DISEÑO HIDROLÓGICO

HIDROLOGÍA ESTADÍSTICA

Edición 2024

Rafael Terra

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA)
Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay

rterra@fing.edu.uy

- Interpretación de registros hidrológicos históricos, rara vez completos y que contienen errores, de modo de caracterizar el comportamiento de los estadísticos más relevantes de la variables hidrológicas con el objetivo del diseño hidrológico.

Hidrología Aplicada

Ven Te Chow, David R. Maidment y Larry W. Mays

Capítulo 11: Hidrología Estadística

HIDROLOGÍA ESTADÍSTICA

Diseño Hidrológico

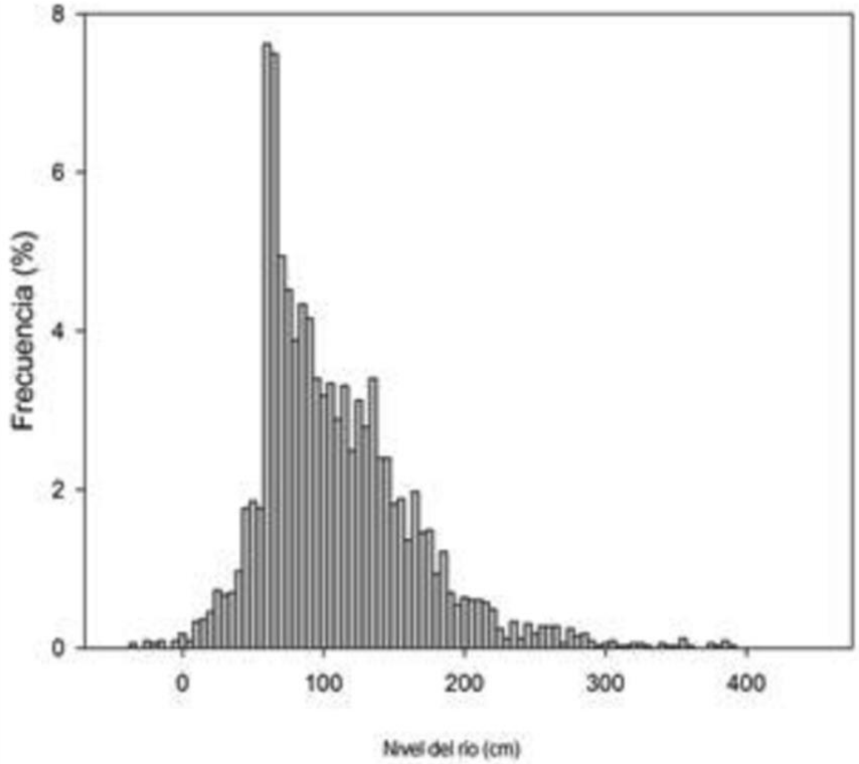
- Puentes y alcantarillas.
- Control de avenidas e inundaciones.
- Estructuras para almacenar agua.
- Abastecimiento de agua a ciudades e industrias.
- Sistemas y obras de riego.
- Sistemas de drenaje.
- Recolectar, tratar y disponer aguas residuales.
- Gestión integral de los Recursos Hídricos.

Diseño Hidrológico

- Línea de base
  - Documentar el estado actual del medio ambiente, con el fin de establecer futuros cambios resultantes, por ejemplo, de la instalación de nuevos emprendimientos
- Evaluación de impacto
  - Nuevas obras hidráulicas, como la construcción de un puente o una represa, o accidentes como derrames
- Monitoreo
  - Detectar tendencias y cambios en variables hidrológicas y ambientales

Representaciones gráficas

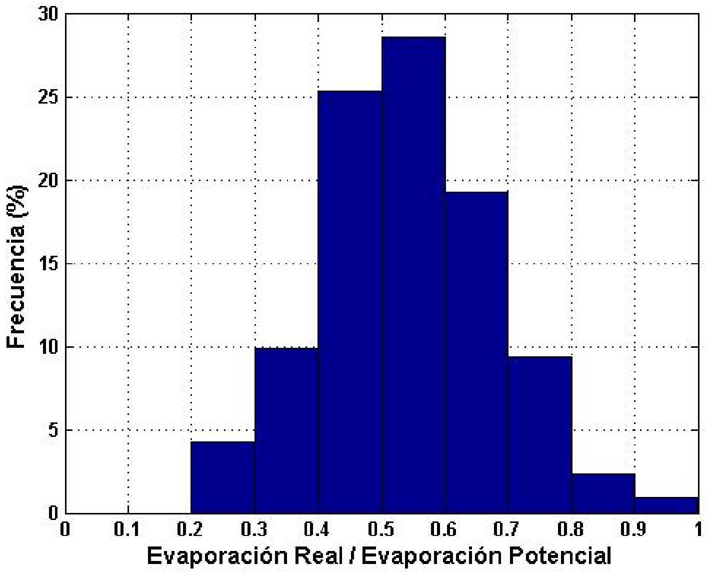
No importa el ordenamiento – *1 point statistics*

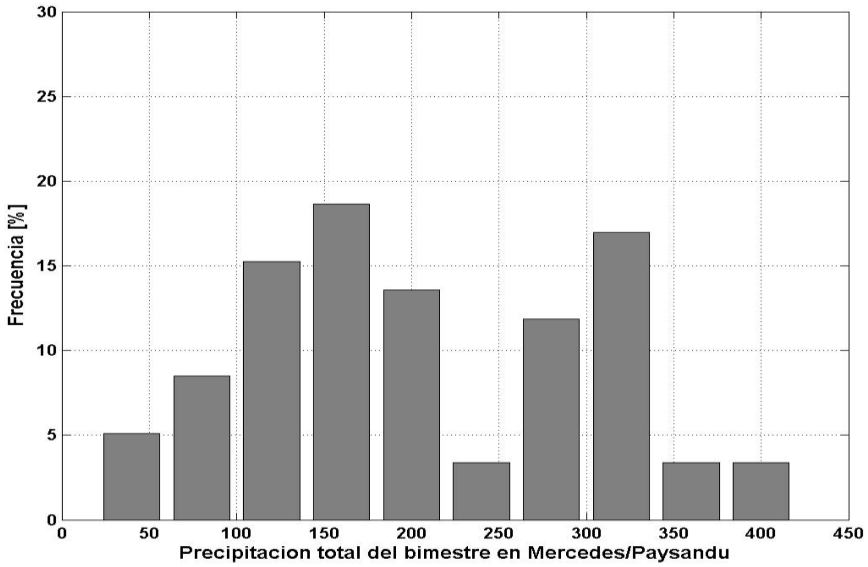


Histograma de frecuencias → Distribución empírica de frecuencia → Función de densidad de probabilidad (PDF)

Representaciones gráficas

No importa el ordenamiento – *1 point statistics*

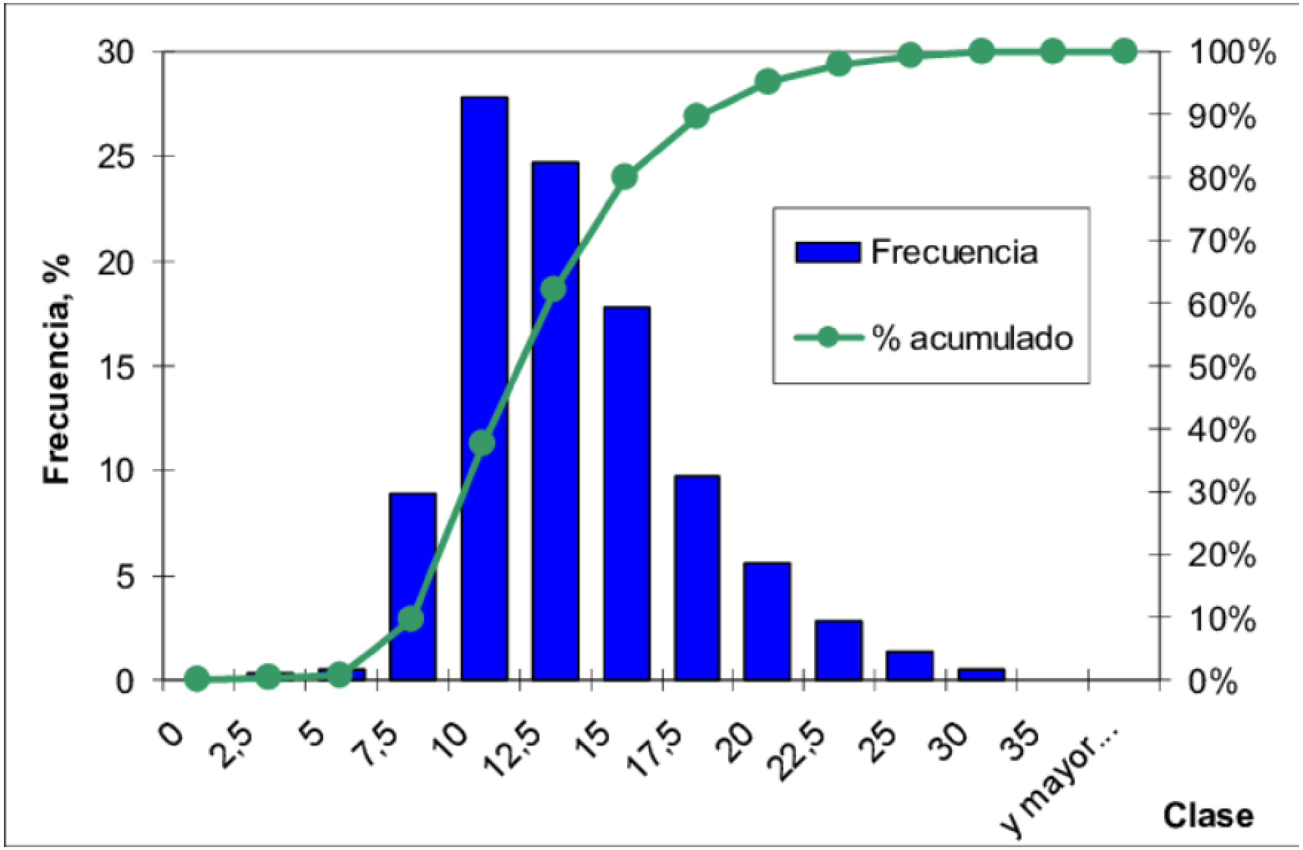




Cuan "poblado" queda el histograma, uni-modalidad, bi-modalidad, huecos …

Representaciones gráficas

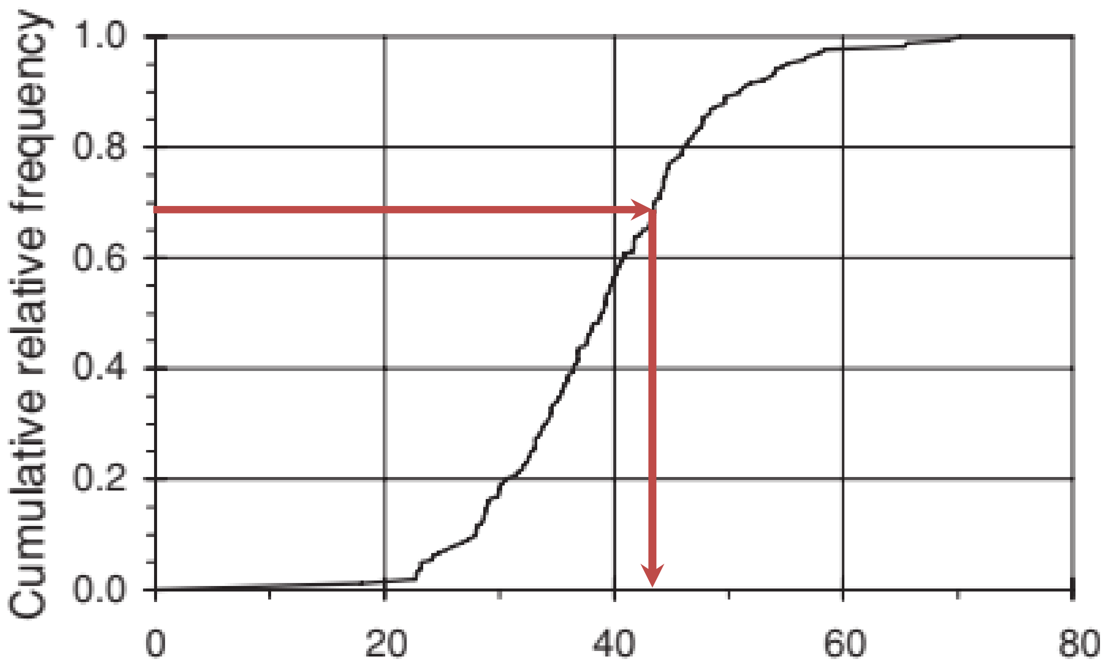
No importa el ordenamiento – *1 point statistics*



Distribución empírica de frecuencia acumulada → Función de probabilidad acumulada (CDF)

Representaciones gráficas

No importa el ordenamiento – *1 point statistics*



Percentiles → *p*th percentil es el valor que es mayor a *p*% de los datos.

