

- INTRODUCCION
- MANEJO DE RECURSOS HIDRICOS
- CONSIDERACIONES TECNOLOGICAS
- HIDROLOGIA
- MEDICION DE VARIABLES HIDROLOGICAS
- **PRECIPITACION**
- ESCORRENTIA SUPERFICIAL
- HIDROLOGIA PARA OBRAS DE DRENAJE
- HIDROLOGIA SUBTERRANEA
- FUENTES DE AGUA
- CAUDALES ECOLOGICOS



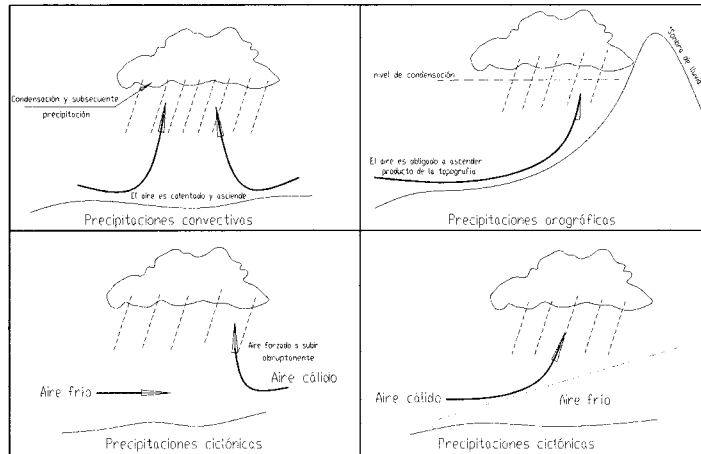
En hidrología, el término **“precipitación”** es el nombre genérico dado a las aguas meteóricas que provienen de la humedad atmosférica y que caen sobre la superficie de la tierra.

Incluye entonces: lluvia, granizos, nieve y rocío (vapor condensado directamente sobre superficies frías).

Para que se produzca precipitación se requiere que una masa de aire ascienda, enfriándose y provocando la condensación del vapor de agua que ella contiene.



## MECANISMOS QUE GENERAN LA PRECIPITACION



PRECIPITACION

## PRECIPITACIONES CONVECTIVAS

Debido al calentamiento del aire húmedo se produce el ascenso de las masas de aire en forma casi vertical, las que se enfrían adiabáticamente y alcanzan la temperatura de condensación.

De esta manera se forman nubes tipo cumulus que precipitan eventualmente su vapor de agua dando origen a tormentas localizadas de fuerte intensidad, muchas veces con truenos y relámpagos.

Son típicas de zonas tropicales o períodos calurosos.

PRECIPITACION

## PRECIPITACIONES CONVECTIVAS



PRECIPITACION

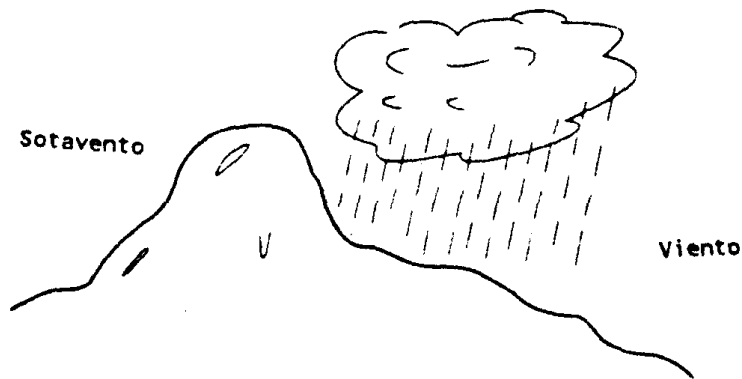
## PRECIPITACIONES OROGRÁFICAS

Cuando una masa de aire caliente y húmedo se dirige hacia una barrera orográfica ésta la hace elevarse hacia zonas de menor temperatura, lo que provoca su enfriamiento y la generación de las condiciones necesarias para la condensación y eventual precipitación.

En cuencas montañosas que enfrentan al viento (barlovento) se tienen precipitaciones mayores que a sotavento. Al descender las masas de aire se calientan por compresión y se genera un régimen de vientos secos y calientes, lo que da origen a zonas áridas y semiáridas.

PRECIPITACION

## PRECIPITACIONES OROGRÁFICAS



PRECIPITACION



## PRECIPITACIONES CICLONICAS

Este tipo de precipitaciones está asociado al ascenso del aire que converge hacia una zona de menor presión.

Teniendo en cuenta que el movimiento del aire se produce desde una zona de mayor presión a una de menor presión y que la superficie que limita las masas de aire de distintas presiones se denomina frente, las precipitaciones ciclónicas o frontales se forman cuando el aire caliente se eleva por sobre el aire frío.

PRECIPITACION



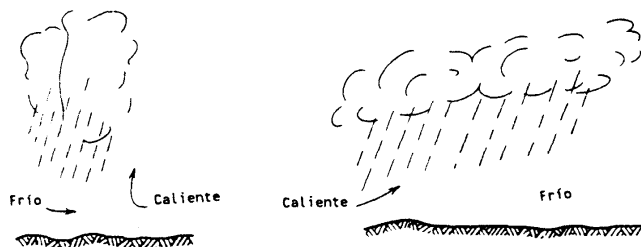
## PRECIPITACIONES CICLONICAS

Los **frentes fríos** se producen cuando masas de aire frío irrumpen sobre masas de aire de mayor temperatura, provocando el ascenso de estas últimas. Las precipitaciones asociadas a estos frentes son generalmente intensas y cubren áreas pequeñas (60 a 80 km<sup>2</sup>) produciéndose en el sector previamente ocupado por el aire caliente.

Los **frentes calientes** se generan cuando una masa de aire caliente se desplaza y asciende sobre una masa de aire más frío. Esto da origen a precipitaciones de gran extensión territorial (100 a 300 km) en el sector de la masa de aire frío.

PRECIPITACION

## PRECIPITACIONES CICLONICAS



PRECIPITACION



## PROCESAMIENTO Y PRESENTACION DE DATOS PLUVIOMETRICOS

PRECIPITACION



## PROCESAMIENTO Y PRESENTACION DE DATOS PLUVIOMETRICOS

Existen muchas maneras de procesar y presentar datos pluviométricos de una estación o representativos de una región. La elección del método depende de la naturaleza de los datos y del propósito que se tenga para su uso.

En general, en todos los métodos se tiene en cuenta que el conjunto de datos que representan la altura de aguas caída en horas, días, meses o años en un cierto lugar, corresponde a una serie estadística y, en consecuencia, dicha serie es susceptible de analizar y presentarse a través de métodos estadísticos.

