

Facultad de Ingeniería  
Escuela de Civil. Departamento de Hidráulica y  
Sanitaria  
Hidrología



Prof. Ada Moreno

# MÉTODO DE CLARK

- El Hidrograma Unitario de Clark es empleado cuando no se cuentan con datos de caudales de una creciente desencadenados por una tormenta (Fattorelli y Fernández, 2007).

Lluvia



Caudales



Cuenca con  
información



Hidrograma  
unitario

Lluvia



Caudales

Cuenca sin  
información

Hidrogramas  
Sintéticos

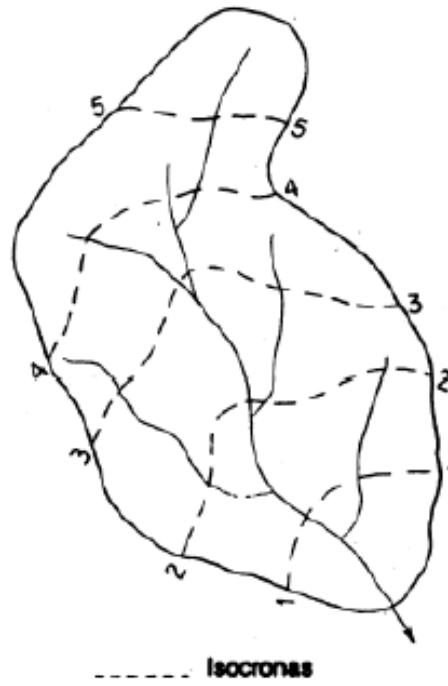
# MÉTODO DE CLARK

- Está basado en el principio de que el hidrograma total de una creciente es la suma de todos los hidrogramas aportados por las distintas subcuenca, debidamente modificados por el efecto de almacenamiento en el río (Ramírez, 2003).

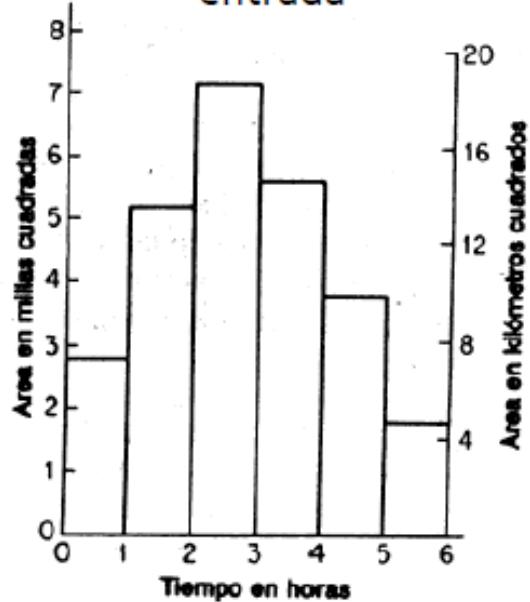
# CONSIDERACIONES DEL MÉTODO DE CLARK



# MÉTODO DE CLARK



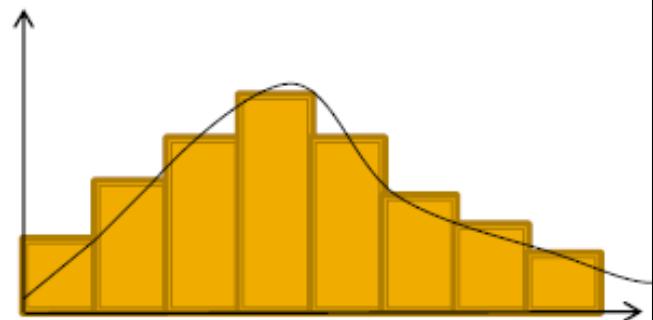
Hidrograma de  
entrada



Tránsito en un  
embalse ficticio



Hidrograma de  
salida



# PROCEDIMIENTO

Dividir la cuenca en varias subcuenca  
(trazado de isocronas)

