

II Taller sobre Regionalización de Precipitaciones Máximas

Propuesta de tormenta de diseño para el área del Gran Rosario.

Erik Zimmermann, Gerardo Riccardi, Pedro Basile y Carolina López

Departamento de Hidráulica

Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales

Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura - UNR.

Riobamba 245 bis - 2000 Rosario. Santa Fe. Argentina, e-mail:

erikz@fceia.unr.edu.ar

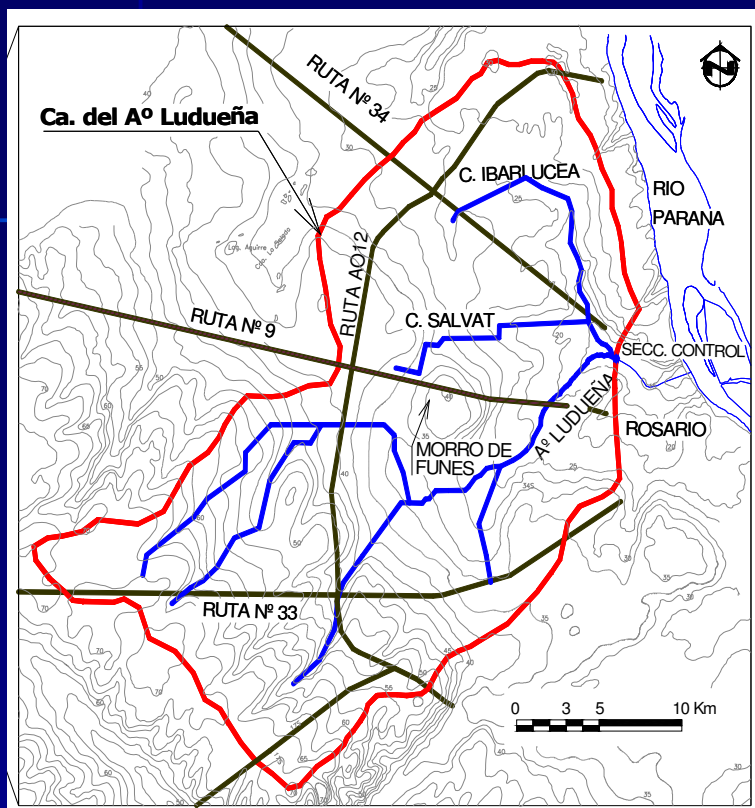
Objetivos

Estimación de tormenta de diseño compatible con las características pluviométricas observadas en el área del sur santafecino.

La propuesta incluye:

- **el análisis de información pluvial regional,**
- **la estimación de hietogramas de diseño**
- **las condiciones precedentes de humedad y**
- **la distribución espacial de la tormenta.**

Escenarios de los Estudios Cuencas de los Arroyos Ludueña y Saladillo

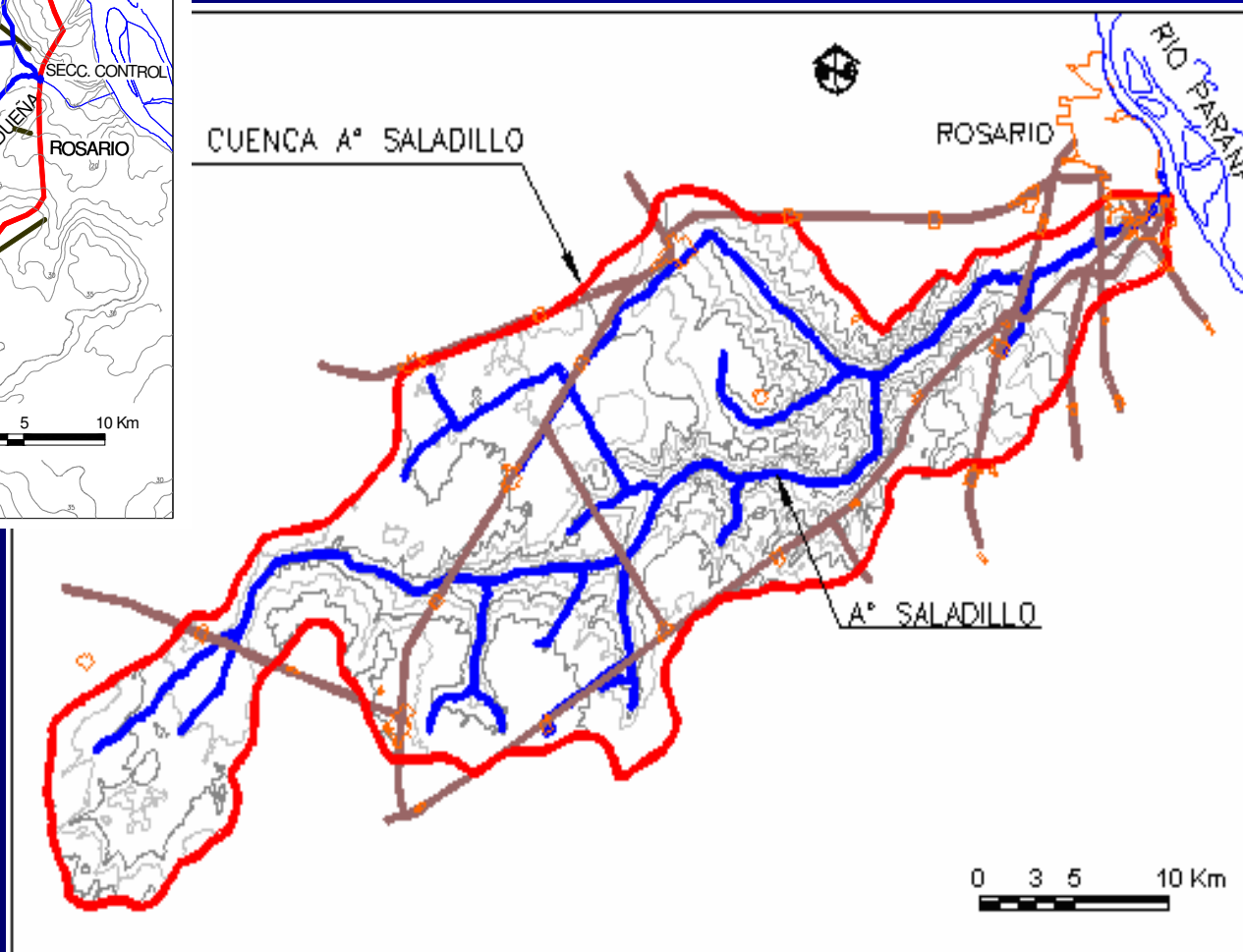


La cuenca del Arroyo Ludueña

Área de aporte \cong 700 Km².

La cuenca del Arroyo Saladillo

Área de aporte \cong 3200 Km².



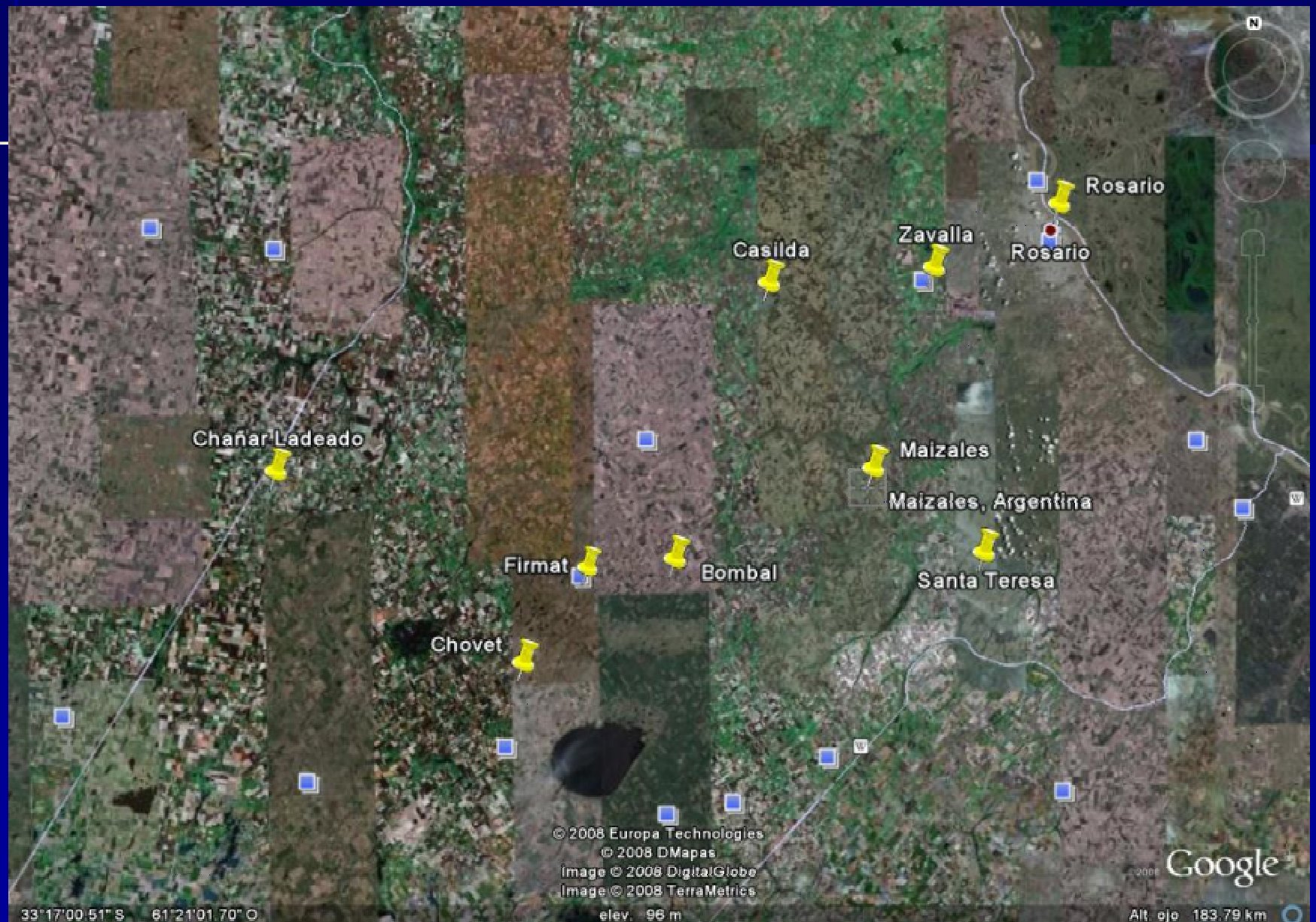
I. Análisis Pluviométrico

Objetivo:

constatar la existencia de cambios en las series de precipitaciones en lo que concierne a:

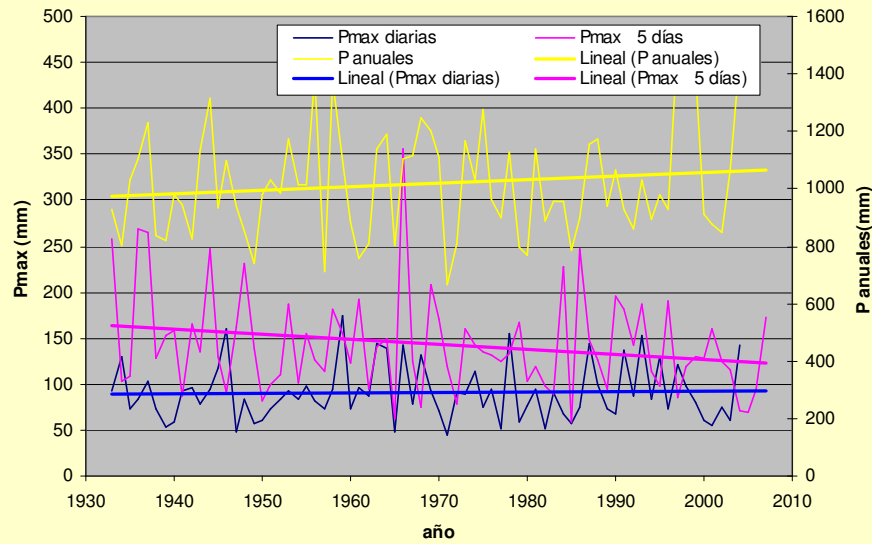
- Valores anuales
- Tormentas de larga duración
- Tormentas de corta duración
- Número de tormentas

