



POLITÉCNICA



TEMA 9: Escorrentías



MARTA GONZÁLEZ DEL TÁNAGO
UNIDAD DOCENTE DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA FORESTAL
E.T.S. DE INGENIEROS DE MONTES
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

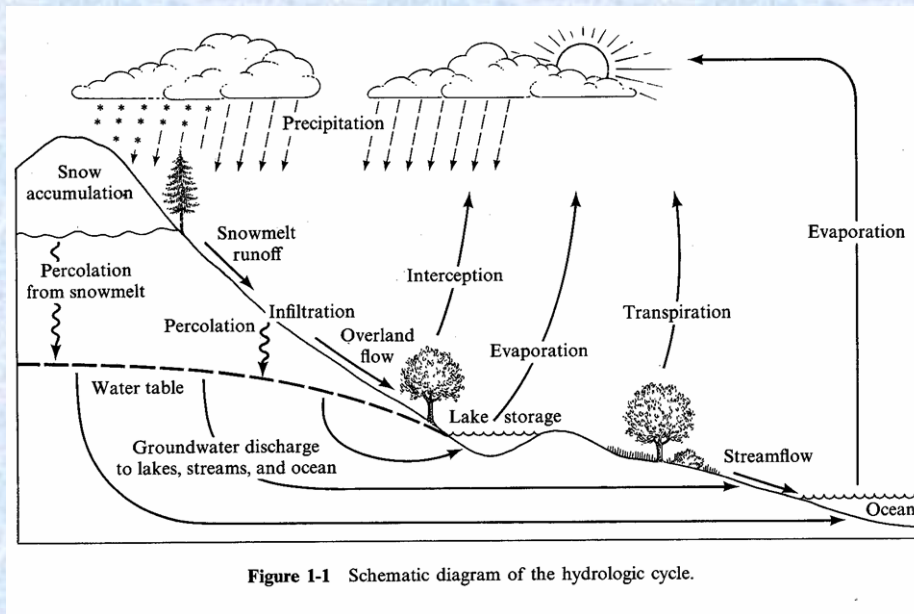


Figure 1-1 Schematic diagram of the hydrologic cycle.

Dunne & Leopold (1978)

- Importancia y significado hidrológico
- Movimiento del agua sobre una ladera: Tipos de escorrentías
- Medición y Unidades de las escorrentías
- Hidrogramas
- Tiempo de concentración de una cuenca
- Escorrentías en suelos con poca capacidad de infiltración
- Escorrentías en zonas húmedas (elevada capacidad de infiltración)

Concepto de escorrentía:

La escorrentía es el agua excedente de las precipitaciones, que se mueve sobre el suelo o a través del mismo y llega a los cauces superficiales, saliendo por ellos fuera de la cuenca vertiente.

Importancia y significado hidrológico:

Las escorrentías representan una proporción de agua relativamente pequeña, en relación a las precipitaciones que recibe la cuenca.

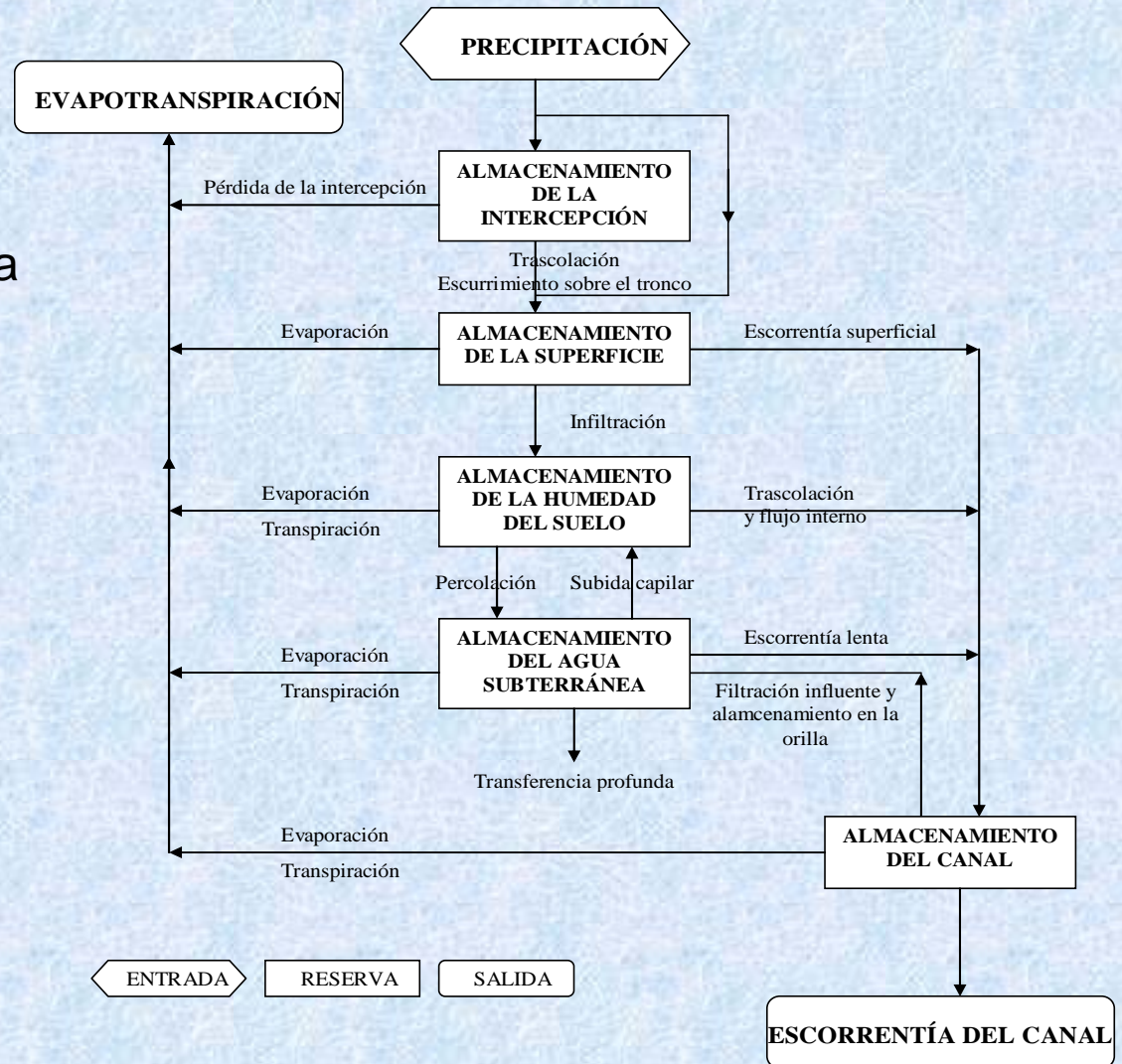
Cuanto mayor es la integridad hidrológica de una cuenca (mayor grado de conservación), la proporción de precipitaciones que pasa a escorrentías es menor.

La recuperación hidrológica de laderas y cauces tiende a hacer máxima la capacidad de almacenamiento de agua dentro de la cuenca, y a favorecer la salida de aquélla vía evapotranspiración, haciendo mínima la salida vía escorrentía.



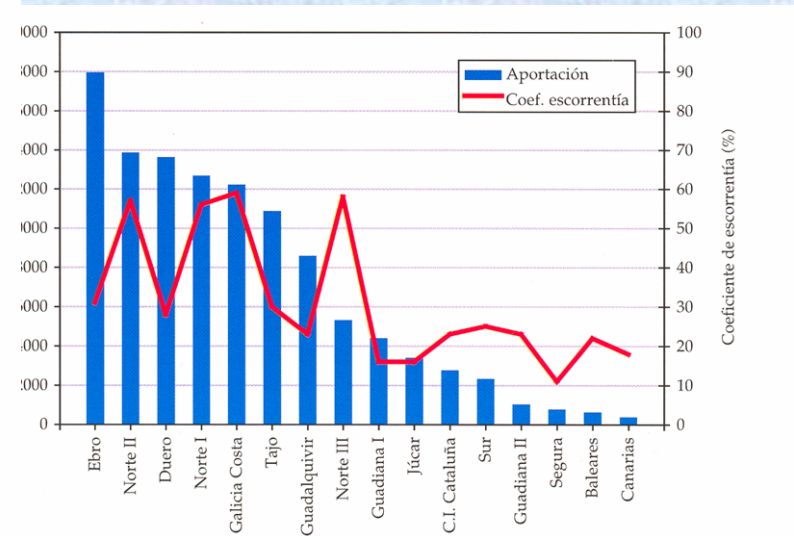
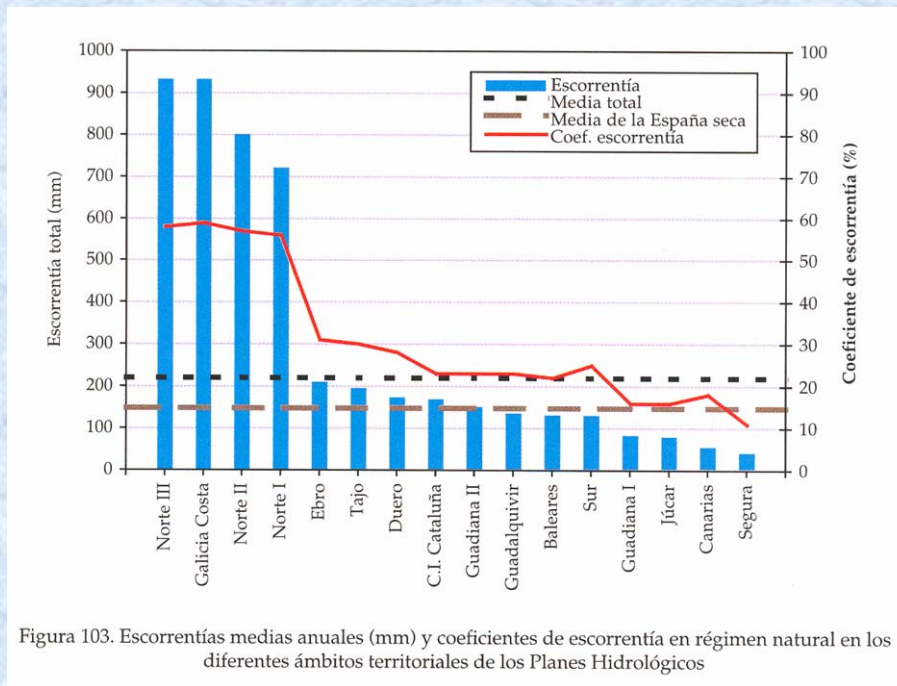
Importancia y significado hidrológico:

Las escorrentías representan la vía de salida de agua de una cuenca, *alternativa a la evapotranspiración.*



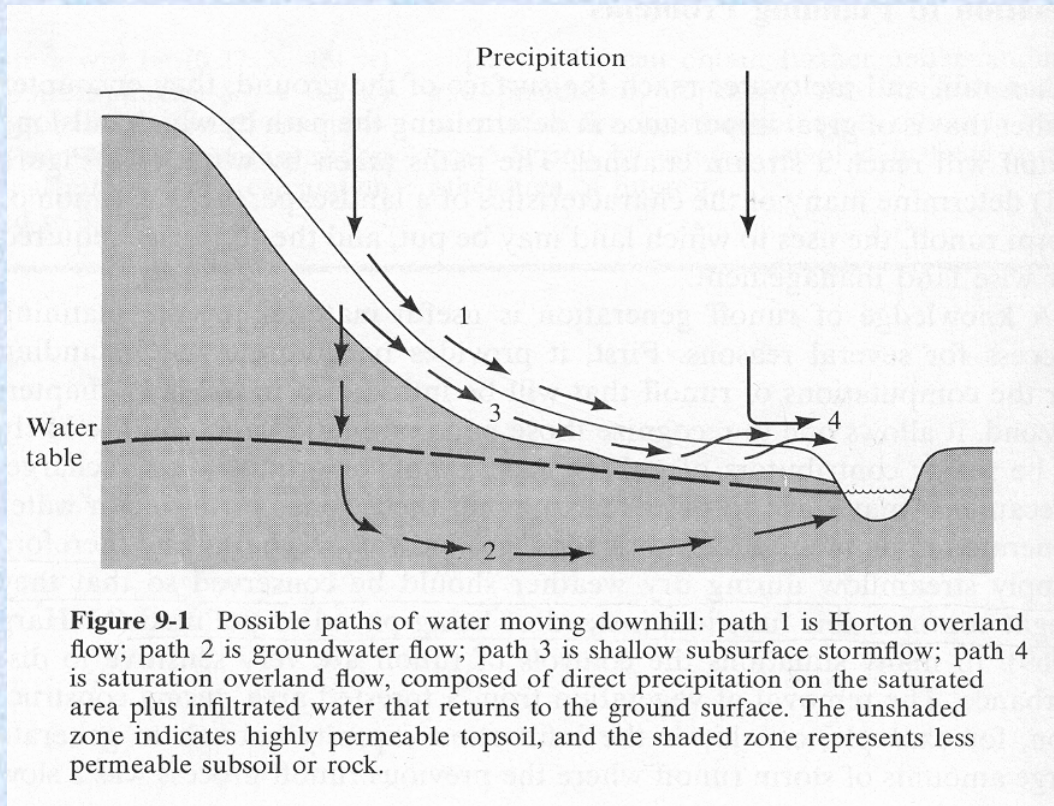
Importancia y significado hidrológico:

En general, la magnitud de las escorrentías determina la cantidad de agua que puede estar disponible (recursos hídricos) para ser utilizada en diferentes actividades humanas dentro de cada cuenca (régimen natural).



Libro Blanco del Agua en España
(Ministerio de Medio Ambiente, 1998)

MOVIMIENTO DEL AGUA EN UNA LADERA: Tipos de escorrentías



Dunne & Leopold (1978)

1. Escorrentía superficial por falta de infiltración (*Horton overland flow*)
2. Escorrentía subterránea (*Groundwater flow*)
3. Escorrentía subsuperficial (*Shallow subsurface flow*)
4. Escorrentía superficial por saturación (*Saturation overland flow*)

MOVIMIENTO DEL AGUA EN UNA LADERA: Tipos de escorrentías

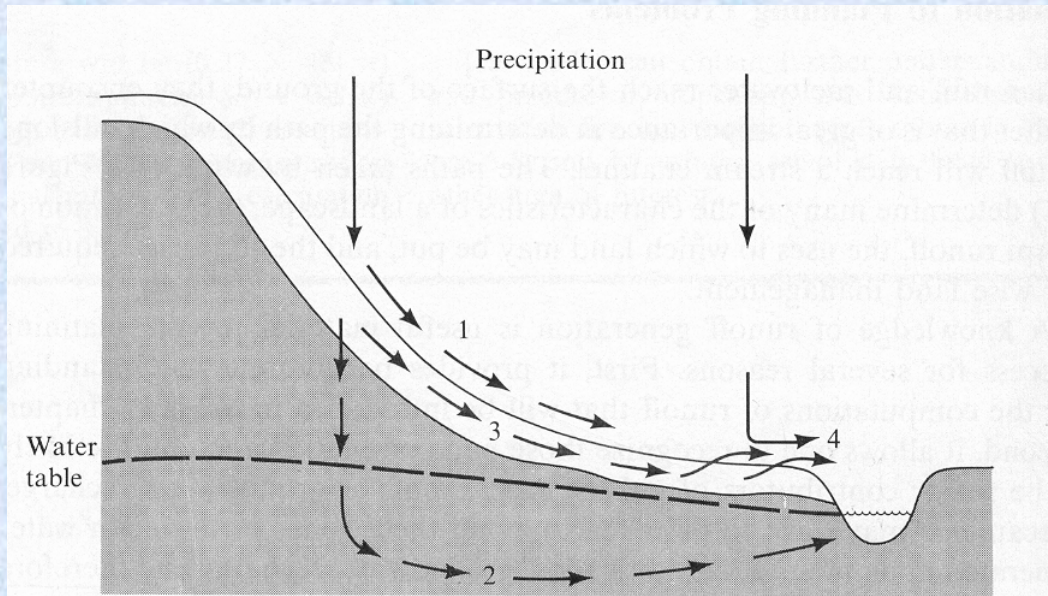


Figure 9-1 Possible paths of water moving downhill: path 1 is Horton overland flow; path 2 is groundwater flow; path 3 is shallow subsurface stormflow; path 4 is saturation overland flow, composed of direct precipitation on the saturated area plus infiltrated water that returns to the ground surface. The unshaded zone indicates highly permeable topsoil, and the shaded zone represents less permeable subsoil or rock.

Dunne & Leopold (1978)