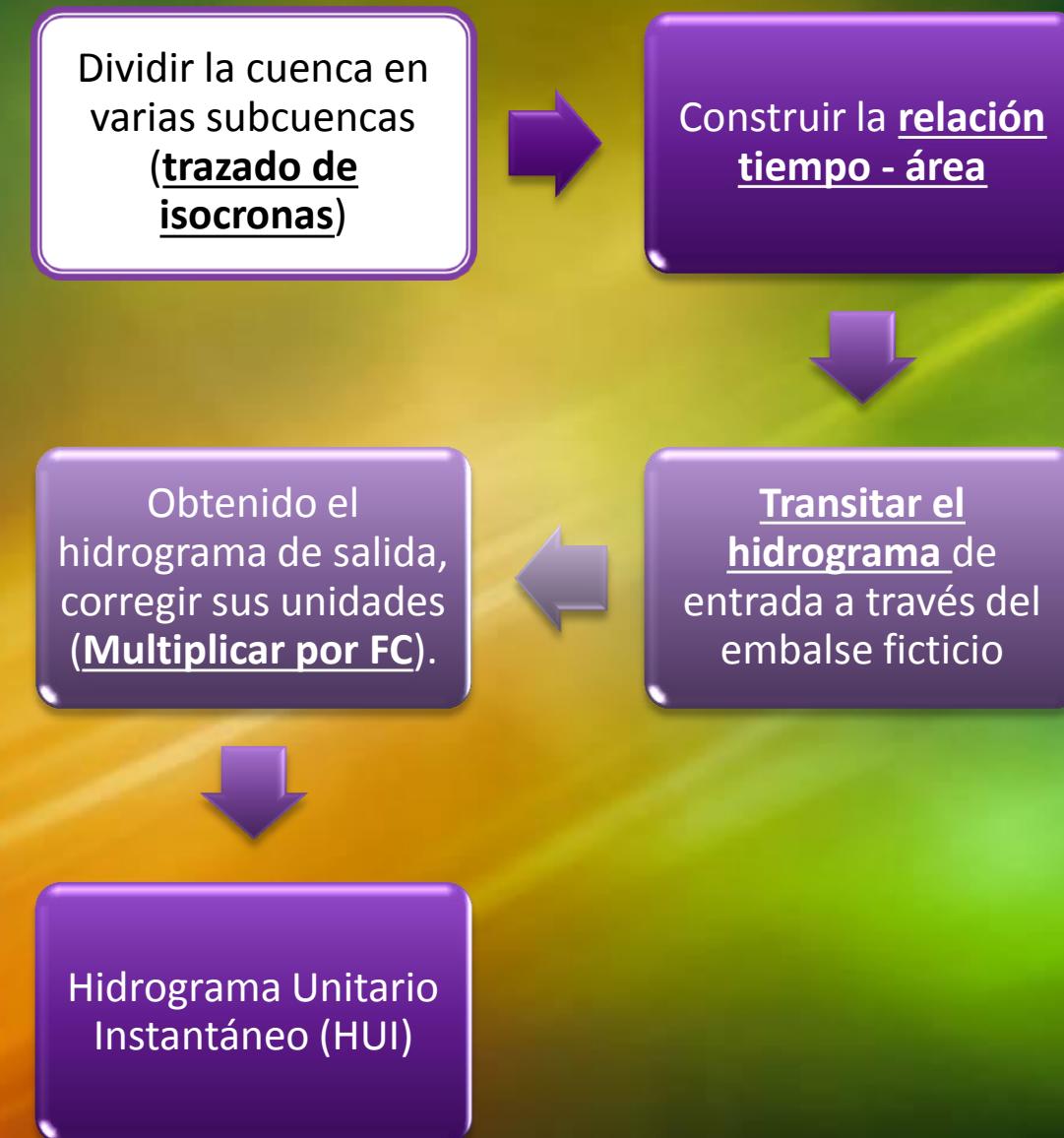
Construir la relación tiempo - área

Obtenido el hidrograma de salida, corregir sus unidades  
(Multiplicar por FC).