Análisis pluviométrico

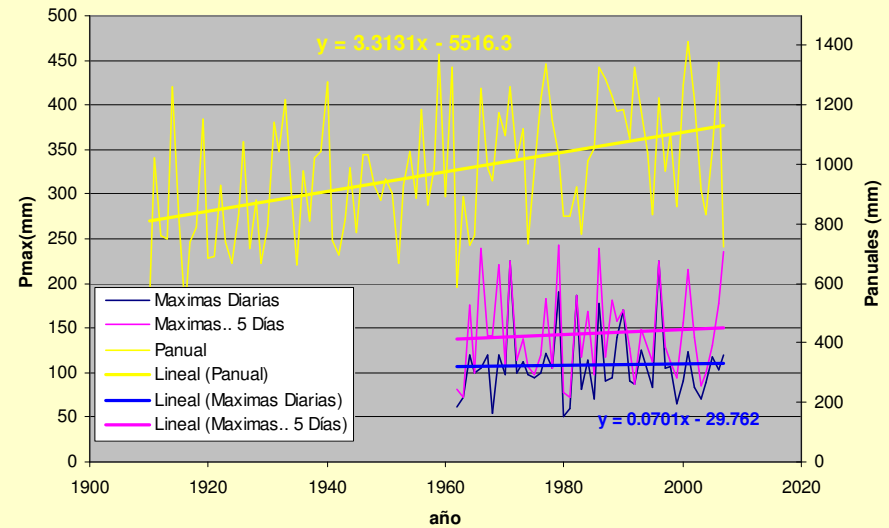


Análisis pluviométrico

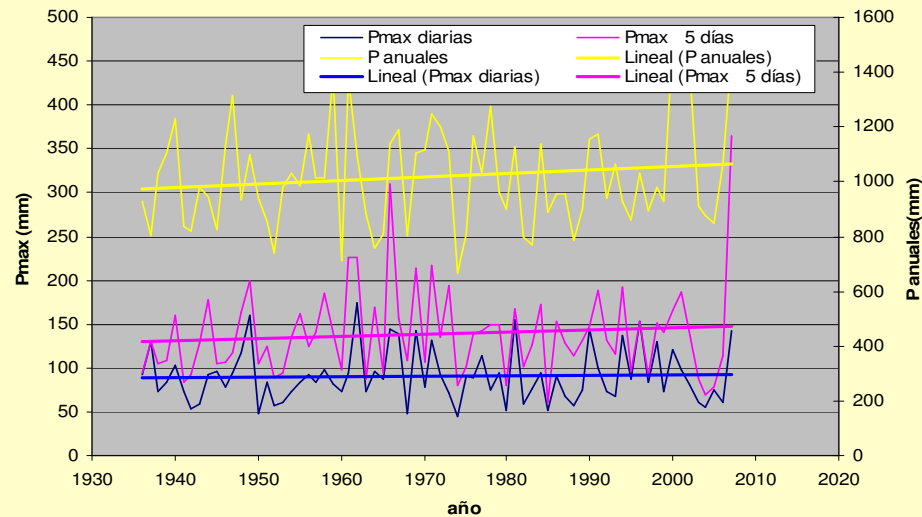
Lluvias Maximas Anuales Bombal



Lluvias Maximas Anuales CASILDA



Lluvias Maximas Anuales Rosario



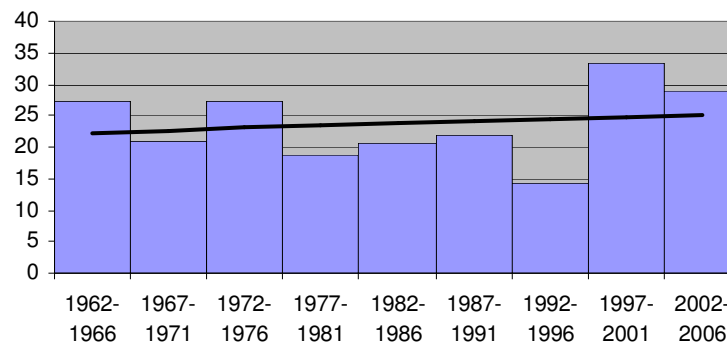
Análisis pluviométrico

- Hay una tendencia creciente en las lluvias anuales marcada.
- No existe una tendencia creciente en las lluvias máximas anuales de duración entre 1 y 5 días.
- Es esperable un incremento en las láminas o la frecuencia, o ambas a la vez, de las lluvias intermedias o de pequeño monto

Análisis pluviométrico: Frecuencias por quinquenio según rangos de magnitud

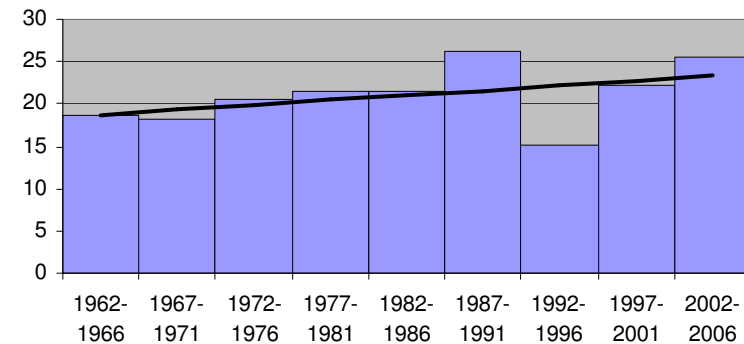
Casilda

Frecuencias de tormentas por año menores a 10 mm



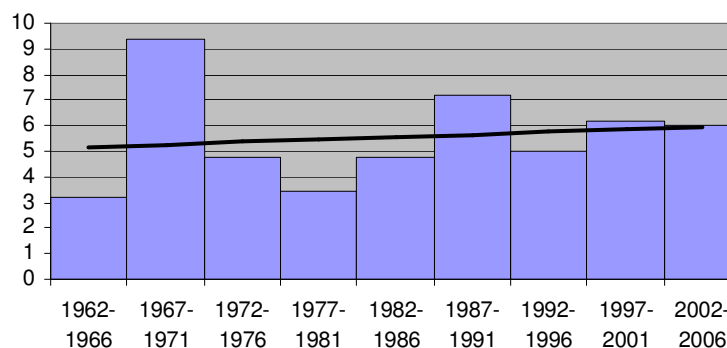
Casilda

Frecuencias de tormentas por año entre 10..40 mm



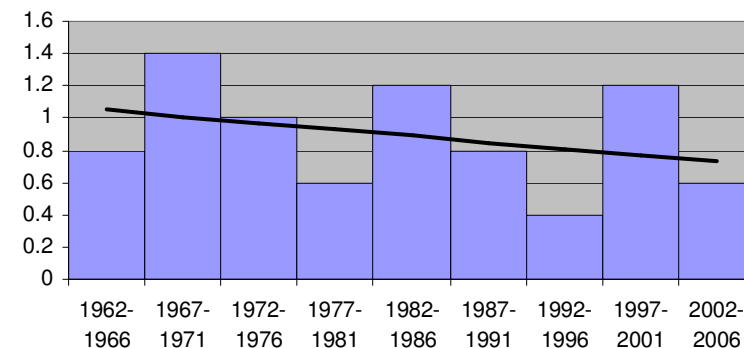
Casilda

Frecuencias de tormentas por año entre 40..90 mm

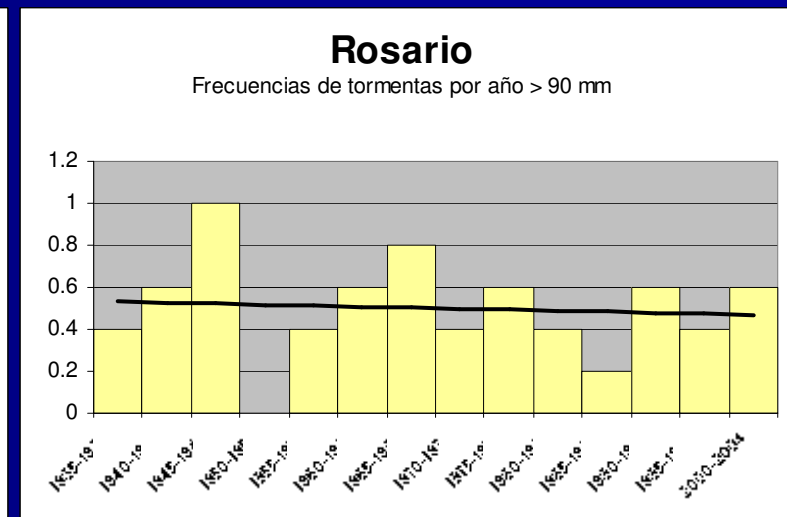
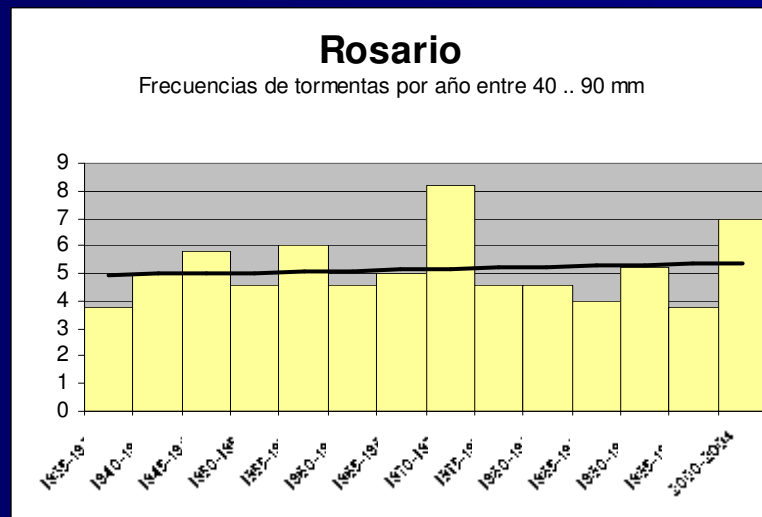
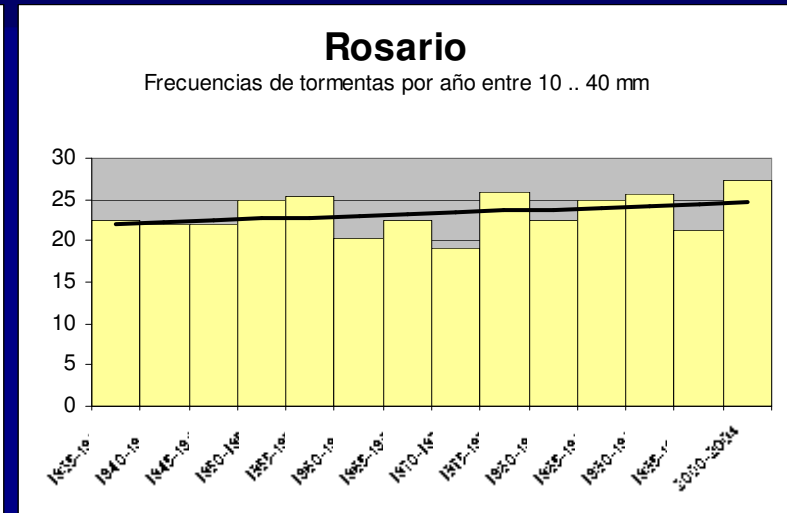
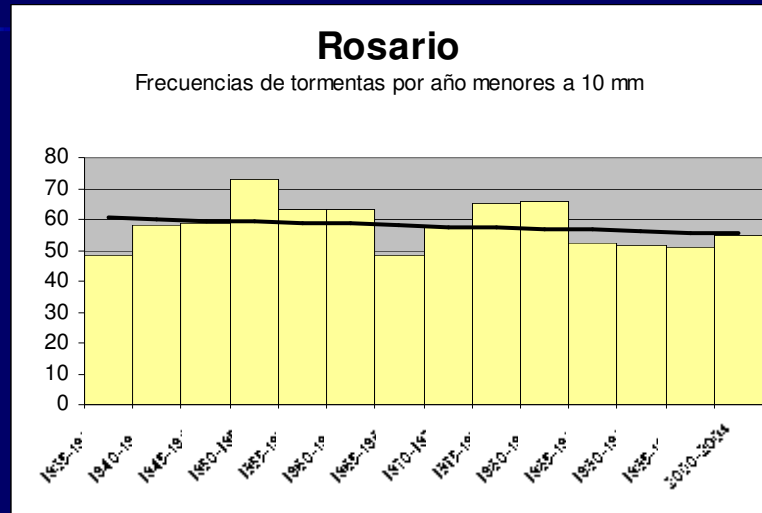