Distribución empírica de frecuencia acumulada → Función de probabilidad acumulada (CDF)

]

Cuantiles de una muestra aleatoria

(percentiles, cuartiles, quintiles, deciles, etc)

En general, los percentiles no son únicos y por lo tanto, no hay una única forma de estimarlos.

Una forma posible para una muestra aleatoria de tamaño n es:

1) tomar los estadísticos de orden como los cuantiles (0.5/n), (1.5/n), ..., ([n-0.5]/n) respectivamente

2) para los cuantiles con probabilidades entre (0.5/n) y ([n-0.5]/n), se interpola linealmente.

3) los valores mínimo o máximo de la muestra se asignan a los cuantiles para probabilidades fuera de ese rango.

CARACTERIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

Diseño Hidrológico

- Se conceptualiza las variables hidrológicas como resultantes de un **Proceso estocástico** que describen su variabilidad espacio-temporal.

- Si bien realizaciones individuales de dicho proceso estocástico tienen un componente **aleatorio**, la distribución de ocurrencias respetan **propiedades estadísticas** inspiradas en la serie observada.

- A mayor **calidad**, **densidad** y **longitud** de las series observadas, mayor precisión en la **estimación** de los procesos estocásticos que son capaces de reproducir propiedad más **sutiles** de la serie observada.

- Esta conceptualización, bien utilizada, es muy útil para el **diseño hidrológico**. Aún frente a **eventos extremos** no muestreados en la serie histórica como veremos más adelante en el curso.

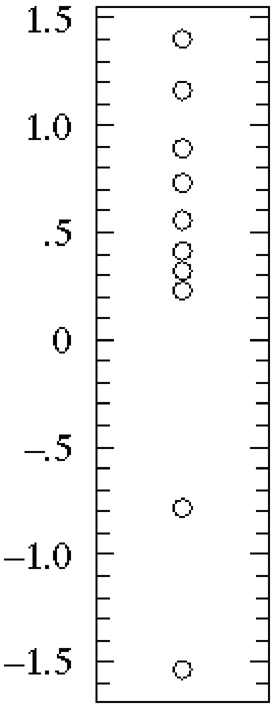
Principales medidas numéricas de resumen de un conjunto de datos

1) **Localización**: ej. valor de "tendencia central" del conjunto

2) **Dispersión**: alrededor del valor central

3) **Simetría**: cómo están distribuidos los datos respecto del valor central

4) **Momentos de mayor orden …**



Localización

En general los datos tienden a agruparse en torno a un valor central,
el cual puede ser tomado como una valor representativo de la muestra.

Existen distintos formas de estimar la tendencia central de la muestra,
pero los tres **estadísticos** más utilizados son la **moda**, la **mediana** y la **media**.

Un estadístico es cualquier cantidad (o función)
calculada a partir de la muestra

TABLA 11.3.1
Parámetros de población y estadísticas de muestra

Parámetro de la población	Estadística de la muestra
1. *Punto medio*	
Media aritmética	
$\mu = E(X) = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x)\, dx$	$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$
Mediana	
x tal que $F(x) = 0.5$	Valor de la información en el 50o. percentil
Media geométrica	
antilog $[E(\log x)]$	$\left(\prod_{i=1}^{n} x_i\right)^{1/n}$
2. *Variabilidad*	
Varianza	
$\sigma^2 = E[(x-\mu)^2]$	$s^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2$
Desviación estándar	
$\sigma = \{E[(x-\mu)^2]\}^{1/2}$	$s = \left[\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2\right]^{1/2}$
Coeficiente de variación	
$CV = \frac{\sigma}{\mu}$	$CV = \frac{s}{\bar{x}}$
3. *Simetría*	
Coeficiente de asimetría (oblicuidad)	
$\gamma = \frac{E[(x-\mu)^3]}{\sigma^3}$	$C_s = \frac{n\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)s^3}$

Parámetro de la Distribución

Estadístico de la Muestra

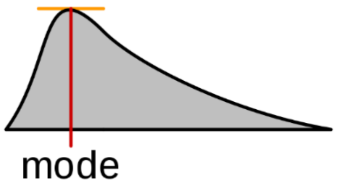
Es un Estimador del Parámetro de la Distribución

Localización

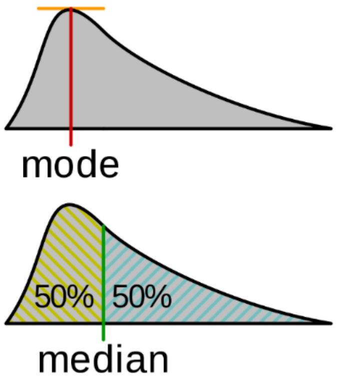
Moda: es el valor más frecuente (el que aparece mayor número de veces en la muestra).

Para variables discretas el cálculo es inmediato.

Para variables continuas puede haber más de una forma de cálculo (típicamente a partir de un histograma).



Localización

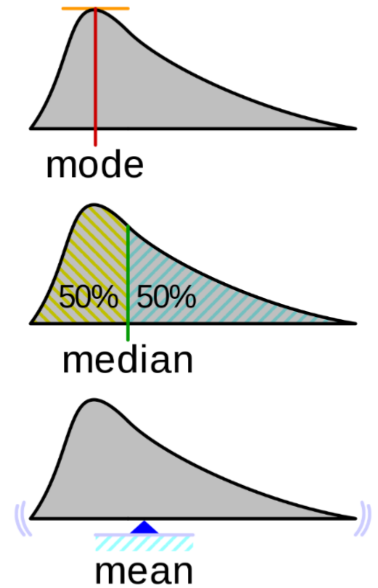


Moda: es el valor más frecuente (el que aparece mayor número de veces en la muestra).
Para variables discretas el cálculo es inmediato.
Para variables continuas puede haber más de una forma de cálculo (típicamente a partir de un histograma).

Mediana: es el valor que es superado por el 50% de los datos y que supera al otro 50%.
Se calcula a partir de la muestra ordenada.
Si n es impar, la mediana es el valor del dato que queda en el lugar $(n-1)/2+1$; si n es par, la mediana será el promedio de los datos en posición $n/2$ y $n/2+1$.

Localización

<u>Moda</u>: es el valor más frecuente (el que aparece mayor número de veces en la muestra).
Para variables discretas el cálculo es inmediato.
Para variables continuas puede haber más de una forma de cálculo (típicamente a partir de un histograma).



<u>Mediana</u>: es el valor que es superado por el 50% de los datos y que supera al otro 50%.
Se calcula a partir de la muestra ordenada.
Si n es impar, la mediana es el valor del dato que queda en el lugar *(n-1)/2+1;* si n es par, la mediana será el promedio de los datos en posición *n/2* y *n/2+1*.

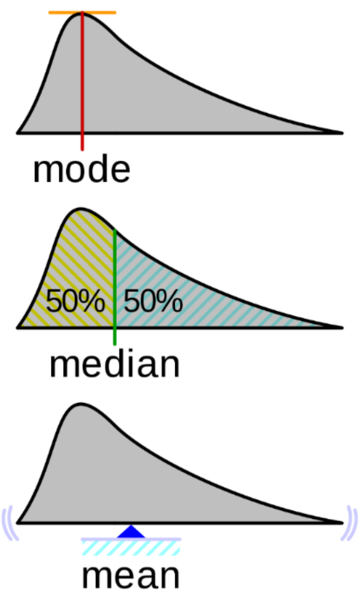
<u>Media muestral</u>: es la media aritmética de los datos

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$$

Localización

<u>Media muestral</u>

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$$



La media es el principal estadístico para caracterizar la tendencia central.

La media muestral $\bar{x}$ es un estimador de la media de la población μ.

Da la posición del centroide de del histograma (o la PDF).

Un estimador se refiere a algún método para estimar una constante propia de la población de la que proviene la muestra.

¿Ventajas y desventajas?

Ejemplo: (con muy pocos datos!!)

2 4 9 11 14 $\bar{x} = 8$

2 4 9 11 7004 $\bar{x} = 1406$

(outlier, valor fuera de rango) ??

La media no es robusta ni resistente

¿Por qué se usa más la media que la mediana?

Porque en el caso ("muy frecuente") de una distribución gaussiana es un estimador más eficiente que la mediana:

con menos valores (o sea, una muestra más pequeña) se obtiene la misma dispersión del estimador.

Además, la media es más fácil de tratar matemáticamente, y es única para una muestra dada.

Dispersión

Una vez definida la tendencia central de los datos, interesa saber qué tan dispersos están los datos respecto a ésta, o cuál es la variabilidad de los datos respecto a la tendencia central.

Existen varias medidas de la dispersión de los datos, como el *rango*, el rango inter-cuartiles (*iqr*), etc., pero la más utilizada es la *desviación estándar muestral*.

Rango (range): es la diferencia entre el valor máximo y el mínimo de la muestra.

Iqr: Intervalo intercuartil, es la diferencia entre el primer y el tercer cuartil.

mad: Desviación absoluta de la mediana, **MAD = median {|xi – q0.5|}**

Desviación estándar muestral: $\hat{s} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\Sigma(x_i - \bar{x})^2}$

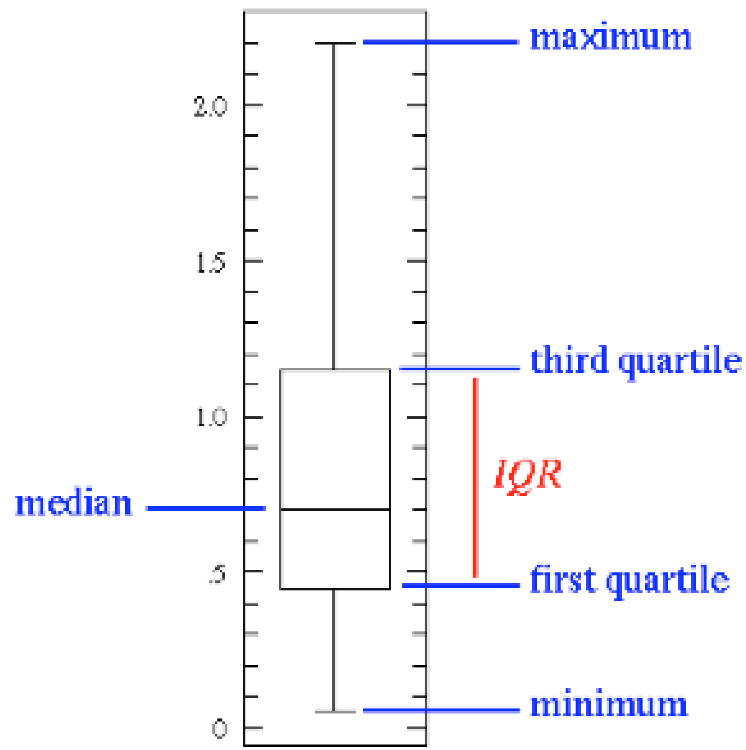
Coeficiente de variación muestral: $\nu = \frac{\hat{s}}{\bar{x}}$

Intervalo intercuartil

$$IQR = q_{0.75} - q_{0.25}$$

“No usa” el 25% superior e inferior de los datos

**Robusta y resistente,
pero le presta poca atención
a los datos extremos**



Desviación estándar muestral

$$\hat{s} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\Sigma(x_i - \bar{x})^2}$$

La desviación estándar muestral $\hat{s}$ es un estimador de la desviación estándar de la población σ.

Se usa $n-1$ en lugar de n porque se perdió un grado de libertad al calcular la media muestral (i.e. dada la media $\bar{x}$ y $n-1$ datos x_i, el valor del dato restante queda determinado).