PRECIPITACION

## PROCESAMIENTO Y PRESENTACION DE DATOS PLUVIOMETRICOS

Previo al uso de los datos y su presentación en tablas y gráficos, es necesario someter la información básica disponible a una serie de ajustes que permitan establecer su calidad y consistencia y completar las estadísticas pluviométricas incompletas.

- Estimación de datos faltantes
  - Módulo Pluviométrico
  - Correlaciones
- Chequeo de consistencia



PRECIPITACION

## ESTIMACION DE DATOS FALTANTES



PRECIPITACION

## ESTIMACION DE DATOS FALTANTES

Debido en general a fallas en el funcionamiento de los instrumentos y a la no observación en el período de interés, pueden obtenerse estadísticas con datos faltantes, los que deben ser estimados, básicamente, con datos de estaciones vecinas.

Definamos como  $N_i$  al Módulo Pluviométrico o **Precipitación Normal Anual** de la estación  $i$ , al promedio aritmético durante un cierto período de años (usualmente 30) de las precipitaciones anuales registradas en una estación.

$$N_i = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n P_{i,j}$$

PRECIPITACION



## ESTIMACION DE DATOS FALTANTES

La precipitación en una estación  $X$  en la cual no se dispone de un registro medido puede ser estimada a partir de la precipitación en tres estaciones contiguas ( $A$ ,  $B$ ,  $C$ ) de representatividad similar a la estación en estudio, esto es, que el Módulo Pluviométrico de la estación con información faltante no difiera en más del 10% del Módulo Pluviométrico de las otras tres estaciones.

De esta manera, la precipitación faltante se estima como el promedio simple de las estaciones, es decir:

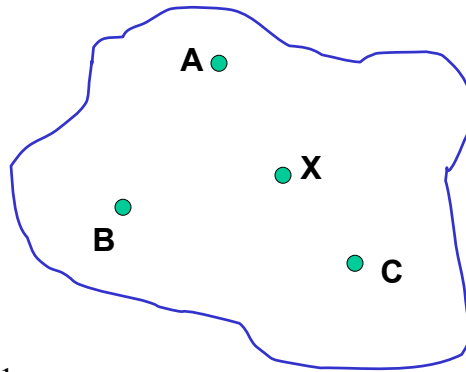
$$P_x = \frac{1}{3} \cdot (P_A + P_B + P_C)$$

PRECIPITACION





## ESTIMACION DE DATOS FALTANTES



$$P_x = \frac{1}{3} \cdot (P_A + P_B + P_C)$$

PRECIPITACION

## ESTIMACION DE DATOS FALTANTES

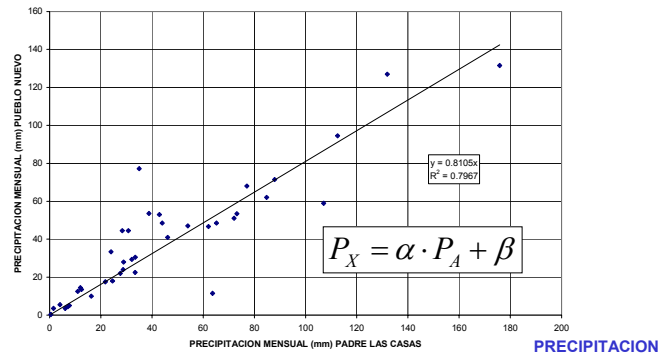
Quando el Módulo Pluviométrico de la estación con información faltante difiere en más del 10% del Módulo Pluviométrico de alguna de las otras tres estaciones, se considera el promedio ponderado según la razón entre los módulo pluviométricos, es decir:

$$P_x = \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{N_x}{N_A} \cdot P_A + \frac{N_x}{N_B} \cdot P_B + \frac{N_x}{N_C} \cdot P_C \right)$$

PRECIPITACION

## ESTIMACION DE DATOS FALTANTES

Un método alternativo es correlacionar la información pluviométrica con la registrada en estaciones vecinas, con lo cual se puede estimar los datos faltantes.



## CHEQUEO DE CONSISTENCIA

PRECIPITACION

## CHEQUEO DE CONSISTENCIA

Antes de usar la información pluviométrica es necesario analizar si las medidas han sido efectuadas en condiciones homogéneas durante el período de registro. Para ello se utiliza el procedimiento denominado curvas másicas o **curvas doble acumuladas**.

Este análisis es sumamente importante ya que en la solución de problemas hidrológicos interesa asegurarse que los cambios de tendencias en el tiempo sólo se deben a causas hidrometeorológicas y no a la manera en que se hacen las observaciones.



PRECIPITACION

## CHEQUEO DE CONSISTENCIA

El método se basa en el hecho que los valores acumulados del promedio de las precipitaciones anuales de varias estaciones contiguas, no se ve afectado por un cambio en una estación individual, ya que existe una compensación entre ellas.

El método compara en un diagrama los registros acumulados de la precipitación anual de la estación, a la que se quiere probar la consistencia, con un registro acumulado Patrón constituido en lo posible por el promedio anual de 10 estaciones vecinas.



PRECIPITACION

## CHEQUEO DE CONSISTENCIA

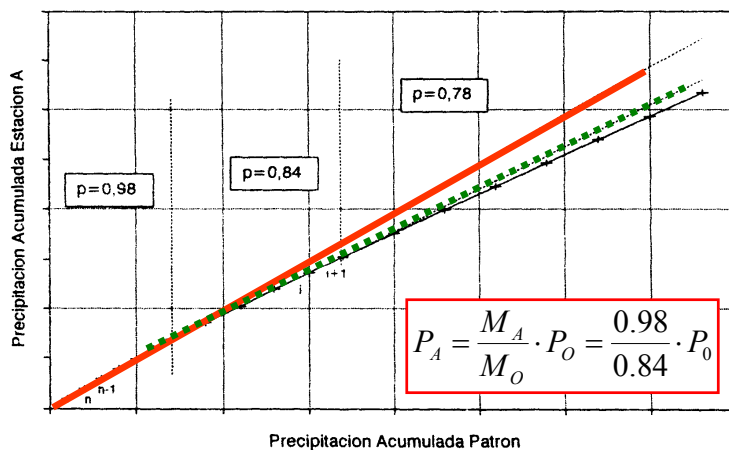
Al graficar en forma conjunta ambos valores se puede trazar una recta. Si ésta es una recta única, se puede considerar que no han existido cambios en los métodos de observación o en la instalación de la estación en cuestión.