Transitar el hidrograma de entrada a través del embalse ficticio

Hidrograma Unitario Instantáneo (HUI)

# PROCEDIMIENTO

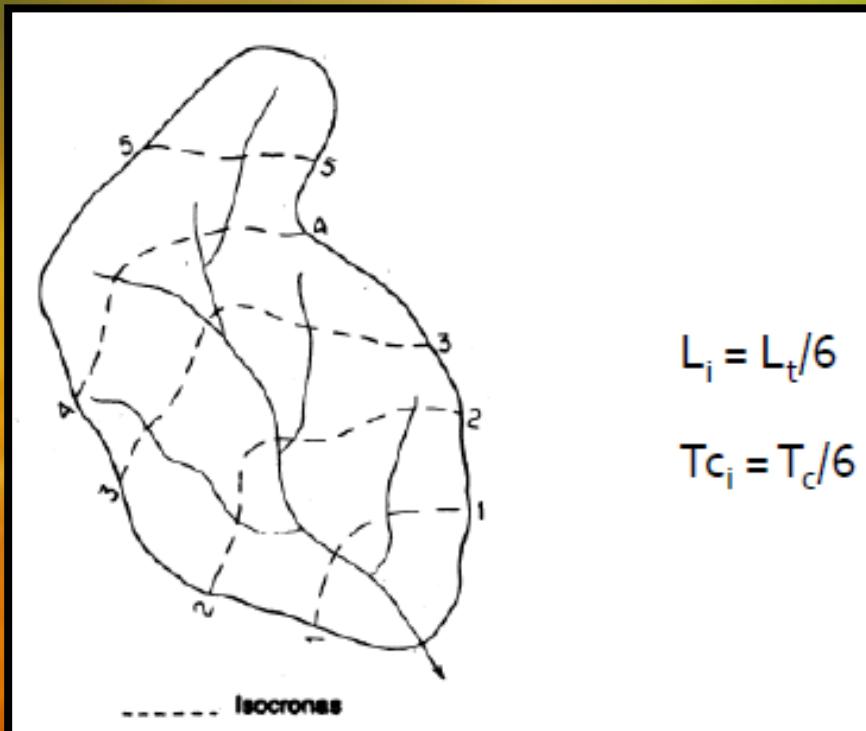


# TRAZADO DE ISOCRONAS

- Las distintas subcuenas son delimitadas a través de las isocronas, las cuales son líneas que unen puntos con igual tiempo de concentración

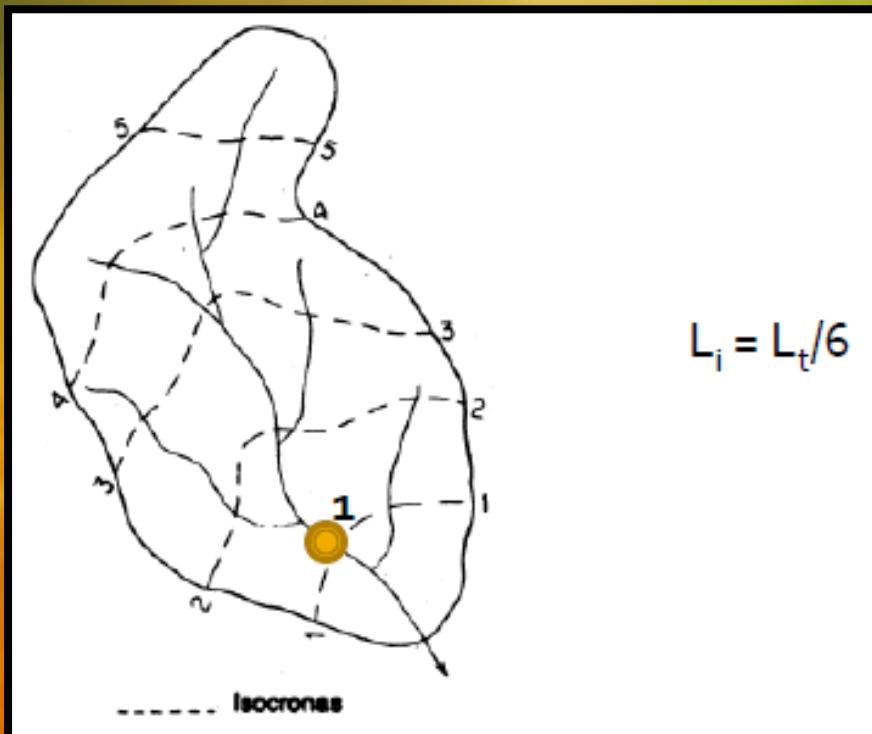
# TRAZADO DE LAS ISOCRONAS

- Dividir la longitud del cauce principal en tramos iguales, y cuyo número depende de la cantidad de isocronas a trazar



