

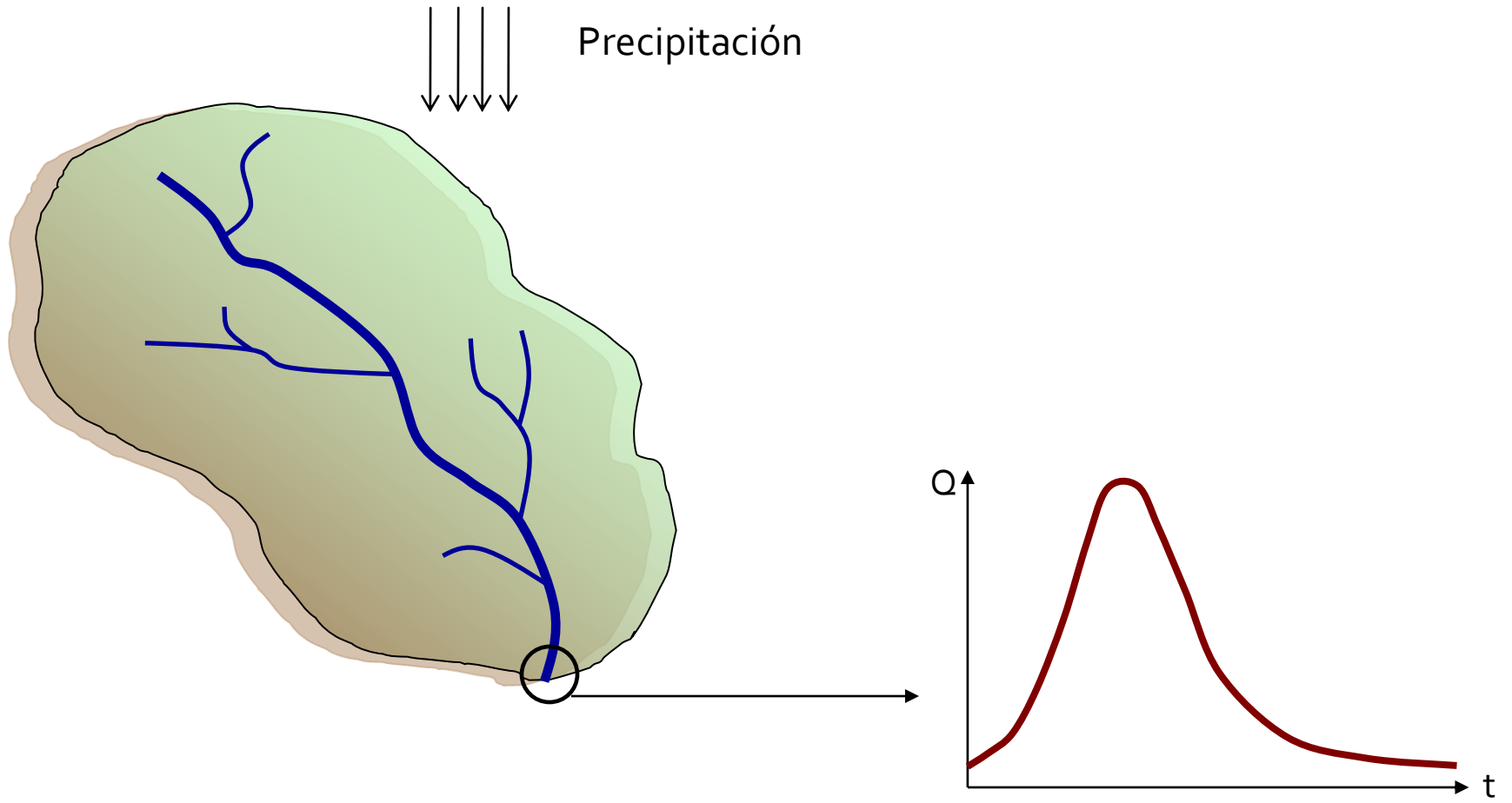
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CIVIL
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA Y SANITARIA
HIDROLOGÍA

HIDROGRAMAS

HIDROGRAMA

- “El hidrograma representa la variación de las descargas de una corriente con respecto al tiempo, en una sección determinada del curso de agua.”

HIDROGRAMA



FUENTE: Ovalles, Yajaira. 2008.

