538	0.0796	0.2203	0.1209	0.4208	0.2649
14.5000	0.3551	0.0799	0.1893	0.1010	0.3702	0.2649
14.6667	0.2258	0.0508	0.1899	0.0889	0.3296	0.2115
14.8333	0.2178	0.0490	0.1208	0.0792	0.2489	0.2115
15.0000	0.2396	0.0539	0.1165	0.0598	0.2302	0.2115
15.1667	0.1936	0.0435	0.1282	0.0553	0.2270	0.2115
15.3333	0.2406	0.0541	0.1036	0.0545	0.2122	0.2115

...Continua

15.5000	0.2171	0.0488	0.1287	0.0510	0.2285	0.2115
15.6667	0.1771	0.0398	0.1162	0.0549	0.2109	0.1671
15.8333	0.3152	0.0709	0.0947	0.0506	0.2163	0.1671
16.0000	0.1764	0.0397	0.1686	0.0519	0.2602	0.1671
16.1667	0.1779	0.0400	0.0944	0.0625	0.1969	0.1671
16.3333	0.2091	0.0470	0.0952	0.0473	0.1895	0.1671
16.5000	0.1860	0.0418	0.1119	0.0455	0.1992	0.1671
16.6667	0.1914	0.0430	0.0995	0.0478	0.1904	0.1671
16.8333	0.2125	0.0478	0.1024	0.0457	0.1959	0.1671
17.0000	0.2091	0.0470	0.1137	0.0470	0.2078	0.1671
17.1667	0.1771	0.0398	0.1119	0.0499	0.2016	0.1305
17.3333	0.2151	0.0484	0.0947	0.0484	0.1915	0.1305
17.5000	0.2258	0.0508	0.1151	0.0460	0.2118	0.1305
17.6667	0.2716	0.0611	0.1208	0.0509	0.2327	0.1305
17.8333	0.1452	0.0327	0.1453	0.0559	0.2338	0.1305
18.0000	0.2151	0.0484	0.0777	0.0561	0.1822	0.1305
18.1667	0.2144	0.0482	0.1151	0.0437	0.2070	0.1305
18.3333	0.2548	0.0573	0.1147	0.0497	0.2217	0.1305
18.5000	0.2013	0.0453	0.1363	0.0532	0.2348	0.1305
18.6667	0.1590	0.0358	0.1077	0.0564	0.1998	0.1305
18.8333	0.1987	0.0447	0.0851	0.0480	0.1777	0.1305
19.0000	0.1786	0.0402	0.1063	0.0427	0.1891	0.1305
19.1667	0.2016	0.0454	0.0955	0.0454	0.1863	0.1305
19.3333	0.1991	0.0448	0.1079	0.0447	0.1974	0.1305
19.5000	0.2151	0.0484	0.1065	0.0474	0.2023	0.1305
19.6667	0.2299	0.0517	0.1151	0.0486	0.2153	0.1305
19.8333	0.2406	0.0541	0.1230	0.0517	0.2288	0.1305

Q máx.= 3.8354 3.8415

Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 3

Tabla 5: Ejemplo de cálculo para primer evento - Método de Muskingum-Cunge

**Primer Evento - Método Muskingum-Cunge**

**Datos**

Qp= 4.0232	Tp= 4.4500	Δt= 0.1670	So= 0.1296
Ap= 1.1125	β= 1.6000	Δx= 0.1580	

**Cálculos**

V= 3.6164	q0= 0.9041	c= 5.7862	
C= 6.1158	D= 7.6306		
C0= 0.8644	C1= -0.0349	C2= 0.1705	1