Cualquier cambio del comportamiento en la estación en estudio no reflejado en el patrón se manifestará en la curva doble acumulada como un cambio en la pendiente de la relación. La razón del cambio debe investigarse y luego corregirse.



PRECIPITACION

## CHEQUEO DE CONSISTENCIA



PRECIPITACION

## CHEQUEO DE CONSISTENCIA

Una vez determinadas las causas de los cambios de tendencia en la curva másica para la estación en estudio, es necesario ajustar los registros de la estación.

Del gráfico se observa que pueden identificarse tres cambios de pendiente; se aprecia que en el período más reciente (año n) la precipitación anual en A es 0,98 veces la precipitación anual del registro patrón, mientras que en los otros dos períodos que se distinguen, la razón es 0,84 y 0,78 respectivamente.



PRECIPITACION

## CHEQUEO DE CONSISTENCIA

Resulta conveniente ajustar las precipitaciones de la estación A, a las condiciones actuales de instalación y de técnicas de observación, lo que se logra en base a la siguiente ecuación:

$$P_A = \frac{M_A}{M_O} \cdot P_O$$

donde:

$P_A$  es la precipitación ajustada

$P_O$  es la precipitación observada por corregir

$M_A$  es la pendiente de la recta en el período más reciente

$M_O$  es la pendiente de la recta cuando  $P_O$  fue observado



PRECIPITACION

## CHEQUEO DE CONSISTENCIA

También puede usarse la relación para completar la estadística anual en años en que la precipitación no ha sido medida en la estación. Para ello se usa la expresión:

$$P_x = \frac{M_x}{M_A} \cdot P_A$$

donde:

$P_x$  es la precipitación no medida en estación x para el año n.

$P_A$  es la precipitación medida en estación A vecina en año n.

$M_x$  y  $M_A$  son las pendientes de la curva másica para la estación X y para la estación A, respectivamente.

PRECIPITACION



## PRECIPITACION ANUAL (mm)

Año	PATRON	EST A	EST B
2000	568	609	523
1999	687	737	633
1998	324	348	298
1997	495	531	456
1996	198	212	182
1995	235	252	216
1994	745	799	686
1993	632	678	582
1992	542	582	499
1991	368	395	339
1990	395	424	364
1989	539	578	496
1988	505	542	465
1987	365	392	336
1986	441	473	406
1985	583	626	415
1984	349	374	248
1983	105	113	75
1982	115	123	82
1981	376	403	268

PRECIPITACION

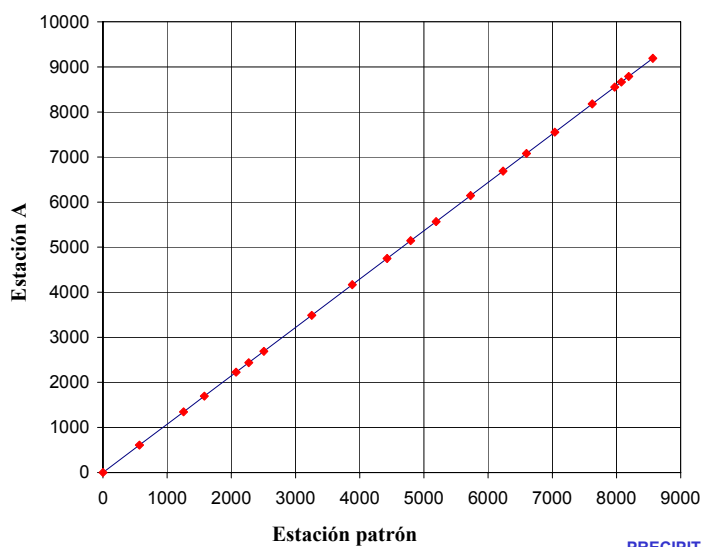


### PRECIPITACION ANUAL ACUMULADA (mm)

Año	PATRON	EST A	EST B
	0	0	0
2000	568	609	523
1999	1255	1346	1156
1998	1579	1694	1454
1997	2074	2225	1910
1996	2272	2437	2092
1995	2507	2689	2308
1994	3252	3488	2994
1993	3884	4166	3576
1992	4426	4748	4075
1991	4794	5143	4414
1990	5189	5567	4778
1989	5728	6145	5274
1988	6233	6687	5739
1987	6598	7079	6075
1986	7039	7552	6481
1985	7622	8178	6896
1984	7971	8552	7144
1983	8076	8665	7219
1982	8191	8788	7301
1981	8567	9191	7569

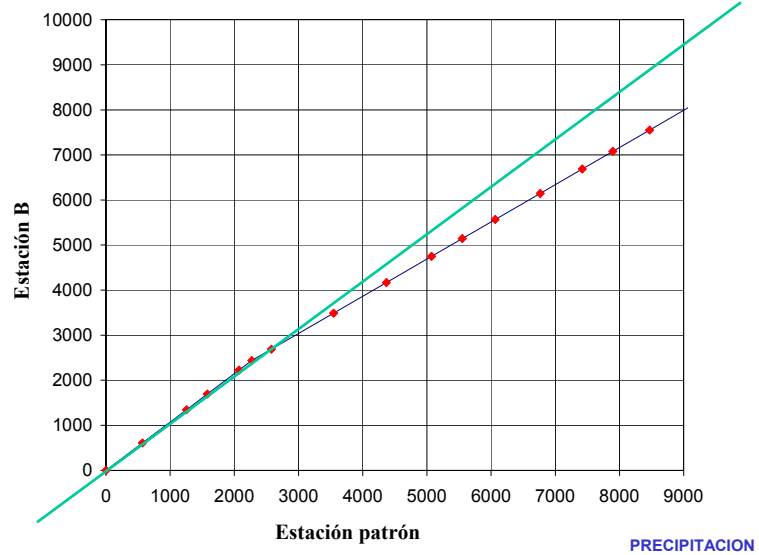
PRECIPITACION

### PRECIPITACION ANUAL ACUMULADA (mm)



PRECIPITACION

### PRECIPITACION ANUAL ACUMULADA (mm)



### PRESENTACION DE DATOS PLUVIOMETRICOS

PRECIPITACION



## PRESENTACION DE DATOS PLUVIOMETRICOS

Para caracterizar el régimen de lluvias en una estación operada durante varios años, se acostumbra calcular las precipitaciones medias mensuales y otros parámetros estadísticos relevantes:

- Valores máximos y mínimos, en el período mensual u otro.
- Intervalo de variación (diferencia entre el máximo valor y el mínimo)

• Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

• Coeficiente de variación

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}}$$

PRECIPITACION



## PRECIPITACIONES ANUALES

Precipitaciones anuales para ciudades chilenas.