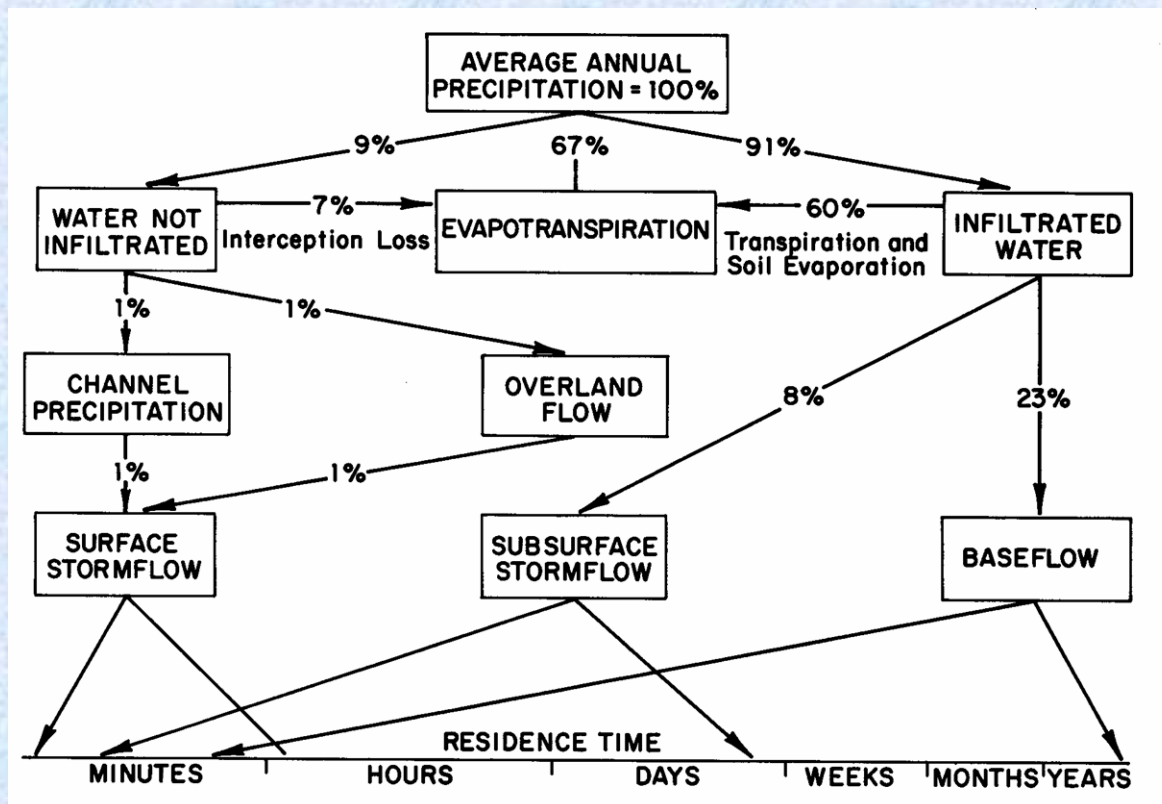
Cada uno de estos tipos de escorrentía puede variar, y convertirse en otro distinto, en su trayectoria hacia los cauces de drenaje.

La forma de las laderas tiende a favorecer la escorrentía superficial por falta de infiltración en su parte alta, y por saturación en su parte baja.

Denominación de las escorrentías por su velocidad de salida

Escorrentías rápidas (*Storm flow*): Se asocian fácilmente a la tormenta que las genera (ej. Escorrentías superficiales).

Escorrentías lentas o retardadas (*Base flow*): Afloran con mucho retraso en relación a las precipitaciones de origen (ej. Escorrentías subterráneas).



Tiempos y porcentajes estimados para zonas húmedas (Hewlett, 1982)

MEDICIÓN DE LAS ESCORRENTÍAS

1. Medición en parcelas:

- **Instalación de parcelas experimentales con colectores para recoger las escorrentías que generan las lluvias naturales**
- **Simuladores de lluvia en parcelas controladas:**

Se mide el agua aportada con el simulador de lluvia y el agua que sale como escorrentía superficial o subsuperficial (a diferente profundidad del suelo).

2. Medición en cuencas vertientes:

- **Aforos en cauces:**

Se mide el caudal que pasa por la sección del cauce, y con ese dato se calcula la escorrentía generada en la cuenca para diferentes periodos de tiempo.



UNIDADES EN QUE SE EXPRESAN LAS ESCORRENTÍAS

El dato medido es un volumen de agua recogido en un determinado tiempo, que puede expresarse por unidad de superficie (altura de escorrentía), por velocidad de salida (caudal) o como volumen generado en dicho tiempo (aportación).

- **Altura de escorrentía (mm):**

Puede compararse directamente con las precipitaciones, y permite calcular el **coeficiente de escorrentía**: Relación de lo que escurre a lo que llueve.

- **Caudal (m³/s):**

Se refiere a la velocidad de salida de la escorrentía, por la sección del cauce correspondiente. Depende del volumen de agua y de la sección de paso.

- **Aportación (m³/día, mes, año; Hm³/mes, año):**

Se refiere al volumen generado en un día, un mes o un año.

Equivalencias: Caudal x tiempo = Aportación; Aportación / Superficie = Altura

m³/s x n^o seg día, mes o año = m³ en día, mes, año

m³ en mes, año / superficie vertiente (m²) = altura de escorrentía (m) en mes, año

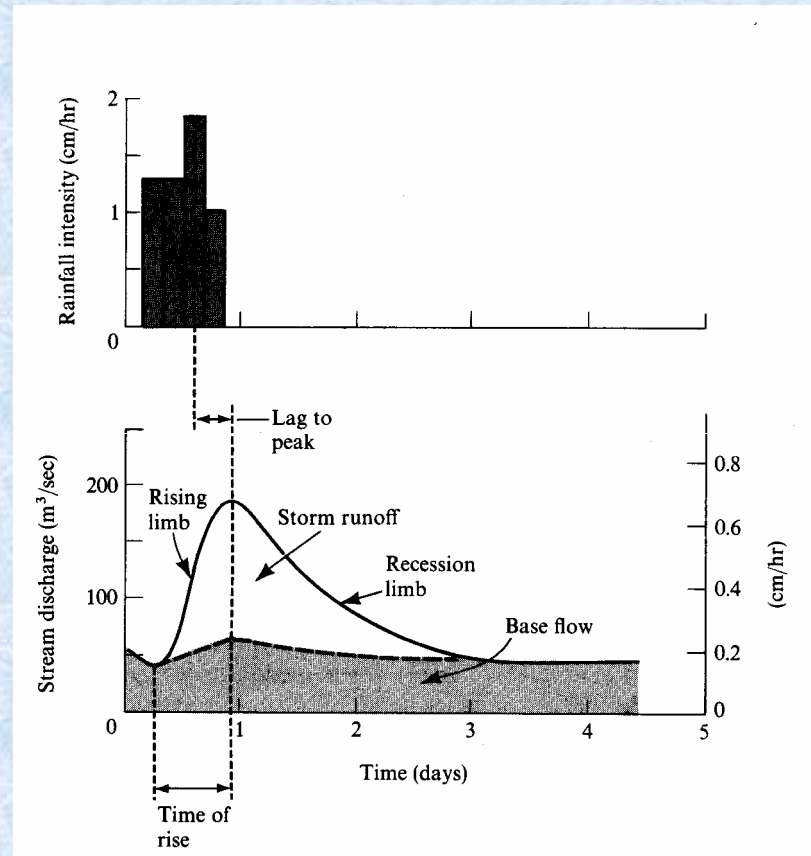


HIDROGRAMAS

Son las gráficas que expresan la variación del caudal en el tiempo, durante una tormenta dada

En los hidrogramas se distinguen:

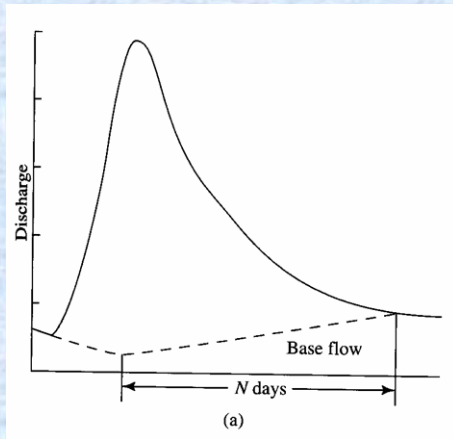
- Tiempo de inicio
- Tiempo punta
- Tiempo base
- Curva de ascenso (crecida)
- Caudal punta
- Curva de recesión
- Escorrentía de tormenta
- Escorrentía base



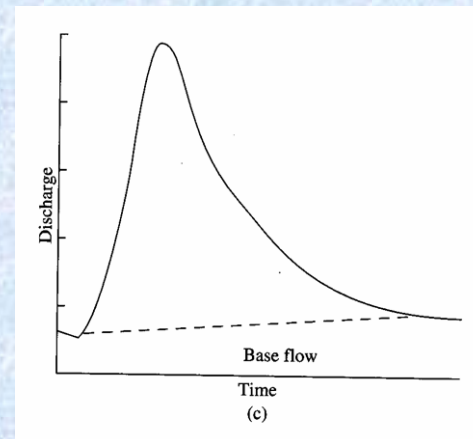
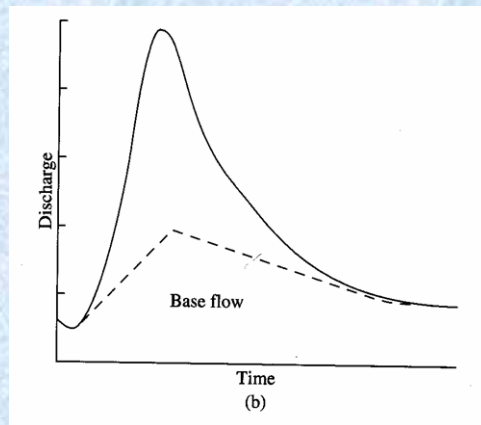
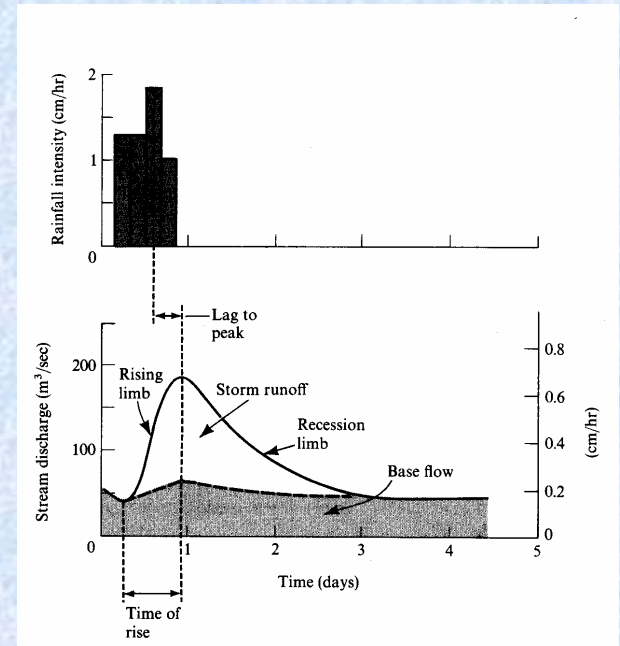
Dunne & Leopold (1978)