Δt (h)	Caudal de Entrada	1er Tramo				2do Tramo				3er Tramo				4to Tramo			Caudal de Salida Medido Thalimedes	
		C0xQe2	C1xQe1	C2xQs1	Qs t1	C0xQe2	C1xQe1	C2xQs1	Qs t2	C0xQe2	C1xQe1	C2xQs1	Qs t3	C0xQe2	C1xQe1	C2xQs1		Caudal de Salida Transita do
0.0000	0.0969				0.0969	0.0000	0.0000	0.0000	0.0969	0.0000	0.0000	0.0000	0.0969	0.0000	0.0000	0.0000	0.0969	0.0766
0.1667	0.1036	0.0895	-0.0034	0.0165	0.1027	0.0945	0.0158	-0.0080	0.1022	0.0494	0.0124	0.0377	0.0995	0.0515	0.0047	0.0434	0.0996	0.0766
0.3333	0.0969	0.0838	-0.0036	0.0175	0.0977	0.0899	0.0167	-0.0085	0.0981	0.0474	0.0131	0.0387	0.0992	0.0494	0.0050	0.0446	0.0990	0.0766
0.5000	0.1239	0.1071	-0.0034	0.0167	0.1203	0.1107	0.0159	-0.0081	0.1185	0.0572	0.0126	0.0386	0.1084	0.0597	0.0048	0.0444	0.1088	0.0766
0.6667	0.0969	0.0838	-0.0043	0.0205	0.1000	0.0920	0.0196	-0.0098	0.1018	0.0491	0.0152	0.0422	0.1065	0.0512	0.0057	0.0487	0.1057	0.0766
0.8333	0.0682	0.0590	-0.0034	0.0171	0.0727	0.0668	0.0163	-0.0084	0.0747	0.0361	0.0130	0.0414	0.0905	0.0376	0.0049	0.0474	0.0899	0.0766
1.0000	0.0725	0.0627	-0.0024	0.0124	0.0727	0.0669	0.0118	-0.0062	0.0725	0.0350	0.0096	0.0352	0.0798	0.0365	0.0036	0.0403	0.0804	0.0766
1.1667	0.1036	0.0895	-0.0025	0.0124	0.0994	0.0914	0.0118	-0.0060	0.0973	0.0470	0.0093	0.0311	0.0873	0.0490	0.0035	0.0360	0.0885	0.0766
1.3333	0.0639	0.0552	-0.0036	0.0170	0.0686	0.0631	0.0162	-0.0080	0.0712	0.0344	0.0125	0.0340	0.0808	0.0358	0.0047	0.0397	0.0802	0.0766
1.5000	0.0926	0.0800	-0.0022	0.0117	0.0895	0.0823	0.0112	-0.0059	0.0876	0.0423	0.0091	0.0314	0.0829	0.0441	0.0035	0.0359	0.0835	0.0766
1.6667	0.0639	0.0552	-0.0032	0.0153	0.0672	0.0619	0.0146	-0.0072	0.0692	0.0334	0.0112	0.0322	0.0769	0.0348	0.0042	0.0374	0.0765	0.0766
1.8333	0.0639	0.0552	-0.0022	0.0115	0.0645	0.0593	0.0109	-0.0057	0.0645	0.0311	0.0089	0.0299	0.0699	0.0325	0.0034	0.0343	0.0701	0.0766
2.0000	0.0823	0.0712	-0.0022	0.0110	0.0799	0.0735	0.0105	-0.0053	0.0787	0.0380	0.0083	0.0272	0.0735	0.0396	0.0031	0.0314	0.0742	0.0766
2.1667	0.0725	0.0627	-0.0029	0.0136	0.0734	0.0675	0.0130	-0.0065	0.0740	0.0357	0.0101	0.0286	0.0744	0.0373	0.0038	0.0332	0.0743	0.0766
2.3333	0.0998	0.0863	-0.0025	0.0125	0.0962	0.0885	0.0120	-0.0061	0.0944	0.0456	0.0095	0.0290	0.0840	0.0475	0.0036	0.0333	0.0844	0.0766