Datos Pluviométricos para Chile

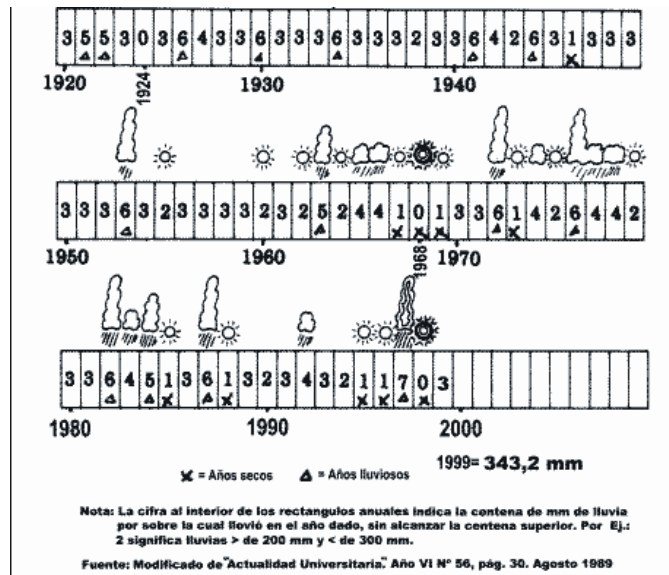
	Años observaciones	Promedio Aritmético (mm)	Media Geométrica (mm)	Mediana (mm)	Diferencia	
					P <sub>0</sub> -M (%)	P <sub>A</sub> -M (%)
Caldera	47	22	15	14	+6.6	+36.4
La Serena	73	138	115	119	-3.5	+13.8
Valparaíso	76	519	463	437	+5.6	+15.8
Santiago	80	369	324	318	+1.9	+13.8
Talca	46	674	642	661	-3.0	+1.9
Concepción	61	1308	1276	1273	+0.2	+2.7
Valdivia	66	2652	2624	2671	-1.8	-0.7
Puerto Montt	51	2144	2112	2063	+2.3	+3.8

$$P_A = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n P_i$$

$$P_G = \sqrt[n]{P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_n}$$

PRECIPITACION





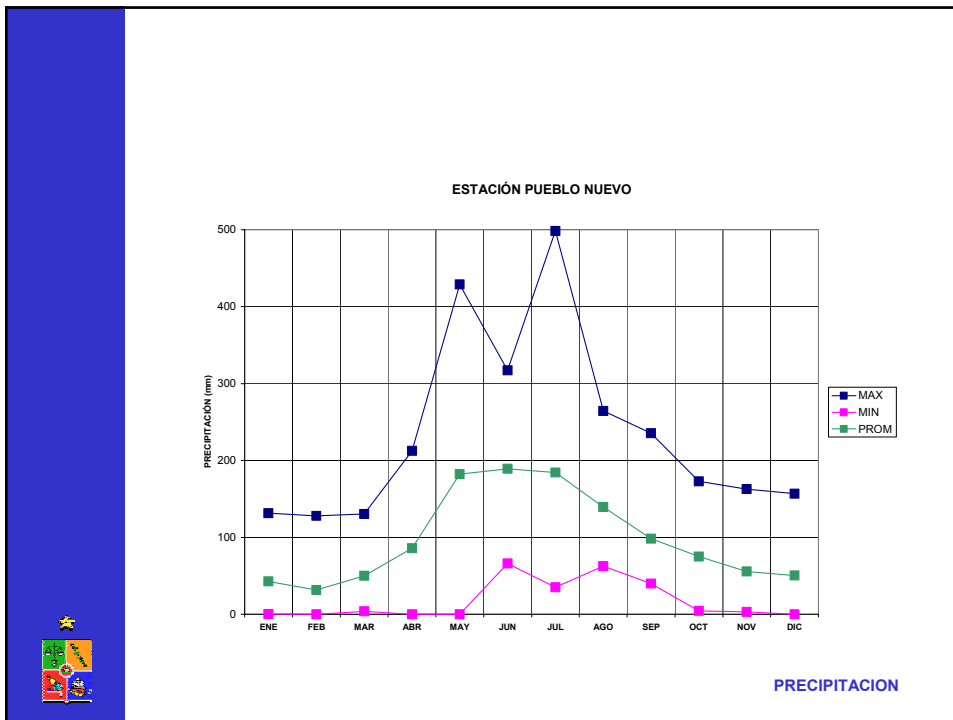
PRECIPITACION

## ANALISIS DE FRECUENCIA

Es usual que las precipitaciones mensuales se presenten probabilísticamente a través de un gráfico denominado curvas de variación estacional.

Para elaborar este gráfico se realiza un análisis de frecuencias para cada mes del año y se obtienen las precipitaciones mensuales asociadas a una probabilidad de ocurrencia.

PRECIPITACION



## INTENSIDADES DE LLUVIA

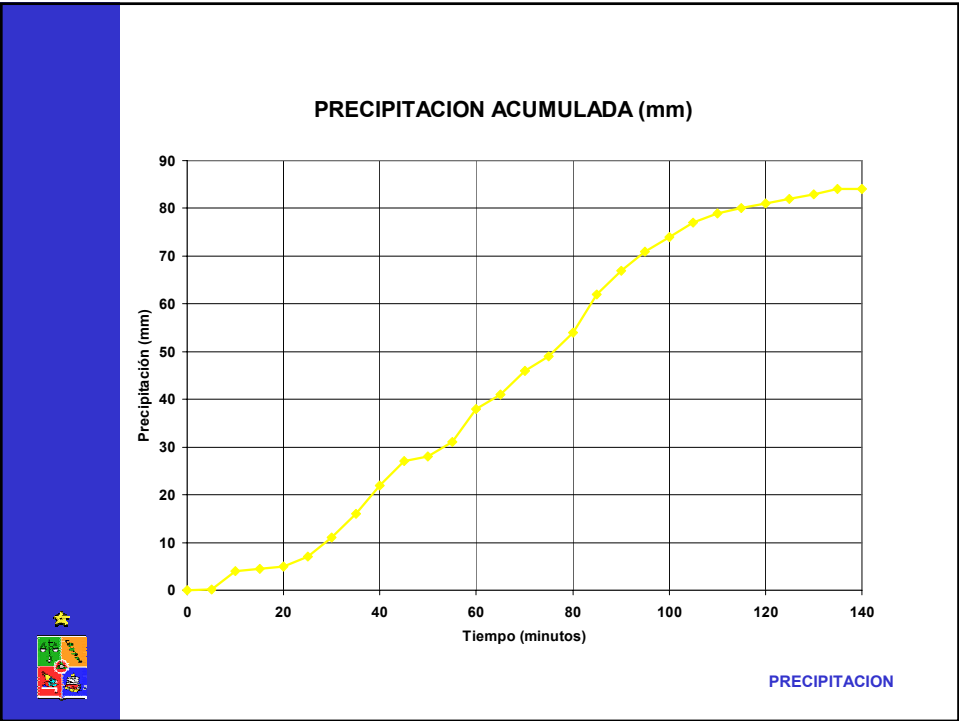
La intensidad corresponde a la lluvia de caída en un cierto intervalo de tiempo y se expresa generalmente en mm/hr.