SEPARACIÓN DE ESCORRENTÍAS EN EL HIDROGRAMA

- Caudal de tormenta (escorrentías rápidas)
- Caudal base (escorrentías retardadas)



Dunne & Leopold (1978)



TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DE UNA CUENCA

- Es el tiempo que tarda en llegar, a la sección de salida de la cuenca, la escorrentía producida en la zona más alejada de dicha sección.
- Depende del “espacio” recorrido (longitud y forma de la cuenca) y de la “velocidad” de las escorrentías (altura de la escorrentía, pendiente de la cuenca y del cauce principal, rugosidad de la superficie).
- Se estima a través de fórmulas empíricas, siendo muy frecuente la de Kirpich:

$$t_c = \frac{0,06628L^{0,77}}{S^{0,385}}$$

t_c : Tiempo de concentración (horas)

L: Longitud del cauce principal hasta la divisoria (km)

S: pendiente entre la máxima y mínima elevación (m/m)



Tiempo de concentración de una cuenca:

Fórmula de Hathaway:

$$t_c = \frac{0,606(Ln)^{0,467}}{S^{0,234}}$$

Tipo de superficie	Valor de n
Suelo liso impermeable	0,02
Suelo desnudo	0,10
Pastos pobres, cultivos en hileras o suelo desnudo algo rugoso	0,20
Pastizales	0,40
Bosque de frondosas	0,60
Bosque de coníferas, o de frondosas con una capa densa de residuos orgánicos o de césped	0,80

tc: Tiempo de concentración (horas)
L: Longitud del cauce principal hasta la divisoria (km)
S: pendiente entre la máxima y mínima elevación (m/m)
n: rugosidad en función de la vegetación (ver Tabla adjunta)



Tiempo de concentración de una cuenca:

Se considera una *constante* de la cuenca, estimada a partir de variables que pueden medirse en cartografía (longitud y pendiente).

En la práctica es una *variable*, en la que influyen:

- la altura de la lámina de escorrentía (intensidad de la precipitación).
- la rugosidad de las laderas, en relación a su vegetación, usos del suelo, roturaciones, compactación de grandes superficies, etc.
- el estado de los cauces, con canalizaciones, rectificaciones del trazado.

El tiempo de concentración tiene gran importancia hidrológica debido a que:

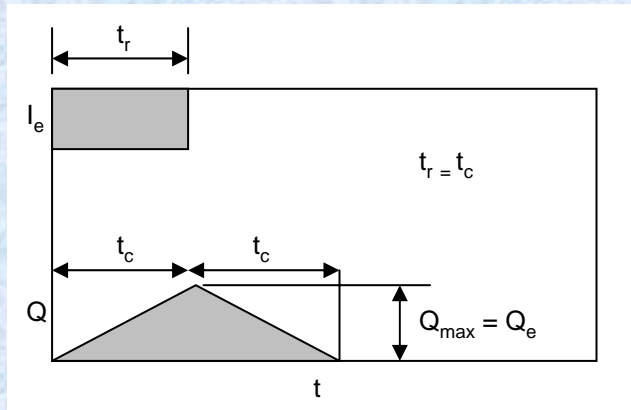
- influye notablemente en la forma de los hidrogramas.
- depende del grado de intervención humana en la cuenca:

La compactación de los suelos y las canalizaciones de los cauces fluviales reducen considerablemente el tiempo de concentración, y facilitan la concentración más rápida de las escorrentías (formación de avenidas).

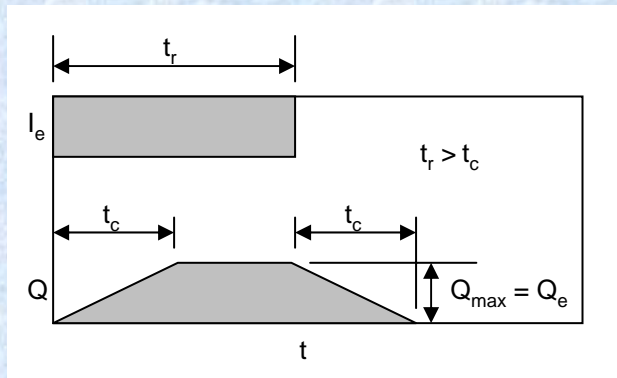


Concentración de las escorrentías: Relación “tiempo de lluvia” (t_r) y “tiempo de concentración” (t_c) y su efecto en los hidrogramas

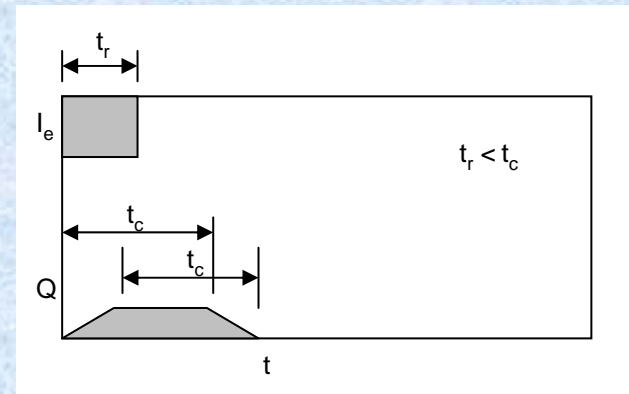
a) Concentrado



b) Superconcentrado



c) Subconcentrado



El tiempo de concentración influye en la forma de los hidrogramas, determinando la pendiente de la fase de crecida.

A igualdad de las demás condiciones, cuanto mayor sea el tiempo de concentración de una cuenca, más se retrasa la formación de avenidas.

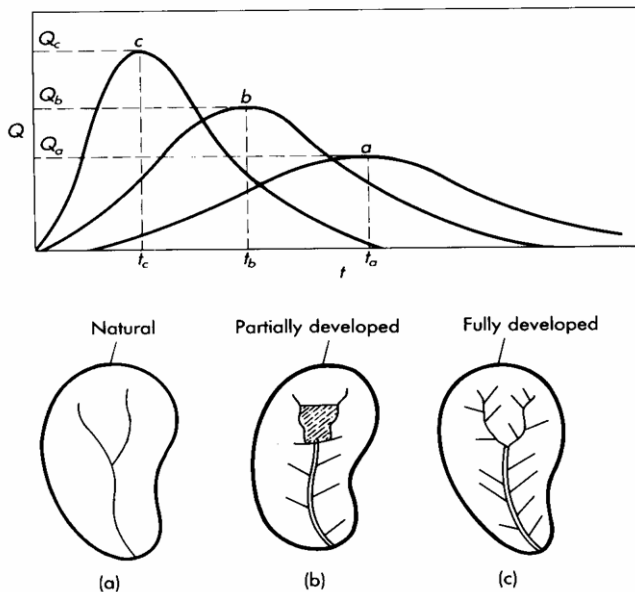


FIGURE 2.11

Modifying factors on unit hydrographs. (a) Natural watershed development, represented by curve a in the top part of the figure. (b) Partial development, represented by curve b. (c) Fully developed watershed, represented by curve c.