... Continua

2.5000	0.0926	0.0800	-0.0035	0.0164	0.0930	0.0855	0.0157	-0.0078	0.0934	0.0451	0.0121	0.0327	0.0899	0.0470	0.0046	0.0378	0.0894	0.0766
2.6667	0.0769	0.0664	-0.0032	0.0159	0.0791	0.0727	0.0151	-0.0077	0.0801	0.0387	0.0120	0.0350	0.0856	0.0403	0.0045	0.0401	0.0849	0.0766
2.8333	0.0823	0.0712	-0.0027	0.0135	0.0820	0.0754	0.0129	-0.0066	0.0816	0.0394	0.0103	0.0333	0.0830	0.0411	0.0039	0.0381	0.0830	0.0766
3.0000	0.0769	0.0664	-0.0029	0.0140	0.0775	0.0713	0.0133	-0.0068	0.0779	0.0376	0.0105	0.0323	0.0804	0.0392	0.0040	0.0372	0.0804	0.0766
3.1667	0.0867	0.0749	-0.0027	0.0132	0.0855	0.0786	0.0126	-0.0064	0.0848	0.0409	0.0100	0.0313	0.0822	0.0427	0.0038	0.0360	0.0825	0.1007
3.3333	0.0926	0.0800	-0.0030	0.0146	0.0916	0.0842	0.0139	-0.0070	0.0911	0.0440	0.0109	0.0320	0.0869	0.0459	0.0041	0.0370	0.0870	0.1007
3.5000	0.1080	0.0933	-0.0032	0.0156	0.1057	0.0972	0.0149	-0.0075	0.1046	0.0505	0.0117	0.0338	0.0960	0.0527	0.0044	0.0390	0.0960	0.1007
3.6667	0.1036	0.0895	-0.0038	0.0180	0.1038	0.0955	0.0172	-0.0087	0.1040	0.0502	0.0134	0.0373	0.1010	0.0524	0.0051	0.0430	0.1005	0.1007
3.8333	0.0926	0.0800	-0.0036	0.0177	0.0941	0.0866	0.0169	-0.0086	0.0949	0.0458	0.0133	0.0393	0.0984	0.0478	0.0050	0.0450	0.0978	0.1007
4.0000	0.0810	0.0700	-0.0032	0.0161	0.0829	0.0762	0.0153	-0.0078	0.0837	0.0404	0.0121	0.0383	0.0909	0.0421	0.0046	0.0438	0.0906	0.1007
4.1667	0.0909	0.0785	-0.0028	0.0141	0.0898	0.0826	0.0135	-0.0069	0.0892	0.0431	0.0107	0.0354	0.0891	0.0449	0.0041	0.0406	0.0896	0.0766
4.3333	0.0926	0.0800	-0.0032	0.0153	0.0922	0.0848	0.0146	-0.0074	0.0920	0.0444	0.0114	0.0347	0.0906	0.0463	0.0043	0.0401	0.0908	0.0766
4.5000	0.1121	0.0969	-0.0032	0.0157	0.1094	0.1006	0.0150	-0.0076	0.1080	0.0522	0.0118	0.0352	0.0992	0.0544	0.0045	0.0407	0.0995	0.0766
4.6667	0.0519	0.0449	-0.0039	0.0187	0.0596	0.0548	0.0178	-0.0089	0.0637	0.0308	0.0138	0.0386	0.0832	0.0321	0.0052	0.0446	0.0819	0.1007
4.8333	0.0768	0.0664	-0.0018	0.0102	0.0747	0.0687	0.0097	-0.0053	0.0732	0.0353	0.0082	0.0324	0.0758	0.0368	0.0031	0.0367	0.0766	0.1007
5.0000	0.1331	0.1151	-0.0027	0.0127	0.1251	0.1151	0.0122	-0.0060	0.1212	0.0585	0.0094	0.0295	0.0974	0.0610	0.0035	0.0343	0.0989	0.1007
5.1667	0.1199	0.1037	-0.0046	0.0213	0.1204	0.1107	0.0204	-0.0100	0.1211	0.0584	0.0155	0.0379	0.1119	0.0609	0.0059	0.0443	0.1111	0.1007
5.3333	0.1151	0.0995	-0.0042	0.0205	0.1158	0.1066	0.0196	-0.0100	0.1161	0.0561	0.0155	0.0435	0.1151	0.0585	0.0059	0.0498	0.1141	0.1007
5.5000	0.1018	0.0880	-0.0040	0.0198	0.1038	0.0954	0.0189	-0.0096	0.1047	0.0506	0.0149	0.0448	0.1102	0.0527	0.0056	0.0511	0.1095	0.1305
5.6667	0.1097	0.0948	-0.0036	0.0177	0.1089	0.1002	0.0169	-0.0087	0.1084	0.0524	0.0134	0.0429	0.1087	0.0546	0.0051	0.0491	0.1087	0.1671
5.8333	0.1831	0.1582	-0.0038	0.0186	0.1730	0.1591	0.0177	-0.0090	0.1679	0.0811	0.0139	0.0423	0.1372	0.0845	0.0053	0.0487	0.1385	0.1671
6.0000	0.1358	0.1174	-0.0064	0.0295	0.1405	0.1293	0.0282	-0.0139	0.1436	0.0693	0.0215	0.0534	0.1442	0.0723	0.0081	0.0621	0.1425	0.2115
6.1667	0.2013	0.1740	-0.0047	0.0240	0.1932	0.1777	0.0229	-0.0119	0.1887	0.0911	0.0184	0.0561	0.1656	0.0950	0.0070	0.0638	0.1658	0.2115
6.3333	0.2463	0.2129	-0.0070	0.0330	0.2388	0.2197	0.0315	-0.0156	0.2356	0.1137	0.0242	0.0645	0.2023	0.1186	0.0092	0.0743	0.2020	0.3287
6.5000	0.4936	0.4267	-0.0086	0.0407	0.4588	0.4220	0.0389	-0.0195	0.4414	0.2131	0.0302	0.0787	0.3220	0.2223	0.0114	0.0905	0.3242	0.4041
6.6667	1.0503	0.9078	-0.0172	0.0782	0.9688	0.8912	0.0747	-0.0365	0.9294	0.4487	0.0565	0.1253	0.6306	0.4679	0.0214	0.1452	0.6346	0.4929
6.8333	1.5645	1.3523	-0.0367	0.1652	1.4809	1.3622	0.1577	-0.0769	1.4431	0.6967	0.1190	0.2454	1.0611	0.7266	0.0451	0.2843	1.0560	1.2012
7.0000	2.6713	2.3090	-0.0546	0.2525	2.5069	2.3060	0.2411	-0.1193	2.4278	1.1721	0.1848	0.4129	1.7699	1.2223	0.0700	0.4731	1.7654	1.9176
7.1667	2.0789	1.7970	-0.0933	0.4275	2.1312	1.9605	0.4082	-0.2008	2.1679	1.0466	0.3109	0.6887	2.0463	1.0915	0.1178	0.7909	2.0002	1.9463
7.3333	2.5115	2.1708	-0.0726	0.3635	2.4617	2.2645	0.3470	-0.1793	2.4322	1.1743	0.2776	0.7963	2.2482	1.2246	0.1052	0.8961	2.2258	1.9176
7.5000	2.0297	1.7544	-0.0877	0.4198	2.0866	1.9194	0.4008	-0.2011	2.1191	1.0231	0.3114	0.8749	2.2094	1.0669	0.1180	0.9972	2.1821	2.2208
7.6667	1.4333	1.2389	-0.0709	0.3558	1.5239	1.4018	0.3397	-0.1752	1.5663	0.7562	0.2713	0.8598	1.8873	0.7886	0.1028	0.9776	1.8690	2.2208
7.8333	1.5993	1.3824	-0.0500	0.2599	1.5922	1.4646	0.2481	-0.1295	1.5832	0.7644	0.2006	0.7345	1.6994	0.7971	0.0760	0.8373	1.7104	2.2208
8.0000	1.4261	1.2327	-0.0558	0.2715	1.4484	1.3323	0.2592	-0.1309	1.4606	0.7052	0.2027	0.6613	1.5692	0.7354	0.0768	0.7663	1.5785	1.9176
8.1667	2.0795	1.7975	-0.0498	0.2470	1.9947	1.8349	0.2358	-0.1208	1.9499	0.9414	0.1870	0.6107	1.7391	0.9817	0.0709	0.7072	1.7598	1.9176
8.3333	2.7837	2.4062	-0.0726	0.3402	2.6738	2.4595	0.3248	-0.1613	2.6230	1.2664	0.2497	0.6768	2.1929	1.3206	0.0946	0.7884	2.2036	1.9176
8.5000	3.2211	2.7843	-0.0972	0.4560	3.1431	2.8912	0.4353	-0.2169	3.1097	1.5013	0.3359	0.8534	2.6906	1.5656	0.1272	0.9873	2.6801	1.9176
8.6667	4.0232	3.4776	-0.1124	0.5360	3.9011	3.5885	0.5118	-0.2572	3.8431	1.8555	0.3982	1.0470	3.3007	1.9349	0.1508	1.2007	3.2865	3.8415
8.8333	3.9793	3.4396	-0.1404	0.6653	3.9644	3.6468	0.6352	-0.3178	3.9642	1.9139	0.4921	1.2845	3.6905	1.9959	0.1864	1.4724	3.6547	2.5613
9.0000	1.8105	1.5649	-0.1389	0.6761	2.1021	1.9337	0.6455	-0.3278	2.2513	1.0869	0.5076	1.4362	3.0307	1.1335	0.1923	1.6374	2.9632	2.2208
9.1667	1.2028	1.0397	-0.0632	0.3585	1.3350	1.2280	0.3423	-0.1862	1.3841	0.6682	0.2883	1.1794	2.1359	0.6969	0.1092	1.3275	2.1336	2.2208