Casilda

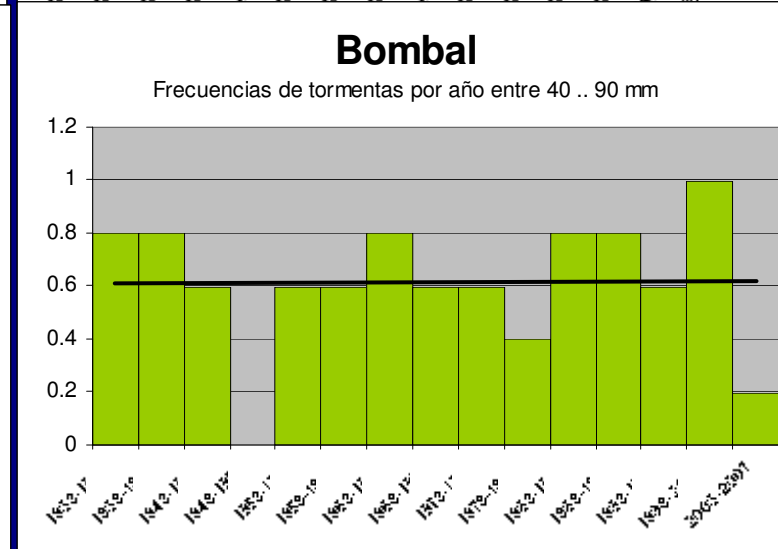
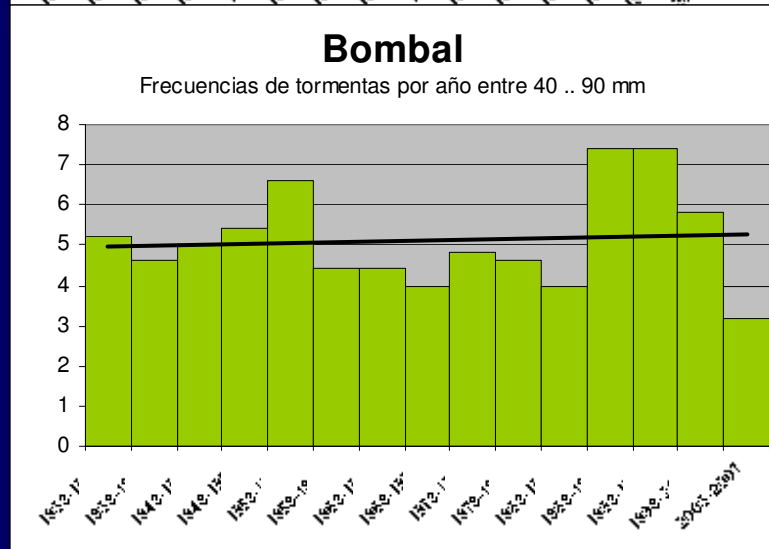
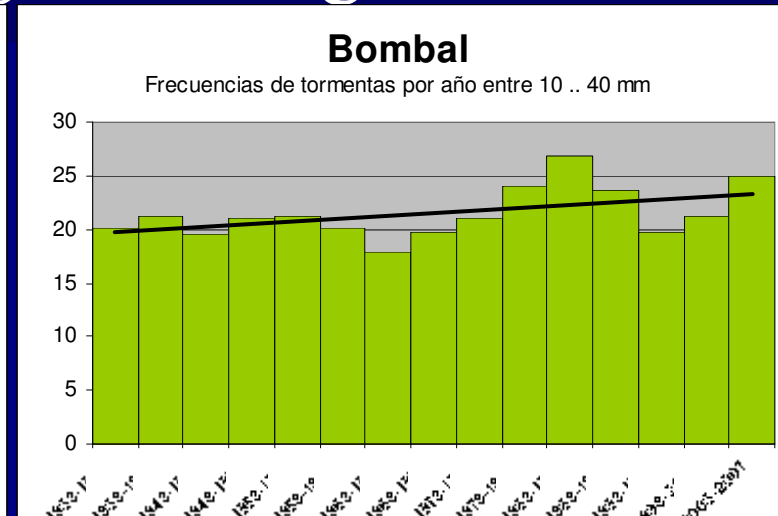
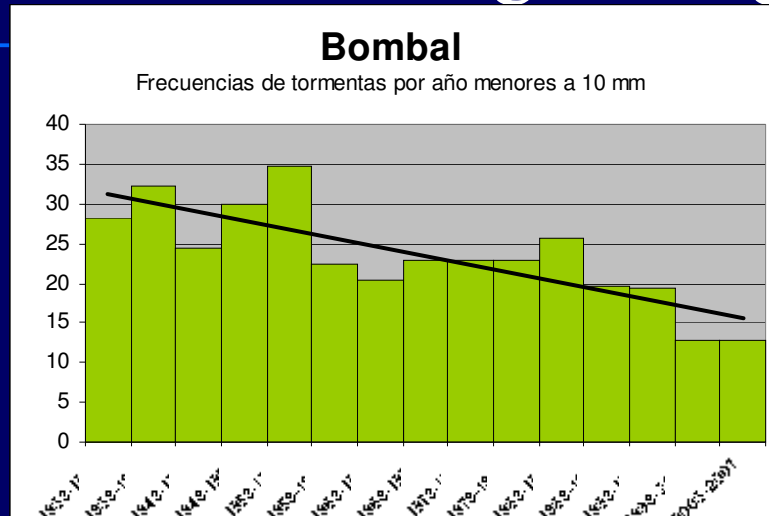
Frecuencias de tormentas por año >.90 mm



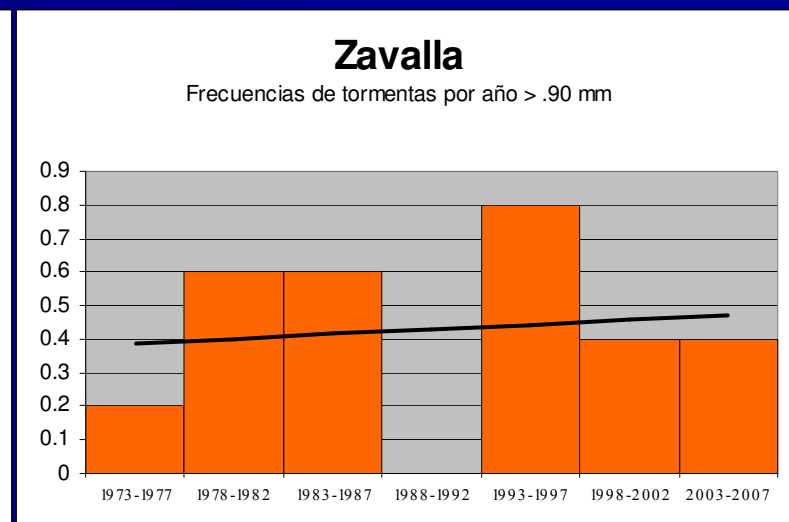
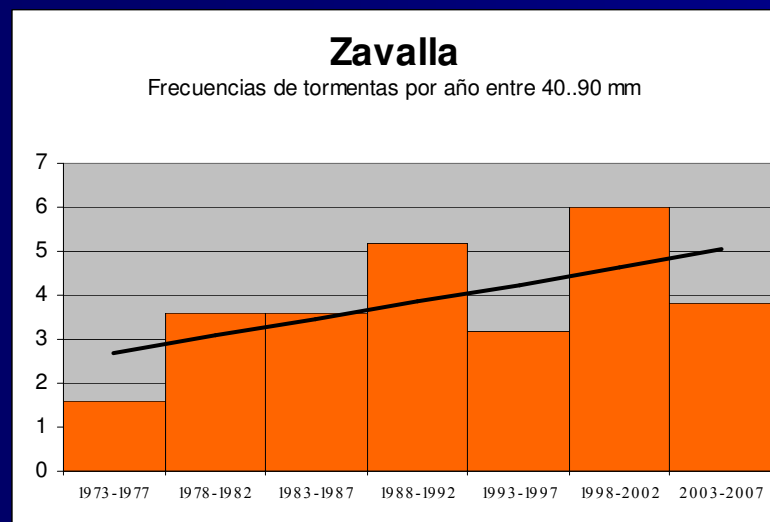
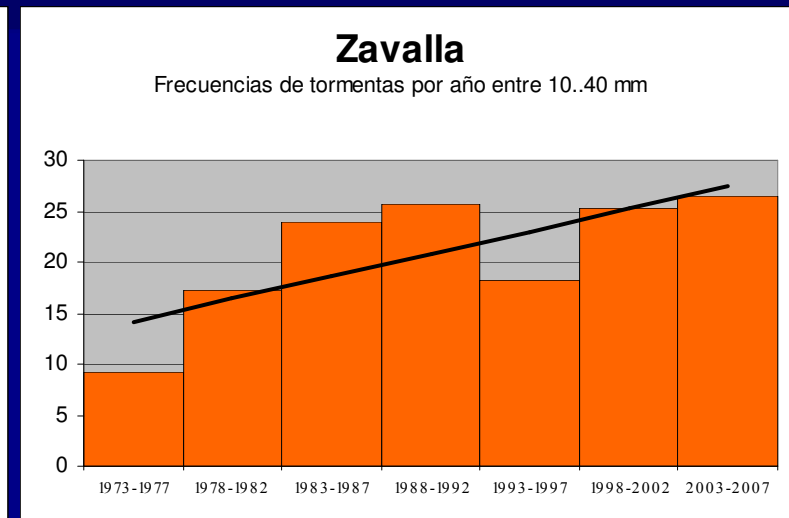
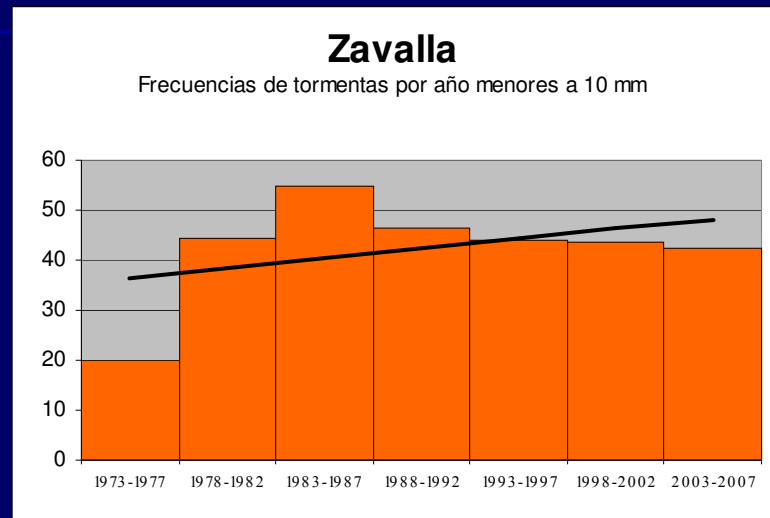
Análisis pluviométrico: Frecuencias por quinquenio según rangos de magnitud



Análisis pluviométrico: Frecuencias por quinquenio según rangos de magnitud



Análisis pluviométrico: Frecuencias por quinquenio según rangos de magnitud



Análisis pluviométrico: Frecuencias por quinquenio según rangos de magnitud

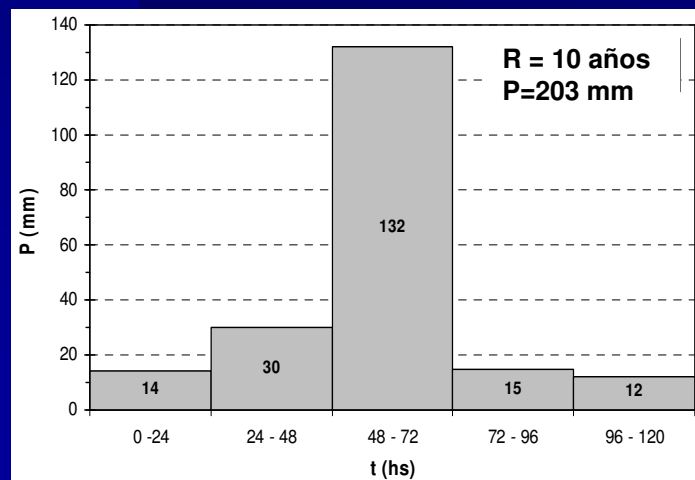
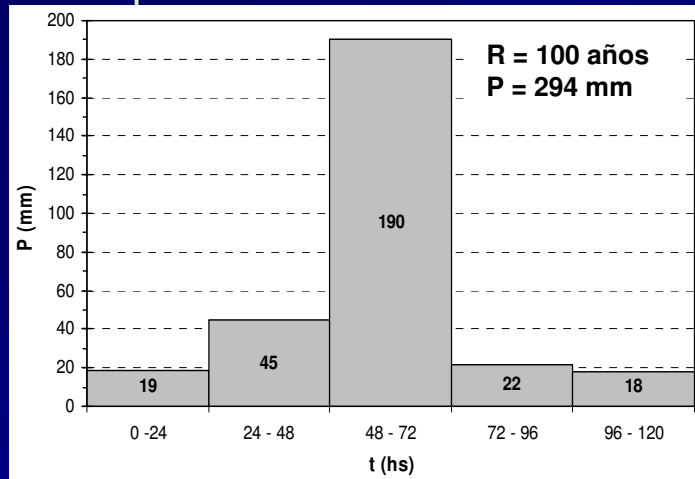
Pendientes de las rectas de tendencia				
Rango	Bombal	Rosario	Zavalla	Casilda
0-10	-1.124	-0.338	1.936	0.357
10..40	0.259	0.196	2.207	0.567
40-90	0.0221	0.033	0.393	0.097
>90	0.0007	-0.0048	0.014	-0.04



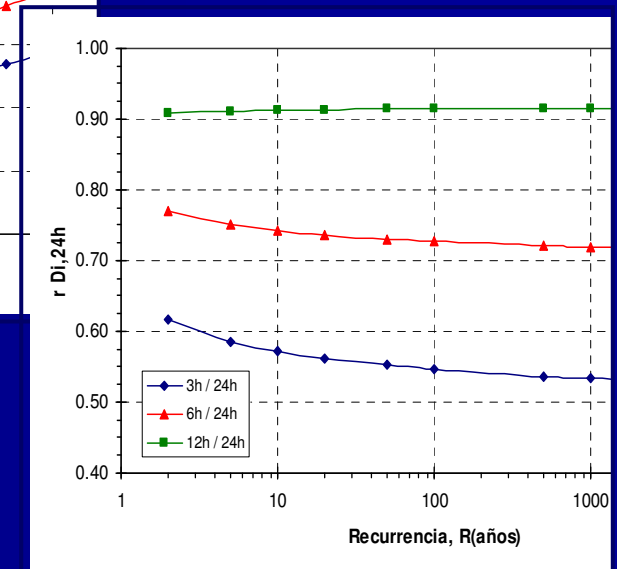
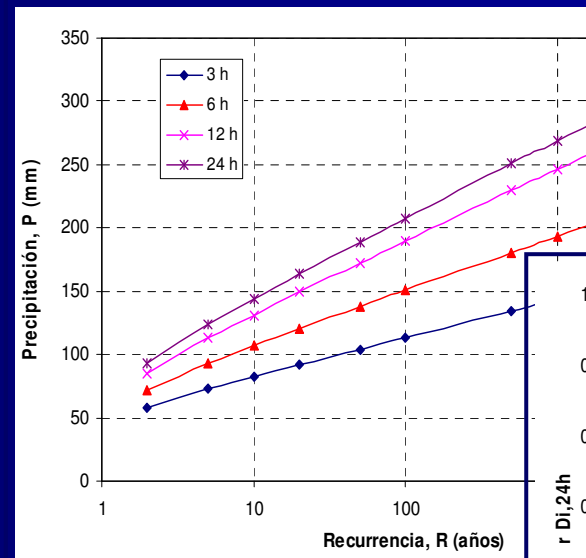
Análisis pluviométrico

Como consecuencia de un aumento en la frecuencia de lluvias de bajo a mediano monto es esperable una tendencia creciente en las condiciones antecedentes de humedad previas a cada tormenta.