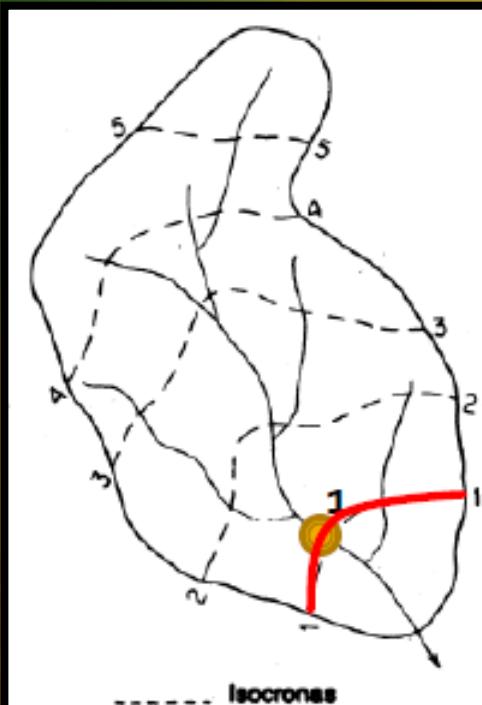
# TRAZADO DE LAS ISOCRONAS

- Para el trazado de la primera isocrona, llevar la distancia  $L_i$  sobre el cauce principal, obteniendo el punto 1



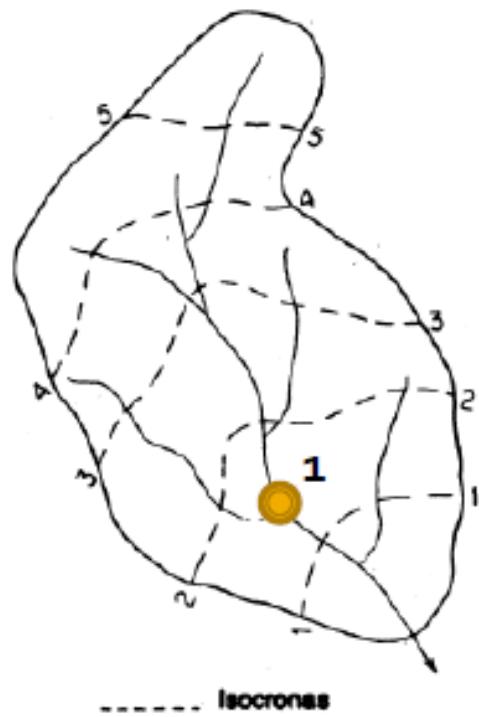
# TRAZADO DE LAS ISOCRONAS

- Para el punto 1, estimar el tiempo de concentración:



$$T_{ci} = 0,9545(L_i^3/H_i)^{0,385}$$

Si  $T_{c_{\text{calculado}}} = T_c/6$  se tiene el trazado de la primeras isócrona, continuar con la segunda



$$Tc_i = 0,9545(L_i^3/H_i)^{0,385}$$

Si  $Tc_{i\text{calculado}} \neq T_c/6$  se hace una nueva iteración, con una longitud  $L_i$  diferente, hasta lograr que  $Tc_{i\text{calculado}} = T_c/6$

# PROCEDIMIENTO

Dividir la cuenca en varias subcuenca  
(trazado de isocronas)