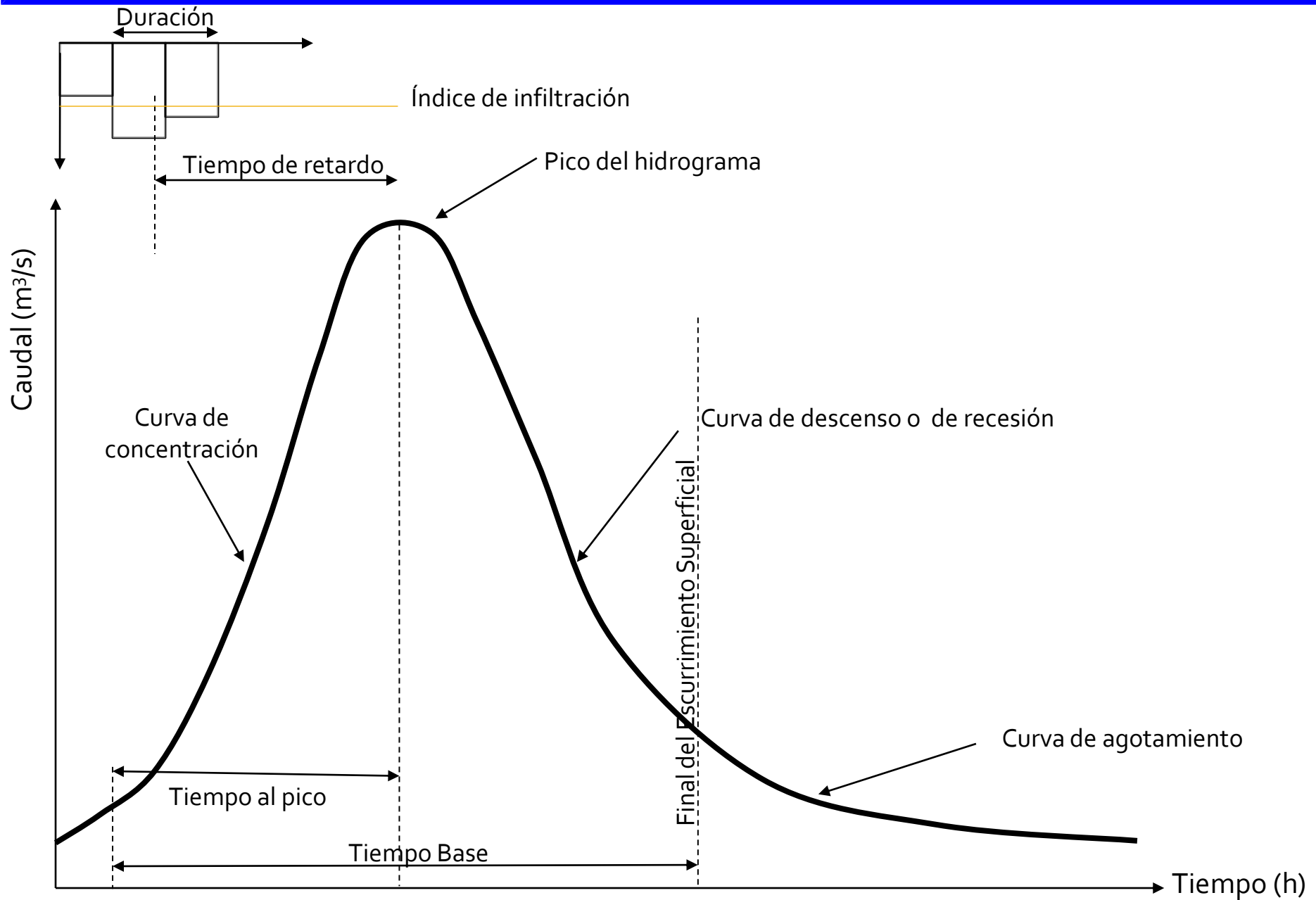
EL HIDROGRAMA

Las ordenadas del hidrograma son gastos instantáneos (m^3/s , l/s y pies^3/s) y las abscisas corresponden al tiempo (minutos, horas, días, meses o años)

El área bajo la curva del hidrograma (es decir su integral) representa un volumen cuando la ordenada se expresa en términos de gasto, como por ejemplo m^3s .

Los factores que influyen en la forma del hidrograma son: Magnitud de precipitación, duración de la tormenta, área de la cuenca, forma de la cuenca, capacidad de almacenaje de la cuenca (topografía, cobertura vegetal, tipo de suelo, entre otros)

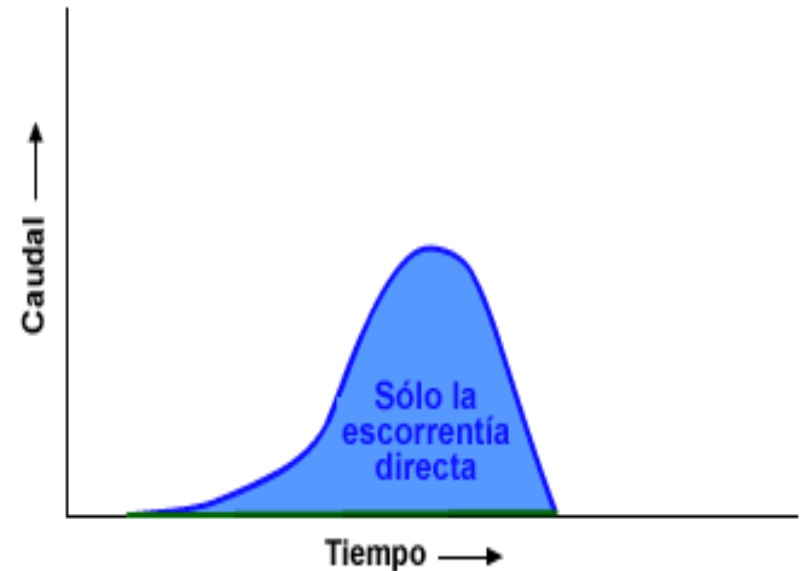
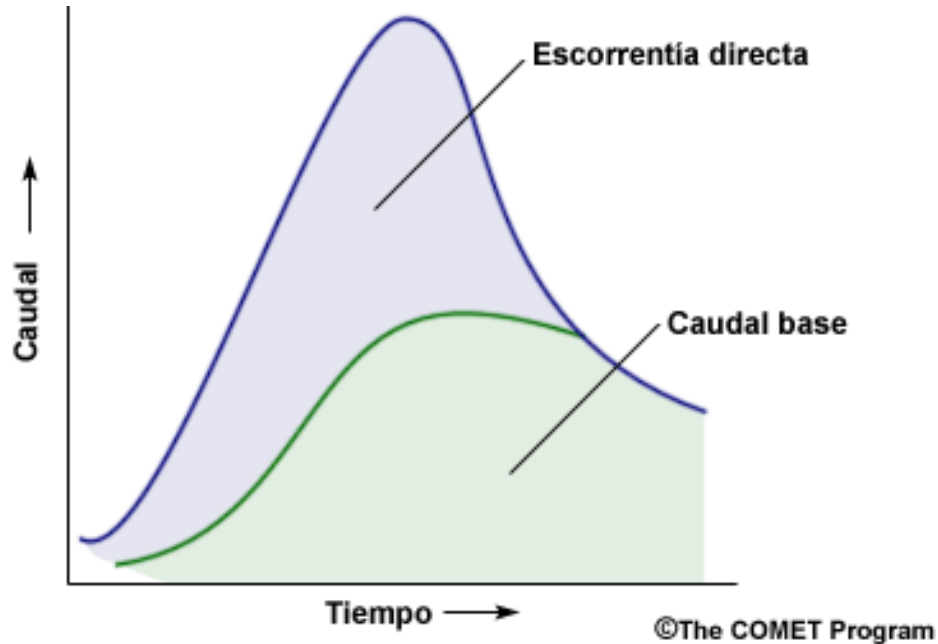
PARTES DE UN HIDROGRAMA



PARAMETROS DE FORMA DEL HIDROGRAMA

- ◆ **Pico del hidrograma (q_p)**, valor máximo de la escorrentía.
- ◆ **Tiempo al pico (t_p)**, tiempo entre el inicio de la escorrentía y la ocurrencia del pico del hidrograma
- ◆ **Tiempo de recesión (t_r)**, tiempo desde el inicio de la recesión hasta el final de la misma
- ◆ **Tiempo base (t_b)**, tiempo transcurrido desde el inicio de la crecida hasta el final de la escorrentía directa, por lo tanto es el tiempo total del hidrograma de escorrentía
- ◆ **Volumen de la escorrentía (Q)**, es el área debajo del hidrograma y se expresa en m^3 o l
- ◆ **Precipitación efectiva (P_e)**, es la porción de la precipitación que se transforma en escurrimiento Esta comienza después que la tasa de infiltración sea menor que la intensidad de lluvia y termina cuando la intensidad de la lluvia se hace menor que la tasa de infiltración
- ◆ **Duración de la precipitación efectiva (D)**, tiempo transcurrido entre el inicio y el final de la lluvia efectiva
- ◆ **Abstracciones o pérdidas iniciales (I_a)**, porción de la precipitación que ocurre antes del inicio de la escorrentía
- ◆ **Tiempo de retardo o respuesta (t_L)**, es el tiempo entre la mitad de la duración de la lluvia efectiva y el tiempo al pico.
- ◆ **Puntos de inflexión**, ocurren en la recesión y coinciden con los cambios de dirección de la curva de recesión. El primer punto de recesión indica el fin del escurrimiento y el segundo el fin de la escorrentía directa
- ◆ **Tiempo de concentración (t_c)**, tiempo entre el final de la lluvia efectiva y el primer punto de inflexión