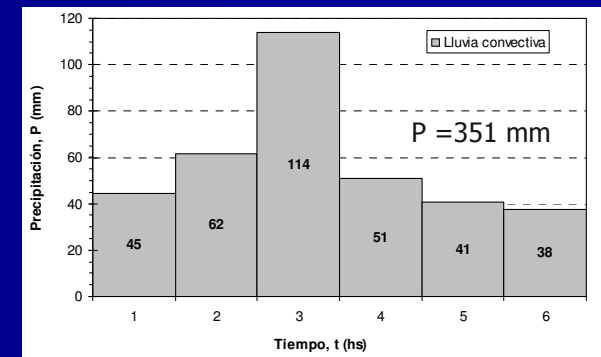
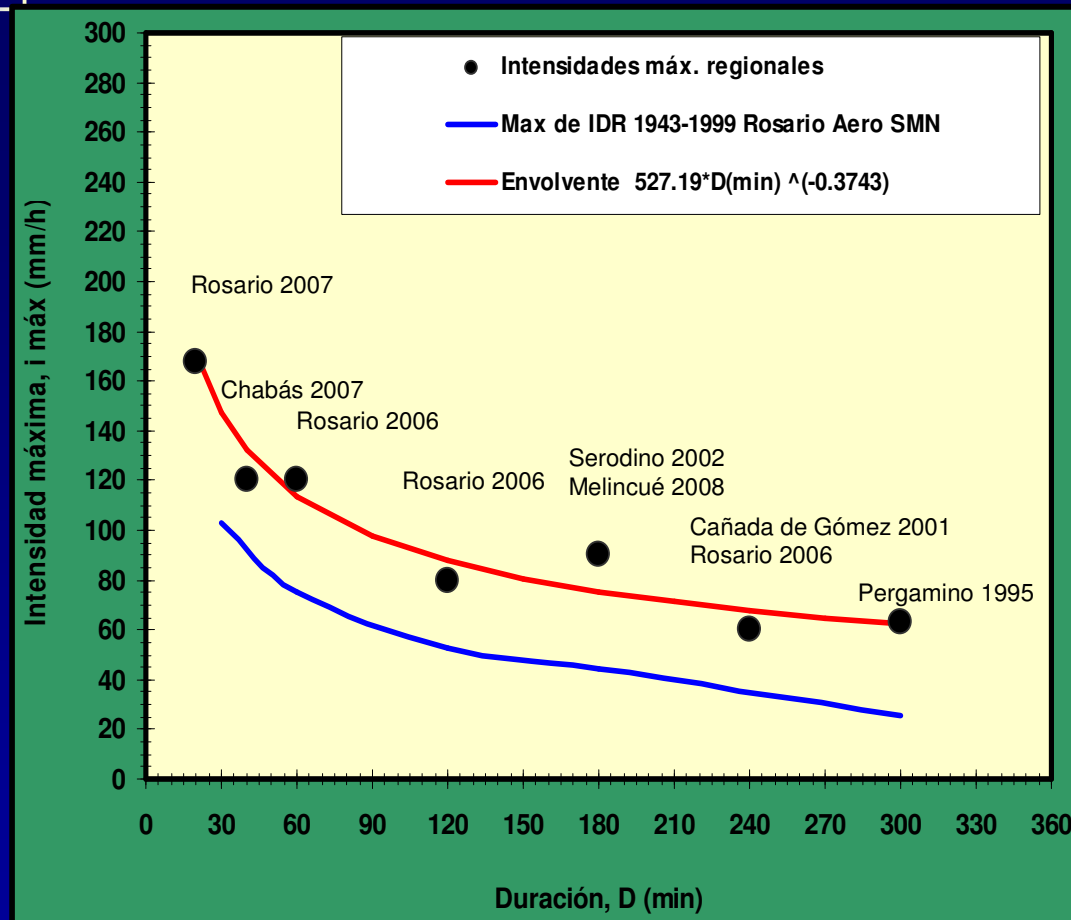
II. Hietogramas de Diseño Lluvia de larga duración



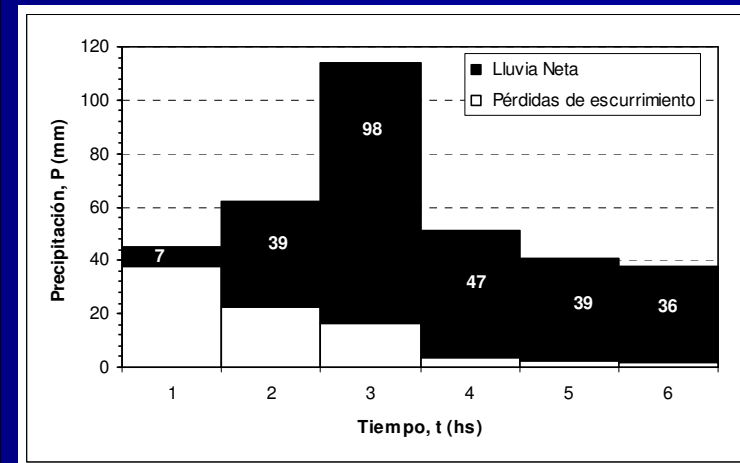
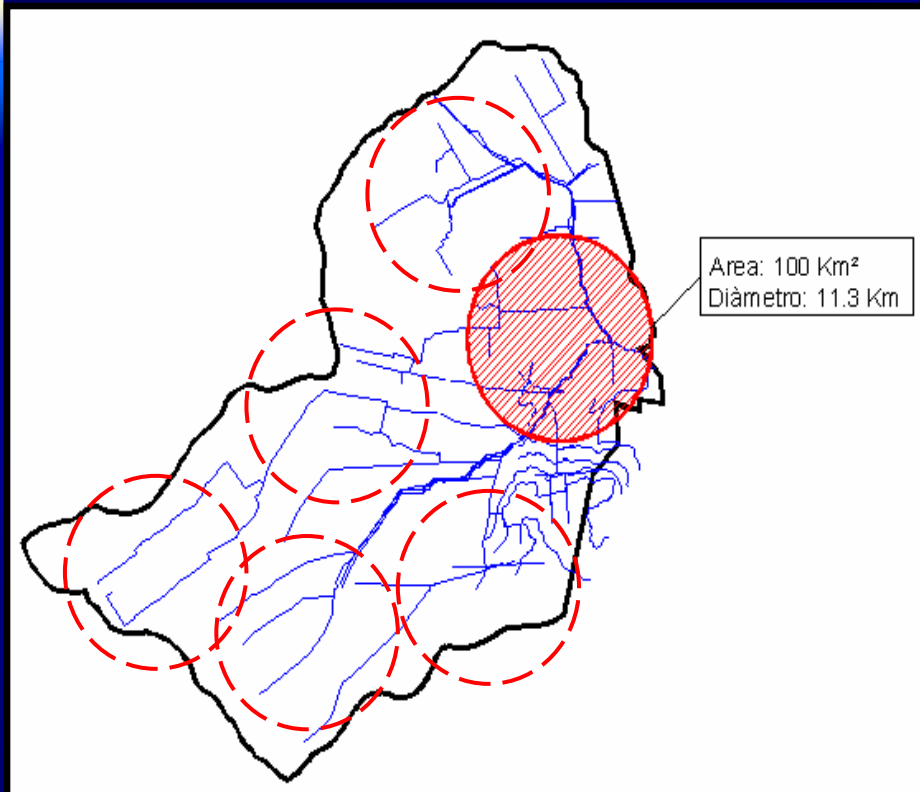
- Duración : 5 días
- Recurrencia: variable 10 y 100 años
- Distribución temporal diaria : bloques alternos
- Distribución temporal sub diaria: Coeficiente de Evans



Lluvia de corta duración



Lluvia de corta duración



III. Condiciones Antecedentes del hietograma de diseño

Objetivo:

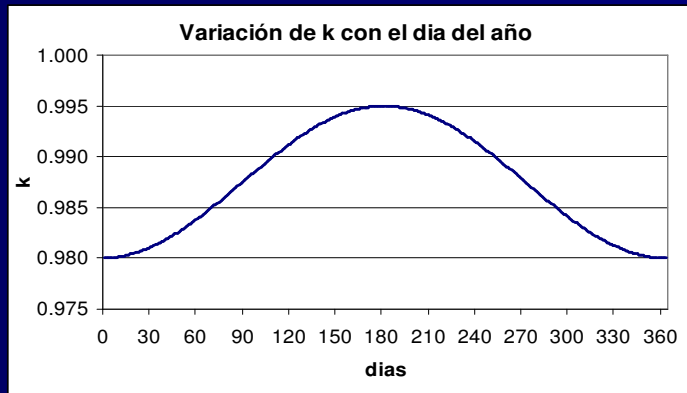
Estudiar las condiciones antecedentes de tormentas observadas de gran magnitud, con el fin de definir un criterio estadístico para estimarlas en el caso de la tormenta de diseño.

III. Condiciones Antecedentes.

Indice de Precipitación Antecedente

$$IPA(n) = P(n) + IPA(n - 1) * k(n)$$

donde $IPA(n)$ es el índice de precipitación antecedente del día n del año, $P(n)$ es la precipitación del día n , $k(n)$ el coeficiente de decaimiento correspondiente al día n



El coeficiente de decaimiento, variable durante el año, trata de reproducir las extracciones por evapotranspiración variables estacionalmente debido a la variabilidad de las condiciones de insolación y estado de humedad ambiente. Para considerar las condiciones de almacenamiento en el suelo se han definido los siguientes parámetros característicos:

$$k(n) = k_{\text{ver}} + (k_{\text{inv}} - k_{\text{ver}}) \text{seno}^2 \left(\frac{\pi}{365} n \right)$$

III. Condiciones Antecedentes.

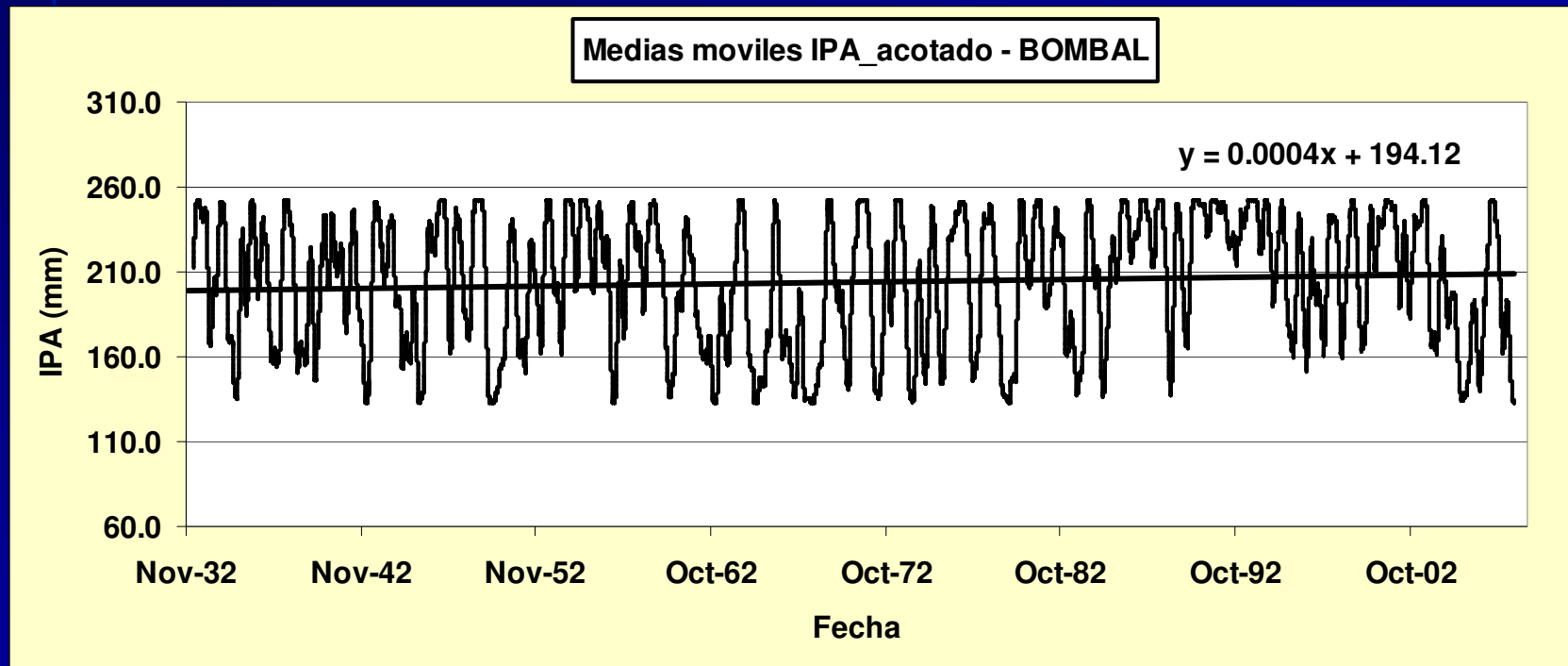
Indice de Precipitación Antecedente

$$k(n) = k_{\text{ver}} + (k_{\text{inv}} - k_{\text{ver}}) \text{seno}^2 \left(\frac{\pi}{365} n \right)$$