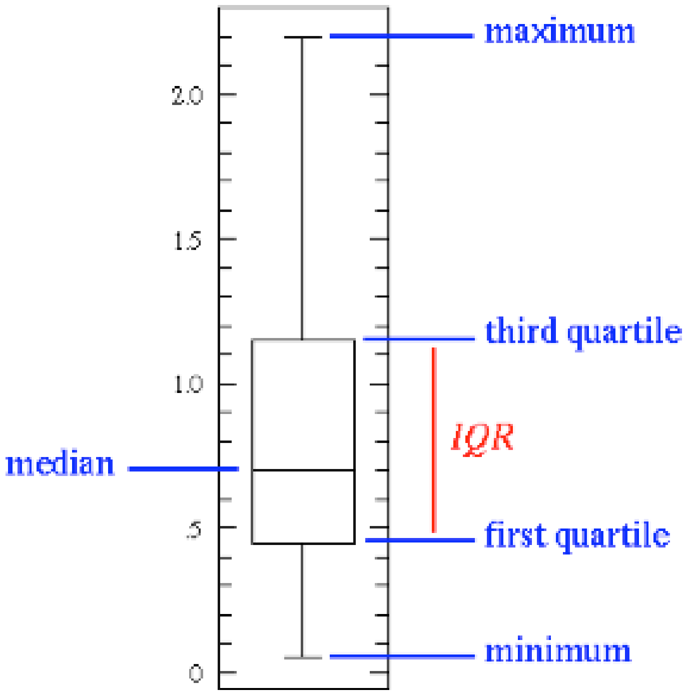
Ni robusta ni resistente

$$\hat{s}^2 = \frac{1}{n-1}\Sigma(x_i - \bar{x})^2$$

La desviación estándar muestral $\bar{s}$ al cuadrado es un estimador de la **varianza** de la población σ^2.

Boxplots

Diagrama de cajas



Usa unos pocos valores para describir un conjunto de datos: la mediana, el primer y tercer cuartiles, el máximo y el mínimo y/o algún otro percentil (eventualmente con alguna restricción)

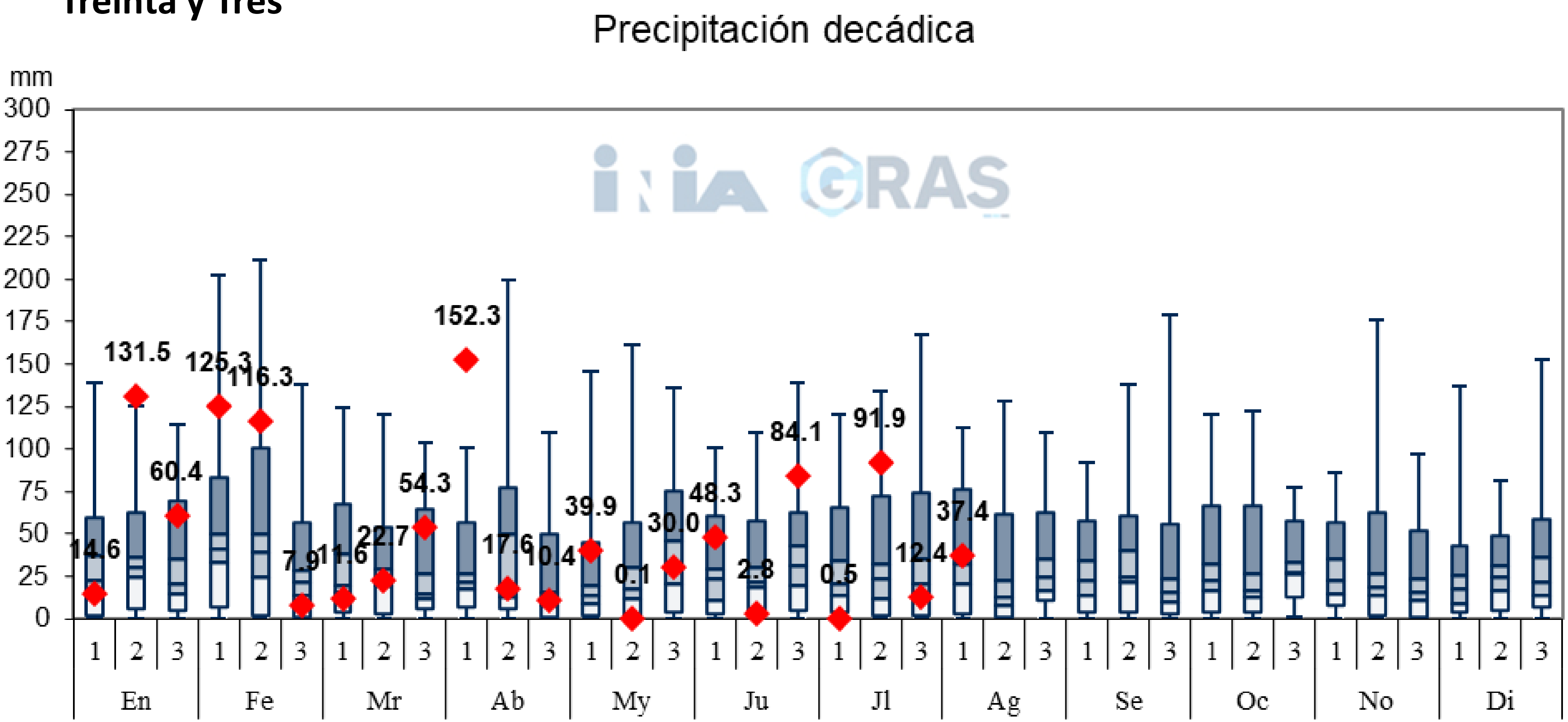
Ojo, no todos los boxplots son iguales, ver instrucciones

CARACTERIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

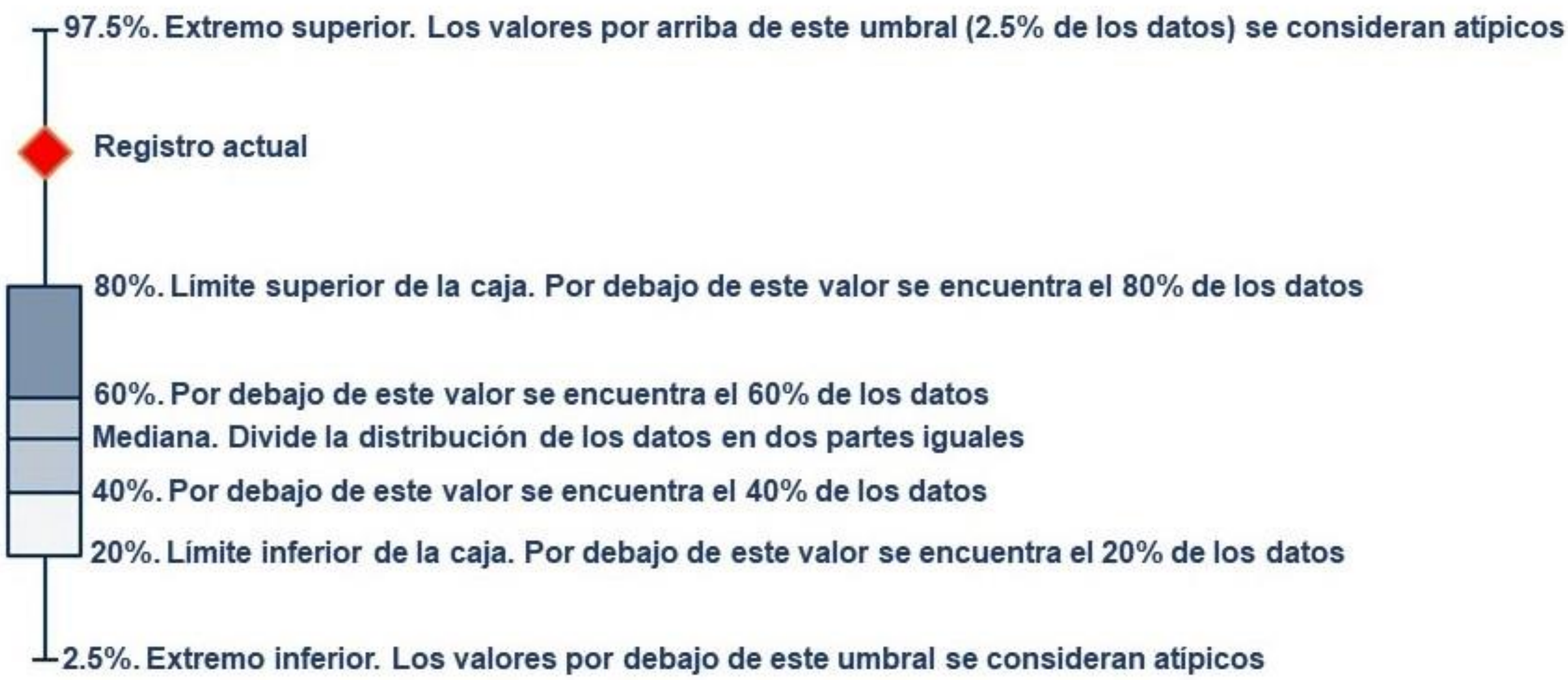
Diagramas de Cajas (Box plots)

http://www.inia.uy/gras/Clima

Treinta y Tres



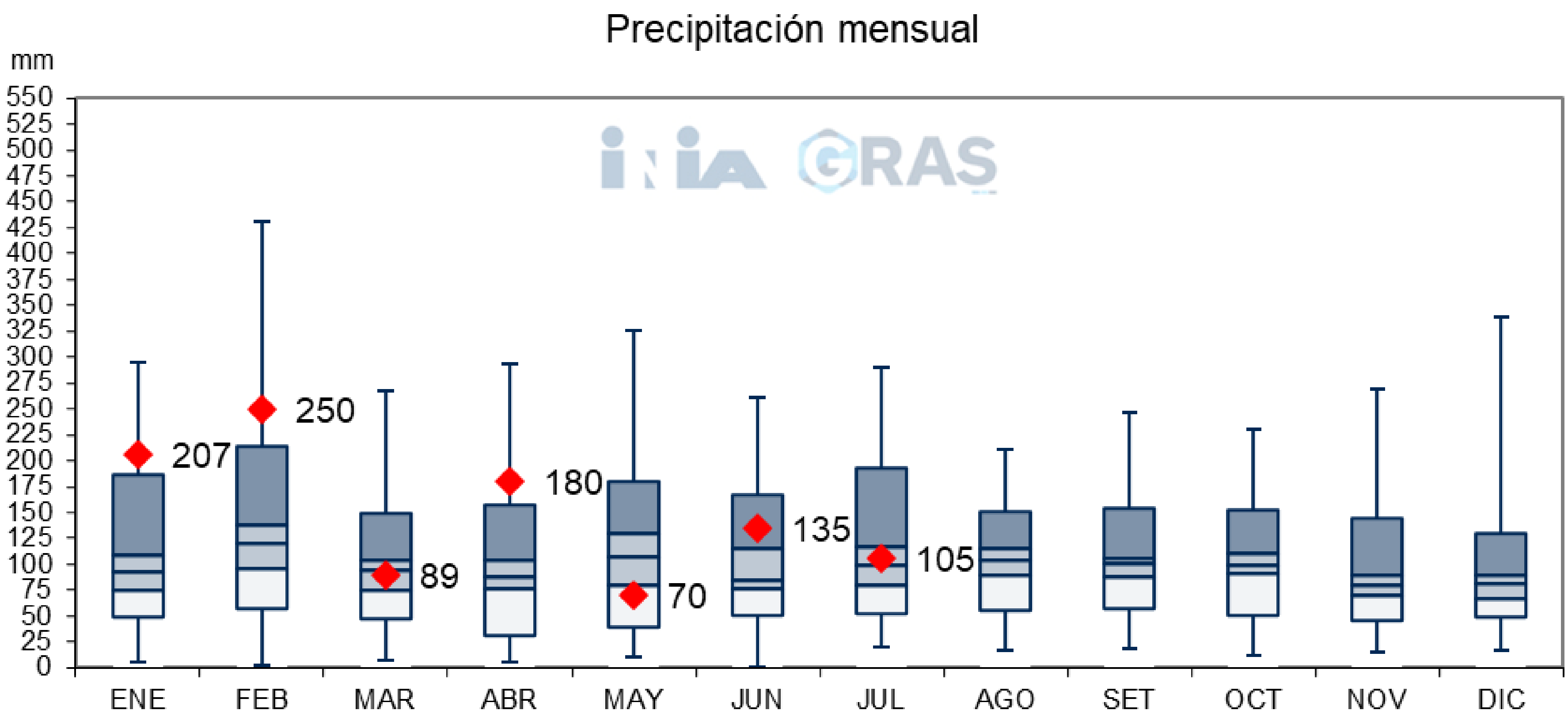
Caracterización de la Información Hidrológica