Para el ingeniero hidráulico resulta de interés el conocimiento de las intensidades medias máximas de una lluvia de cierta duración asociadas a probabilidades de ocurrencia o frecuencia de éstas, que se utilizan comúnmente para el diseño de las obras hidráulicas que permiten resolver problemas como evacuación de aguas lluvias, drenaje urbano o agrícola y evacuación de crecidas en embalses, entre otros.

**PRECIPITACION**

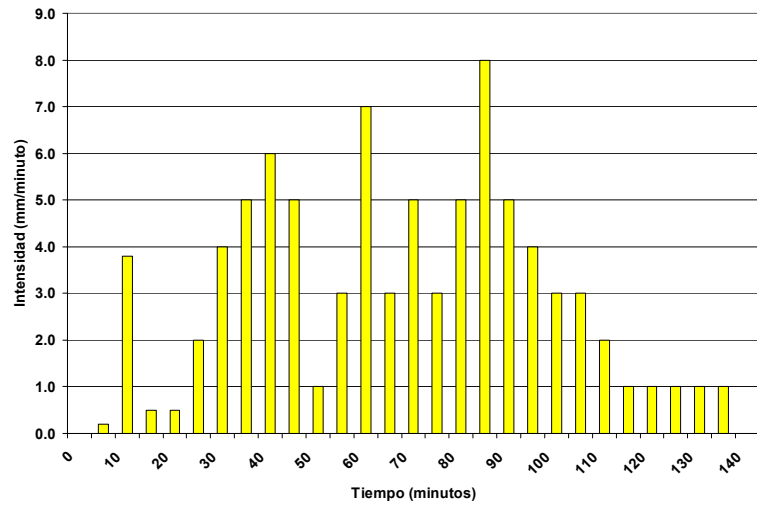
Cálculo de intensidades de lluvia					
Tiempo (min)	Lluvia acumulada (mm)	Lluvia caída a intervalos de			
		5 min	30 min	1 hr	2 hr
0	0.0				
5	0.2	0.2			
10	4.0	3.8			
15	4.5	0.5			
20	5.0	0.5			
25	7.0	2.0			
30	11.0	4.0	11.0		
35	16.0	5.0	15.8		
40	22.0	6.0	18.0		
45	27.0	5.0	22.5		
50	28.0	1.0	23.0		
55	31.0	3.0	24.0		
60	38.0	7.0	27.0	38.0	
65	41.0	3.0	25.0	40.8	
70	46.0	5.0	24.0	42.0	
75	49.0	3.0	22.0	44.5	
80	54.0	5.0	26.0	49.0	
85	62.0	8.0	31.0	55.0	
90	67.0	5.0	29.0	56.0	
95	71.0	4.0	30.0	55.0	
100	74.0	3.0	28.0	52.0	
105	77.0	3.0	28.0	50.0	
110	79.0	2.0	25.0	51.0	
115	80.0	1.0	18.0	49.0	
120	81.0	1.0	14.0	43.0	81.0
125	82.0	1.0	11.0	41.0	81.8
130	83.0	1.0	9.0	37.0	79.0
135	84.0	1.0	7.0	35.0	79.5
140	84.0	0.0	5.0	30.0	79.0
Max. P <sub>p</sub> caída en intervalo (mm)		8.0	31.0	56.0	81.8
Max. Intensidad (mm/hr)		96.0	62.0	56.0	40.9

PRECIPITACION

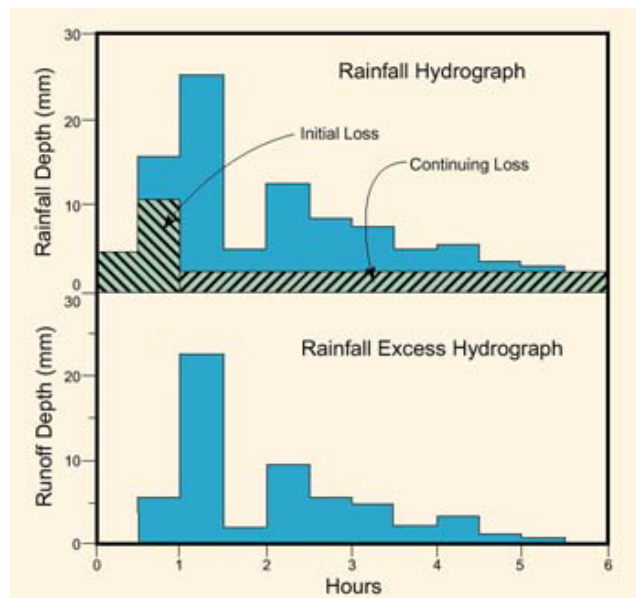


PRECIPITACION

# HIETOGRAMA



PRECIPITACION



PRECIPITACION

## **ANALISIS DE DATOS DE PRECIPITACION EN UNA CUENCA O REGION**



PRECIPITACION

## **ANALISIS DE DATOS DE PRECIPITACION EN UNA CUENCA O REGION**

Los datos de precipitación registrados en una estación corresponden, en rigor, sólo a una medida puntual sujeta a errores de representatividad y son entonces, sólo un índice de precipitación más que un valor real.

Para representar los datos pluviométricos en una región se parte de la hipótesis de que la precipitación puntual observada en una estación representa la precipitación caída en una zona más o menos extensa, lo que depende de la densidad de la red pluviométrica.