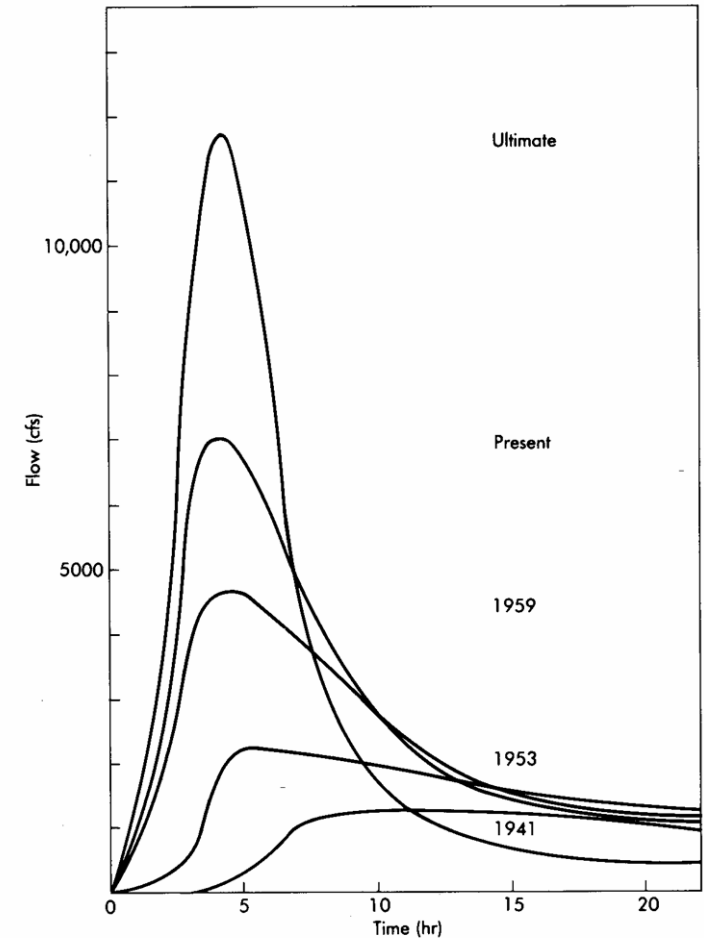


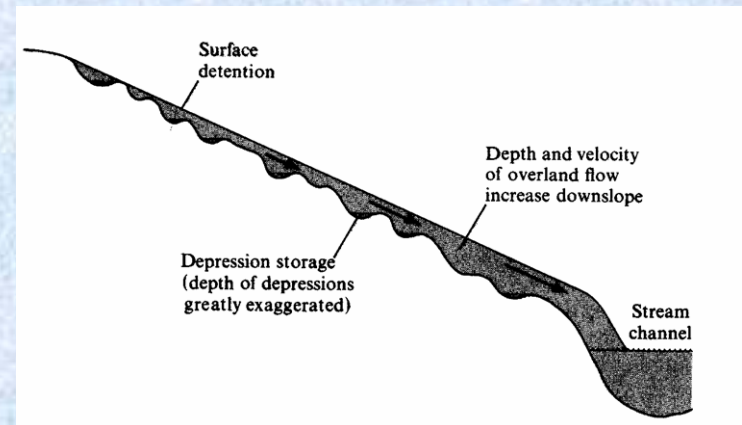
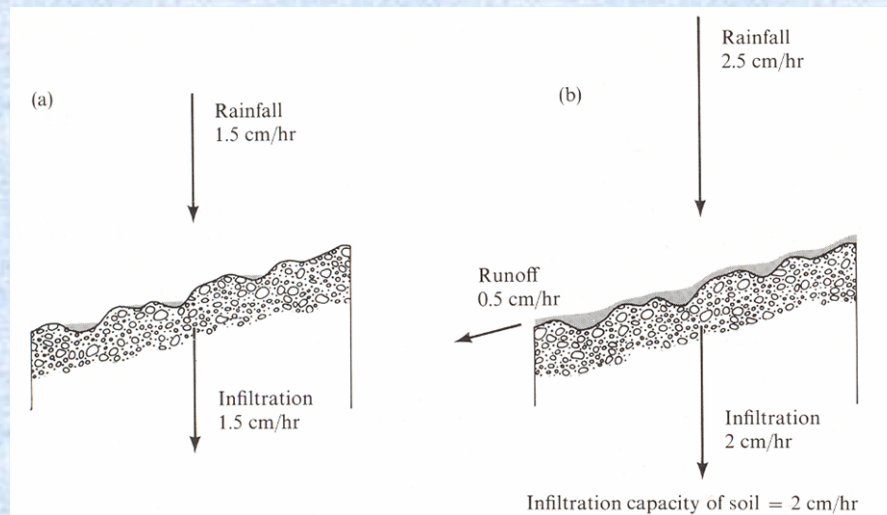
FIGURE 2.12

Brays Bayou unit hydrograph changes as a function of land use changes.

ESCORRENTÍAS EN SUELOS CON POCA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN

Cuando los suelos tienen una capacidad de infiltración menor que la intensidad de las lluvias, se origina de inmediato una escorrentía superficial por falta de infiltración.

Esta escorrentía aparece al poco tiempo de iniciarse las lluvias, una vez superada la tasa de infiltración del suelo y agotada la capacidad de almacenamiento de la superficie del suelo.



Dunne & Leopold (1978)

Valores de Conductividad hidráulica en saturación, para diferentes suelos y materiales geológicos, comparados con el rango habitual de intensidades de lluvia.

La intensidad de lluvia supera los valores de conductividad hidráulica del suelo únicamente en aguaceros muy intensos, sobre suelos de textura fina.

En estos casos, se origina “escorrentía superficial por falta de infiltración”.



ESCORRENTÍA SUPERFICIAL POR FALTA DE INFILTRACIÓN

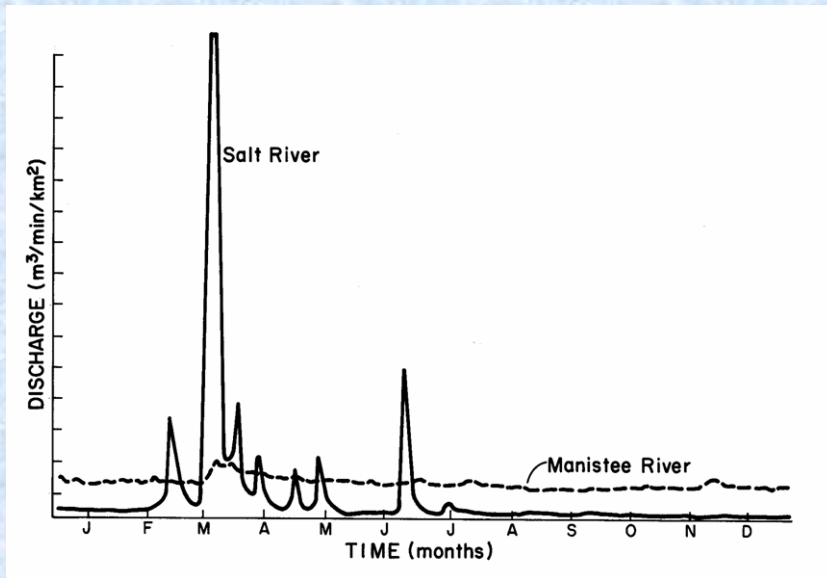
Este tipo de escorrentía solo se produce, como forma principal de respuesta de la cuenca a una precipitación, en las siguientes circunstancias:

- Regiones áridas o semiáridas, donde la lluvia tiende a ser en ocasiones muy intensa, y la conductividad hidráulica del suelo es menor, al no estar protegido por la vegetación.
- Áreas donde las actividades humanas o del ganado han reducido la conductividad hidráulica de superficie.
- Zonas selladas o impermeabilizadas.

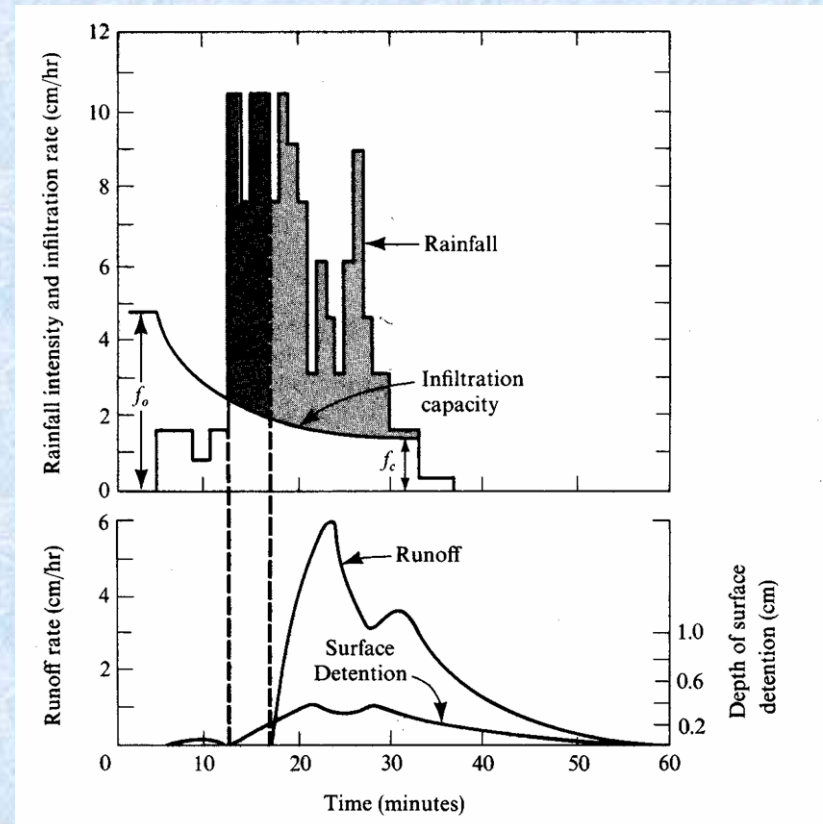


ESCORRENTÍA SUPERFICIAL POR FALTA DE INFILTRACIÓN

- El volumen de escorrentía es muy alto en relación a la precipitación (elevados coeficientes de escorrentía).
- La velocidad de escorrentía llegando al cauce es muy alta.
- El tiempo de respuesta de la cuenca al cauce es muy corto (poca diferencia de inicio y terminación del hidrograma, en relación al inicio y terminación de la lluvia (ej. Salt River).