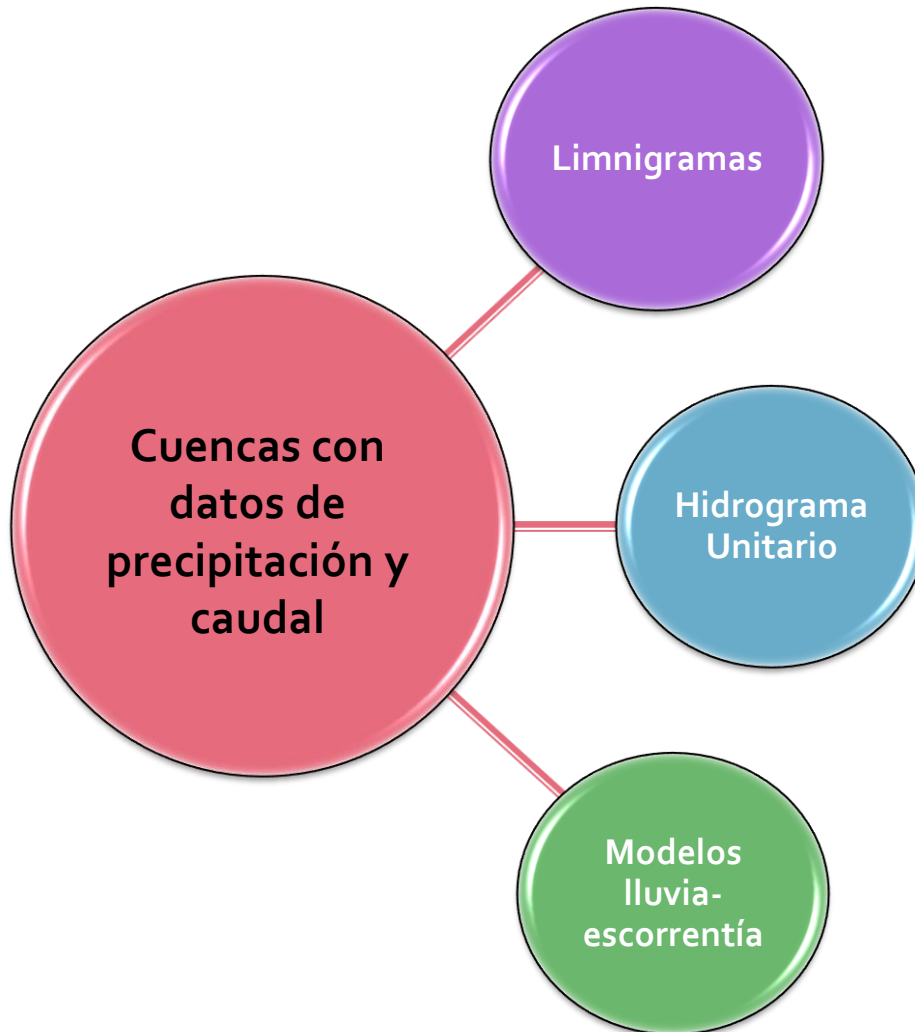
SEPARACIÓN DEL CAUDAL BASE



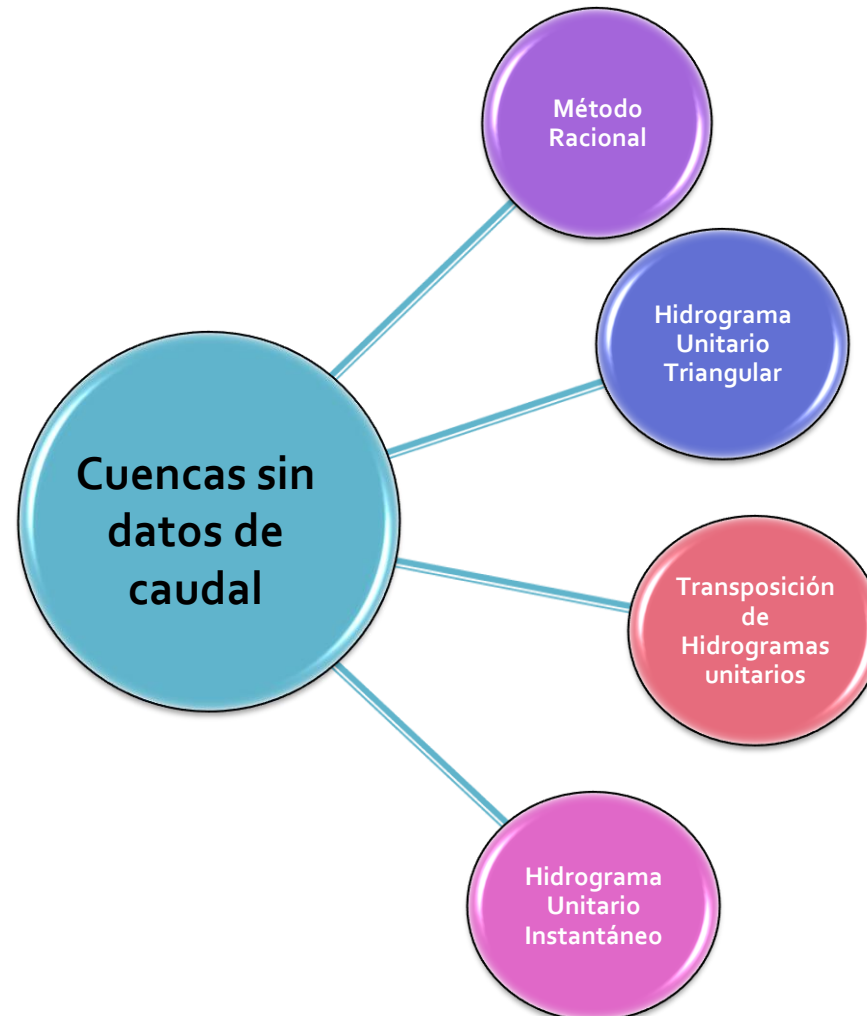
SEPARACIÓN DEL CAUDAL BASE

- Método estimado
- Método empírico
- Método simplificado

OBTENCIÓN DE UN HIDROGRAMA



OBTENCIÓN DE UN HIDROGRAMA



OBTENCIÓN DE HIDROGRAMA

- EN CUENCAS CON INFORMACIÓN
 - HIDROGRAMA UNITARIO

Es un hidrograma generado en una cuenca por una tormenta de precipitación efectiva unitaria e intensidad horaria uniforme sobre toda el área de la cuenca.