Profundidad radicular cultivo de soja	:	700 mm
Humedad volumétrica capacidad de campo, θ_{CC}	:	0.36
Humedad volumétrica punto marchitez perman., θ_{PMP}	:	0.19
Humedad volumétrica saturación, θ_{SAT}	:	0.48
Lámina equivalente capacidad de campo, R_{CC}	252 mm	
Lámina equivalente punto marchitez perman., R_{PMP}	133 mm	
Lámina equivalente saturación, R_{SAT}	:	336 mm

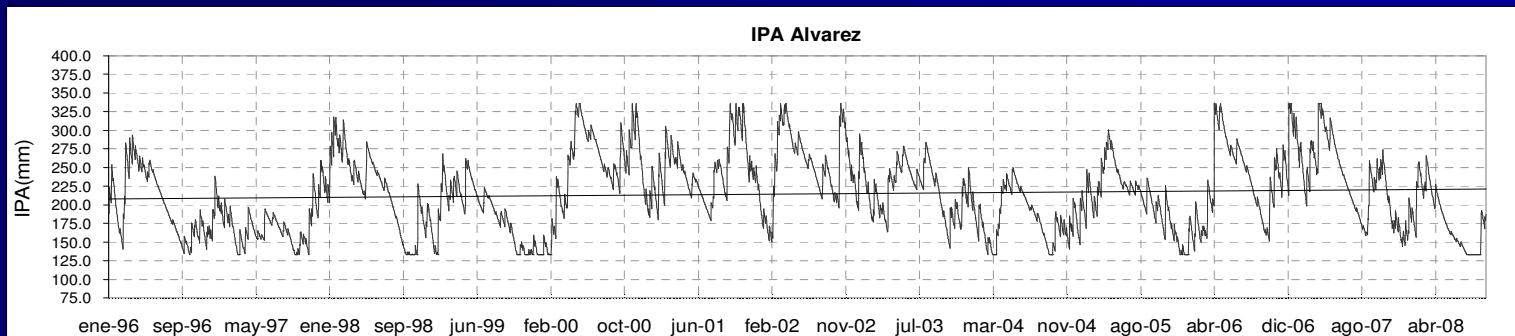
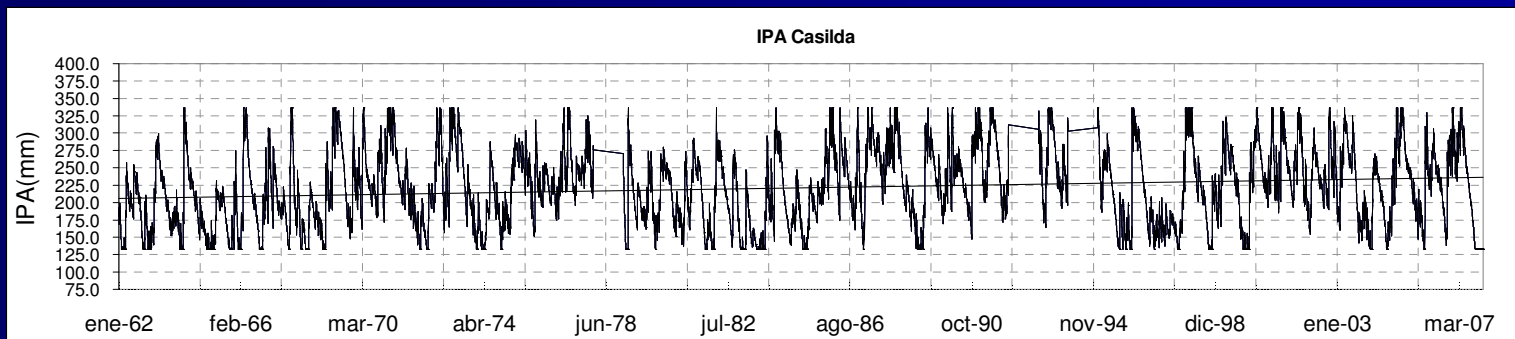
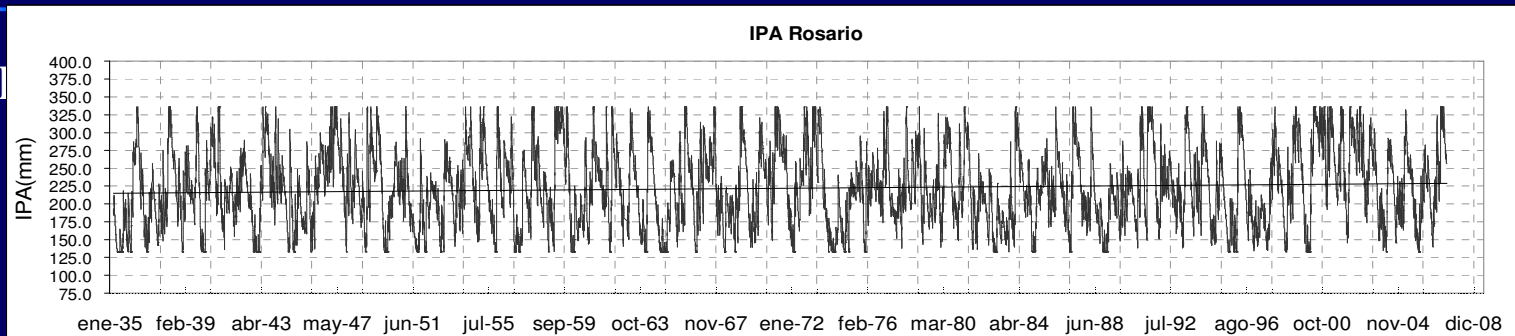
Los coeficientes de decaimiento se adoptaron como: $k_{\text{ver}} = 0.980$ y $k_{\text{inv}} = 0.995$.

Análisis pluviométrico: Incremento de las condiciones antecedentes de humedad



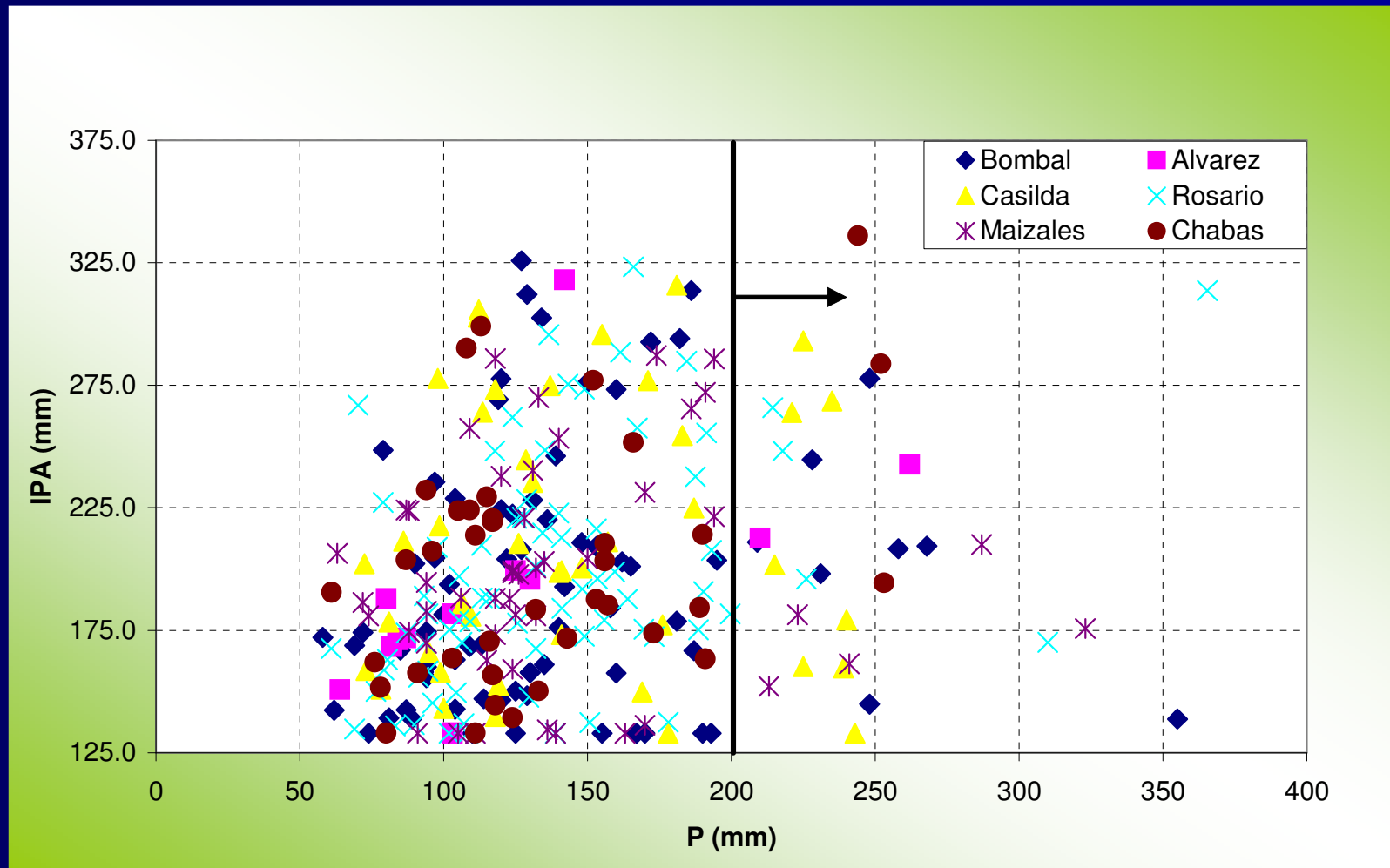
III. Condiciones Antecedentes.

Indice de Precipitación Antecedente



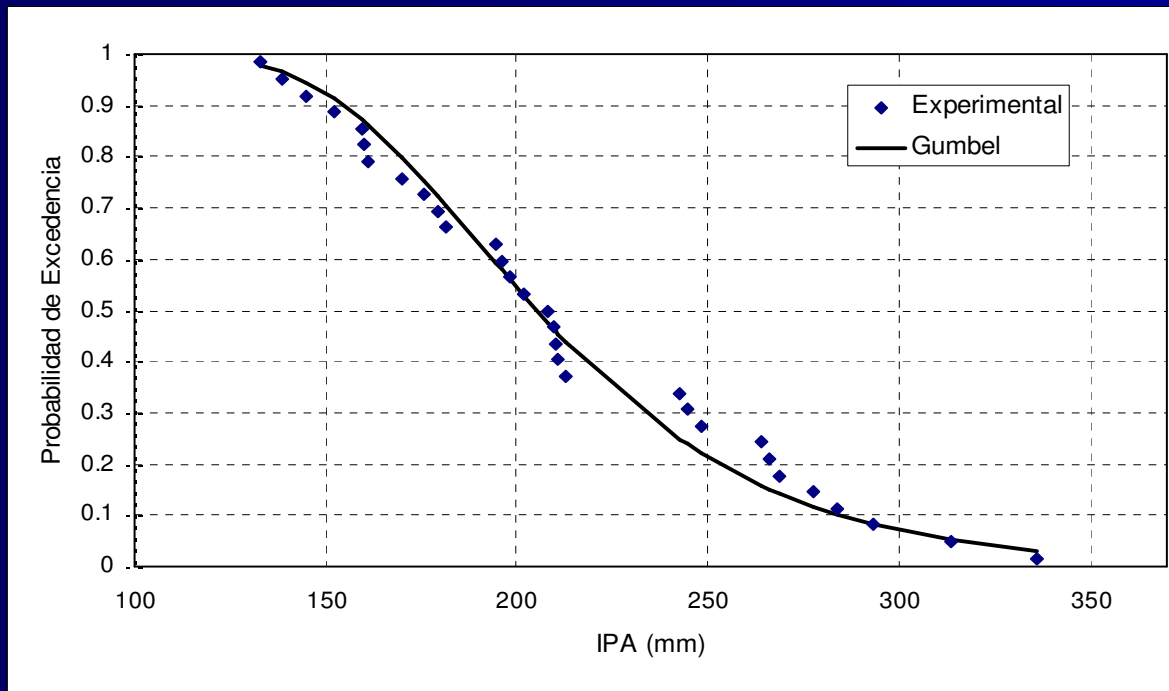
III. Condiciones Antecedentes.