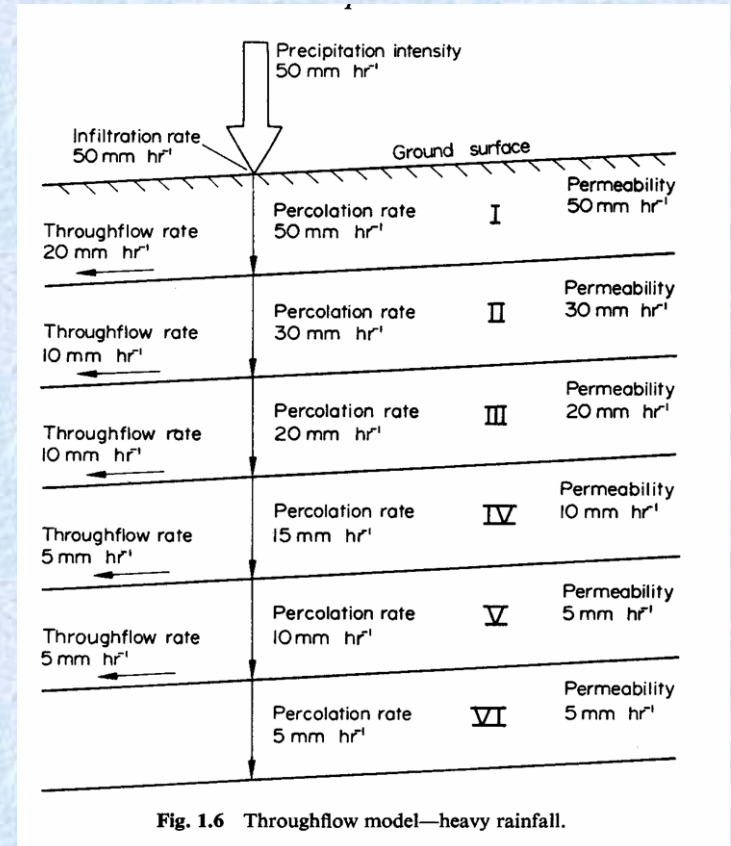
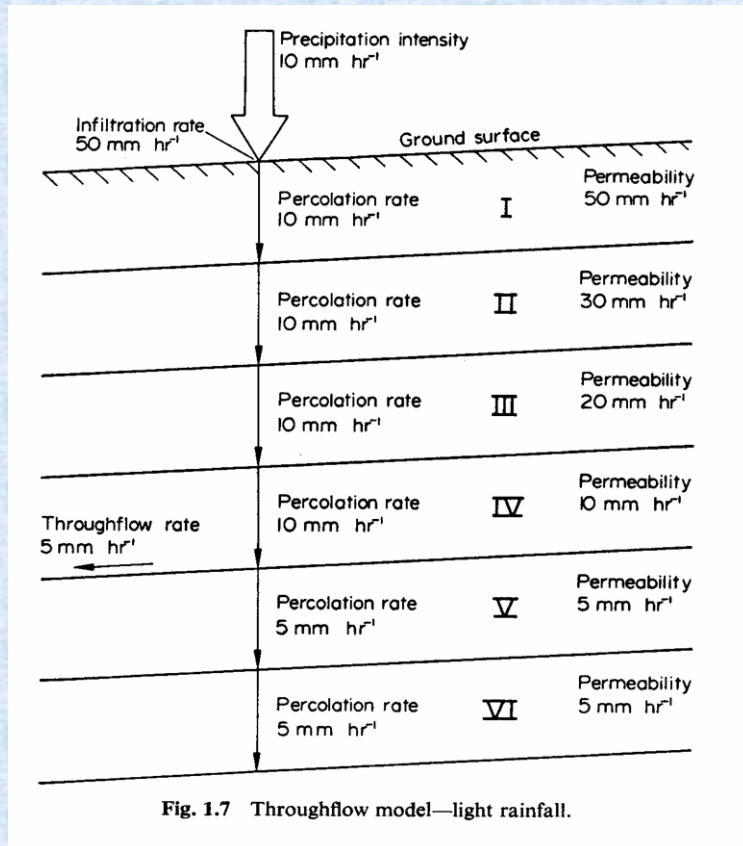
Dunne & Leopold (1978)



ESCORRENTÍA EN SUELOS CON ELEVADA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN

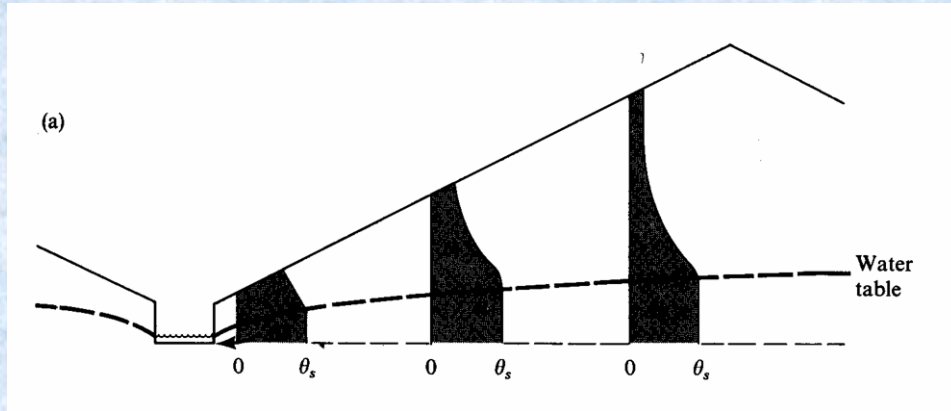
Cuando los suelos mantienen unas buenas condiciones de infiltración, gran parte de las precipitaciones se infiltran.

En función de la permeabilidad de los distintos horizontes del suelo, pueden ir apareciendo escorrentías subsuperficiales, a diferente profundidad.



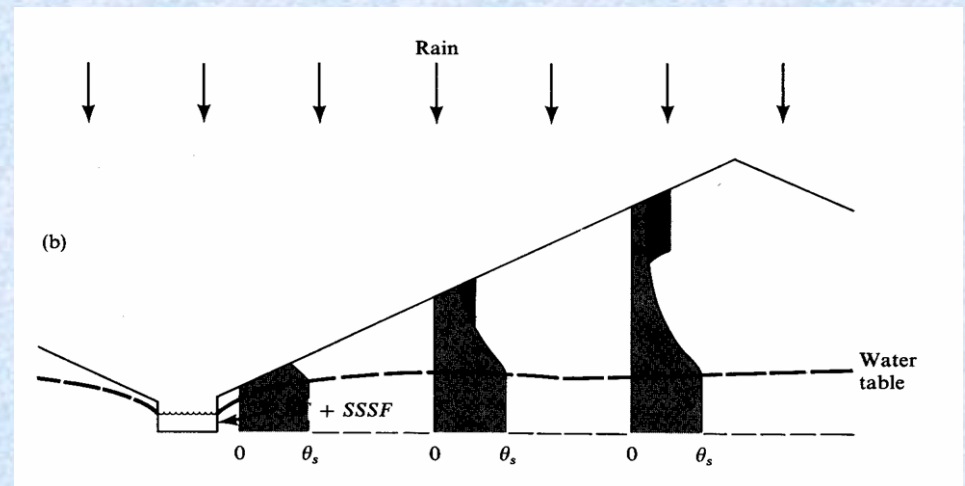
ESCORRENTÍA EN SUELOS CON ELEVADA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN

La entrada de agua al suelo produce un aumento de su humedad, y en las zonas más bajas de la ladera, la elevación del nivel de la capa freática.



Dunne & Leopold (1978)

Dunne & Leopold (1978)



ESCORRENTÍA EN SUELOS CON ELEVADA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN

Estas condiciones son frecuentes en las zonas húmedas, donde llueve con regularidad y el suelo tiene una elevada cobertura de vegetación.

En este caso, todo el agua de lluvia se infiltra, y las escorrentías que surgen se originan dentro del suelo (**subsuperficial o subterránea**), como excedente de agua que el suelo no puede retener.

El volumen de escorrentía generado en cada tormenta es muy pequeño en relación a la precipitación (coeficientes de escorrentía bajos).

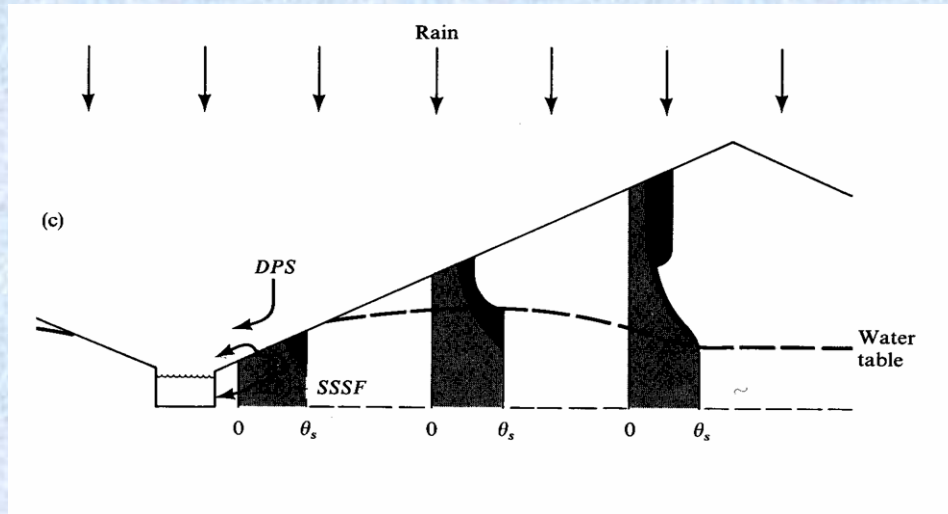
La velocidad de escorrentía es más o menos lenta, o muy lenta.