HIDROGRAMA UNITARIO

Datos de entrada básicos para derivar un hidrograma unitario

Hidrograma de caudal



Área de la cuenca



Lluvia promedio sobre la cuenca



Duración del exceso de lluvia



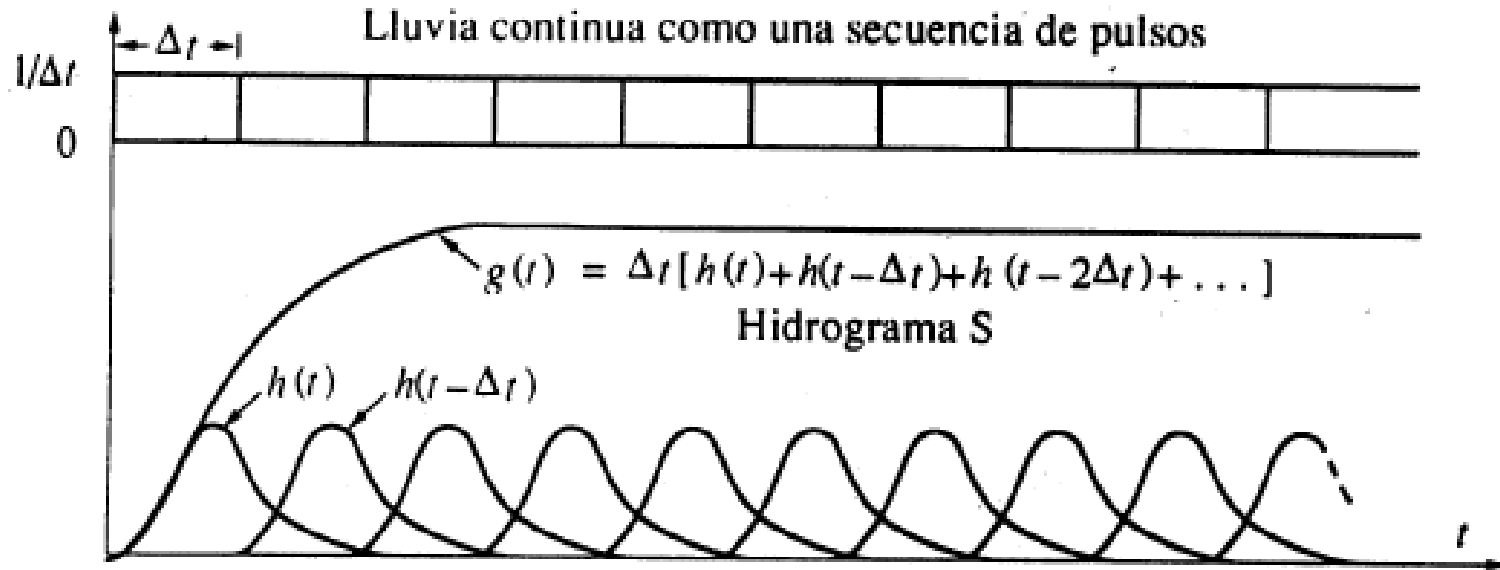
HIDROGRAMA UNITARIO

- Seleccionar la tormenta para la cuenca en estudio
- Separar el caudal base del caudal de escorrentía directa
- Calcular el volumen de escorrentía directa
- Determinar la precipitación efectiva
- Estimar el hidrograma unitario
- Determinar la duración efectiva

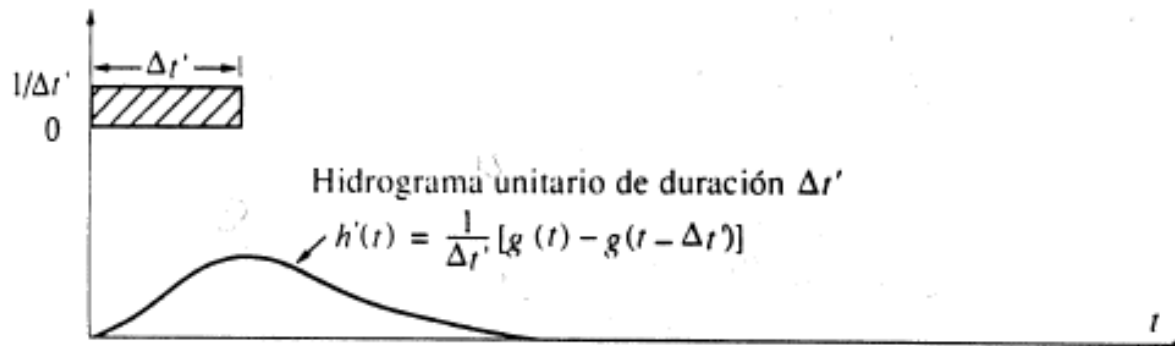
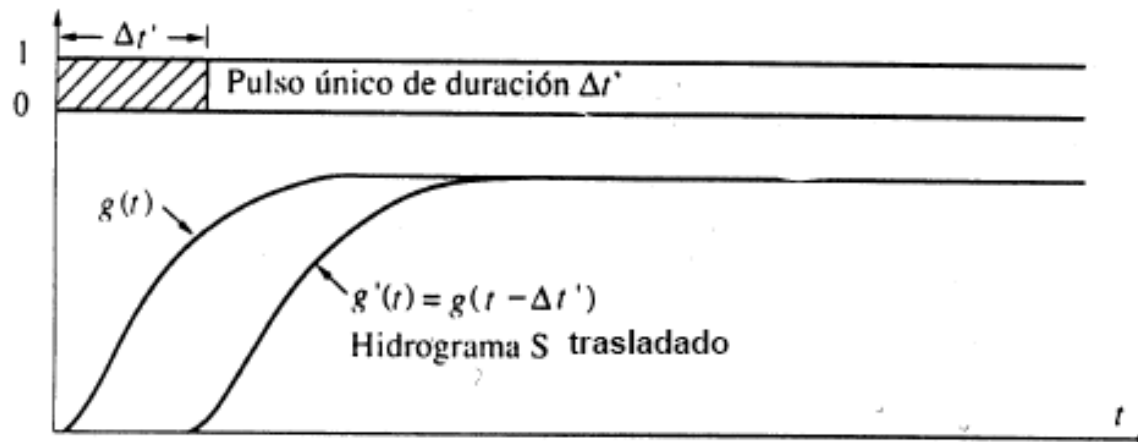
MÉTODO DE SHERMAN O CURVA "S"

- El método se basa en la curva "S" o curva de Sherman, que es el resultado de sumar una serie infinita de incrementos de escorrentía unitaria de n horas de duración, desplazado cada uno de ellos n horas con respecto al anterior

MÉTODO DE SHERMAN O CURVA "S"