PRECIPITACION

## ANALISIS DE DATOS DE PRECIPITACION EN UNA CUENCA O REGION

Existen básicamente 3 métodos para estimar la precipitación media sobre una cierta zona:

- Promedios Aritméticos
- Polígonos de Thiessen
- Método de la Isoyetas

Estación	Lluvia Observada (mm)
P2	20.0
P3	30.0
P4	40.0
P5	50.0

PRECIPITACION



## PROMEDIOS ARITMETICOS

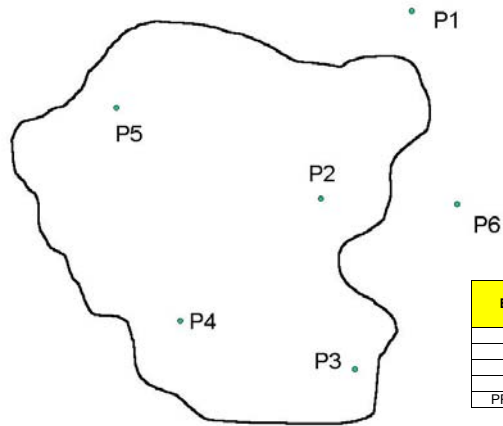
Se promedian las precipitaciones registradas en cada estación en el intervalo de tiempo de interés (horas, días, meses, años).

Es el método más simple y resulta adecuado cuando las estaciones están bien distribuidas en la cuenca y las medidas individuales no varían en forma significativa en torno al valor medio. Esto ocurre generalmente cuando el terreno es plano y cuando el régimen pluviométrico no es afectado por factores topográficos.



PRECIPITACION

## PROMEDIOS ARITMETICOS



Estación	Lluvia Observada (mm)
P2	20.0
P3	30.0
P4	40.0
P5	50.0
PROMEDIO	35.0

$$P_{MEDIA} = 35 \text{ mm}$$

PRECIPITACION



## POLIGONOS DE THIESSEN

Se basa en suponer que el valor registrado por cada estación pluviométrica es representativo de la precipitación caída sobre cierta área de la cuenca  $A_i$ . En consecuencia, la precipitación media sobre la cuenca,  $P$ , se estima como:

$$\bar{P} = \sum P_i \cdot \left( \frac{A_i}{A_T} \right)$$

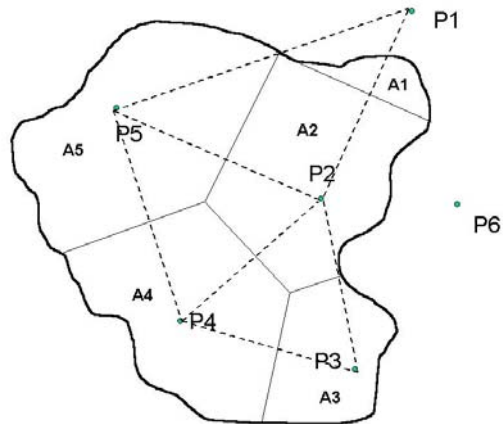
donde  $A_i/A_T$  corresponde al factor de ponderación asignado a cada estación para estimar el valor medio de la precipitación en la cuenca, siendo  $A_T$  el área total de ésta.

PRECIPITACION





## POLIGONOS DE THIESSEN



$$P_{MEDIA} = 31.1 \text{ mm}$$

PRECIPITACION



## METODO DE LAS ISOYETAS

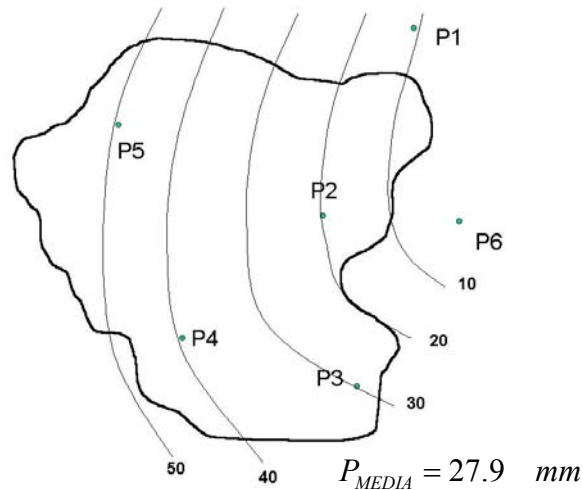
Es el método más racional y exacto para calcular la precipitación media sobre una cuenca. Para el cálculo, sobre el mapa de la cuenca se trazan líneas que unen los puntos de igual precipitación (isoyetas) interpolando entre las precipitaciones observadas en cada pluviómetro de la red.

El volumen de relieve pluviométrico se determina con las áreas encerradas entre dos isoyetas consecutivas, multiplicadas por la correspondiente precipitación media de cada área (valor promedio de la isoyetas que delimitan el área).



PRECIPITACION

## METODO DE LAS ISOYETAS



PRECIPITACION

- INTRODUCCION
- MANEJO DE RECURSOS HIDRICOS
- CONSIDERACIONES TECNOLOGICAS
- HIDROLOGIA
- MEDICION DE VARIABLES HIDROLOGICAS
- PRECIPITACION
- **ESCORRENTIA SUPERFICIAL**
- HIDROLOGIA PARA OBRAS DE DRENAJE
- HIDROLOGIA SUBTERRANEA
- FUENTES DE AGUA
- CAUDALES ECOLOGICOS

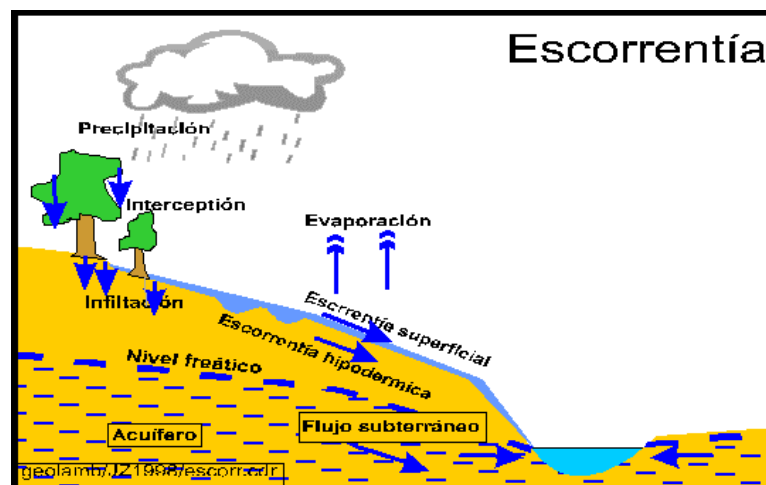
Escorrentía total es aquella parte de la precipitación que se manifiesta más tarde como una corriente a nivel de superficie o en forma subterránea.