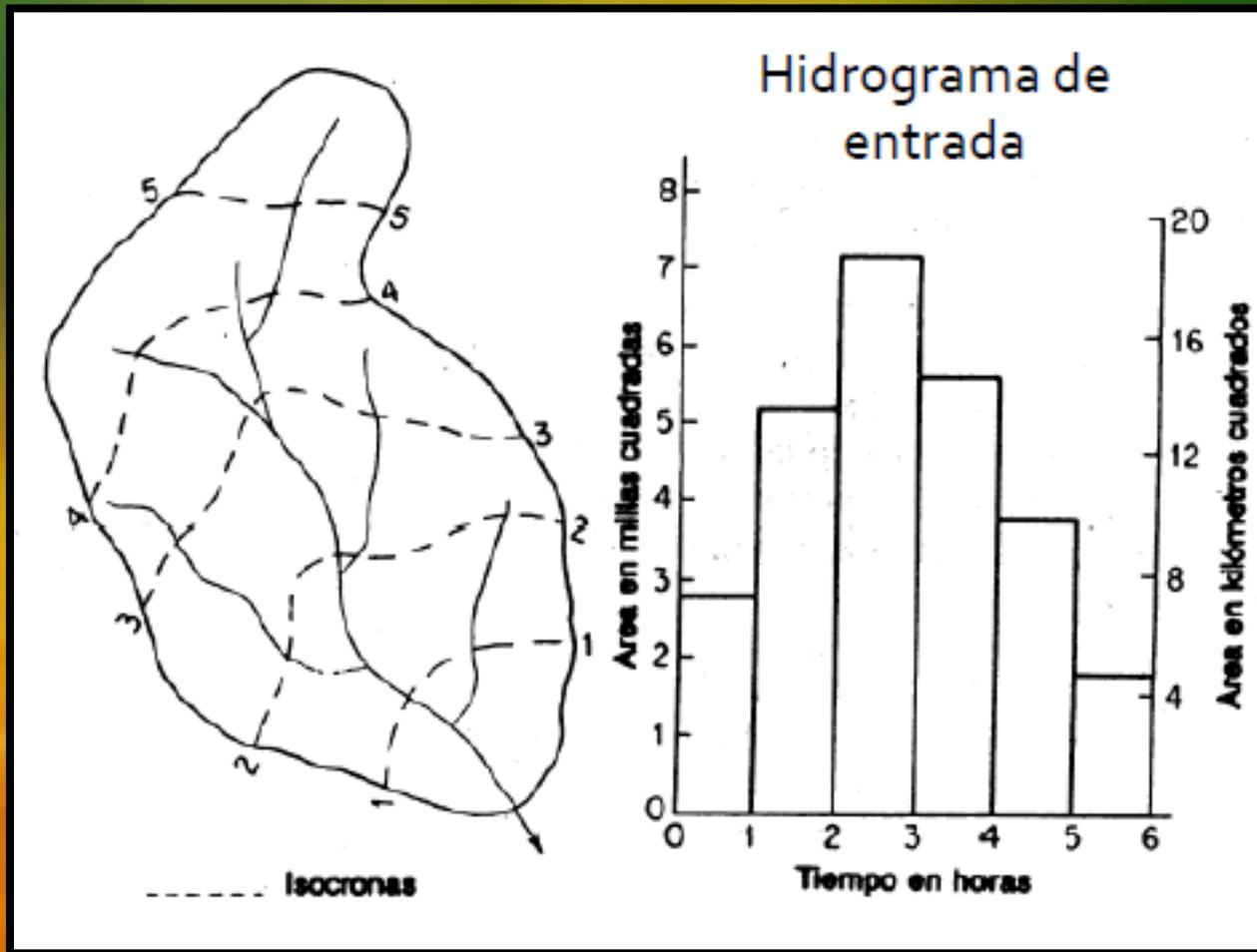
Construir la relación tiempo - área

Obtenido el hidrograma de salida, corregir sus unidades  
(Multiplicar por FC).

Transitar el hidrograma de entrada a través del embalse ficticio

Hidrograma Unitario Instantáneo (HUI)

# RELACIÓN TIEMPO – AREA (HIDROGRAMA DE ENTRADA)



# PROCEDIMIENTO

Dividir la cuenca en varias subcuenca  
(trazado de isocronas)

Construir la relación tiempo - área

Obtenido el hidrograma de salida, corregir sus unidades  
(Multiplicar por FC).