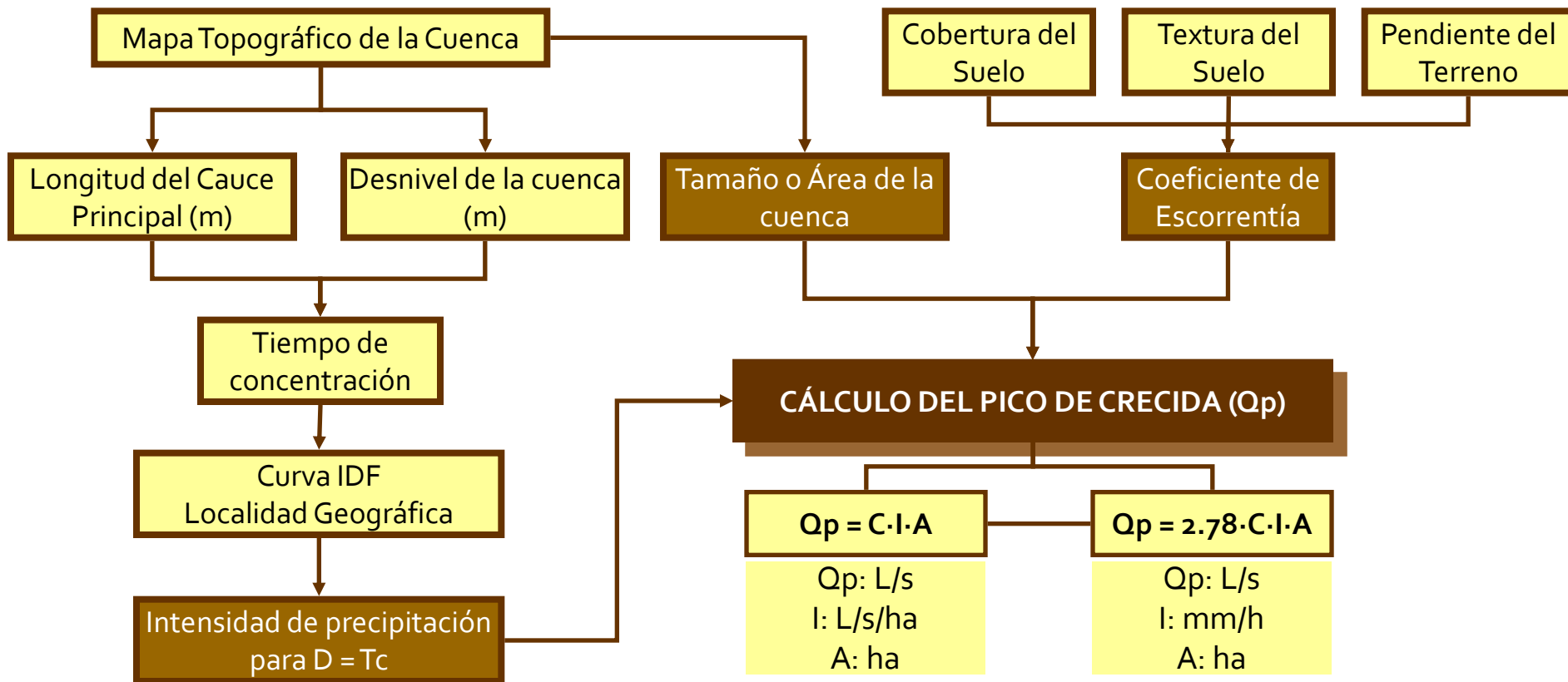
MÉTODO DE SHERMAN O CURVA "S"



OBTENCIÓN DE HIDROGRAMAS

- EN CUENCAS SIN INFORMACIÓN
 - MÉTODO RACIONAL
 - HIDROGRAMA TRIANGULAR
 - TRANSPOSICIÓN DE HIDROGRAMAS UNITARIOS DE UNA CUENCA A OTRA
 - HIDROGRAMA UNITARIO INSTANTÁNEO (C.O. CLARK)

MÉTODO RACIONAL



MÉTODO RACIONAL

COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA "C"						
COBERTURA VEGETAL	TIPO DE SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		Pronunciada	Alta	Media	Suave	Despreciable
		50%	20%	5%	1%	
Sin Vegetación	Impermeable	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	Semipermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Permeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
Cultivos	Impermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Semipermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
Pastos Vegetación ligera	Impermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semipermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
Hierba, grama	Impermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Semipermeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	Permeable	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
Bosques Densa Vegetación	Impermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Semipermeable	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	Permeable	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

NOTA: Para zonas que se espera puedan ser quemadas se deben aumentar los coeficientes así:

Cultivos: multiplicar por 1.10

Hierba, pastos, y vegetación ligera, bosques y densa vegetación: multiplicar por 1.30

HIDROGRAMA TRIANGULAR

- Se basa en la hipótesis de que un hidrograma puede ser representado por un diagrama triangular.