La escorrentía total en una cuenca puede provenir de cuatro fuentes distintas:

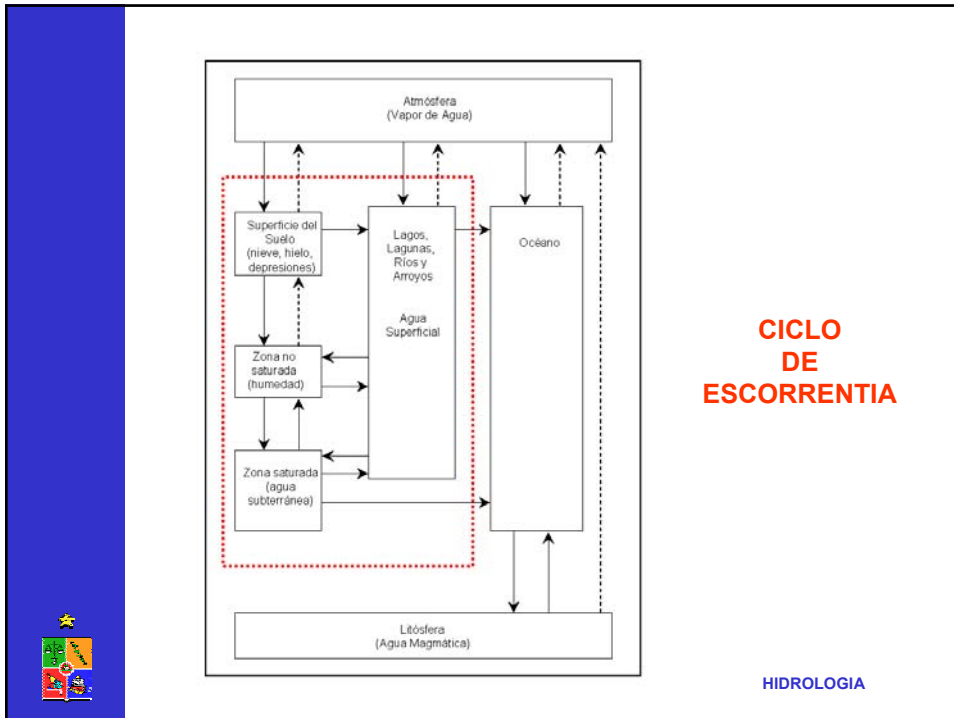
- escorrentía superficial
- escorrentía subsuperficial o flujo intermedio
- escorrentía subterránea
- precipitación directa sobre los cauces



ESCORRENTIA SUPERFICIAL



ESCORRENTIA SUPERFICIAL



Factores que afectan escorrentía: climáticos, fisiográficos y vegetación.

Los **factores climáticos** que afectan la escorrentía se refieren al efecto de la precipitación, evaporación y transpiración.

Los **factores fisiográficos** pueden a su vez subdividirse en características de la cuenca en general, y de los cauces.

Los efectos de la **vegetación** tienen relación con los procesos de detención, interceptación y transpiración. En este sentido intervienen el tipo de vegetación, su composición, edad, densidad, época del año, etc.

ESCORRENTIA SUPERFICIAL



El régimen de caudales de un río puede clasificarse en diferentes tipos, según sea la simplicidad o complejidad del hidrograma de caudales medios mensuales durante un año hidrológico y según el origen de los caudales de crecidas:

- simples (pluvial, nival, glacial)
- mixtos (nivo-pluvial, pluvio-nival)
- complejos.

Datos de escorrentía superficial se presentan en diferentes unidades:

- caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$  o  $\text{l/s}$ )
- caudales por unidad de superficie ( $\text{m}^3/\text{s}/\text{Ha}$ )

ESCORRENTIA SUPERFICIAL

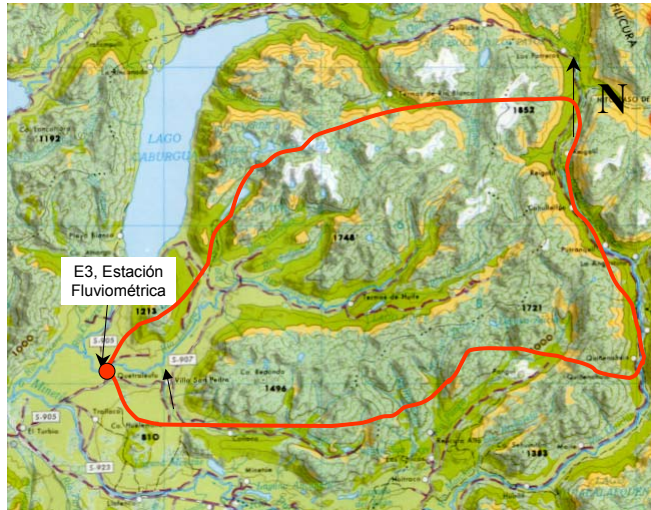


## RENDIMIENTO HIDROLOGICO

Para cuantificar las disponibilidades de agua en la cuenca, se debe estimar el **rendimiento hidrológico** de una cuenca, en términos de la escorrentía que ella produce, su distribución en el tiempo y su variabilidad.

Se requiere de mediciones de caudales en la sección de salida de la cuenca de interés. Estas **estadísticas fluviométricas** son una información básica para diseñar y operar obras de aprovechamiento de agua.

ESCORRENTIA SUPERFICIAL



ESCORRENTIA SUPERFICIAL

## CAUDALES MEDIOS DIARIOS

Estos caudales se obtienen a partir de la altura limnimétrica media en la estación, durante el día considerado y utilizando la curva de descarga respectiva.

Si el caudal durante el día varía considerablemente y la estación sólo tiene medidas limnimétricas, es necesario tener 2 o 3 lecturas diarias para obtener un promedio significativo.

## CAUDAL ECOLOGICO Y DILUCION (DS90)

ESCORRENTIA SUPERFICIAL

## CAUDALES MEDIOS MENSUALES

Se obtienen promediando los caudales medios diarios calculados según se indica anteriormente. Los caudales medios mensuales se suelen representar en tablas y gráficos cronológicos.

Los caudales medios de un mes determinado varían considerablemente de un año hidrológico a otro. Para resumir la información correspondiente a los caudales medios mensuales de una serie de años de estadísticas, se recurre usualmente a **curvas de variación estacional**.