Transitar el hidrograma de entrada a través del embalse ficticio

Hidrograma Unitario Instantáneo (HUI)

# TRÁNSITO POR EMBALSE FICTICIO

- ECUACIÓN DE MUSKINGUM

$$O_2 = C_0 I_1 + C_1 I_2 + C_2 O_1$$

donde

$O_2$ : Caudal de salida al final del intervalo  $\Delta t$ .

$O_1$ : Caudal de salida al inicio del intervalo  $\Delta t$ .

$I_1$ : Caudal de entrada al inicio del intervalo  $\Delta t$ .

$I_2$ : Caudal de entrada al final del intervalo  $\Delta t$ .

$C_0$ ,  $C_1$  y  $C_2$ : Coeficientes de tránsito.

# TRÁNSITO POR EMBALSE FICTION

- COEFICIENTES DE TRÁNSITO

$$C_0 = \frac{0,5\Delta t - KX}{K + 0,5\Delta t - KX}$$

$$C_1 = \frac{0,5\Delta t + KX}{K + 0,5\Delta t - KX}$$

$$C_2 = \frac{K - 0,5\Delta t - KX}{K + 0,5\Delta t - KX}$$

Donde

X = 0, para embalse (ficticio)

K = 0,6Tc

Δt: Intervalo entre isocronas.

# TRÁNSITO POR EMBALSE FICTION

- COEFICIENTES DE TRÁNSITO (Método de C.O. Clark)

$$C_0 = C_1 = \frac{0,5\Delta t}{K+0,5\Delta t}$$

$$C_2 = \frac{K-0,5\Delta t}{K+0,5\Delta t}$$

# PROCEDIMIENTO

Dividir la cuenca en varias subcuenca  
(trazado de isocronas)

Construir la relación tiempo - área

Obtenido el hidrograma de salida, corregir sus unidades  
(Multiplicar por FC).

Transitar el hidrograma de entrada a través del embalse ficticio

Hidrograma Unitario Instantáneo (HUI)

# CORRECCIÓN DE UNIDADES

- El hidrograma obtenido hasta ahora aun no tiene las unidades de caudal, es por ello que los valores deben ser afectados por el siguiente factor de corrección (FC):

$$FC = \frac{Pe * A}{100 * \Delta t}$$

Pe: Precipitación efectiva en m.

A: Área de la cuenca en  $m^2$

$\Delta t$ : Intervalo de tiempo entre isocronas en segundos.

# OBTENCIÓN DEL HIDROGRAMA DE ESCORRENTÍA DIRECTA A PARTIR DEL HUI

- Para obtener los caudales generados por una tormenta de cualquier duración, utilizando el HUI, es necesario transformar la lluvia en precipitación instantánea

# EJEMPLO

- Obtener el HUI para la cuenca de un río con un tiempo de concentración de 4 horas, un área de  $450 \text{ km}^2$ , y las subcuenca se dividen de la siguiente manera:

Tiempo (h)	Área ( $\text{km}^2$ )
0 - 1	75
1 - 2	134
2 - 3	123
3 - 4	118

# EJEMPLO...

- Adicionalmente se pide estimar el hidrograma de escorrentía directa (Hed) generado en dicha cuenca por la tormenta mostrada en la tabla, considerando un índice de infiltración de 3,5 mm/h :