HIDROGRAMA TRIANGULAR

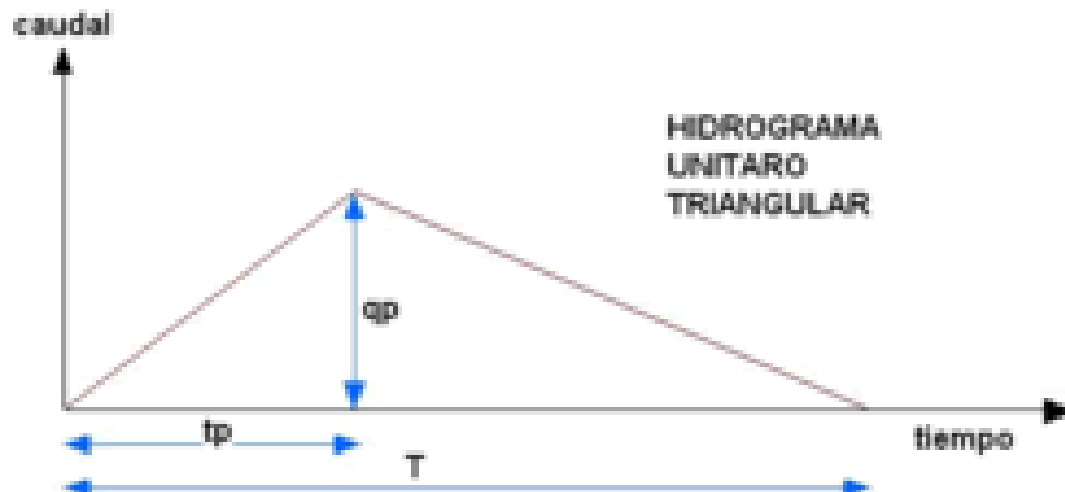


$$B = 1.67T_p$$

$$T_b = B + T_p$$

$$T_b = 1.67T_p + T_p$$

$$T_b = 2.67T_p$$



$$T_p = D/2 + T_l$$

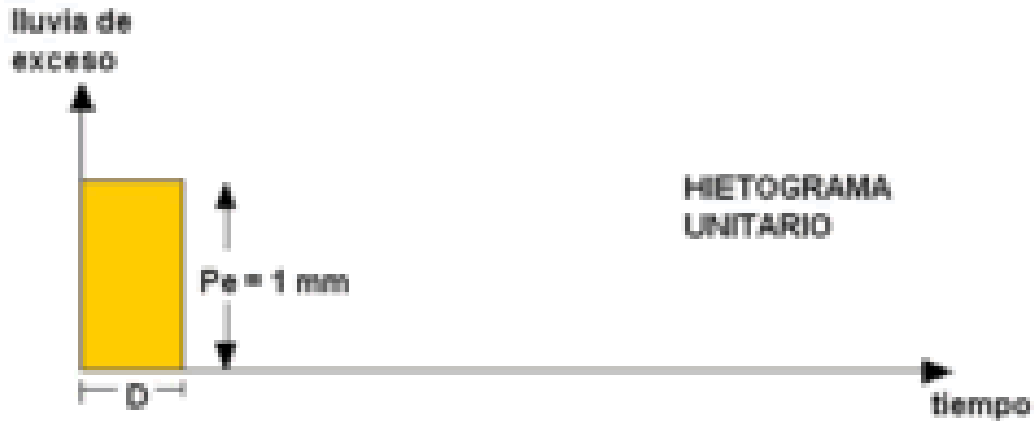
$$T_l = 0.6T_c$$

$$D = T_c$$

$$T_p = 0.5T_c + 0.6T_c$$

$$T_p = 1.1T_c$$

HIDROGRAMA TRIANGULAR



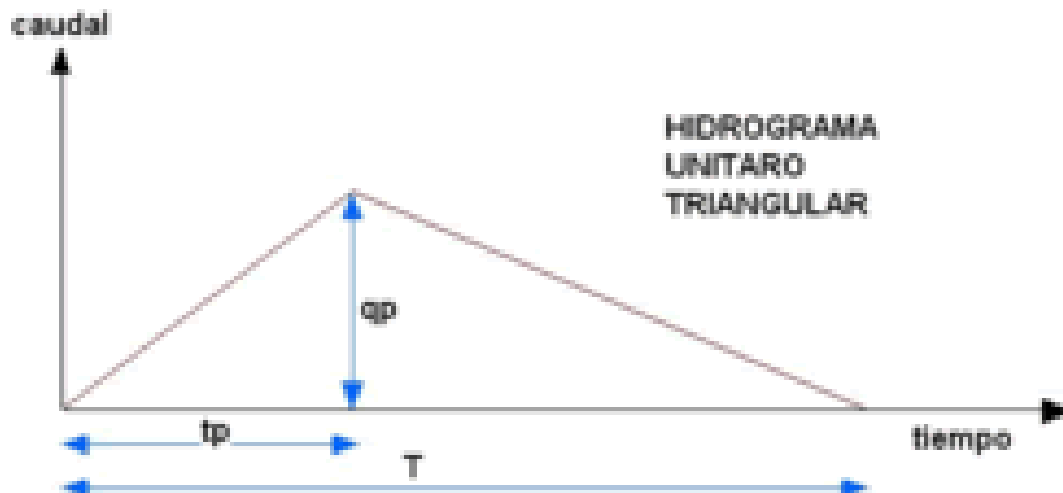
Ve: Volumen Escorrentía

$$Ve = (Tb \times Qp)/2$$

$$Qp = 2Ve/Tb$$

$$Qp = 2Ve/(2.67Tp)$$

$$Qp = 2Ve/(2.67(1.1Tc))$$

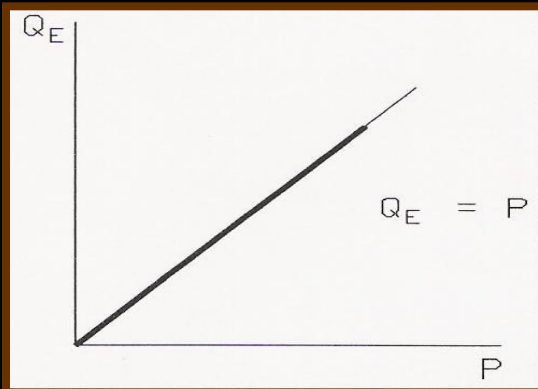


Ve = Pe x Acuenca

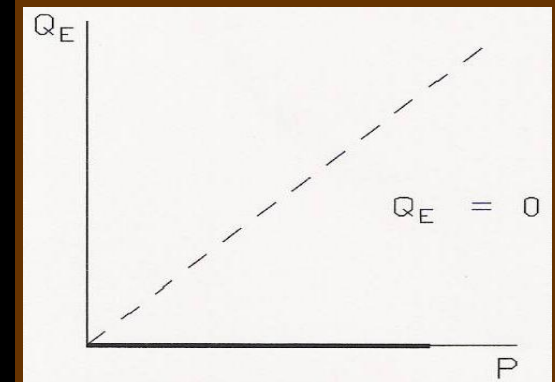
Pe: Precipitación efectiva obtenida por el método del número de curva

MÉTODO DEL NÚMERO DE CURVA

Este método fue elaborado por U.S. Soil Conservation Service y se basa en la estimación directa de la escorrentía superficial de una lluvia aislada a partir de las características del suelo, uso del mismo y de su cubierta vegetal.

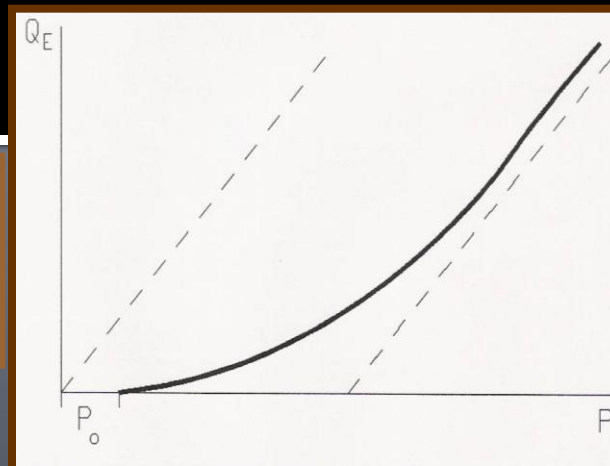


En un complejo suelo – vegetación totalmente impermeable toda la precipitación se convierte en escorrentía superficial.



En un complejo totalmente permeable no daría escorrentía superficial ante una precipitación, sea cual sea su valor

Entre dichos casos extremos, podemos tener infinitas respuestas de escorrentía superficial ante una precipitación según el tipo de asociación suelo - vegetación



MÉTODO DEL NÚMERO DE CURVA

GRUPO A (Bajo Potencial de Escorrentía)

Es el que ofrece menor escorrentía. Incluye los suelos que presentan gran permeabilidad, incluso cuando están saturados, comprendiendo los terrenos profundos, sueltos, con predominio de arena o grava y muy poco limo o arcilla.

GRUPO B (Moderadamente Bajo Potencial de Escorrentía)

Incluye los suelos con infiltración moderada cuando están saturados, presentan moderada permeabilidad, aún cuando muy húmedos, comprenden los terrenos arenosos menos profundos que los del Grupo A, aquellos otros de textura franco – arenosa de mediana profundidad y los francos profundos.

GRUPO C (Moderadamente Alto Potencial de Escorrentía)

Incluye los suelos que ofrecen poca permeabilidad cuando están saturados, porque presentan un estrato impermeable que dificulta la infiltración o porque en conjunto su textura es franco – arcillosa o arcillosa.

GRUPO D (Alto Potencial de Escorrentía)

Incluye los suelos que presentan gran impermeabilidad, tales como los terrenos muy arcillosos y profundos, terrenos que presentan en la superficie o cerca de la misma una capa de arcilla muy impermeable y aquellos con subsuelo muy impermeable próximo a la superficie.