Indice de Precipitación Antecedente



III. Condiciones Antecedentes.

Indice de Precipitación Antecedente



III. Condiciones Antecedentes.

Indice de Precipitación Antecedente

t(hs.)	P 10 años(mm)	IPA(moderado)	Se
		205.2	0.36
0-24	14.7	217.8	0.42
24-48	30.2	245.9	0.56
48-72	140	383.4	1.00
72-96	18.1	397.7	1.00
96-120	11.8	405.5	1.00

$$S_e = \frac{IPA_n - R_{PMP}}{R_{SAT} - R_{PMP}}$$

t(hs.)	P 100 años(mm)	IPA(severo)	Se
		314.7	0.90
0-24	24.3	335.9	1.00
24-48	46.6	379.1	1.00
48-72	202.4	577.7	1.00
72-96	26.8	598.7	1.00
96-120	15.8	608.5	1.00

IV. Patrón Espacial del hietograma de diseño

Objetivo:

Estudiar la estructura espacial de tormentas observadas, con el fin de definir un modelo de variación que ajuste al comportamiento estadístico espacial observado en la región.

IV. Patrón Espacial del hietograma de diseño. Semi-variograma teórico.

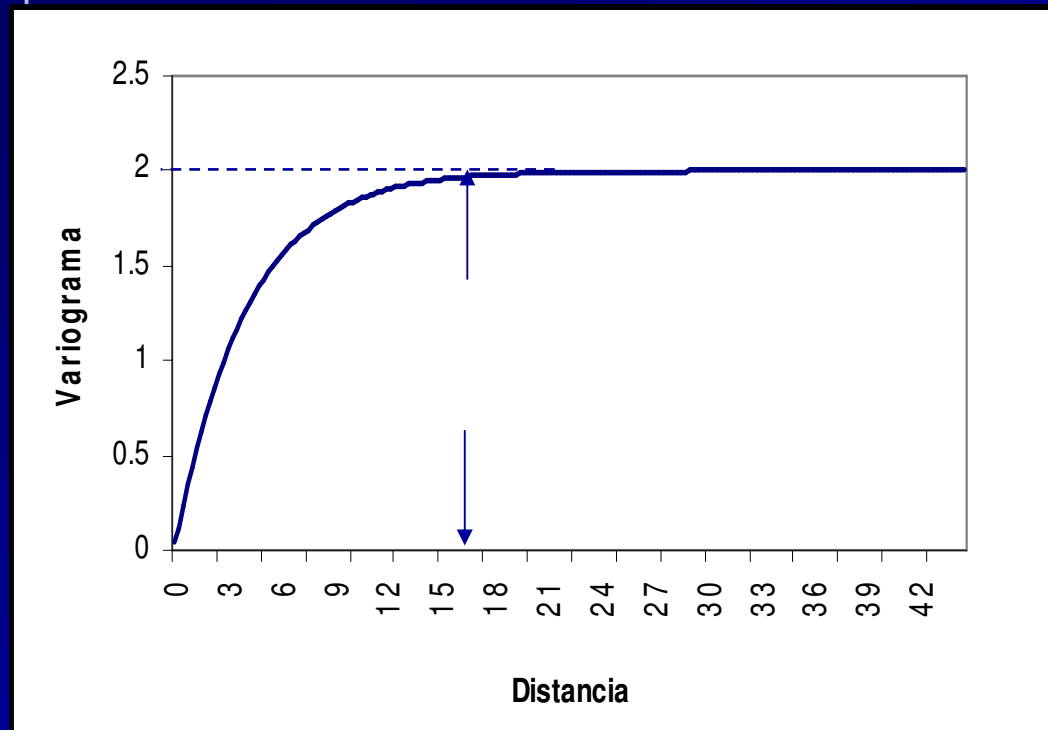
La estructura de la correlación espacial puede examinarse de varias maneras, pero normalmente es analizada mediante el llamado semi-variograma (SV):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \text{Var}[Z(x) - Z(x+h)] \quad \gamma(h) = \frac{1}{2} E[Z(x) - Z(x+h)]^2$$

• Valor promedio de la diferencia al cuadrado de los valores de la propiedad en dos puntos separados por una distancia $|h|$

- γ es independiente de la localización x
- γ depende del módulo y de la dirección del vector h

IV. Patrón Espacial del hietograma de diseño. Semi-variograma teórico.



Rango (*Range*):

Distancia a la cual el variograma se estabiliza

Meseta (*Sill*):

Valor constante que toma el variograma en distancias mayores al rango

IV. Patrón Espacial del hietograma de diseño. Semi-variograma teórico.

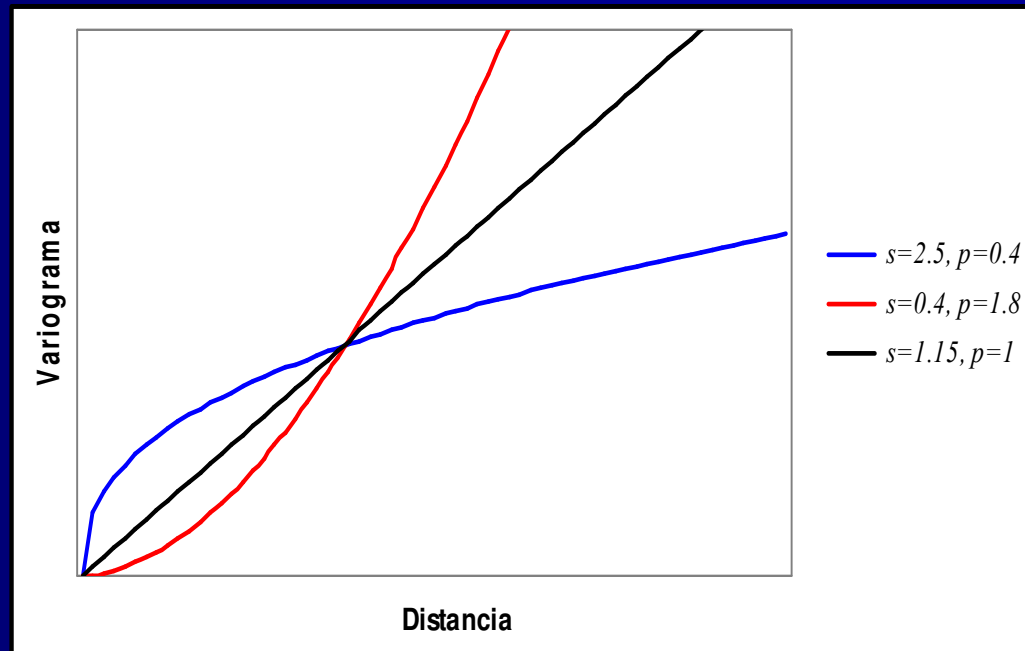
$$\gamma(h) = s|h|^p$$

S se denomina factor de escala

$$0 \leq p < 2$$

El comportamiento en el origen depende del valor de p

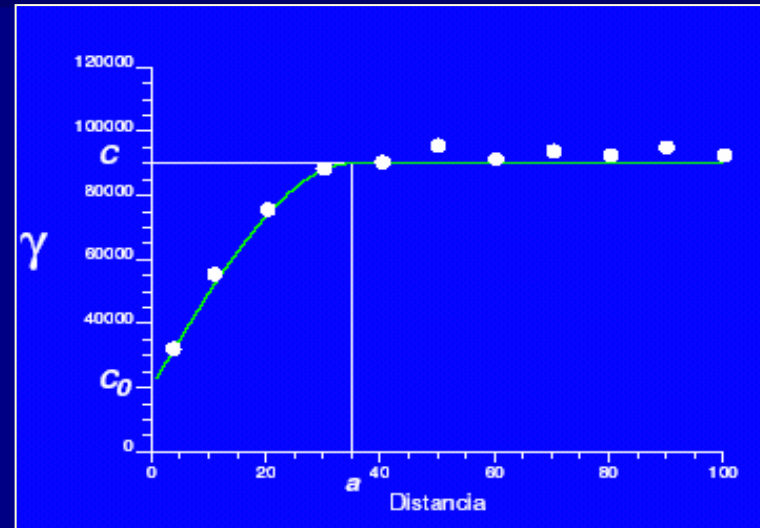
Representa fenómenos no estacionarios



Modelo Potencia

IV. Patrón Espacial del hietograma de diseño. Semi-variograma experimental.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$



Donde h es el retraso ó lag, n es el número de pares de puntos con distancia de h , $z(x_i)$ es el valor del campo de la variable a la posición x_i y $z(x_i+h)$ es el valor a una distancia h de x_i y $\gamma(h)$ es la semi-varianza asociada al lag h .
El SV es la base del método de kriging, utilizándose en la determinación de los coeficientes de peso empleados para la interpolación espacial.

IV. Patrón Espacial del hietograma de diseño. Interpretación del SV.

La sumatoria de diferencias $[z(x_i) - z(x_{i+h})]^2$ puede interpretarse como suma de variaciones Δ_i (cuadráticas) del campo paramétrico a una distancia fija en h . Al dividirse por el número n de puntos, se establece una variación cuadrática media del campo, $\varepsilon(h)$, para el lag h :

$$2 \gamma(h) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i^2(h) = \varepsilon(h)$$

Si se propone la variación como estacionaria en el dominio, e incluso, considerar que $z(x_i)$ sea el foco de una tormenta, $P(0)$, y $z(x_{i+h})$ el valor de precipitación $P(h)$, a una distancia h del foco, se tiene:

$$2 \gamma(h) = \varepsilon(h) = [P(0) - P(h)]^2$$

$$P(h) = P(0) - \sqrt{2 \gamma(h)}$$

Entonces $P(h)$ puede ser estimado como :

IV. Patrón Espacial del hietograma de diseño. Cuenca de estudio y procesamiento.

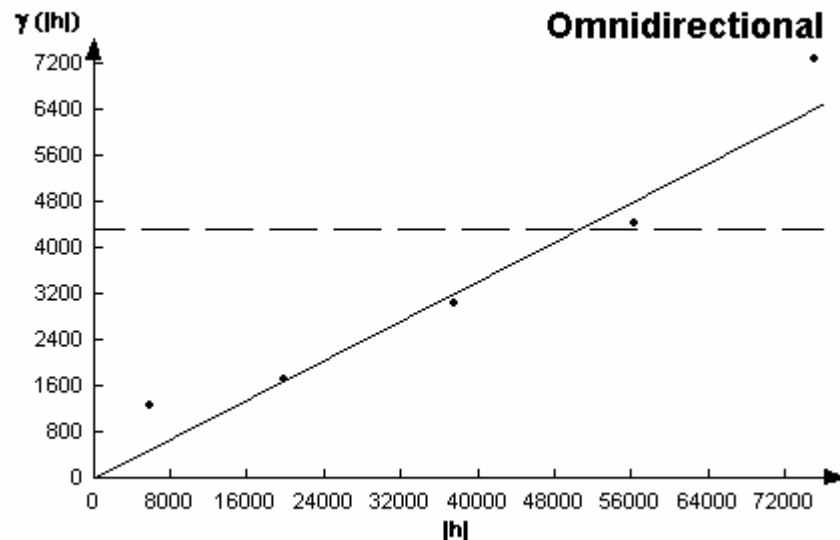
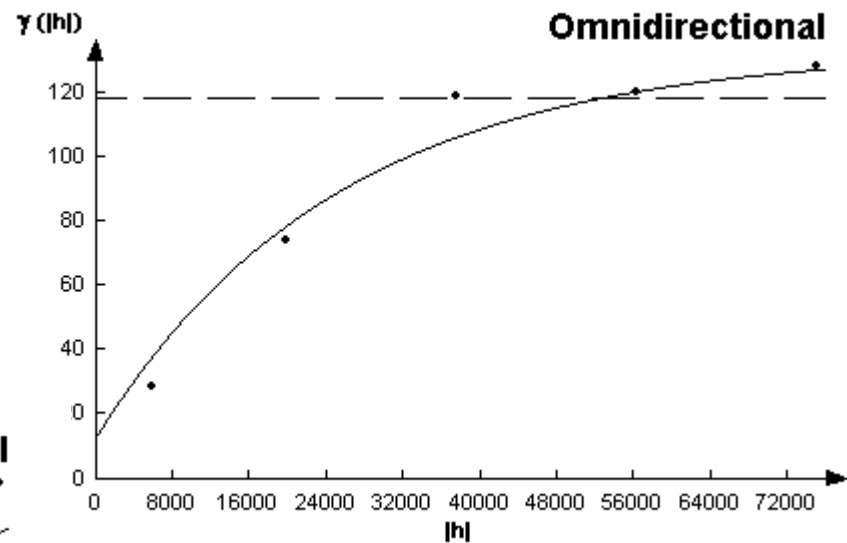
- 30 estaciones pluviométricas
- Thiessen lluvias medias de cinco (5) días de duración para el período 2002-2007.
- selección 11 tormentas cuya lámina media areal superó los 75 mm.