Caracterización de la Información Hidrológica

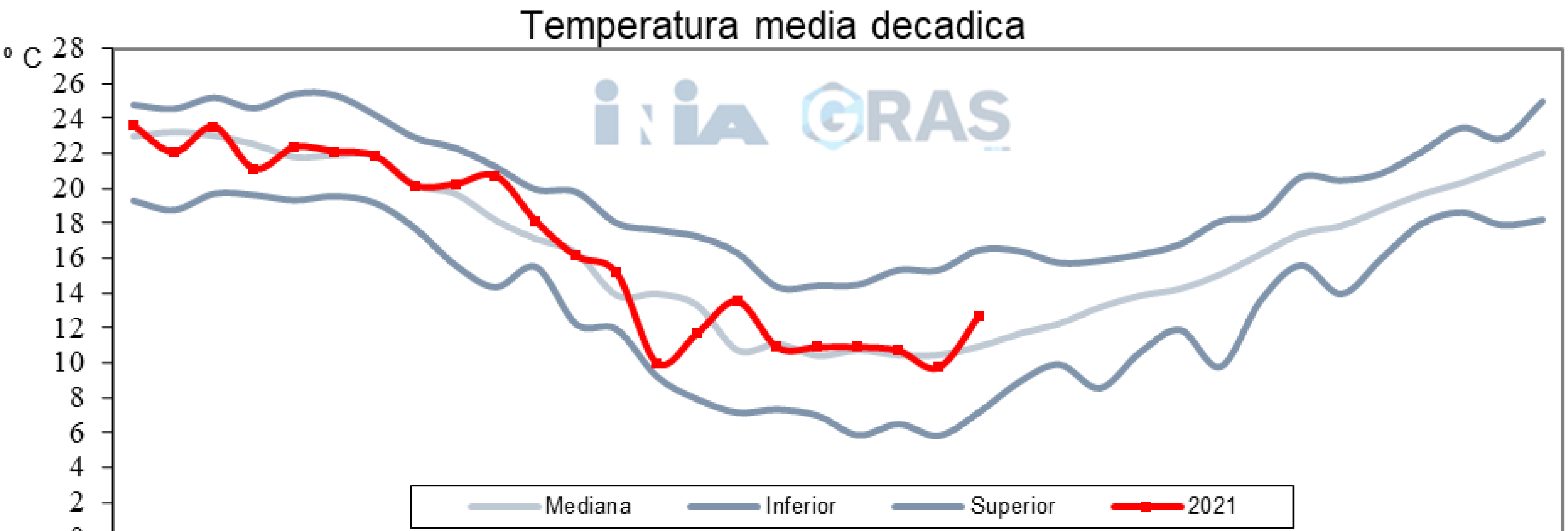
Ejemplo

Treinta y Tres



Ejemplo

Treinta y Tres



	En			Fe			Mr			Ab			My			Ju		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Mediana	23.	23.	23.	22.	21.	21.	21.	20.	19.	18.	17.	16.	13.	14.	13.	10.	11.	10.
Inferior	19.	18.	19.	19.	19.	19.	19.	17.	15.	14.	15.	12.	11.	9.2	7.9	7.2	7.4	7.0
Superior	25	25	25	25	25	25	24	23	22	21	20	20	18	18	17	16	14	14
2021	23.	22.	23.	21.	22.	22.	21.	20.	20.	20.	18.	16.	15.	10.	11.	13.	10.	10.

	Jl			Ag			Se			Oc			No			Di		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Mediana	10.	10.	10.	11.	11.	12.	13.	13.	14.	15.	16.	17.	17.	18.	19.	20.	21.	22.
Inferior	5.9	6.5	5.9	7.2	8.9	9.9	8.6	10.	11.	9.8	13.	15.	13.	16.	18.	18.	17.	18.
Superior	15	15	15	16	16	16	16	16	17	18	18	21	20	21	22	23	23	25
2021	10.	10.	9.7	12.														

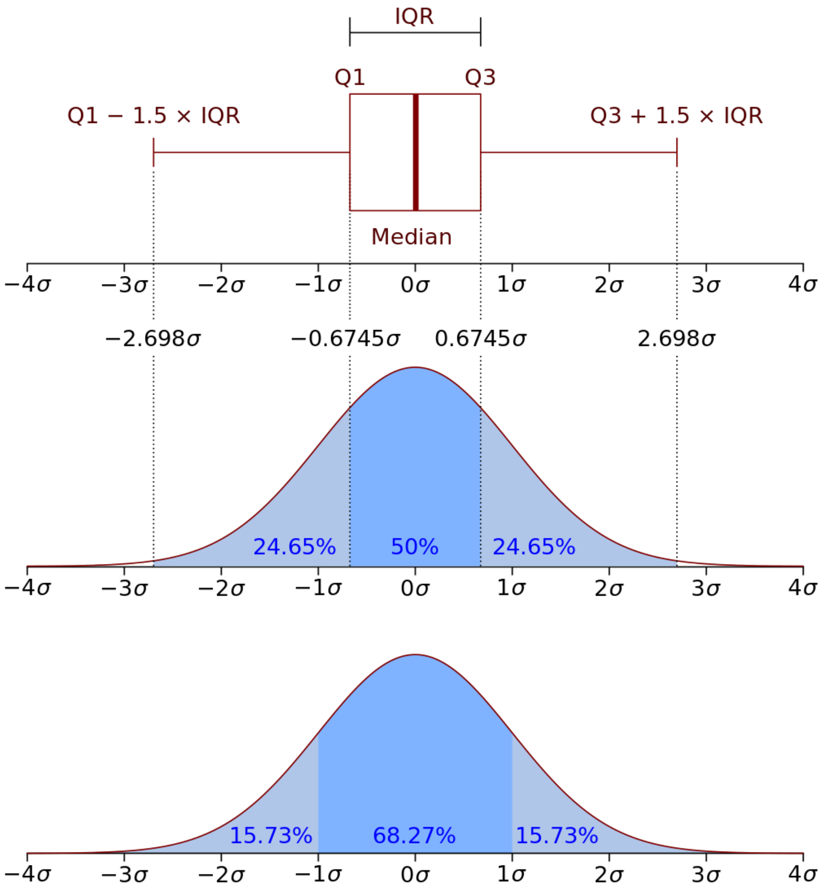
20-ile
80-ile

CARACTERIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

Outliers
Valores fuera de rango

En algunos casos se incluye alguna regla de identificación de *outliers*. (p.e. todo dato menor a Q1 – 1.5 iqr o mayor a Q3 + 1.5 iqr).

Se denomina *outlier* a datos con valores inesperadamente altos o bajos, que no parecieran seguir la misma distribución que el resto de los datos.



Estos valores pueden estar asociados a errores de medida o de lectura y, en estos casos, deberán ser descartados del análisis.

Pero también pueden estar justificados o tener una explicación física; en este caso habrá que decidir cómo se utiliza la información proporcionada por estos datos según el tipo de análisis estadístico que se vaya a hacer.

Anomalías

Hace 8 ºC afuera, ¿está frío?

Dónde, a qué hora, en qué estación del año, etc.

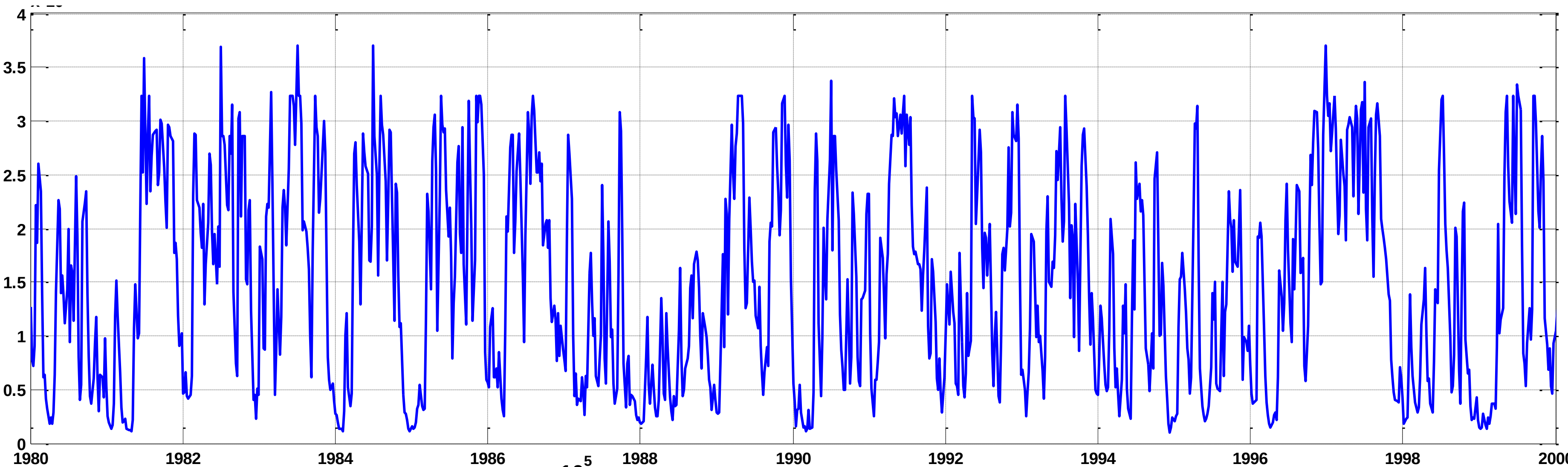
$$Z = X - \bar{X}$$

En general se definen respecto del ciclo anual
(o eventualmente el ciclo diario si fuera el caso)

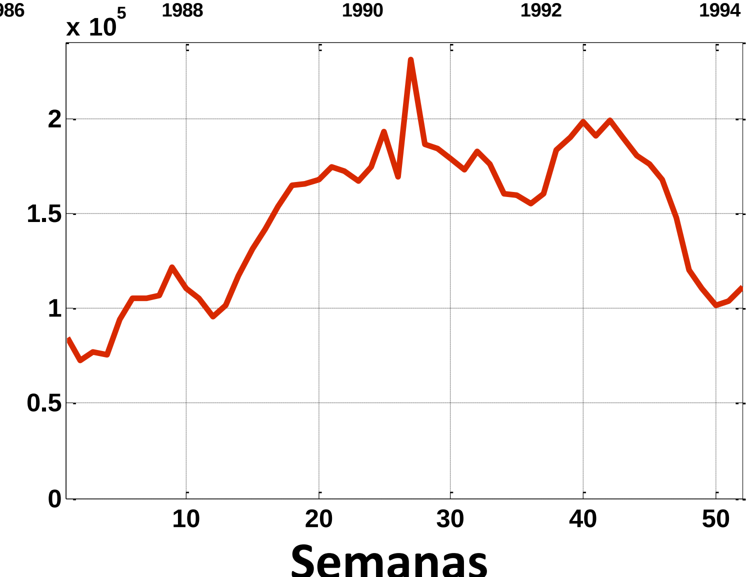
$\bar{X}$ Es entonces el promedio de la variable para cada mes.