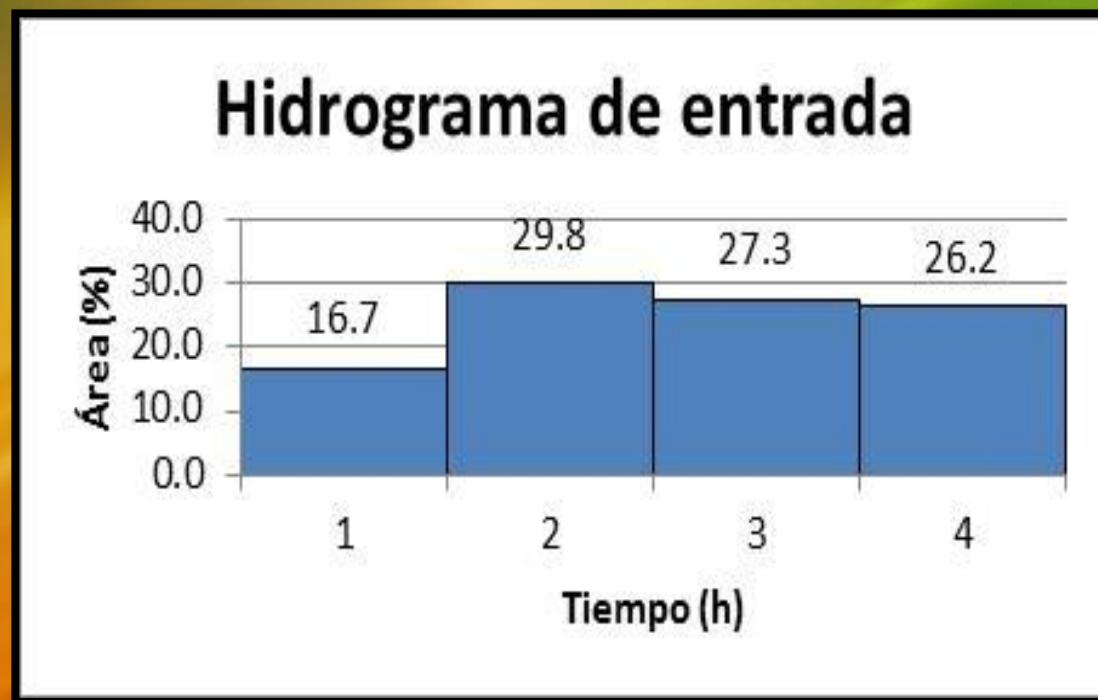
Tiempo (h)	Intensidad (mm/h)
0 - 1	4
1 - 2	5
2 - 3	3

# SOLUCIÓN

- Las isocronas trazadas, indican las áreas de cada subcuenca, resultando ser los siguientes valores:

Tiempo (h)	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
0 - 1	75	16,7
1 - 2	134	29,8
2 - 3	123	27,3
3 - 4	118	26,2
<b>TOTAL</b>	<b>450 km<sup>2</sup></b>	<b>100%</b>

- La relación tiempo - área estimada previamente, representa el hidrograma de entrada a la cuenca del río