... Continua

9.3333	1.0658	0.9213	-0.0420	0.2277	1.1070	1.0183	0.2174	-0.1145	1.1212	0.5413	0.1772	0.8312	1.5497	0.5645	0.0671	0.9559	1.5875	1.9176
9.5000	1.0896	0.9418	-0.0372	0.1888	1.0934	1.0058	0.1802	-0.0927	1.0933	0.5278	0.1436	0.6031	1.2745	0.5504	0.0544	0.7112	1.3161	1.6486
9.6667	1.4647	1.2661	-0.0380	0.1865	1.4145	1.3012	0.1780	-0.0904	1.3888	0.6705	0.1400	0.4960	1.3065	0.6992	0.0530	0.5896	1.3419	1.4107
9.8333	1.1583	1.0012	-0.0511	0.2412	1.1913	1.0958	0.2303	-0.1148	1.2113	0.5848	0.1778	0.5084	1.2711	0.6099	0.0674	0.6012	1.2784	1.2012
10.0000	0.7120	0.6154	-0.0404	0.2032	0.7781	0.7158	0.1940	-0.1002	0.8096	0.3909	0.1551	0.4946	1.0406	0.4076	0.0588	0.5727	1.0391	1.1247
10.1667	0.5564	0.4809	-0.0249	0.1327	0.5887	0.5416	0.1267	-0.0669	0.6013	0.2903	0.1037	0.4050	0.7989	0.3027	0.0393	0.4655	0.8076	1.1062
10.3333	0.9801	0.8472	-0.0194	0.1004	0.9282	0.8538	0.0959	-0.0497	0.8999	0.4345	0.0770	0.3109	0.8224	0.4531	0.0292	0.3618	0.8441	1.0700
10.5000	1.0503	0.9078	-0.0342	0.1583	1.0319	0.9492	0.1511	-0.0744	1.0259	0.4953	0.1152	0.3200	0.9306	0.5165	0.0437	0.3782	0.9383	1.0174
10.6667	0.6203	0.5362	-0.0367	0.1760	0.6755	0.6214	0.1680	-0.0848	0.7045	0.3402	0.1314	0.3621	0.8337	0.3547	0.0498	0.4204	0.8249	0.9505
10.8333	0.4226	0.3653	-0.0217	0.1152	0.4588	0.4220	0.1100	-0.0583	0.4738	0.2287	0.0902	0.3244	0.6434	0.2385	0.0342	0.3696	0.6423	0.9185
11.0000	0.4931	0.4263	-0.0148	0.0782	0.4898	0.4505	0.0747	-0.0392	0.4860	0.2347	0.0607	0.2504	0.5457	0.2447	0.0230	0.2877	0.5554	0.8569
11.1667	0.4625	0.3998	-0.0172	0.0835	0.4661	0.4287	0.0797	-0.0402	0.4683	0.2261	0.0622	0.2124	0.5007	0.2358	0.0236	0.2488	0.5082	0.7174
11.3333	0.5290	0.4572	-0.0161	0.0795	0.5206	0.4789	0.0759	-0.0387	0.5160	0.2491	0.0600	0.1948	0.5039	0.2598	0.0227	0.2277	0.5102	0.5967
11.5000	0.5349	0.4624	-0.0185	0.0888	0.5327	0.4900	0.0848	-0.0427	0.5321	0.2569	0.0661	0.1961	0.5191	0.2679	0.0250	0.2286	0.5215	0.4929
11.6667	0.5037	0.4354	-0.0187	0.0908	0.5076	0.4669	0.0867	-0.0440	0.5096	0.2461	0.0681	0.2020	0.5162	0.2566	0.0258	0.2336	0.5160	0.4929
11.8333	0.3526	0.3047	-0.0176	0.0866	0.3737	0.3438	0.0826	-0.0421	0.3843	0.1855	0.0653	0.2009	0.4517	0.1935	0.0247	0.2312	0.4494	0.4041
12.0000	0.4163	0.3599	-0.0123	0.0637	0.4113	0.3783	0.0609	-0.0318	0.4074	0.1967	0.0492	0.1758	0.4217	0.2051	0.0186	0.2013	0.4251	0.3287
12.1667	0.4689	0.4053	-0.0145	0.0701	0.4609	0.4240	0.0670	-0.0337	0.4572	0.2207	0.0522	0.1641	0.4370	0.2302	0.0198	0.1904	0.4404	0.3287
12.3333	0.5134	0.4437	-0.0164	0.0786	0.5060	0.4654	0.0750	-0.0378	0.5027	0.2427	0.0585	0.1701	0.4713	0.2531	0.0222	0.1973	0.4726	0.3287
12.5000	0.2984	0.2579	-0.0179	0.0863	0.3263	0.3001	0.0824	-0.0416	0.3410	0.1646	0.0644	0.1834	0.4124	0.1717	0.0244	0.2117	0.4078	0.3287