Caracterización de la Información Hidrológica

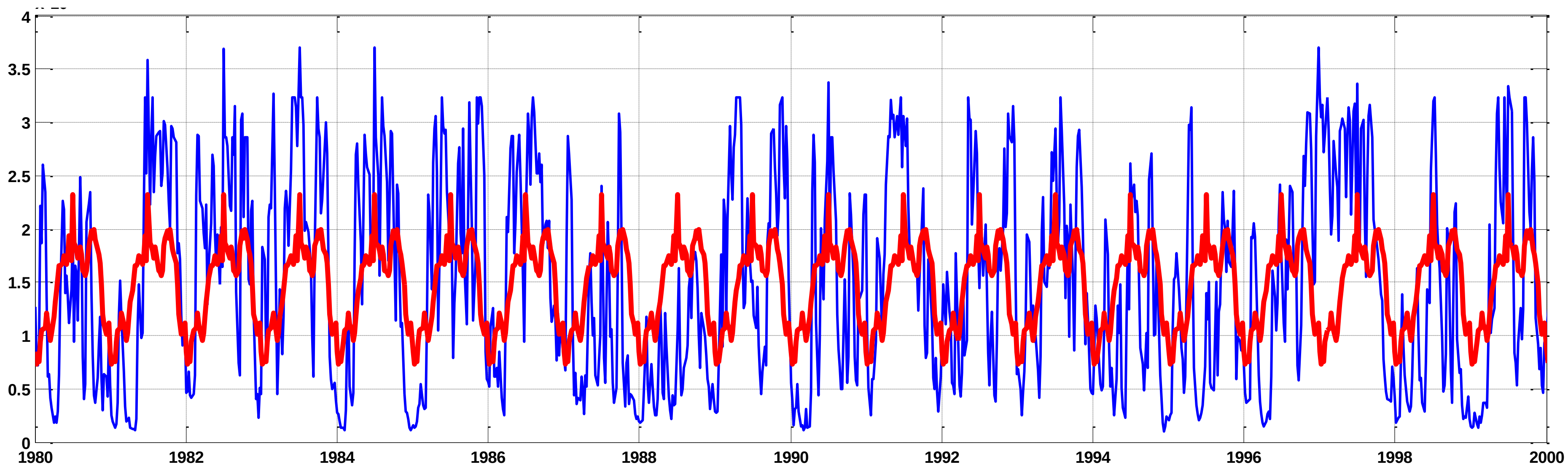
Caudales

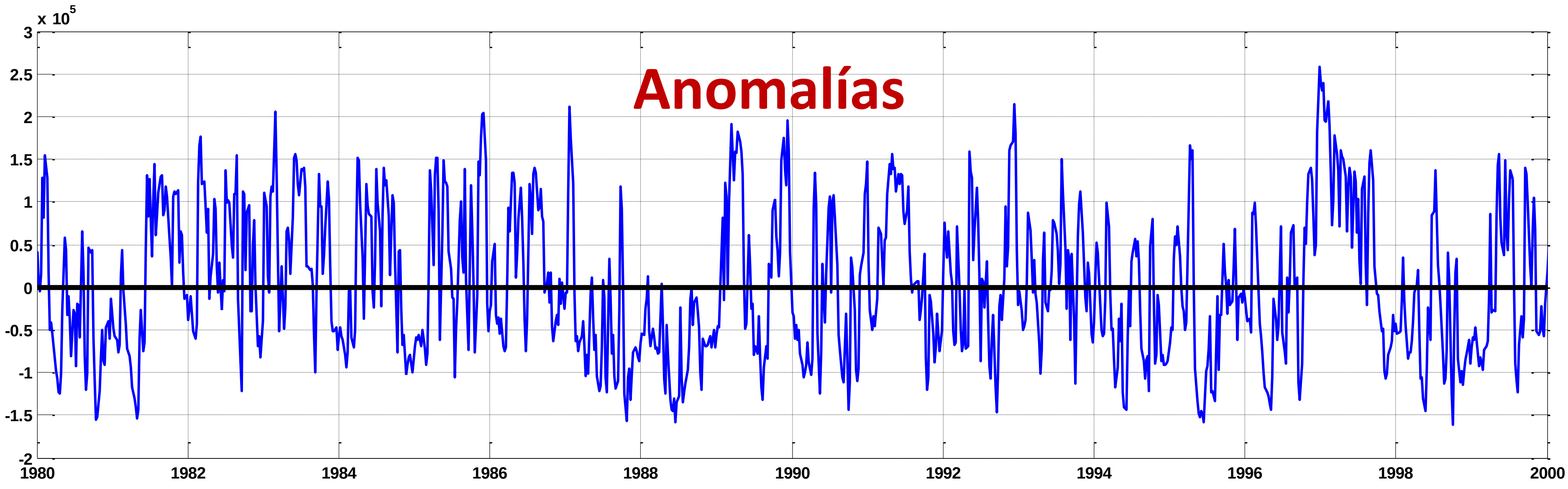


Ciclo anual



Caracterización de la Información Hidrológica





Relación entre dos Variables "Apareadas"

Dos Variables Hidro-Climáticas

¡ Graficar !

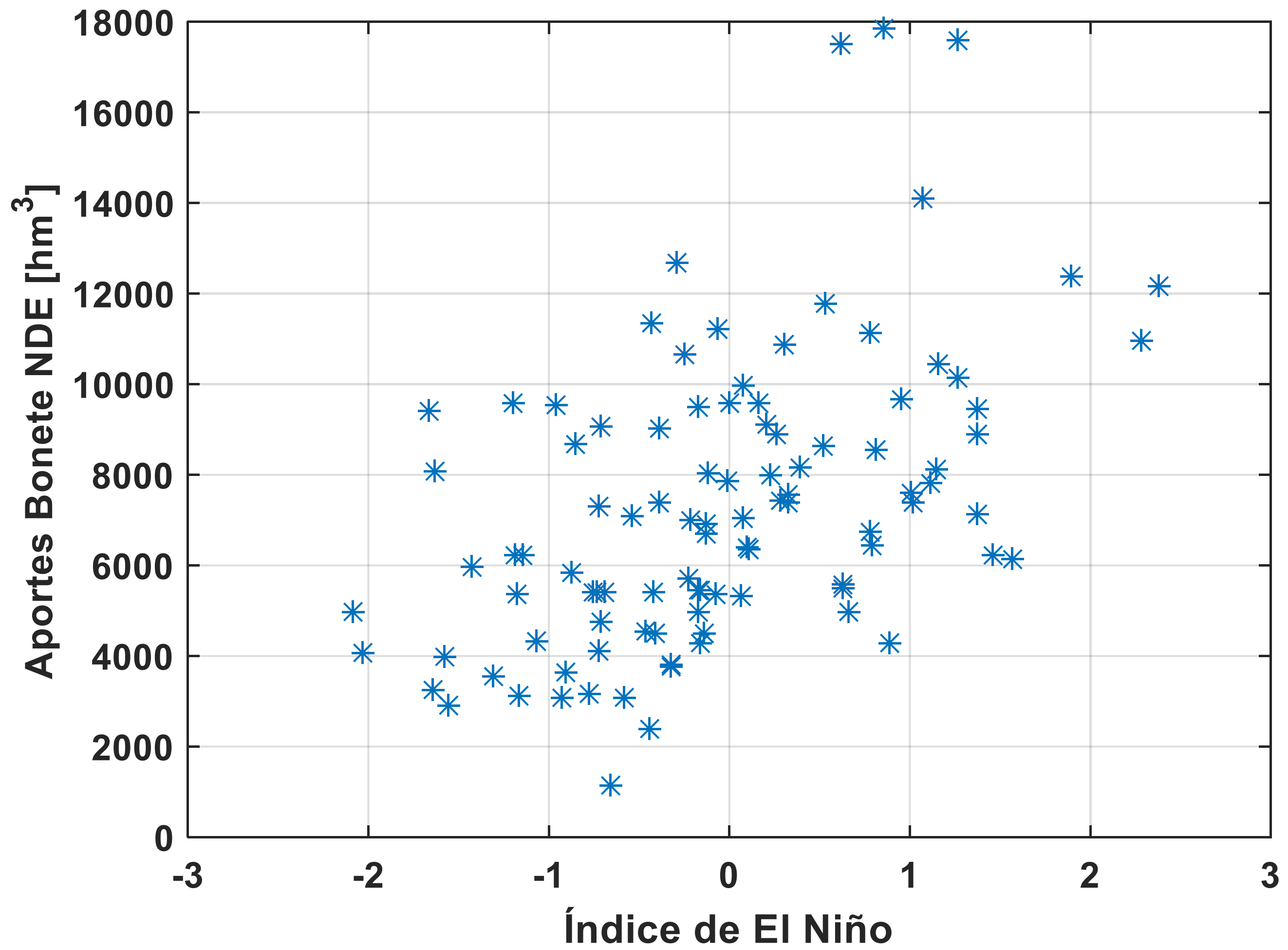
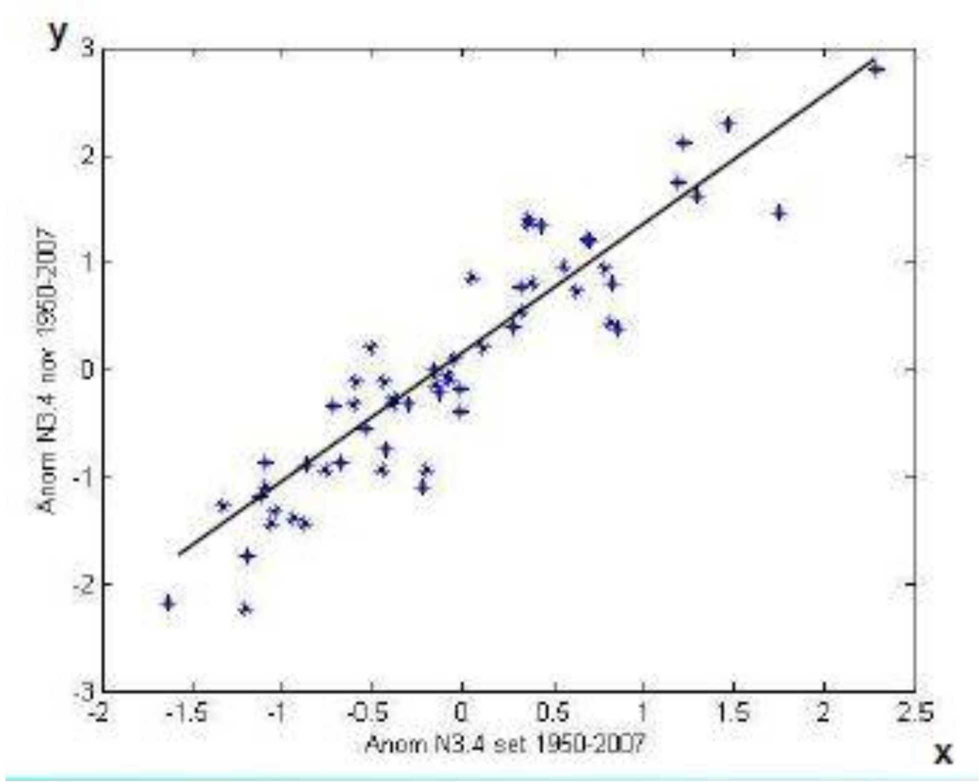


Gráfico de Dispersión - Scatter Plot

Regresión Lineal Simple

Busca "capturar" la relación entre dos variables mediante una función lineal en los parámetros, capturar aquél comportamiento de "y" que 'está asociado' a "x"

"X"	"Y"
Non - random	Random
Explicativa	Respuesta
Observada	No observada
Independiente	Dependiente
Input (Entrada)	Output (salida)
Regresor	"Regresando"
Predictor	Predictando



Regresión Lineal Simple

Obviamente hay una correlación entre “x” e “y” (el coeficiente de correlación va a aparecer) pero hay una asimetría: se modela y en función de x, juegan roles distintos. Sigue sin implicar causalidad.