La respuesta de la cuenca al cauce es mucho más retardada, y los tiempos de inicio y terminación del hidrograma presentan un desfase respecto a los de la precipitación.



ESCORRENTÍA EN SUELOS CON ELEVADA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN

Si las precipitaciones son prolongadas, se forma una zona saturada próxima al cauce, donde se origina una **escorrentía superficial por saturación**.



Dunne & Leopold (1978)

La “escorrentía superficial por saturación” surge después de un cierto tiempo de iniciada la tormenta (retraso en función de la humedad precedente del suelo) y representa un volumen menor de escorrentía en comparación con la “escorrentía superficial por falta de infiltración”.

Una vez que se inicia, determina coeficientes y velocidad de escorrentía relativamente elevados.

Es la forma más frecuente de escorrentía en zonas húmedas, con vegetación.

Formación de escorrentía superficial por saturación, en una zona cuya superficie varía a lo largo del aguacero: **ÁREA VARIABLE**

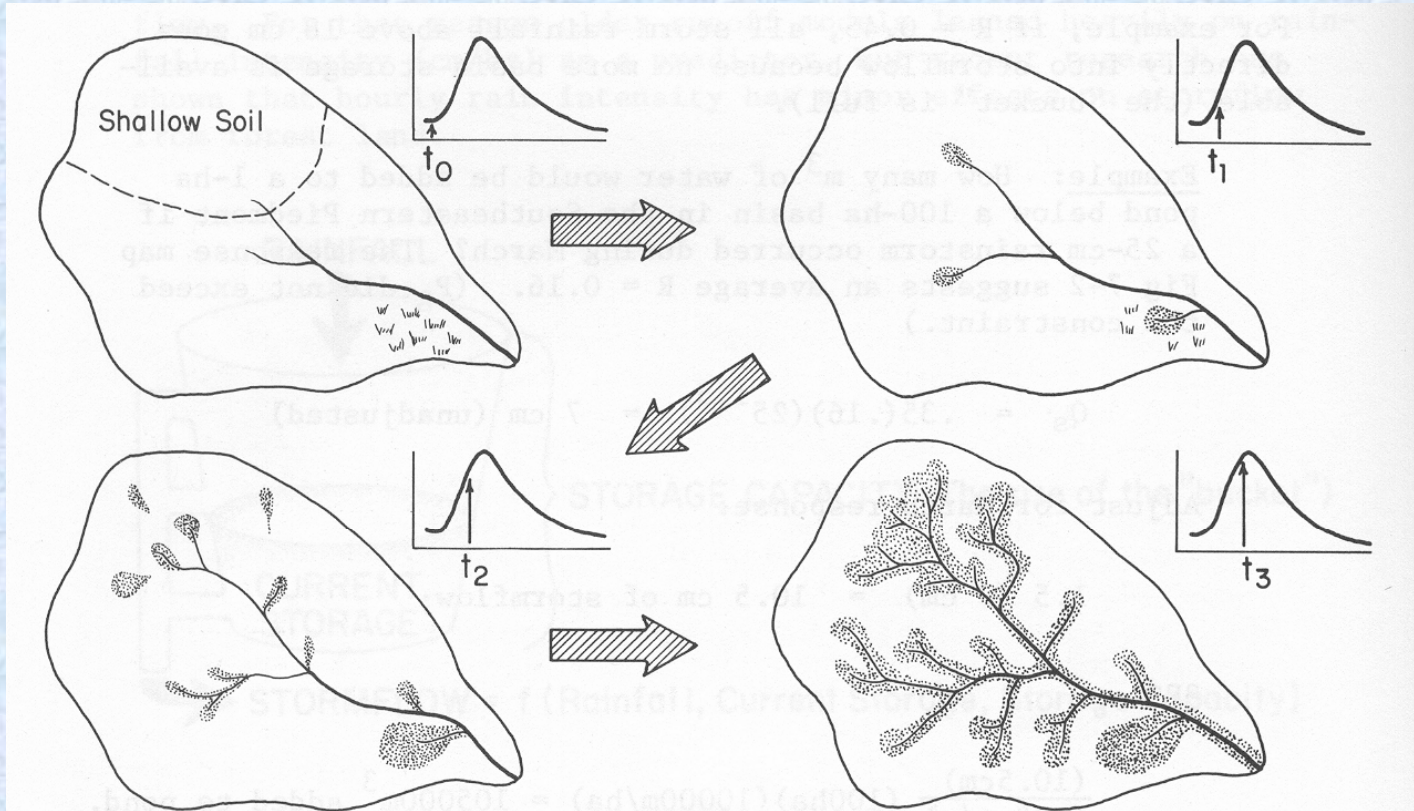
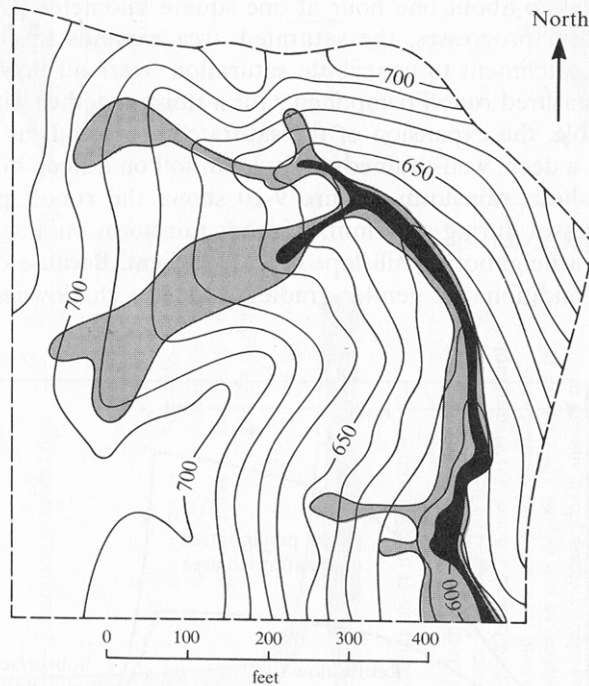


Fig 7-12. The small arrows in the hydrographs show how streamflow increases as the variable source extends into swamps, shallow soils and ephemeral channels. The process reverses as streamflow declines.

Hewlett (1982)

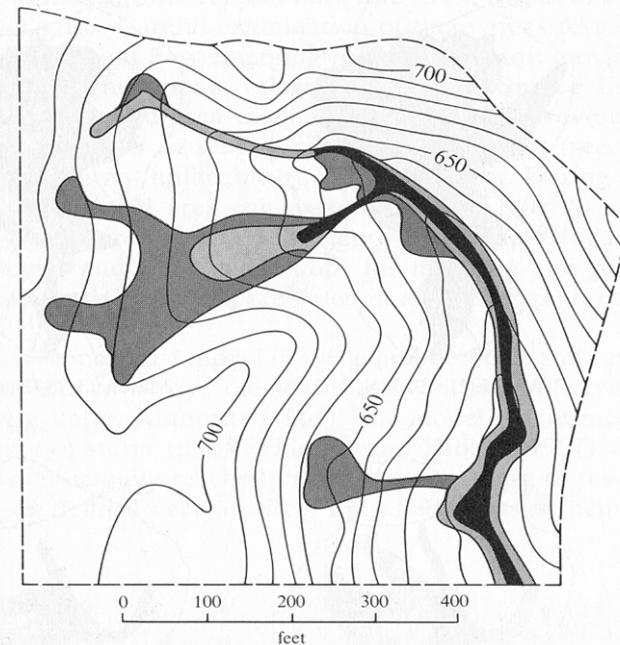


La zona donde se origina la escorrentía superficial por saturación del suelo varía **a lo largo de la precipitación**, en función del agua aportada al suelo, y depende de la **época del año** en que se produce (humedad precedente).



Contour interval 10 feet

Figure 9-11 Map of saturated areas showing expansion during a single rainstorm of 46 mm. The basin has steep, well-drained slopes and a narrow valley floor. The solid black shows the saturated area at the beginning of rain; the lightly shaded area is saturated by the end of the storm and is the area over which the water table had risen to the ground surface.