12.6667	0.4503	0.3893	-0.0104	0.0556	0.4345	0.3997	0.0531	-0.0282	0.4246	0.2050	0.0437	0.1605	0.4091	0.2138	0.0165	0.1827	0.4130	0.3287
12.8333	0.3023	0.2613	-0.0157	0.0741	0.3196	0.2940	0.0707	-0.0351	0.3297	0.1592	0.0544	0.1592	0.3727	0.1660	0.0206	0.1850	0.3716	0.3287
13.0000	0.2941	0.2542	-0.0106	0.0545	0.2982	0.2743	0.0520	-0.0273	0.2991	0.1444	0.0422	0.1451	0.3316	0.1506	0.0160	0.1665	0.3330	0.3287
13.1667	0.2774	0.2398	-0.0103	0.0508	0.2804	0.2579	0.0485	-0.0247	0.2817	0.1360	0.0383	0.1291	0.3034	0.1418	0.0145	0.1492	0.3055	0.3287
13.3333	0.2813	0.2432	-0.0097	0.0478	0.2813	0.2587	0.0456	-0.0233	0.2811	0.1357	0.0361	0.1181	0.2898	0.1415	0.0137	0.1369	0.2921	0.3287
13.5000	0.2463	0.2129	-0.0098	0.0480	0.2510	0.2309	0.0458	-0.0232	0.2535	0.1224	0.0360	0.1128	0.2712	0.1276	0.0136	0.1309	0.2721	0.3287
13.6667	0.4019	0.3474	-0.0086	0.0428	0.3816	0.3510	0.0409	-0.0210	0.3710	0.1791	0.0325	0.1055	0.3171	0.1868	0.0123	0.1219	0.3210	0.2649
13.8333	0.5817	0.5028	-0.0140	0.0651	0.5538	0.5095	0.0621	-0.0307	0.5409	0.2612	0.0475	0.1234	0.4320	0.2723	0.0180	0.1438	0.4341	0.2649
14.0000	0.4118	0.3560	-0.0203	0.0944	0.4301	0.3957	0.0902	-0.0447	0.4411	0.2130	0.0693	0.1681	0.4504	0.2221	0.0262	0.1945	0.4428	0.2649
14.1667	0.3538	0.3058	-0.0144	0.0734	0.3648	0.3356	0.0700	-0.0365	0.3691	0.1782	0.0565	0.1753	0.4099	0.1858	0.0214	0.1984	0.4056	0.2649
14.3333	0.3551	0.3069	-0.0124	0.0622	0.3568	0.3282	0.0594	-0.0305	0.3571	0.1724	0.0473	0.1595	0.3792	0.1798	0.0179	0.1817	0.3794	0.2649
14.5000	0.2258	0.1952	-0.0124	0.0608	0.2436	0.2241	0.0581	-0.0295	0.2527	0.1220	0.0457	0.1476	0.3153	0.1272	0.0173	0.1700	0.3145	0.2115
14.6667	0.2178	0.1882	-0.0079	0.0416	0.2219	0.2041	0.0397	-0.0209	0.2229	0.1076	0.0324	0.1227	0.2627	0.1122	0.0123	0.1409	0.2654	0.2115
14.8333	0.2396	0.2071	-0.0076	0.0378	0.2373	0.2183	0.0361	-0.0184	0.2360	0.1139	0.0285	0.1022	0.2447	0.1188	0.0108	0.1189	0.2485	0.2115
15.0000	0.1936	0.1674	-0.0084	0.0405	0.1995	0.1835	0.0386	-0.0195	0.2026	0.0978	0.0302	0.0952	0.2233	0.1020	0.0114	0.1114	0.2248	0.2115
15.1667	0.2406	0.2080	-0.0068	0.0340	0.2352	0.2164	0.0325	-0.0168	0.2321	0.1121	0.0259	0.0869	0.2249	0.1169	0.0098	0.1007	0.2274	0.2115
15.3333	0.2171	0.1877	-0.0084	0.0401	0.2194	0.2018	0.0383	-0.0192	0.2209	0.1067	0.0297	0.0875	0.2239	0.1112	0.0113	0.1019	0.2244	0.2115
15.5000	0.1771	0.1531	-0.0076	0.0374	0.1829	0.1683	0.0357	-0.0183	0.1857	0.0897	0.0283	0.0871	0.2051	0.0935	0.0107	0.1005	0.2047	0.1671
15.6667	0.3152	0.2724	-0.0062	0.0312	0.2974	0.2736	0.0298	-0.0154	0.2880	0.1391	0.0238	0.0798	0.2426	0.1450	0.0090	0.0917	0.2457	0.1671
15.8333	0.1764	0.1525	-0.0110	0.0507	0.1922	0.1768	0.0484	-0.0238	0.2014	0.0972	0.0369	0.0944	0.2285	0.1014	0.0140	0.1101	0.2255	0.1671
16.0000	0.1779	0.1538	-0.0062	0.0328	0.1804	0.1659	0.0313	-0.0167	0.1806	0.0872	0.0258	0.0889	0.2019	0.0909	0.0098	0.1010	0.2017	0.1671