$$\hat{y} = a + b \,.\, x$$

a, b: Parámetros, función lineal en ellos

x: Variable independiente

$\hat{y}$: Variable modelada

Pronóstico estadístico

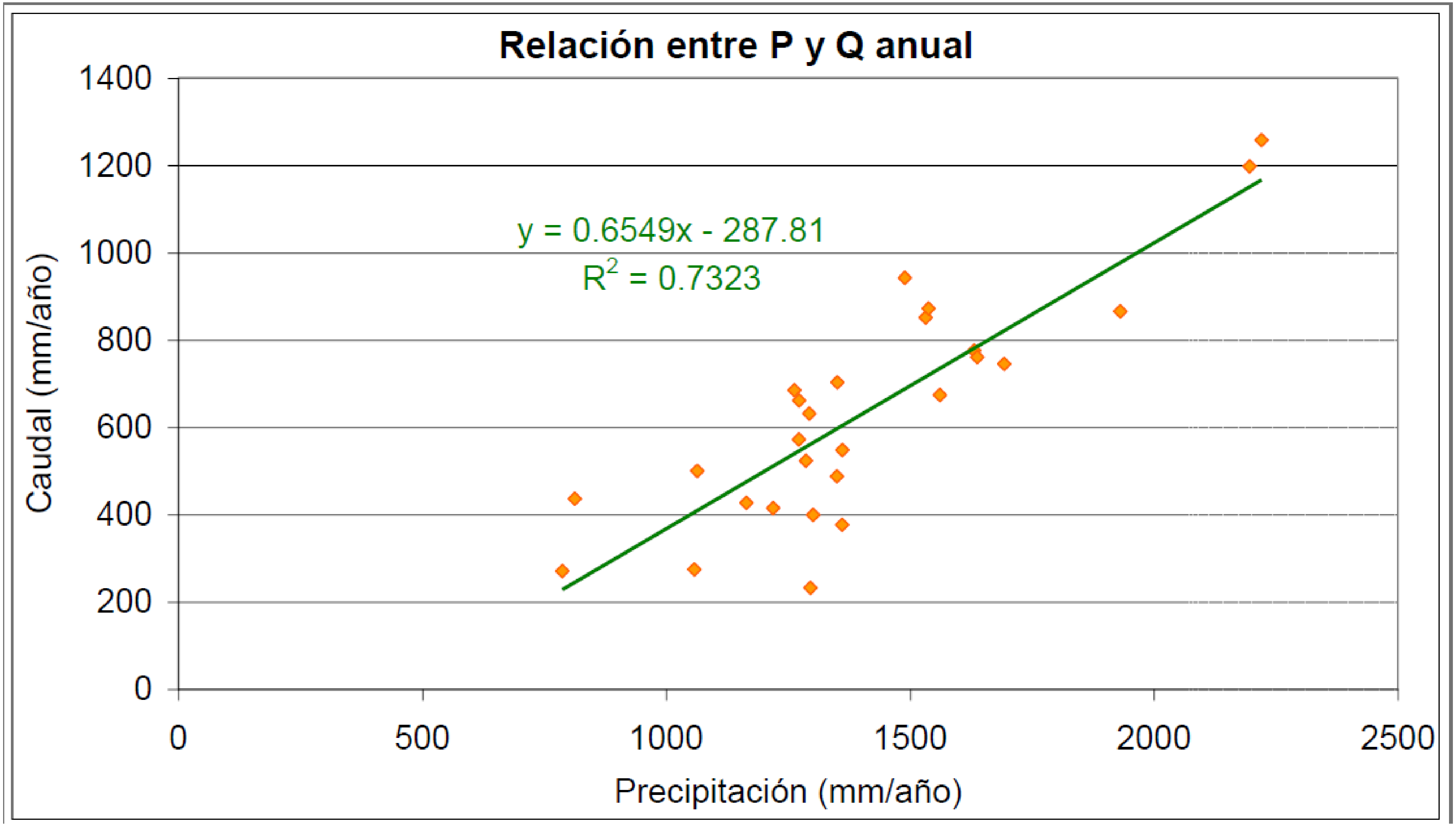
(“x” antecede a “y”, o “x” cuenta con un modelo predictivo propio)

Relleno de datos de “y”

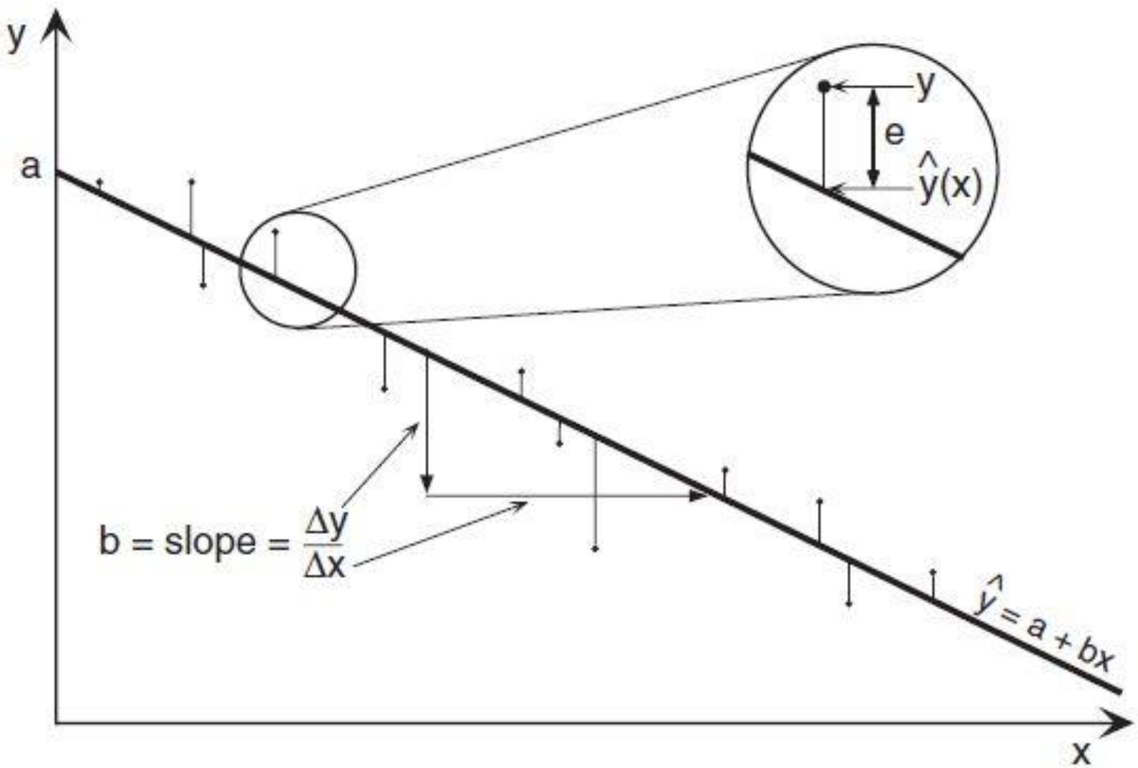
En general: escribir una variable en función de otra

Se obtiene una descripción de “y” que solo captura aquello que “x” explica

Regresión Lineal Simple



REGRESIÓN LINEAL SIMPLE



Error o Residuo

$$e_i = y_i - \hat{y}(x_i)$$

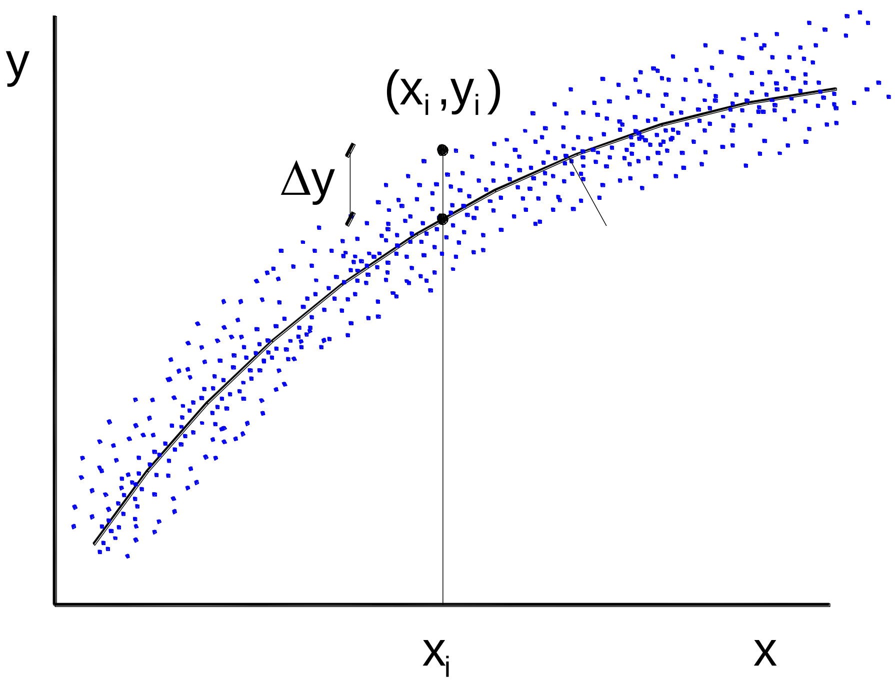
$$y_i = a + b.x_i + e_i$$

Estimación por Mínimos Cuadrados

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{n}[(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)}{n\sum_{i=1}^{n}(x_i)^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}.$$

REGRESIÓN LINEAL SIMPLE



(xi, yi) => q=f(xi) , w=g(yi)

Transformación o cambio de variable

$$\hat{w} = a + b \,.\, q$$

Por ejemplo

$$\hat{y} = a + b \,.\, x + c \,.\, x^2$$

es lineal en a, b y c de orden 2

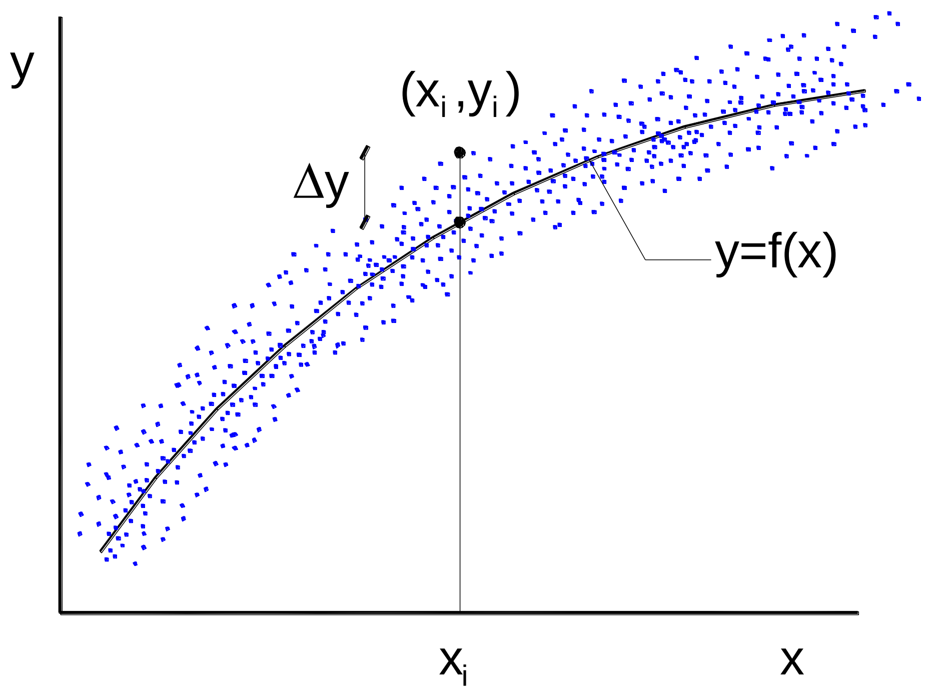
$$\hat{y} = a + b \,.\, x^2$$

es una regresión lineal simple en y, x^2

REGRESIÓN LINEAL SIMPLE

Justificación de e_i

- ✓ Pueden existir **otras variables** no consideradas en la explicación de la variable dependiente
- ✓ Puede existir un **término estocástico** que persiste sobre los factores determinísticos
- ✓ **Errores de medición** de la variable dependiente



Coeficiente de Correlación de Pearson

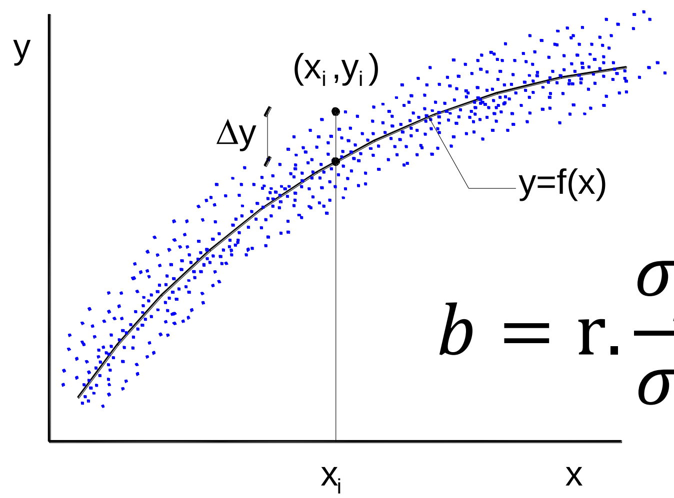
Coeficiente adimensional que proporciona una medida de cuán fuerte es la correlación **lineal** entre dos variables.