MÉTODO DEL NÚMERO DE CURVA

Cuadro B1.2
Número de Curva, CN, para condición promedio (Ia=0.2 S)

USO DE LA TIERRA	TRATAMIENTO O PRACTICA	CONDICIÓN HIDROLOGICA	NUMERO DE CURVA PARA GRUPO DE SUELOS			
			A	B	C	D

Tierras Agrícolas Cultivadas

Barbecho	Hileras rectas		77	86	91	94
	Labranza Conservacionista (LC)	mala	76	85	90	93
Labranza Conservacionista (LC)	buena	74	83	88	90	

Cultivos en hileras anchas (Ej: maíz)	hileras rectas	mala	72	81	88	91
	hileras rectas	buena	67	78	85	89
	Labranza Conservacionista (LC)	mala	71	80	87	90
	Labranza Conservacionista (LC)	buena	64	75	82	85
	Curvas de nivel (CN)	mala	70	79	84	88
	Curvas de nivel (CN)	buena	65	75	82	86
	Curvas de nivel (CN) & LC	mala	69	78	83	87
	Curvas de nivel (CN) & LC	buena	64	74	81	85
	CN & Terrazas	mala	66	74	80	82
	CN & Terrazas	buena	62	71	73	81
	CN & Terrazas & LC	mala	65	73	77	80

Cultivos en hileras estrechas (granos peq.) (Ej. Trigo)	hileras rectas	mala	72	81	83	91
	hileras rectas	buena	67	78	85	89
	Labranza Conservacionista (LC)	mala	71	80	87	90
	Labranza Conservacionista (LC)	buena	64	75	82	85
	Curvas de nivel (CN)	mala	70	79	84	88
	Curvas de nivel (CN)	buena	65	75	82	86
	Curvas de nivel (CN) & LC	mala	69	78	83	87
	Curvas de nivel (CN) & LC	buena	64	74	81	85
	CN & Terrazas	mala	66	74	80	82
	CN & Terrazas	buena	62	71	73	81
	CN & Terrazas & LC	mala	65	73	77	80

Hileras continuas, voleo pastos en rotación (Ej: alfalfa)	hileras rectas	mala	66	77	85	89
	hileras rectas	buena	58	72	81	85
	Curvas de nivel (CN)	mala	64	75	83	85
	Curvas de nivel (CN)	buena	55	69	78	83
	CN & Terrazas	mala	63	73	80	83
	CN & Terrazas	buena	51	67	76	80

Tierras Agrícolas no Cultivadas

Pastos sembrados o pastos naturales (pastoreo)	sin tratamiento mecánico	mala	63	79	86	89
	sin tratamiento mecánico	regular	49	69	79	84
	sin tratamiento mecánico	buena	39	61	74	80
	curvas de nivel (CN)	mala	47	67	81	88
	curvas de nivel (CN)	regular	25	59	75	83
	curvas de nivel (CN)	buena	6	35	70	79

Cuadro B.12 (cont.)

USO DE LA TIERRA	TRATAMIENTO O PRACTICA	CONDICIÓN HIDROLOGICA	NUMERO DE CURVA PARA GRUPO DE SUELOS			
			A	B	C	D

Pastos de Corte		30	58	71	75
-----------------	--	----	----	----	----

Plantaciones forestales huertas, coníferas o deciduos	mala	55	73	82	86
	regular	44	65	76	82
	buena	32	58	72	79

Malezas	mala	48	67	77	83
	buena	20	48	65	73

Bosques	mala	45	66	77	83
	regular	36	60	73	79
	buena	25	55	70	77

Bosques -malezas hierbas	mala		79	86	92
	regular		71	80	89
	buena		61	74	84

Cultivos Permanentes tropicales

Café	sin cobertura superficial	48	68	79	83
	cobertura superficial + terrazas	22	52	68	75

Caña de azúcar	quema - residuos, hileras rectas	43	65	77	82
	mulch- residuos, hileras rectas	45	66	77	83
	en hoyos en contorno	24	53	69	76
	en surcos, en contorno	32	58	72	79

Terrenos urbanizados con vegetación establecida

Gramados, parques, cementerios etc.	mas de 75% cobertura	buena	39	61	74	80
	50 a 75% cobertura	regular	49	69	79	84
	menos de 50% cobertura	mala	68	79	86	89

Estacionamientos, techos, etc.		98	98	98	98
--------------------------------	--	----	----	----	----

Calles y carreteras	Pavimentadas con cunetas y cloacas	98	98	98	98
	engranzonadas	76	85	89	91
	tierra	72	82	87	89
	pavimentadas con zanjas	83	89	92	93

Áreas residenciales, comerciales e industriales	85% impermeable	89	92	94	95
	72 % impermeable	81	88	91	93
	65 % impermeable	77	85	90	92

Áreas recién niveladas		72	86	91	94
------------------------	--	----	----	----	----

MÉTODO DEL NÚMERO DE CURVA

CN para condición II	CN para condiciones		CN para Condición II	CN para condiciones	
	I	III		I	III
100	100	100	60	40	78
99	97	100	59	39	77
98	94	99	58	38	76
97	91	99	57	37	75
96	89	99	56	36	75
95	87	98	55	35	74
94	85	98	54	34	73
93	83	98	53	33	72
92	81	97	52	32	71
91	80	97	51	31	70
90	78	96	50	31	70
89	76	96	49	30	69
88	75	95	48	29	68
87	73	95	47	28	67
86	72	94	46	27	66
85	70	94	45	26	65
84	68	93	44	25	64
83	67	93	43	25	63
82	66	92	42	24	62
81	64	92	41	23	61
80	63	91	40	22	60
79	62	91	39	21	59
78	60	90	38	21	58
77	59	89	37	20	57
76	58	89	36	19	56
75	57	88	35	18	55
74	55	88	34	18	54
73	54	87	33	17	53
72	53	86	32	16	52
71	52	86	31	16	51
70	51	85	30	15	50
69	50	84			
68	48	84	25	12	43
67	47	83	20	9	37
66	46	82	15	6	30
65	45	82	10	4	22
64	44	81	5	2	13
63	43	80	0	0	0
62	42	79			
61	41	78			

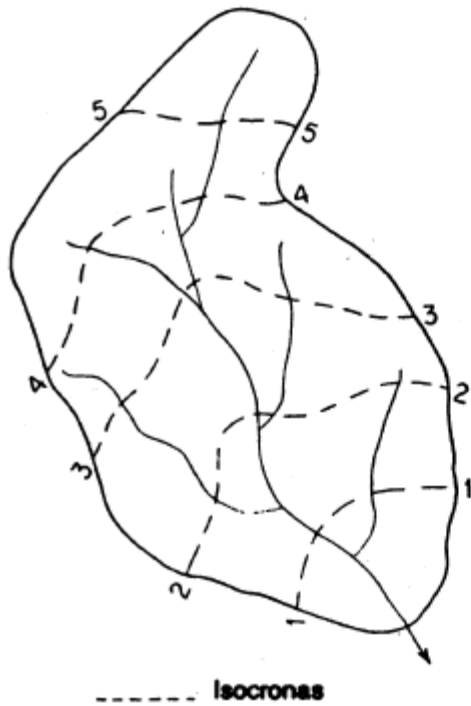
HIDROGRAMA UNITARIO DE CLARK

- El hidrograma unitario de Clark, tiene en cuenta el tránsito a través de la cuenca a través de las *curvas isócronas*. *Las curvas isócronas son curvas que unen los puntos de la cuenca que tienen igual tiempo de viaje*