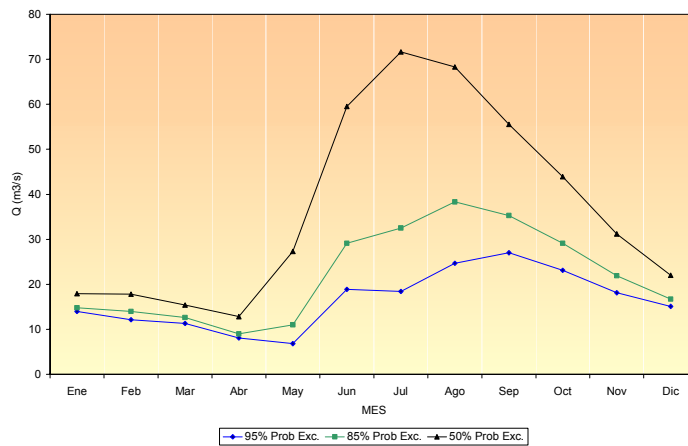
### DISPONIBILIDAD

ESCORRENTIA SUPERFICIAL



## CAUDALES MEDIOS MENSUALES

ESTACION ITATA EN CHOLGUAN



ESCORRENTIA SUPERFICIAL



## ESTIMACION DE ESCORRENTIA

Si existiese una cuenca ideal en que se cumpliera que ella fuese completamente impermeable, sin detención ni almacenamiento superficial, la escorrentía ( $E_s$ ) para un cierto lapso de tiempo, sería igual a la precipitación media ( $P$ ) durante el mismo lapso de tiempo.

En la práctica, la escorrentía en una cuenca sin regulación artificial, será siempre menor que la precipitación, debido a las “pérdidas” por evaporación, evapotranspiración, infiltración, etc.



ESCORRENTIA SUPERFICIAL

## ESTIMACION DE ESCORRENTIA

En el caso más general, para períodos de tiempo prolongados (períodos estacionales o años), la relación entre escorrentía y precipitación puede escribirse como:

$$E_s = P - D$$

en que  $D$  es lo que suele llamarse déficit de escorrentía, que engloba todas las pérdidas que aparecen en la ecuación de balance hidrológico.

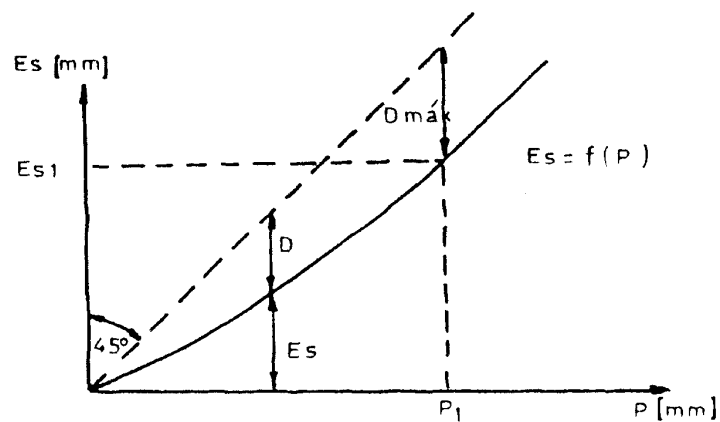
Se observa en la mayoría de los casos, que pasado un cierto límite el déficit de escorrentía se hace constante ( $D_{\text{máx}}$ ).



ESCORRENTIA SUPERFICIAL



## ESTIMACION DE ESCORRENTIA



ESCORRENTIA SUPERFICIAL

## ESTIMACION DE ESCORRENTIA

Lo anterior se debe a que pasado este límite se copan las fuentes de “pérdidas” en la cuenca, tales como saturación del subsuelo, que impide excesos de retención de agua en él; satisfacción de las demandas evapotranspirativas potenciales, etc.

De esta forma, pasado este límite, toda la precipitación adicional se manifiesta como escorrentía superficial en la sección de salida.

ESCORRENTIA SUPERFICIAL

## FORMULAS EMPIRICAS

Un ejemplo de una relación empírica para el cálculo de escorrentía es la **Fórmula de Peñuelas**:

$$E_s = 0.5 \cdot P^2 \quad \text{si } P \leq 1,0 \text{ m}$$

Para  $P > 1,0 \text{ m}$  toda la precipitación escurre con lo que  $D_{MAX} = 500 \text{ mm}$ .

$$E_s = P - D_{MAX} \quad \text{si } P \geq 1,0 \text{ m}$$



ESCORRENTIA SUPERFICIAL

## FORMULAS EMPIRICAS

Otro ejemplo de una relación empírica para el cálculo de escorrentía es la **Fórmula de Coutagne**:

$$E_s = \lambda \cdot P^2$$

en que:

$$\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14 \cdot T}$$

La relación anterior es válida si:

$$\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda}$$



ESCORRENTIA SUPERFICIAL

## FORMULAS EMPIRICAS

Otro ejemplo de una relación empírica para el cálculo de escorrentía es la **Fórmula de Turc**:

$$E_S = P - D$$

en que:

$$D = \frac{P}{\sqrt{0.9 + (P/L)^2}}$$

y:

$$L = 300 + 25 \cdot T + 0,05 \cdot T^3$$



ESCORRENTIA SUPERFICIAL

## INDICES DE ESCORRENTIA

Relación entre la escorrentía, precipitación y otros índices puede ser desarrollado a partir de información básica medida en diversas estaciones.

$$E_S = f(I_P, I_{ET}, I_{CI})$$

$$E_S = a \cdot I_{Pt} + b \cdot I_{ETt} + c$$



ESCORRENTIA SUPERFICIAL

## TRANSPOSICION DE CAUDALES

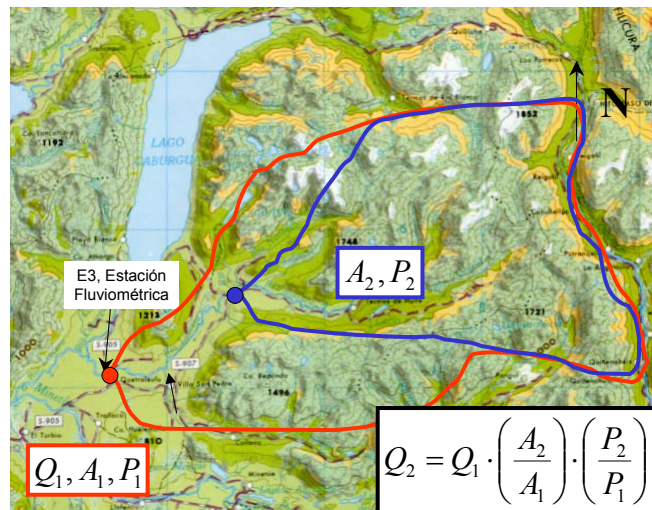
Si se dispone de estadísticas fluviométricas en algún punto de la cuenca es posible utilizar transposición de caudales para estimar el caudal en un punto cualquiera de ella.

Geología, geomorfología, características climáticas y vegetación similares.

$$\frac{Q_1}{P_1 \cdot A_1} = \frac{Q_2}{P_2 \cdot A_2}$$



ESCORRENTIA SUPERFICIAL



ESCORRENTIA SUPERFICIAL