Coeficiente de determinación: $R^2 = r^2$

$$r = \frac{Cov(x,y)}{\sigma_x . \sigma_y}$$

$$Cov(x,y) = \frac{1}{n-1}\sum(x-\overline{x}).(y-\overline{y})$$

$$-1 < r < 1$$



$$b = \mathrm{r}.\frac{\sigma_y}{\sigma_x}$$

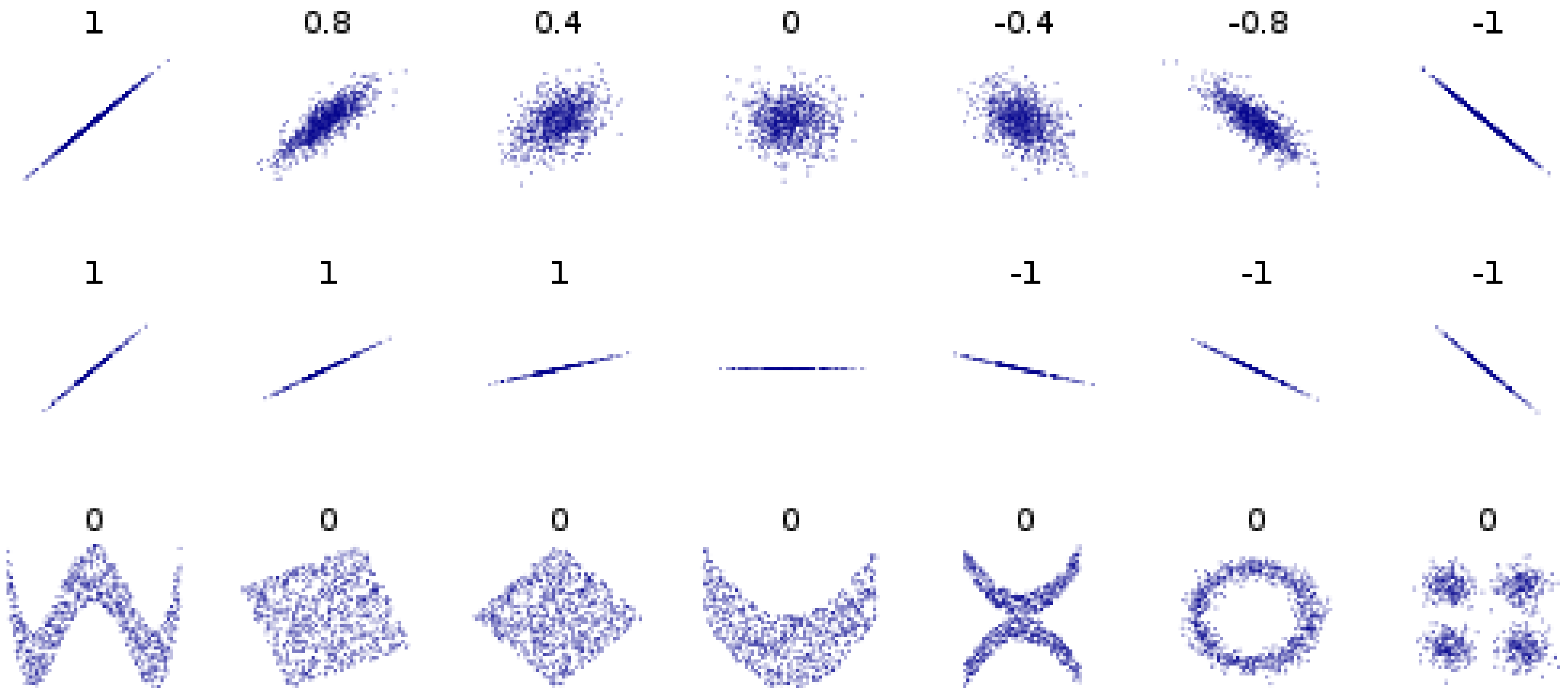
Cuando r→0 se dice que son no correlacionadas.

Cuando |r|→1 se dice que las variables están fuertemente correlacionadas

La correlación no evidencia una relación causal

Coeficiente de Correlación de Pearson

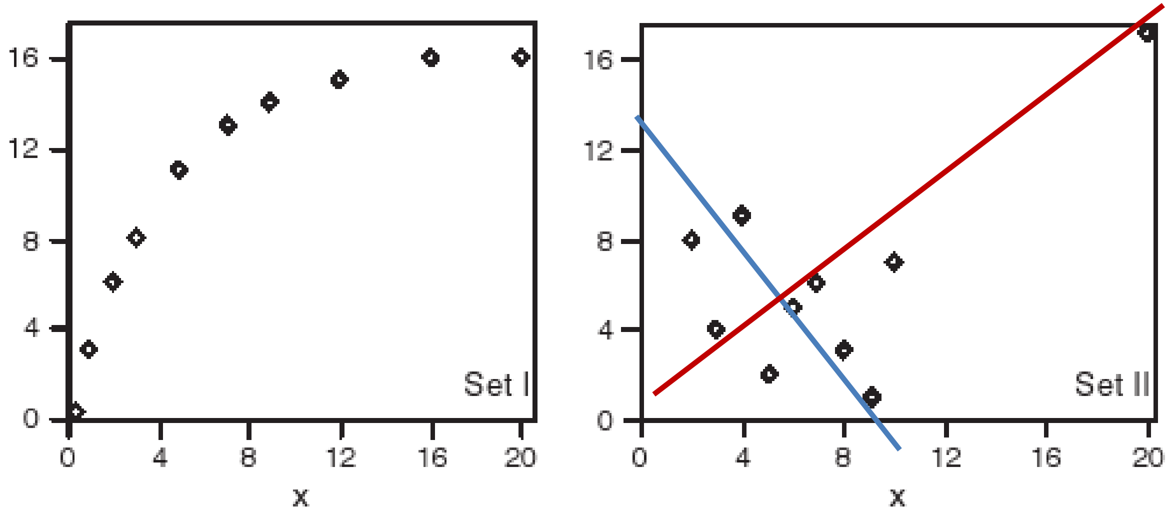
$$-1 \leq r_{xy} \leq 1$$



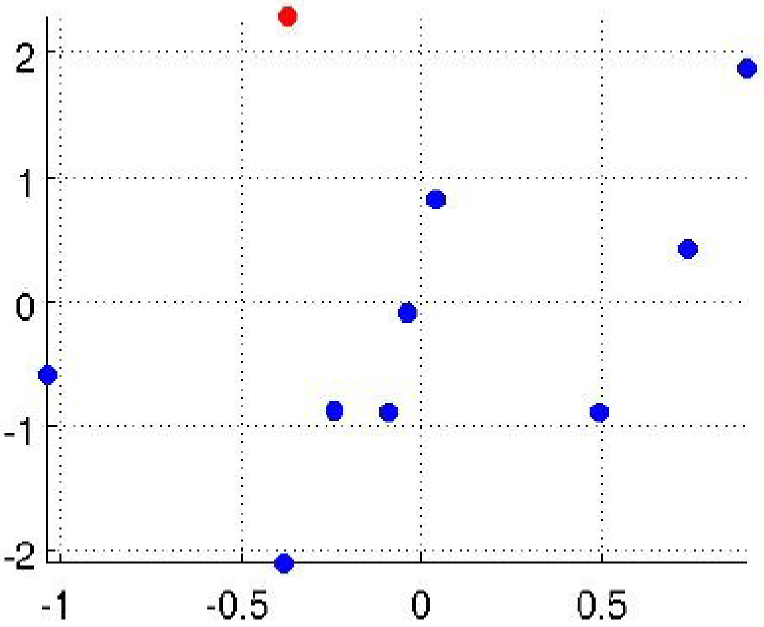
Coeficiente de Correlación de Pearson

r_{xy}^2 Indica la fracción de la varianza de una de las dos variables que está descrita **linealmente** por la otra

No es **ni robusta** (caracteriza relaciones lineales)
ni resistente (sensible a outliers)



COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON



Poca resistencia a outliers

Correlación con punto rojo

r=0.34

Correlacion sin dato rojo

r=0.61

SIGNIFICANCIA DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN

Significancia Estadística

- Verificación de que un enunciado no se pueda explicar simplemente por el azar.
- Algo es estadísticamente significativo al 95% quiere decir que las chances de que ocurra por azar (sin señal alguna) es 5%

Significancia del coeficiente de correlación de Pearson

- Se ha diseñado un test estadística para determinar si el coeficiente de correlación es "significativamente distinto" de cero (Hipótesis Nula)

Significancia Estadística NO ES LO MISMO que relevancia, importancia ….
Protege frente a la "interpretación del azar" y es crítico cuando las muestras son chicas.

Significancia del Coeficiente de Correlación

Se construye el siguiente estadístico de contraste: $t = \dfrac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$

La Hipótesis que la correlación es nula se rechaza si $|t| > t_{critico}$, donde $t_{critico}$ es el punto en la distribución t-Student con *n-2* grados de libertad con probabilidad de excedencia de *α/2 (α=nivel de confianza).*

Critical Values for Correlation Coefficient *r*

n	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$	n	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$	n	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
3	1.00	1.00	13	0.53	0.68	23	0.41	0.53
4	0.95	0.99	14	0.53	0.66	24	0.40	0.52
5	0.88	0.96	15	0.51	0.64	25	0.40	0.51
6	0.81	0.92	16	0.50	0.61	26	0.39	0.50
7	0.75	0.87	17	0.48	0.61	27	0.38	0.49
8	0.71	0.83	18	0.47	0.59	28	0.37	0.48
9	0.67	0.80	19	0.46	0.58	29	0.37	0.47
10	0.63	0.76	20	0.44	0.56	30	0.36	0.46
11	0.60	0.73	21	0.43	0.55			
12	0.58	0.71	22	0.42	0.54			

Coeficiente de Correlación de Spearman (de rango)

Consiste en hacer lo mismo que en Pearson pero a los rangos de los datos.
Como los números son naturales, haciendo cuentas, se puede expresar la correlación como:

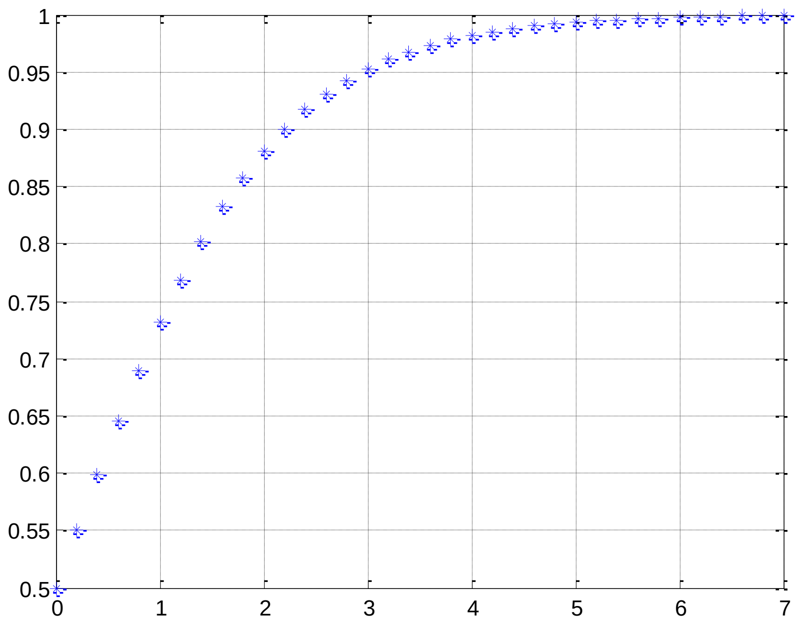
$$r_{rank} = 1 - \frac{6\sum_{i=1}^{n} D_i^2}{n(n^2-1)}$$

Donde $D_i = rango(x_i) - rango(y_i)$

Es robusta y resistente

Coeficiente de Correlación de Spearman (de rango)

Así como Pearson captura la relación lineal,
Spearman captura una relación monotónica



r_Pearson=0.85

r_Spearman=1

Control de Calidad

- En ausencia de contexto alguno es muy difícil detectar errores puntuales o sistemáticos que no sean elementales
- Sin contexto, solo se puede dar alertas de datos sospechosos que se deberán verificar
- El Control de Calidad de datos es una disciplina en sí misma, daremos solo algunos elementos de guía
- Daremos algunos estrategias exploratorias

CONTROL DE CALIDAD

Contextos que posibilitan la detección de errores

- **Errores puntuales en datos aislados**
  - ✓ Estaciones de medición “suficientemente” cercanas
  - ✓ Otra información relevante (lluvia – escurrimiento)

- **Errores sistemáticos en períodos de datos**
  - ✓ Conocimiento de estadísticos de la distribución de la variable (número de días de lluvia, precipitación media y su ciclo anual, etc)
  - ✓ Estaciones de medición “suficientemente” cercanas
  - ✓ En ausencia de conocimiento de los estadísticos o de acceso a datos cercanos, hipótesis de estacionariedad de la serie puede detectar errores en base a tendencias de estadísticos (p.e. media)