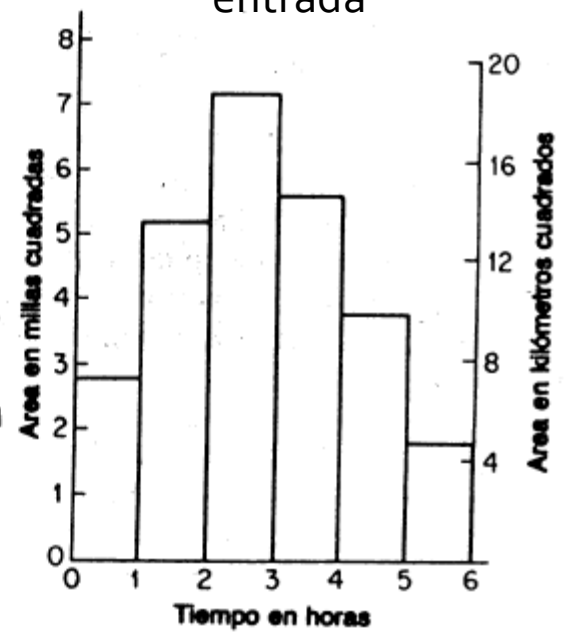
HIDROGRAMA UNITARIO DE CLARK

- Está basado en el principio de que el hidrograma total de una creciente es la suma de todos los hidrogramas aportados por las distintas subcuencas, **debidamente modificados por efecto del almacenaje en el río**

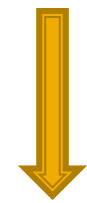
OBTENCIÓN DEL HIDROGRAMA UNITARIO DE CLARK



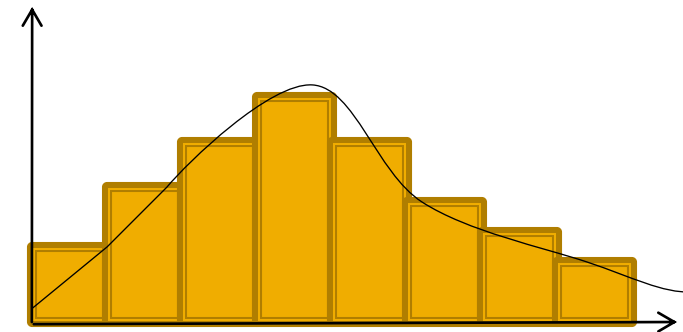
Hidrograma de entrada



Tránsito en un embalse ficticio

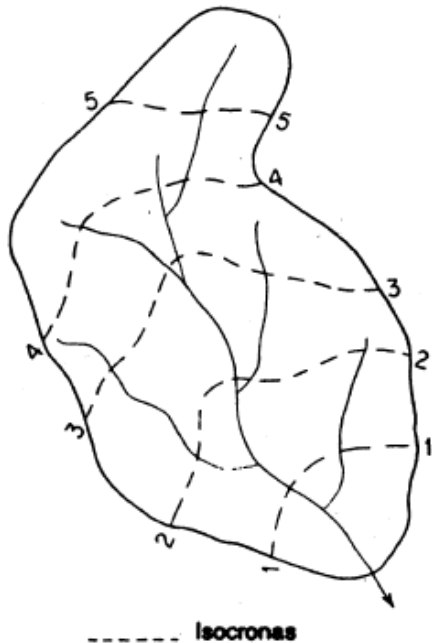


Hidrograma de salida



Trazado de Isócronas

- Dividir la longitud del cauce principal en tramos igual y cuyo número depende de la cantidad de isócronas a trazar

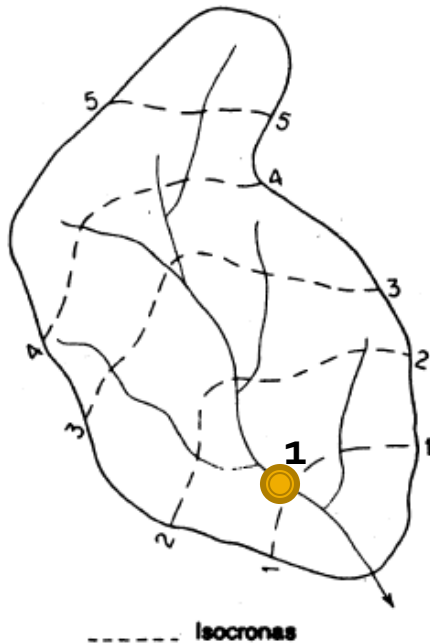


$$L_i = L_t/6$$

$$T_{c_i} = T_c/6$$

Trazado de Isócronas

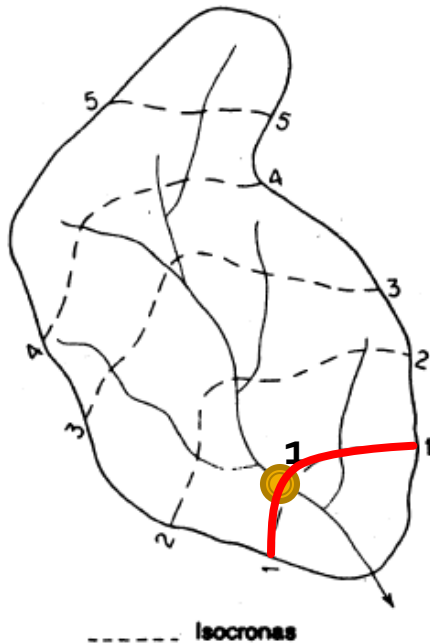
- Para el trazado de la primera isócrona, llevar la distancia L_i sobre el cauce principal, obteniendo el punto 1.



$$L_i = L_t/6$$

Trazado de Isócronas

- Para el punto 1 estimar el tiempo de concentración:

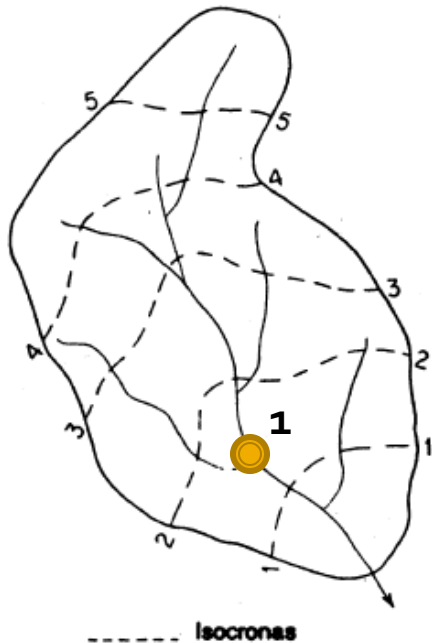


$$T_{c_i} = 0,9545(L_i^3/H_i)^{0,385}$$

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

Trazado de Isócronas

- Para el punto 1 estimar el tiempo de concentración:



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

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

$$T_{c_{i\text{calculado}}} = T_c/6$$