... Continua

16.1667	0.2091	0.1808	-0.0062	0.0308	0.2053	0.1889	0.0294	-0.0149	0.2033	0.0982	0.0231	0.0786	0.1998	0.1024	0.0088	0.0904	0.2015	0.1671
16.3333	0.1860	0.1608	-0.0073	0.0350	0.1885	0.1734	0.0334	-0.0168	0.1900	0.0917	0.0260	0.0778	0.1955	0.0957	0.0099	0.0903	0.1958	0.1671
16.5000	0.1914	0.1654	-0.0065	0.0321	0.1911	0.1758	0.0307	-0.0157	0.1907	0.0921	0.0243	0.0761	0.1925	0.0960	0.0092	0.0877	0.1930	0.1671
16.6667	0.2125	0.1837	-0.0067	0.0326	0.2096	0.1928	0.0311	-0.0158	0.2081	0.1005	0.0244	0.0749	0.1998	0.1048	0.0093	0.0865	0.2005	0.1671
16.8333	0.2091	0.1808	-0.0074	0.0357	0.2091	0.1923	0.0341	-0.0172	0.2093	0.1010	0.0267	0.0778	0.2054	0.1054	0.0101	0.0898	0.2053	0.1671
17.0000	0.1771	0.1531	-0.0073	0.0357	0.1814	0.1669	0.0340	-0.0173	0.1836	0.0887	0.0268	0.0799	0.1954	0.0925	0.0102	0.0920	0.1946	0.1305
17.1667	0.2151	0.1859	-0.0062	0.0309	0.2107	0.1938	0.0295	-0.0152	0.2081	0.1005	0.0235	0.0760	0.2000	0.1048	0.0089	0.0872	0.2009	0.1305
17.3333	0.2258	0.1952	-0.0075	0.0359	0.2236	0.2057	0.0343	-0.0172	0.2228	0.1075	0.0267	0.0778	0.2121	0.1122	0.0101	0.0900	0.2122	0.1305
17.5000	0.2716	0.2347	-0.0079	0.0381	0.2650	0.2437	0.0364	-0.0184	0.2617	0.1264	0.0285	0.0825	0.2374	0.1318	0.0108	0.0951	0.2377	0.1305
17.6667	0.1452	0.1255	-0.0095	0.0452	0.1612	0.1483	0.0431	-0.0216	0.1698	0.0820	0.0335	0.0924	0.2079	0.0855	0.0127	0.1065	0.2047	0.1305
17.8333	0.2151	0.1859	-0.0051	0.0275	0.2083	0.1916	0.0262	-0.0140	0.2038	0.0984	0.0217	0.0809	0.2011	0.1026	0.0082	0.0917	0.2026	0.1305
18.0000	0.2144	0.1853	-0.0075	0.0355	0.2134	0.1963	0.0339	-0.0169	0.2133	0.1030	0.0261	0.0782	0.2073	0.1074	0.0099	0.0907	0.2080	0.1305
18.1667	0.2548	0.2202	-0.0075	0.0364	0.2491	0.2292	0.0347	-0.0176	0.2463	0.1189	0.0273	0.0807	0.2269	0.1240	0.0103	0.0932	0.2275	0.1305
18.3333	0.2013	0.1740	-0.0089	0.0425	0.2076	0.1910	0.0406	-0.0204	0.2112	0.1020	0.0315	0.0883	0.2218	0.1063	0.0119	0.1019	0.2202	0.1305
18.5000	0.1590	0.1374	-0.0070	0.0354	0.1658	0.1525	0.0338	-0.0175	0.1689	0.0815	0.0270	0.0863	0.1949	0.0850	0.0102	0.0987	0.1939	0.1305
18.6667	0.1987	0.1718	-0.0056	0.0283	0.1945	0.1789	0.0270	-0.0140	0.1919	0.0927	0.0216	0.0758	0.1901	0.0966	0.0082	0.0869	0.1917	0.1305
18.8333	0.1786	0.1544	-0.0069	0.0332	0.1806	0.1661	0.0317	-0.0159	0.1819	0.0878	0.0246	0.0740	0.1864	0.0916	0.0093	0.0859	0.1868	0.1305
19.0000	0.2016	0.1743	-0.0062	0.0308	0.1988	0.1829	0.0294	-0.0150	0.1973	0.0952	0.0233	0.0725	0.1911	0.0993	0.0088	0.0837	0.1918	0.1305
19.1667	0.1991	0.1721	-0.0070	0.0339	0.1990	0.1830	0.0324	-0.0163	0.1991	0.0961	0.0253	0.0744	0.1957	0.1002	0.0096	0.0859	0.1957	0.1305
19.3333	0.2151	0.1859	-0.0070	0.0339	0.2129	0.1958	0.0324	-0.0165	0.2118	0.1022	0.0255	0.0762	0.2039	0.1066	0.0097	0.0877	0.2040	0.1305
19.5000	0.2299	0.1987	-0.0075	0.0363	0.2275	0.2093	0.0347	-0.0175	0.2264	0.1093	0.0271	0.0793	0.2158	0.1140	0.0103	0.0914	0.2156	0.1305
19.6667	0.2406	0.2080	-0.0080	0.0388	0.2387	0.2196	0.0370	-0.0187	0.2379	0.1149	0.0290	0.0840	0.2278	0.1198	0.0110	0.0966	0.2274	0.1305

Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO 4

Tabla 6: Ejemplo de cálculo para primer evento - Método de Onda Cinemática

### Primer Evento - Método Onda Cinemática

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4
Ancho	4.45	4.85	3.35	5
Beta	0.600	0.600	0.600	0.600
Long. Tramo	158.70	74.56	905.67	773.60
Alfa	0.38	0.36	0.35	0.43
So	0.1296	0.1765	0.1228	0.1054
n	0.04	0.04	0.04	0.04

$\Delta t$ (min)	$\Delta t$ (min)	$\Delta t$ (horas)	Caudal de Entrada	Qs1 (m3/s)	Qs2 (m3/s)	Qs3 (m3/s)	Caudal de Salida Transitado	Caudal Medido Thalimedes
10	0	0.00	0.097	0.097	0.097	0.097	0.097	0.077
10	10	0.17	0.104	0.103	0.102	0.100	0.099	0.077
10	20	0.33	0.097	0.098	0.098	0.099	0.099	0.077
10	30	0.50	0.124	0.121	0.119	0.110	0.105	0.077
10	40	0.67	0.097	0.100	0.101	0.105	0.105	0.077
10	50	0.83	0.068	0.073	0.075	0.088	0.096	0.077
10	60	1.00	0.073	0.073	0.073	0.080	0.087	0.077
10	70	1.17	0.104	0.099	0.098	0.090	0.089	0.077
10	80	1.33	0.064	0.069	0.071	0.080	0.084	0.077
10	90	1.50	0.093	0.089	0.088	0.084	0.084	0.077
10	100	1.67	0.064	0.068	0.069	0.076	0.080	0.077
10	110	1.83	0.064	0.064	0.065	0.070	0.075	0.077
10	120	2.00	0.082	0.080	0.079	0.075	0.075	0.077
10	130	2.17	0.073	0.074	0.074	0.074	0.074	0.077
10	140	2.33	0.100	0.096	0.095	0.085	0.080	0.077
10	150	2.50	0.093	0.093	0.093	0.090	0.085	0.077
10	160	2.67	0.077	0.079	0.080	0.084	0.085	0.077
10	170	2.83	0.082	0.082	0.082	0.083	0.084	0.077
10	180	3.00	0.077	0.078	0.078	0.080	0.082	0.077
10	190	3.17	0.087	0.085	0.085	0.083	0.082	0.101
10	200	3.33	0.093	0.092	0.091	0.087	0.085	0.101
10	210	3.50	0.108	0.106	0.105	0.097	0.091	0.101
10	220	3.67	0.104	0.104	0.104	0.101	0.097	0.101
10	230	3.83	0.093	0.094	0.095	0.097	0.097	0.101
10	240	4.00	0.081	0.083	0.084	0.090	0.093	0.101
10	250	4.17	0.091	0.090	0.089	0.090	0.091	0.077
10	260	4.33	0.093	0.092	0.092	0.091	0.091	0.077
10	270	4.50	0.112	0.110	0.108	0.101	0.096	0.077
10	280	4.67	0.052	0.060	0.063	0.081	0.088	0.101
10	290	4.83	0.077	0.074	0.073	0.077	0.082	0.101
10	300	5.00	0.133	0.125	0.122	0.102	0.093	0.101
10	310	5.17	0.120	0.121	0.121	0.113	0.104	0.101
10	320	5.33	0.115	0.116	0.116	0.115	0.110	0.101
10	330	5.50	0.102	0.104	0.104	0.109	0.109	0.131
10	340	5.67	0.110	0.109	0.109	0.109	0.109	0.167
10	350	5.83	0.183	0.174	0.171	0.145	0.130	0.167
10	360	6.00	0.136	0.140	0.142	0.143	0.138	0.212
10	370	6.17	0.201	0.195	0.192	0.173	0.158	0.212