- promedio, desvío estandar, valores extremos de precipitación en el área y rango.
- Se calcularon los semivariogramas diarios utilizando el modelo lineal y el exponencial. Los parámetros se obtuvieron con el programa VarioWin© (Pannatier, 1996).

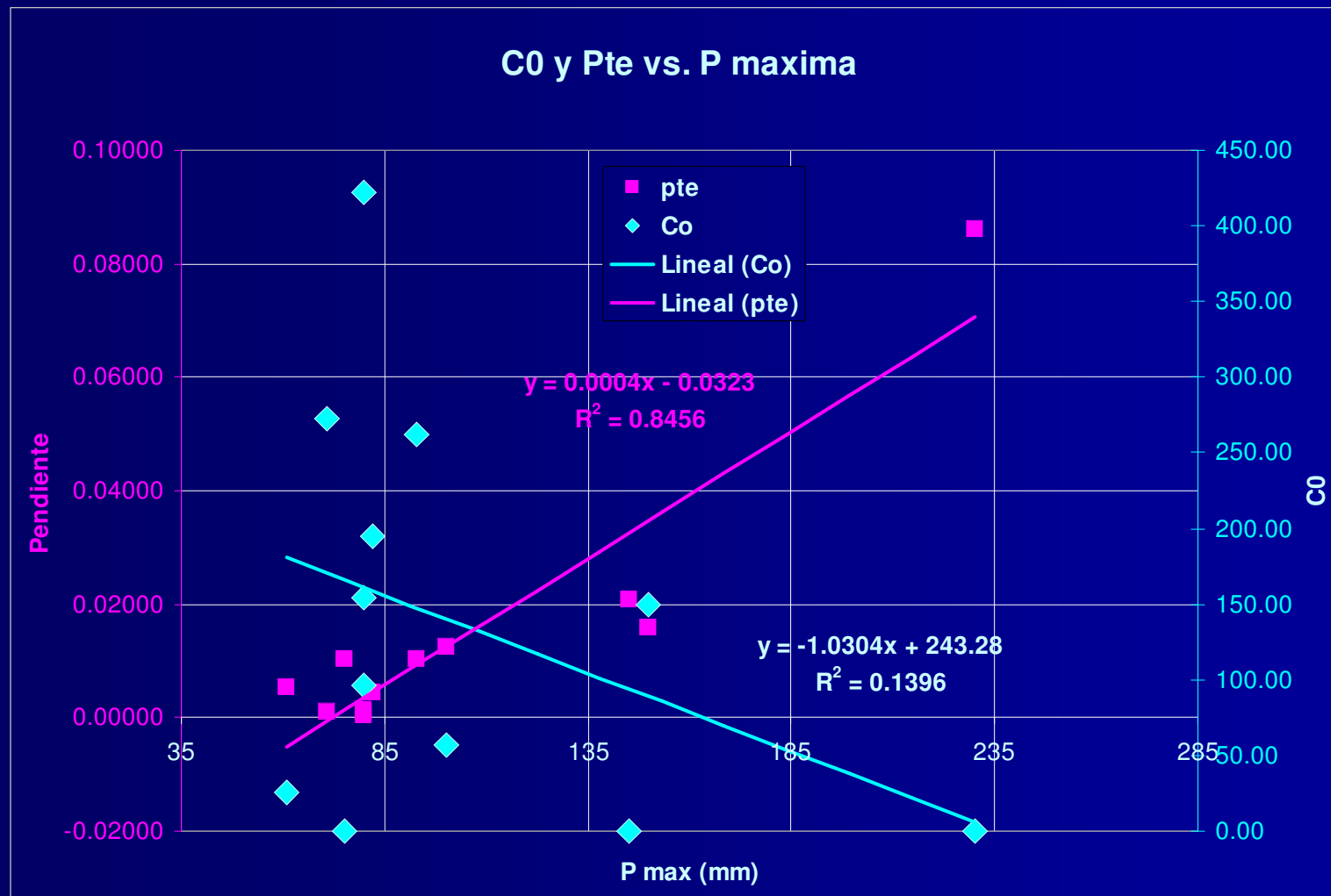
IV. Patrón Espacial del hietograma de diseño. Procesamiento pluviométrico.

Variograma ajustado para la tormenta
2 (8/04/2002) día 3, Precipitación
media areal: 30,2 mm; Modelo
exponencial, Rango 75240 m, Umbral
120 mm², C0= 13.2 mm²

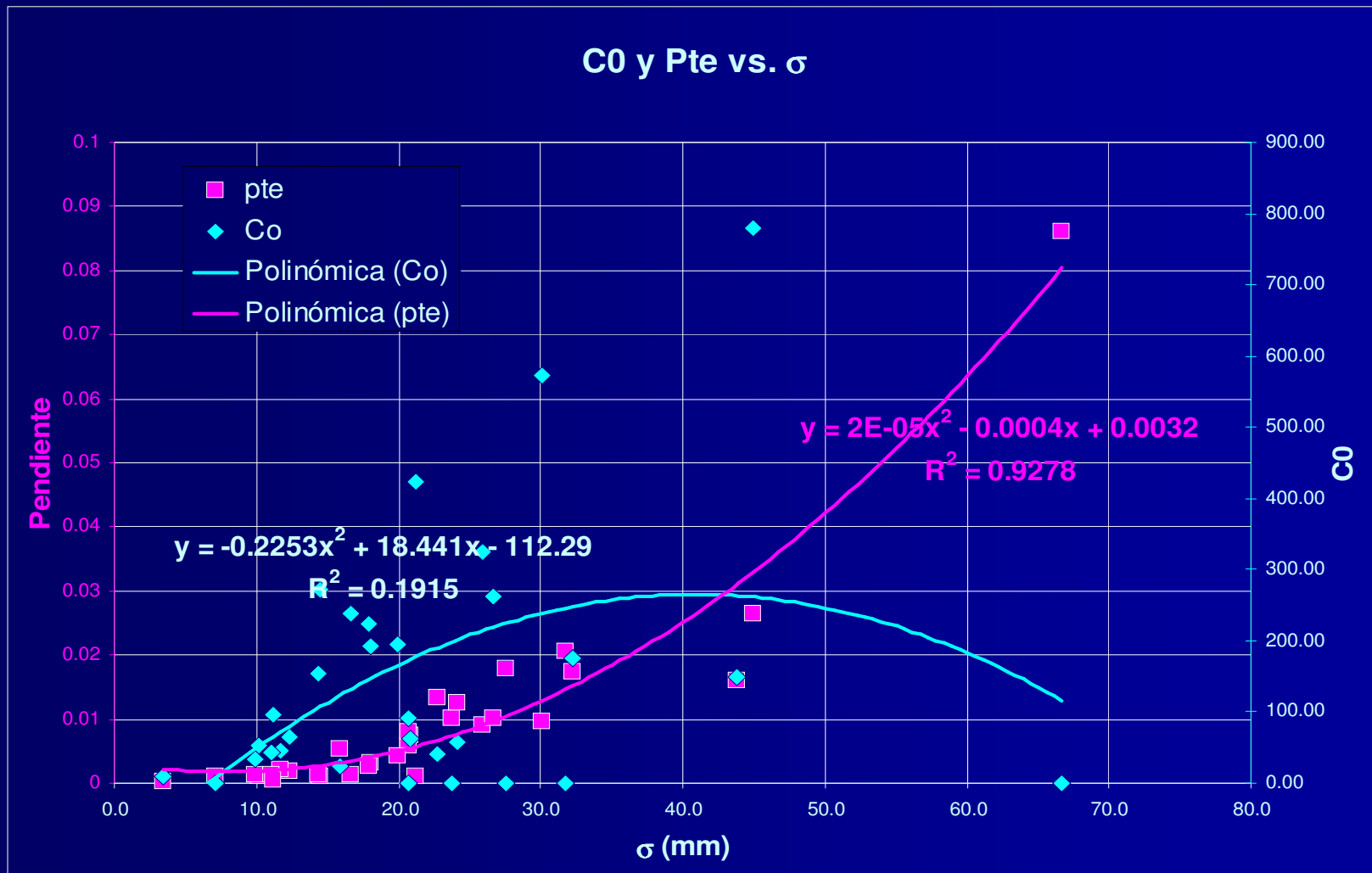


Variograma ajustado para la tormenta
11 (27/03/2007) día 2, Precipitación
media areal: 109,5 mm; Modelo lineal,
Pendiente = 0.086 mm²/m, C0= 0 mm²

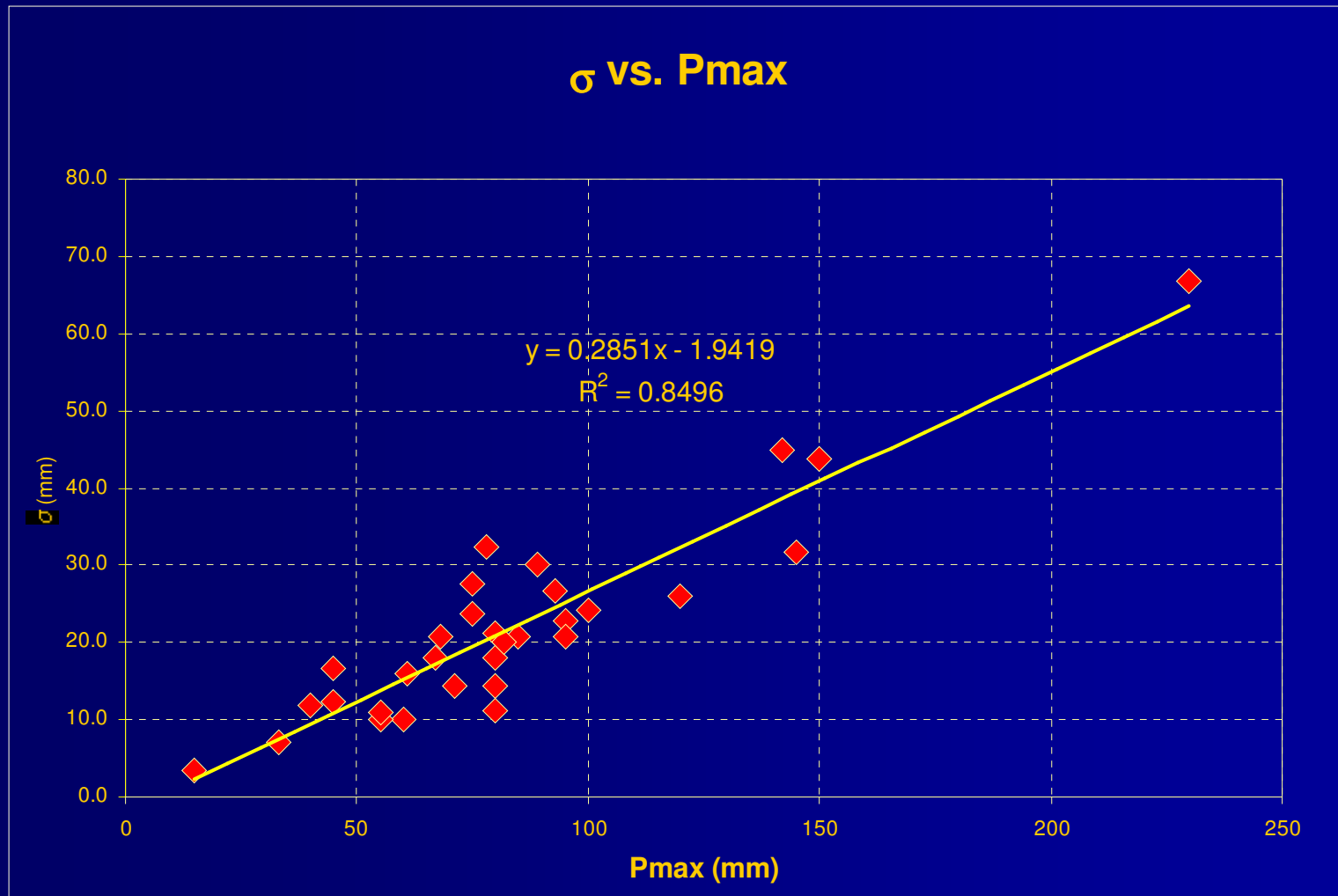
IV. Patrón Espacial del hietograma de diseño. Pronóstico de parámetros del SV.