# TRÁNSITO DEL HIDROGRAMA DE ENTRADA A TRAVÉS DE LA CUENCA...

- ECUACIÓN DE MUSKINGUM

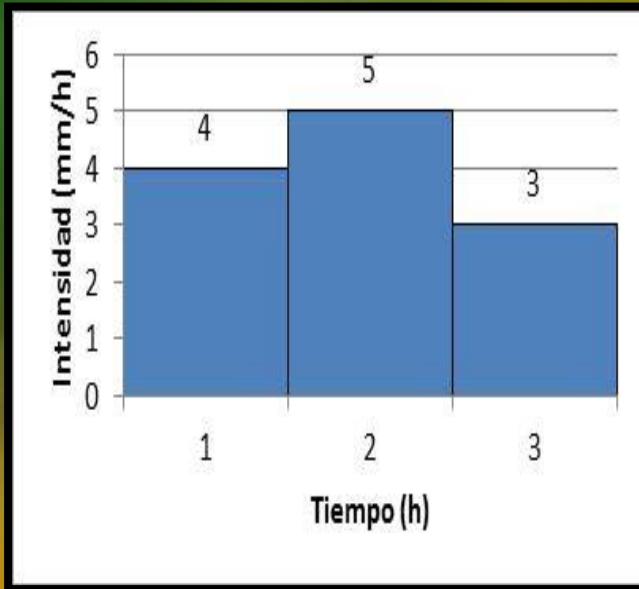
$$O_2 = C_0 I_1 + C_1 I_2 + C_2 O_1$$

$$\text{Si } C_0 = C_1 \quad \text{y} \quad I_1 = I_2$$

$$O_2 = 2C_0 I + C_2 O_1$$

T (h)	I (%Area)	2C <sub>0</sub> *I	C <sub>2</sub> *O <sub>1</sub>	O <sub>2</sub>	HUI (m <sup>3</sup> /s*mm)
0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	16.7	5.75	0.00	5.75	7.18
2	29.8	10.27	3.77	14.03	17.54
3	27.3	9.43	9.19	18.62	23.27
4	26.2	9.04	12.20	21.24	26.55
5			13.92	13.92	17.40
6			9.12	9.12	11.40
7			5.97	5.97	7.47
8			3.91	3.91	4.89
9			2.56	2.56	3.21
10			1.68	1.68	2.10
11			1.10	1.10	1.38
12			0.72	0.72	0.90
13			0.47	0.47	0.59
14			0.31	0.31	0.39
15			0.20	0.20	0.25
16			0.13	0.13	0.17
17			0.09	0.09	0.11
18			0.06	0.06	0.07
19			0.04	0.04	0.05
20			0.02	0.02	0.03
21			0.02	0.02	0.02
22			0.01	0.01	0.01
23			0.01	0.01	0.01

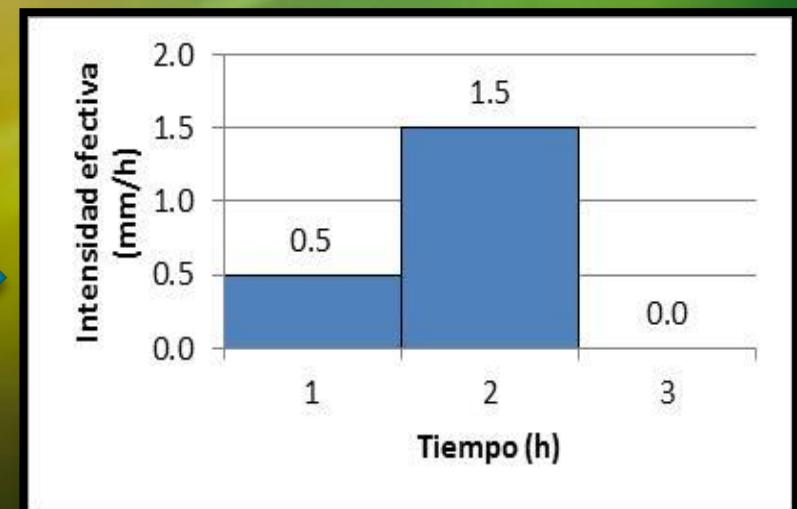
# Obtención del hidrograma de crecida o de Escorrentía Directa (Hed), a partir del HUI



Tiempo (h)	Intensidad (mm/h)
1	4
2	5
3	3



Al restarle el índice de infiltración, se obtiene la intensidad efectiva



T (h)	HUI ( $m^3/s*mm$ )	HUIx0,25	HUIx1,00	HUIx0,75	Hed ( $m^3/s$ )
0	0.00	0.00			0.00
1	7.18	1.80	0.00		1.80
2	17.54	4.39	7.18	0.00	11.57
3	23.27	5.82	17.54	5.39	28.75
4	26.55	6.64	23.27	13.16	43.07
5	17.40	4.35	26.55	17.46	48.36
6	11.40	2.85	17.40	19.91	40.16
7	7.47	1.87	11.40	13.05	26.31
8	4.89	1.22	7.47	8.55	17.24
9	3.21	0.80	4.89	5.60	11.29
10	2.10	0.53	3.21	3.67	7.40
11	1.38	0.34	2.10	2.40	4.85
12	0.90	0.23	1.38	1.58	3.18
13	0.59	0.15	0.90	1.03	2.08
14	0.39	0.10	0.59	0.68	1.36
15	0.25	0.06	0.39	0.44	0.89
16	0.17	0.04	0.25	0.29	0.59
17	0.11	0.03	0.17	0.19	0.38
18	0.07	0.02	0.11	0.12	0.25
19	0.05	0.01	0.07	0.08	0.16
20	0.03	0.01	0.05	0.05	0.11
21	0.02	0.01	0.03	0.04	0.07
22	0.01	0.00	0.02	0.02	0.05
23	0.01	0.00	0.01	0.02	0.03

# REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Fatorrelli, S., y Fernández, P. (2007). Diseño Hidrológico. Zeta Editores. Mendoza - Argentina.
- Ramírez, M. (2003). *Hidrología Aplicada*. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería. Mérida - Venezuela.