...Continua

10	380	6.33	0.246	0.241	0.239	0.214	0.192	0.329
10	390	6.50	0.494	0.473	0.463	0.382	0.315	0.404
10	400	6.67	1.050	1.014	0.997	0.833	0.682	0.493
10	410	6.83	1.564	1.536	1.523	1.366	1.197	1.201
10	420	7.00	2.671	2.622	2.601	2.362	2.120	1.918
10	430	7.17	2.079	2.101	2.111	2.157	2.150	1.946
10	440	7.33	2.511	2.494	2.487	2.427	2.374	1.918
10	450	7.50	2.030	2.049	2.058	2.126	2.174	2.221
10	460	7.67	1.433	1.462	1.474	1.604	1.720	2.221
10	470	7.83	1.599	1.593	1.590	1.593	1.620	2.221
10	480	8.00	1.426	1.434	1.438	1.470	1.503	1.918
10	490	8.17	2.080	2.050	2.037	1.923	1.835	1.918
10	500	8.33	2.784	2.754	2.740	2.591	2.444	1.918
10	510	8.50	3.221	3.204	3.196	3.092	2.976	1.918
10	520	8.67	4.023	3.994	3.982	3.840	3.695	3.842
10	530	8.83	3.979	3.980	3.980	3.958	3.916	2.561
10	540	9.00	1.810	1.893	1.929	2.273	2.558	2.221
10	550	9.17	1.203	1.236	1.252	1.456	1.677	2.221
10	560	9.33	1.066	1.075	1.079	1.163	1.278	1.918
10	570	9.50	1.090	1.089	1.089	1.106	1.146	1.649
10	580	9.67	1.465	1.445	1.437	1.363	1.313	1.411
10	590	9.83	1.158	1.173	1.179	1.220	1.242	1.201
10	600	10.00	0.712	0.739	0.751	0.864	0.956	1.125
10	610	10.17	0.556	0.569	0.574	0.651	0.732	1.106
10	620	10.33	0.980	0.954	0.943	0.868	0.832	1.070
10	630	10.50	1.050	1.045	1.042	1.000	0.957	1.017
10	640	10.67	0.620	0.646	0.657	0.744	0.800	0.951
10	650	10.83	0.423	0.439	0.446	0.529	0.605	0.918
10	660	11.00	0.493	0.489	0.487	0.500	0.531	0.857
10	670	11.17	0.463	0.465	0.465	0.475	0.492	0.717
10	680	11.33	0.529	0.524	0.522	0.508	0.504	0.597
10	690	11.50	0.535	0.534	0.534	0.526	0.520	0.493
10	700	11.67	0.504	0.506	0.507	0.513	0.515	0.493
10	710	11.83	0.353	0.365	0.370	0.413	0.445	0.404
10	720	12.00	0.416	0.412	0.411	0.411	0.422	0.329
10	730	12.17	0.469	0.464	0.463	0.447	0.439	0.329
10	740	12.33	0.513	0.510	0.508	0.490	0.474	0.329
10	750	12.50	0.298	0.315	0.322	0.375	0.406	0.329
10	760	12.67	0.450	0.439	0.435	0.416	0.413	0.329
10	770	12.83	0.302	0.314	0.318	0.350	0.370	0.329
10	780	13.00	0.294	0.296	0.297	0.314	0.333	0.329
10	790	13.17	0.277	0.279	0.280	0.291	0.306	0.329
10	800	13.33	0.281	0.281	0.281	0.285	0.292	0.329
10	810	13.50	0.246	0.250	0.251	0.263	0.273	0.329
10	820	13.67	0.402	0.389	0.383	0.343	0.319	0.265
10	830	13.83	0.582	0.567	0.561	0.495	0.439	0.265
10	840	14.00	0.412	0.423	0.428	0.448	0.445	0.265
10	850	14.17	0.354	0.359	0.362	0.389	0.407	0.265
10	860	14.33	0.355	0.355	0.356	0.366	0.379	0.265
10	870	14.50	0.226	0.238	0.243	0.284	0.316	0.212
10	880	14.67	0.218	0.220	0.221	0.243	0.269	0.212
10	890	14.83	0.240	0.238	0.237	0.239	0.250	0.212
10	900	15.00	0.194	0.198	0.200	0.214	0.228	0.212
10	910	15.17	0.241	0.236	0.235	0.227	0.227	0.212
10	920	15.33	0.217	0.219	0.220	0.222	0.224	0.212
10	930	15.50	0.177	0.181	0.183	0.198	0.208	0.167
10	940	15.67	0.315	0.302	0.297	0.262	0.242	0.167

...Continua

10	950	15.83	0.176	0.189	0.194	0.218	0.227	0.167
10	960	16.00	0.178	0.179	0.180	0.194	0.207	0.167
10	970	16.17	0.209	0.206	0.205	0.201	0.203	0.167
10	980	16.33	0.186	0.188	0.189	0.193	0.197	0.167
10	990	16.50	0.191	0.191	0.191	0.192	0.194	0.167
10	1000	16.67	0.213	0.210	0.209	0.203	0.199	0.167
10	1010	16.83	0.209	0.209	0.209	0.207	0.204	0.167
10	1020	17.00	0.177	0.180	0.182	0.191	0.196	0.131
10	1030	17.17	0.215	0.211	0.210	0.203	0.200	0.131
10	1040	17.33	0.226	0.224	0.224	0.216	0.210	0.131
10	1050	17.50	0.272	0.267	0.265	0.248	0.234	0.131
10	1060	17.67	0.145	0.158	0.163	0.194	0.209	0.131
10	1070	17.83	0.215	0.209	0.207	0.202	0.205	0.131
10	1080	18.00	0.214	0.214	0.214	0.209	0.208	0.131
10	1090	18.17	0.255	0.251	0.249	0.235	0.224	0.131
10	1100	18.33	0.201	0.206	0.208	0.218	0.220	0.131
10	1110	18.50	0.159	0.164	0.166	0.186	0.199	0.131
10	1120	18.67	0.199	0.195	0.194	0.191	0.194	0.131
10	1130	18.83	0.179	0.180	0.181	0.185	0.188	0.131
10	1140	19.00	0.202	0.199	0.198	0.193	0.191	0.131
10	1150	19.17	0.199	0.199	0.199	0.197	0.195	0.131
10	1160	19.33	0.215	0.213	0.213	0.207	0.202	0.131
10	1170	19.50	0.230	0.228	0.227	0.220	0.213	0.131
10	1180	19.67	0.241	0.239	0.239	0.232	0.225	0.131

Fuente: Elaboración propia.