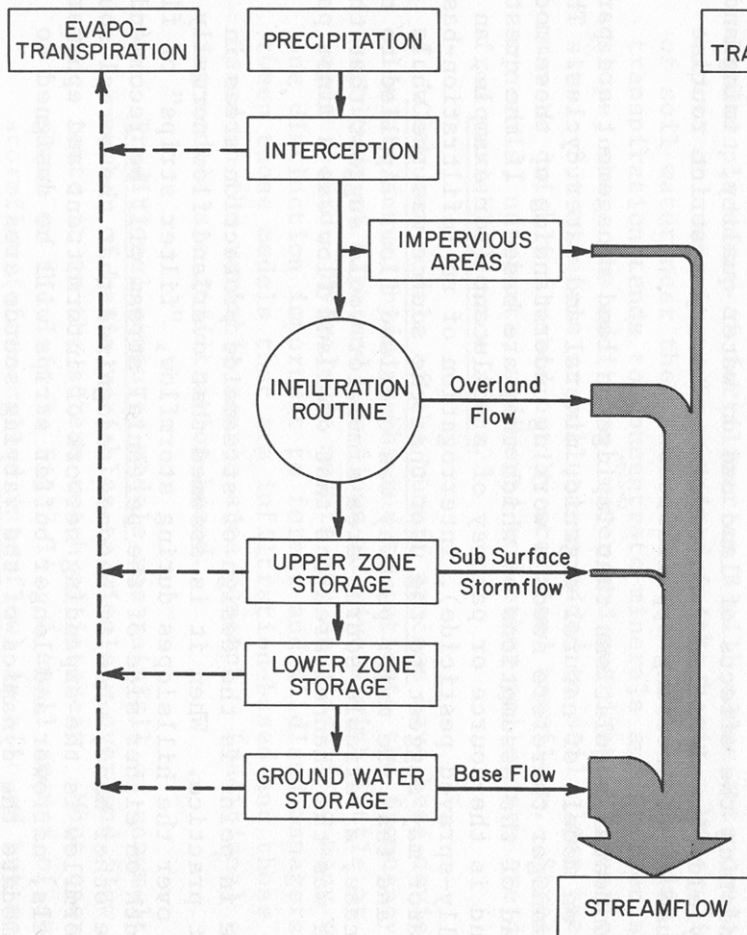
Contour interval 10 feet

	Summer		Immediately after snowmelt period
	Autumn		

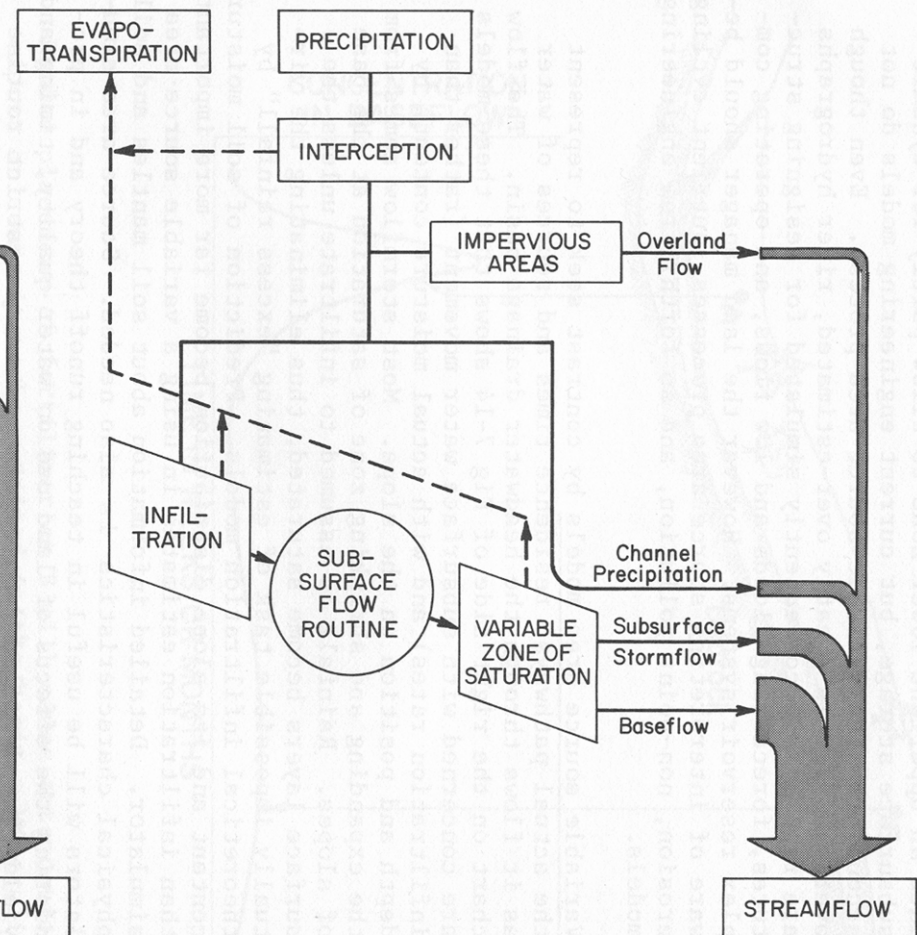
Figure 9-12 Seasonal variation of pre-storm saturated area in a catchment with steep, well-drained hillsides and a narrow valley floor, Danville, Vermont. Compare this seasonal change with the changes during a single rainstorm on the same area in Figure 9-11.

FORMAS DE PRODUCIRSE LOS CAUDALES DE LOS RÍOS

TRADITIONAL COMPUTER MODELS



VARIABLE SOURCE AREA MODELS



Hewlett (1982)



PRINCIPALES FACTORES QUE DETERMINAN EL TIPO DE ESCORRENTÍA EN UNA LADERA

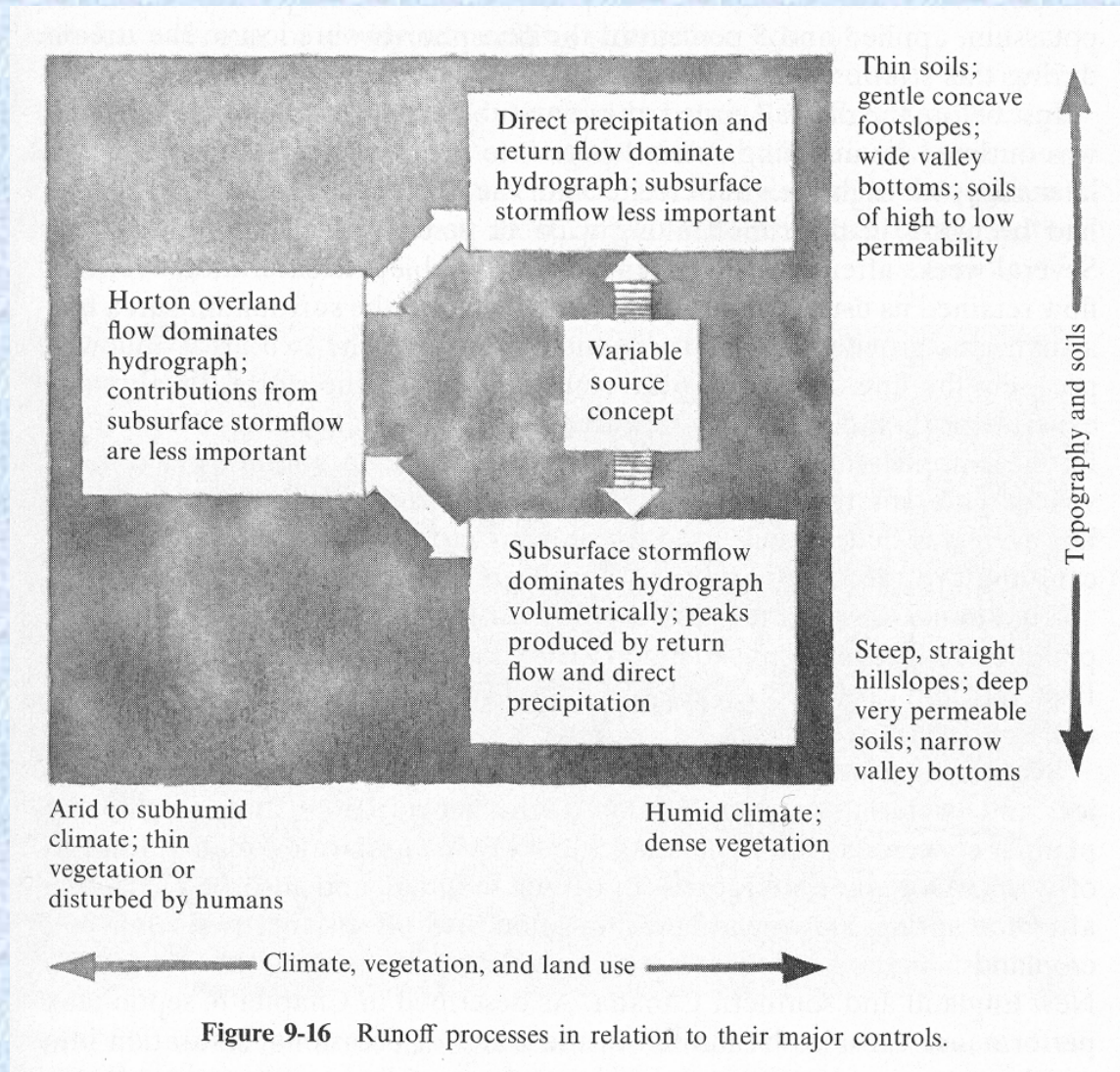


Figure 9-16 Runoff processes in relation to their major controls.

Dunne & Leopold (1978)