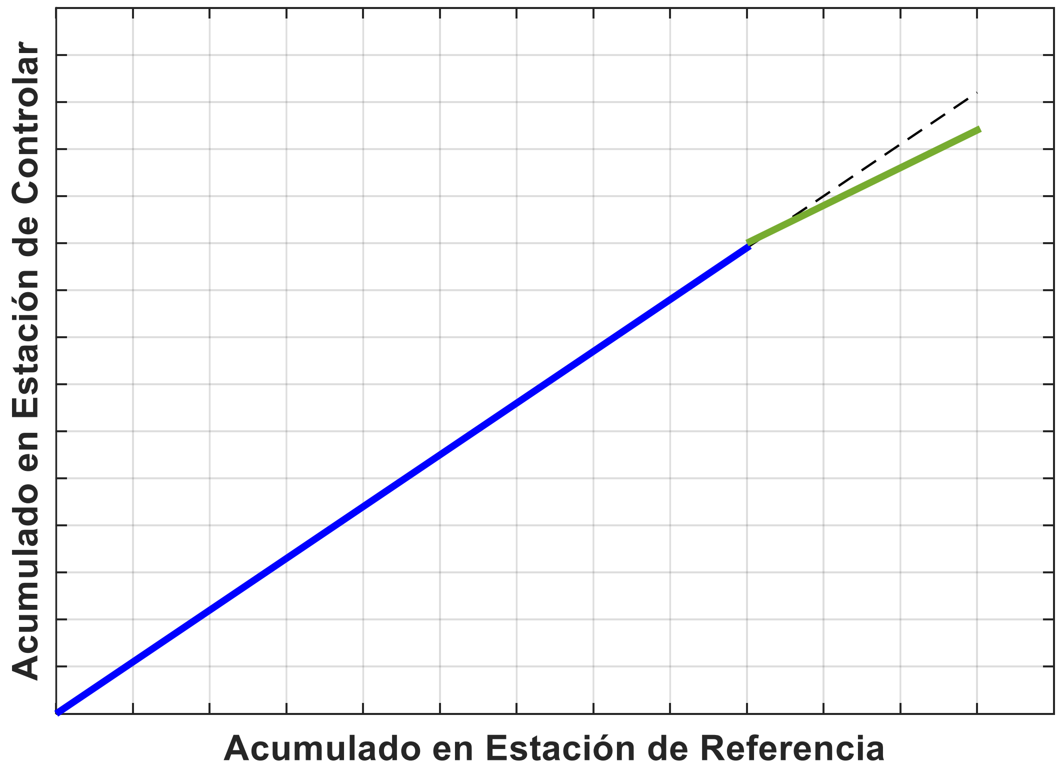
CONTROL DE CALIDAD

En contexto del país y estaciones vecinas

- Verificar estadísticos robustos
  - ✓ Frecuencias media de lluvia (¿menores a 20%?)
  - ✓ Media anual (¿muy baja/alta?)
- Verificar lluvias excepcionales (¿P > 100 mm/día?)
- Acumulado de un año demasiado lejano a estación contigua, ¿cuál es más confiable?
- Métodos más objetivos para errores sistemáticos
  - ✓ Doble masa (Gilman, 1964)
  - ✓ Análisis de Correspondencias
  - ✓ Análisis de componentes principales

Control de Calidad

En contexto del país y estaciones vecinas



CAUDALES

- En general surge de la observación de niveles en secciones aforadas
- Como se verá, los aforos tienen rangos de validez
- Medida puntual que integra procesos hidrológicos en la cuenca de aporte
- Para analizar la relación P-Q también se incorpora la incertidumbre del conocimiento del campo de precipitaciones más allá de los puntos de observación (estimación remota: radar, satélite)

Curva de Permanencia

- ❖ Representa la frecuencia con que ocurren valores iguales o superiores a los valores de una serie temporal.
- ❖ Es muy utilizada para evaluar el potencial de una sección fluvial
- ❖ Determinar la garantía (95%) de contar con caudales iguales o mayores a la demanda que se desea abastecer durante un (95%) del tiempo.

Curva de Permanencia

Trazado de la Curva de Permanencia

a) Ordenar la variable temporal en orden decreciente, atribuyendo orden 1 al mayor valor y orden n al menor valor, en una muestra de tamaño n.

b) Calcular la frecuencia con que cada valor ordenado es excedido o igualado (permanencia), como 100.(m/n), siendo m el orden y n el tamaño de la muestra.

c) Graficar la serie ordenada con la escala de permanencia representada en el eje de las abscisas.

Es esencialmente una función de frecuencia acumulada,
contiene exactamente la misma información

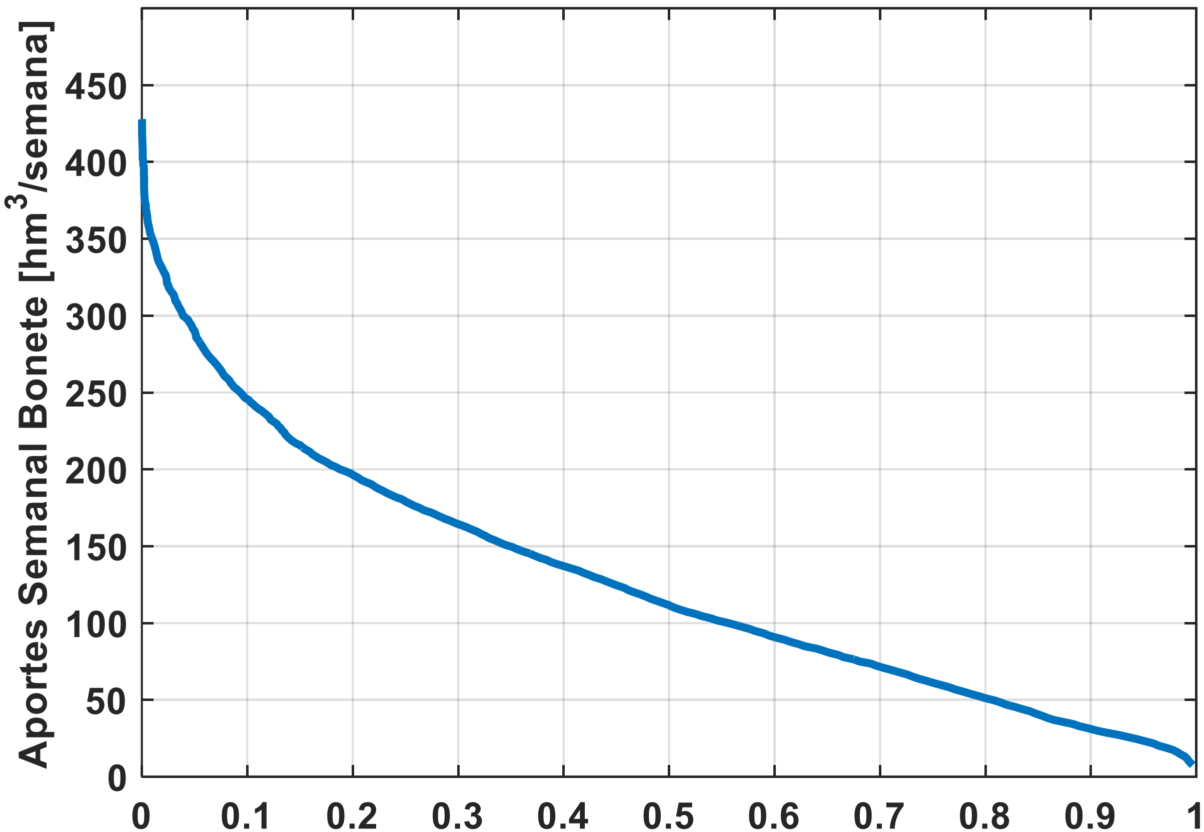
Curva de Permanencia

Trazado de la Curva de Permanencia

$\frac{100\%}{42\ datos}$

Orden	Permanencia (%)	Q (m3/s)	Orden	Permanencia (%)	Q (m3/s)
1	2,38	17,622	22	52,38	8,647
2	4,76	15,711	23	54,76	8,389
3	7,14	14,491	24	57,14	8,336
4	9,52	13,471	25	59,52	8,315
5	11,90	13,251	26	61,90	7,529
6	14,29	13,047	27	64,29	7,410
7	16,67	12,945	28	66,67	7,102
8	19,05	12,719	29	69,05	6,625
9	21,43	12,496	30	71,43	6,513
10	23,81	12,226	31	73,81	6,439
11	26,19	11,993	32	76,19	5,950
12	28,57	11,932	33	78,57	5,805
13	30,95	11,697	34	80,95	5,598
14	33,33	11,376	35	83,33	5,553
15	35,71	11,328	36	85,71	4,889
16	38,10	11,307	37	88,10	4,866
17	40,48	10,661	38	90,48	4,527
18	42,86	10,470	39	92,86	4,186
19	45,24	10,231	40	95,24	3,842
20	47,62	9,841	41	97,62	3,037
21	50,00	9,281	42	100,00	2,912

CURVA DE PERMANENCIA

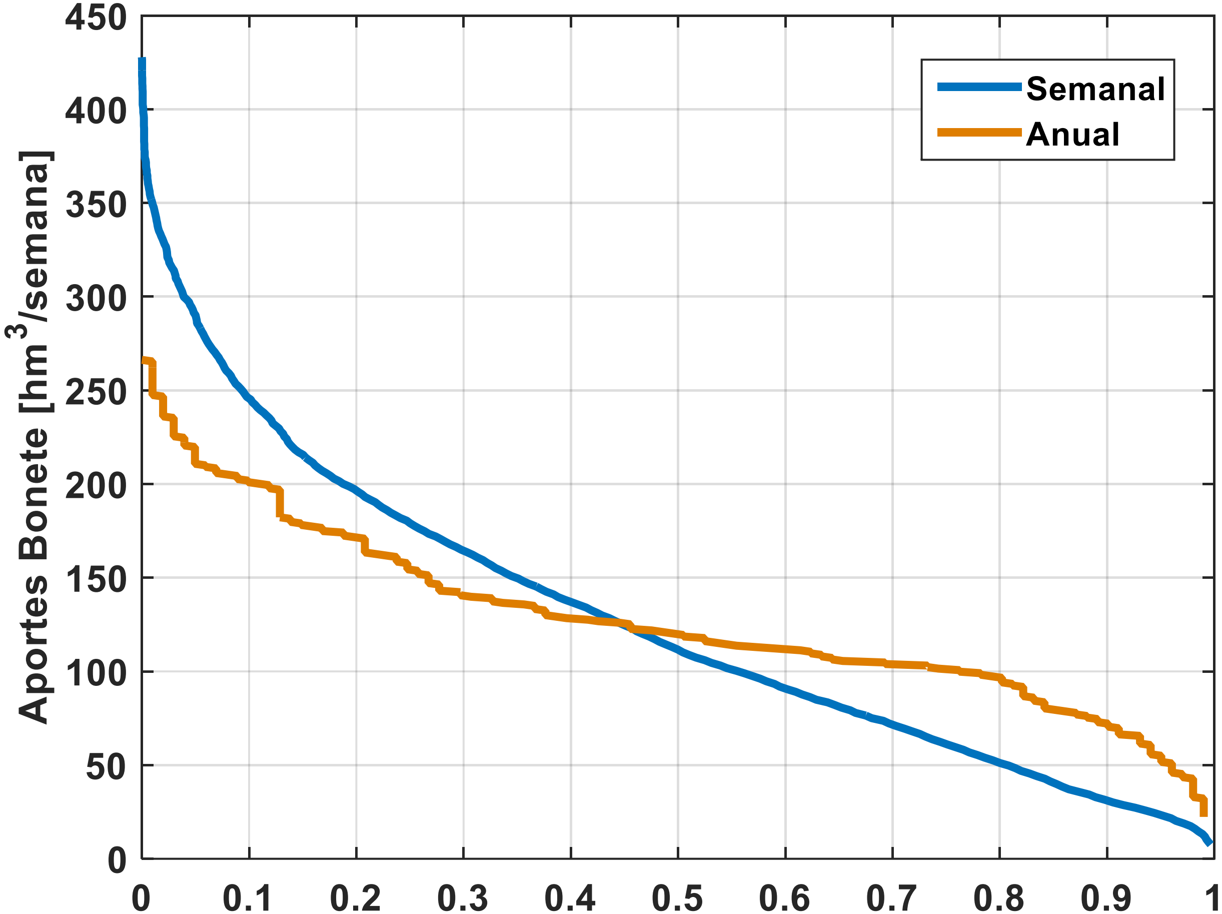


Curva de Permanencia de caudales SEMANALES en Bonete

¡ 101 años de datos !

Ojo con representatividad del período de muestreo sobretodo para los extremos

Curva de Permanencia



La Curva de Permanencia depende del intervalo de medida
(se “achata” a medida que se integra en el tiempo)
La escala adecuada depende del Diseño Hidrológico de interés.

DISEÑO HIDROLÓGICO

HIDROLOGÍA ESTADÍSTICA

Edición 2024

Rafael Terra

Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA)
Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay

rterra@fing.edu.uy