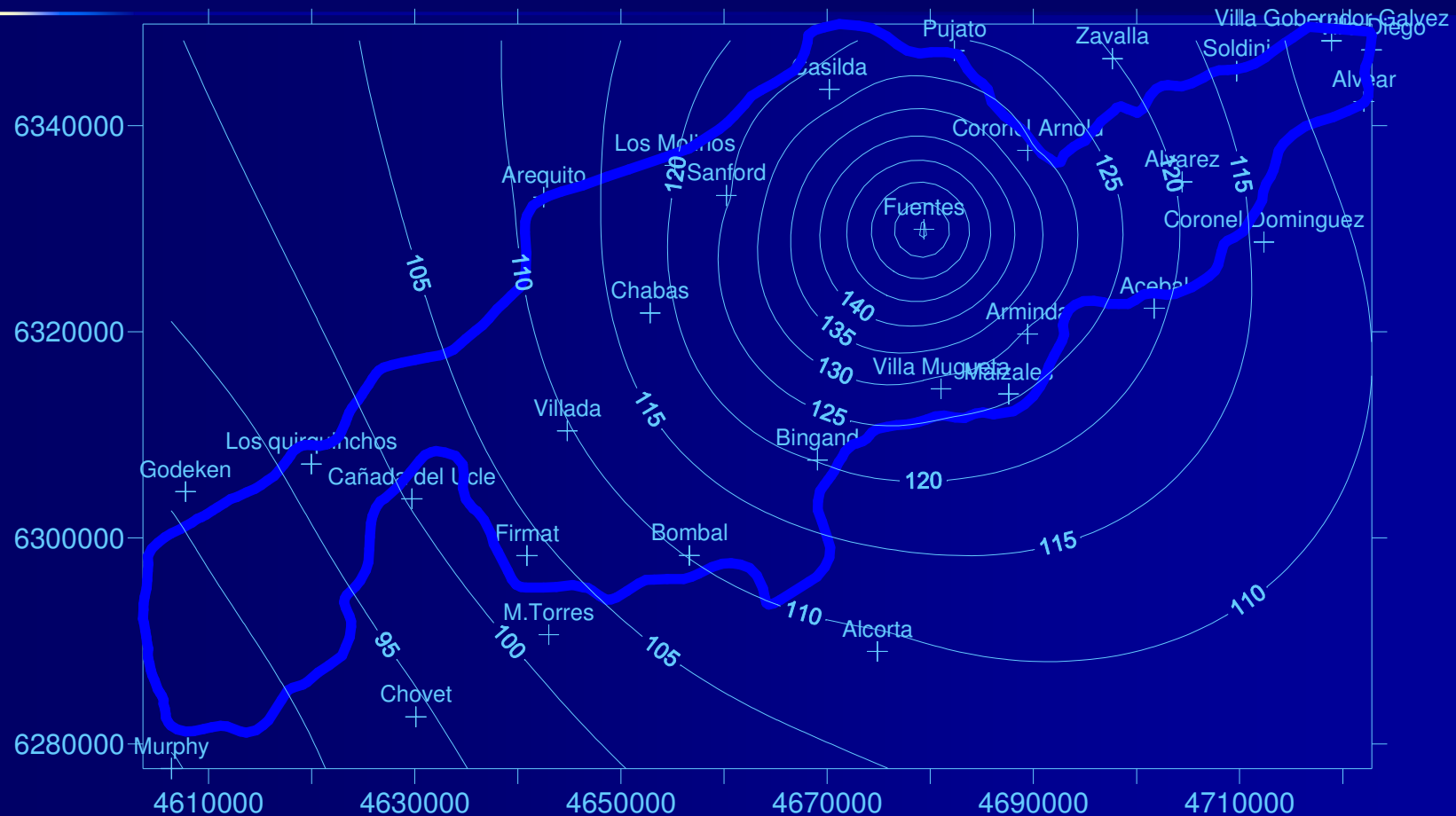
IV. Patrón Espacial del hietograma de diseño. Pronóstico de parámetros del SV.



IV. Patrón Espacial del hietograma de diseño. Pronóstico de parámetros del SV.

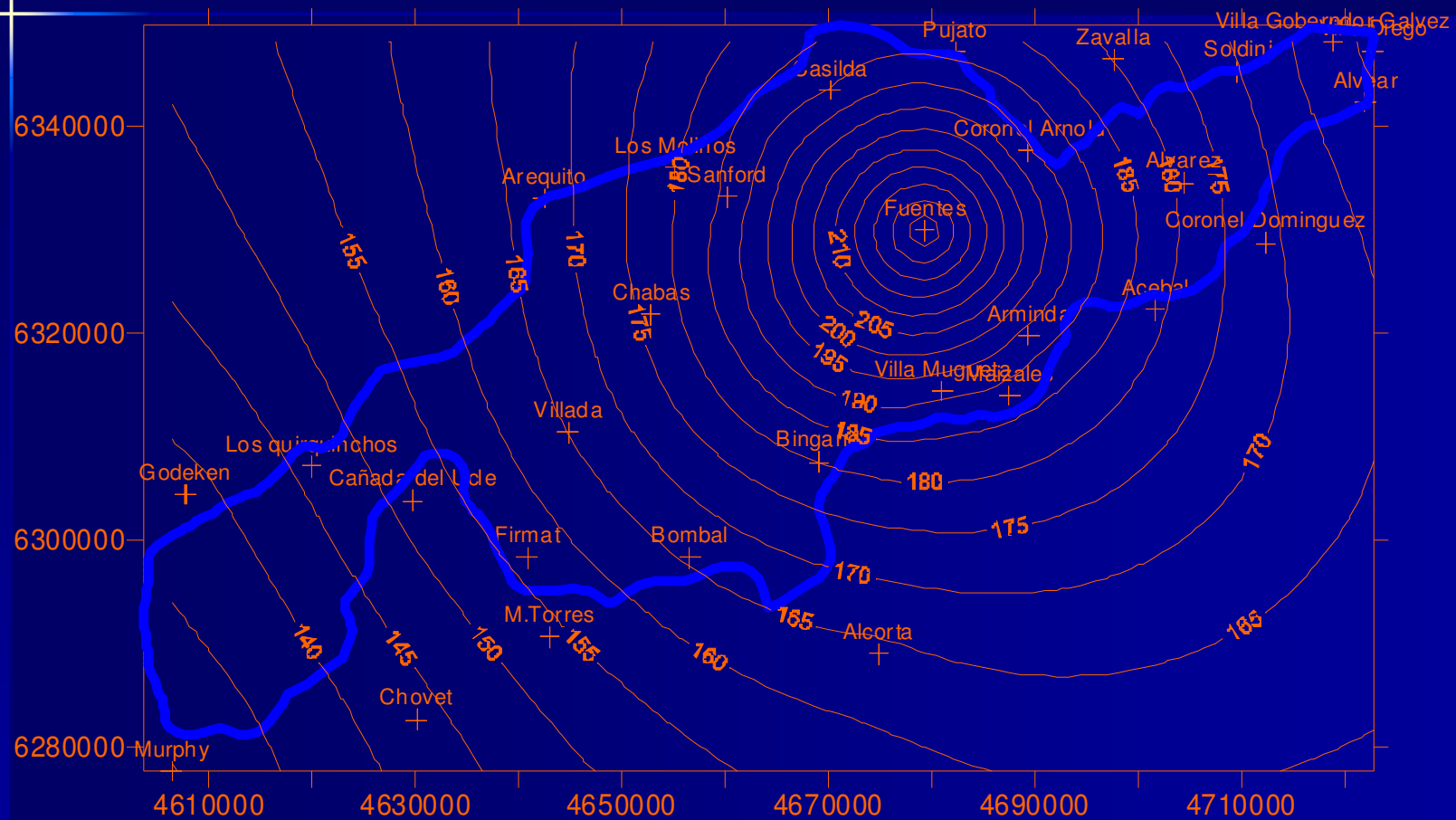


IV. Patrón Espacial del hietograma de diseño. Tormenta de 10 años de TR.



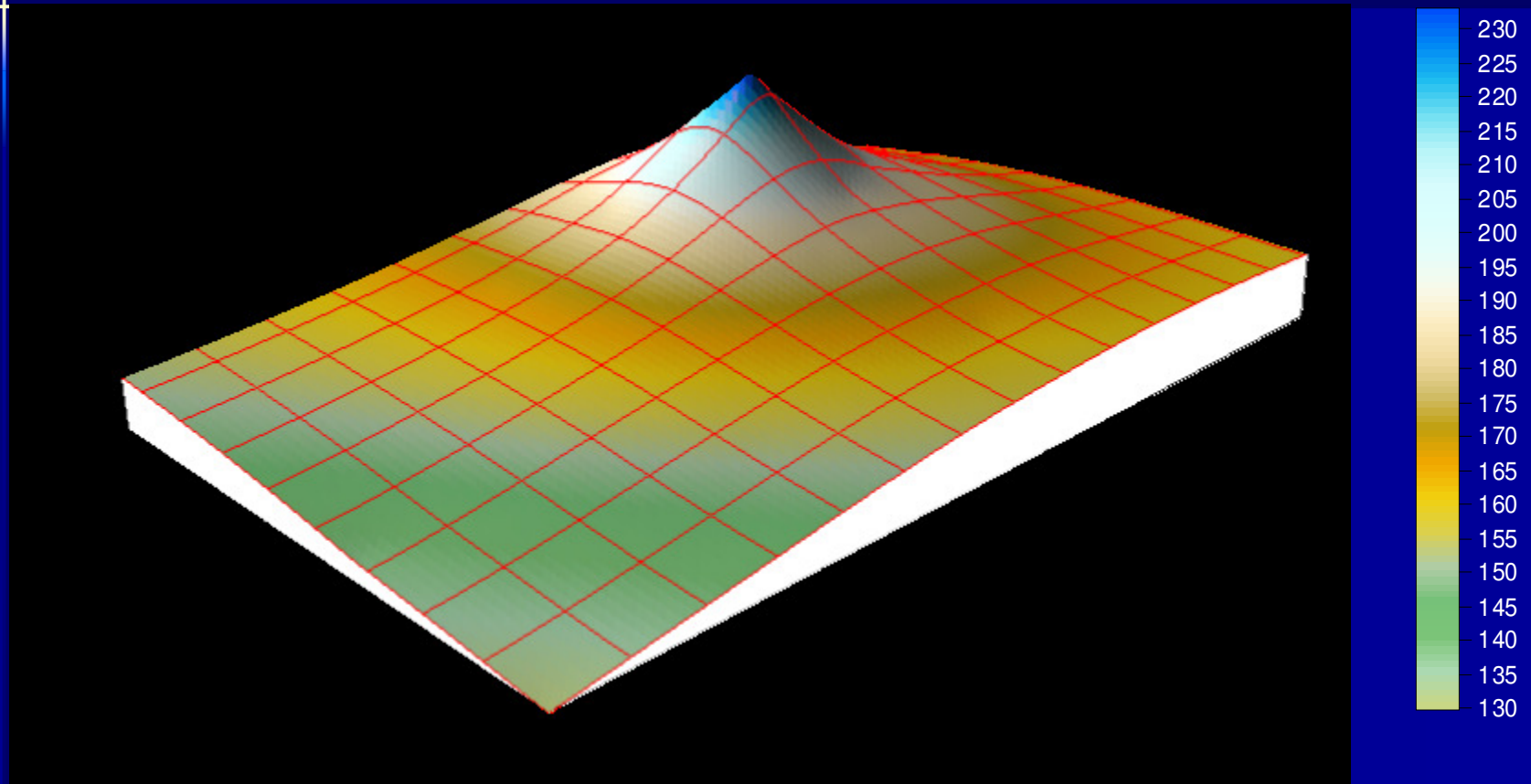
Isohietas trazadas con el método propuesto para el 3er. día de la tormenta de recurrencia 10 años.

IV. Patrón Espacial del hietograma de diseño. Tormenta de 100 años de TR.



Isohietas trazadas con el método propuesto para el 3er. día de la tormenta de recurrencia 100 años.

IV. Patrón Espacial del hietograma de diseño. Tormenta de 100 años de TR.



Superficie trazadas con el método propuesto para el 3er. día de la tormenta de recurrencia 100 años.

Conclusiones

Aportes:

- **Duraciones mayores a 72 hs.**
- **Verificación con tormentas convectivas, envolvente regional de intensidades**
- **Condiciones precedentes de humedad distribuidas conjuntamente con precipitaciones máximas**
- **Distribución espacial de la tormenta, basada en semivariogramas regionales**

Antecedentes de acciones de acciones estructurales en Cuenca Arroyo Ludueña

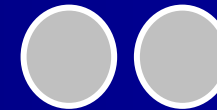
LLUVIA 250 y 300 mm en 2 - 3 DIAS

● *Década 40* 2 diám. 3.80 m. Aliviador 1.

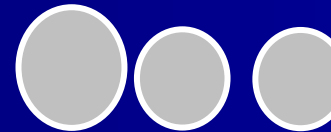
● *Década 60* 2 diám. 3.80 m + 1 diam. 4.10 m.

● *Década 80*
Presa de retención (75% de atenuación en 60% cuenca)
2 diám. 3.30 m + 1 diam. 4.10 m + 2 rect. 4.30 x 5.05

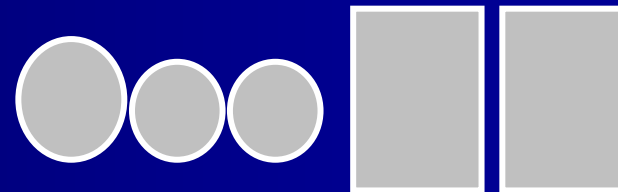
● *2007* Lluvia 365-400 mm en 5 días → *existente + 100 m²*



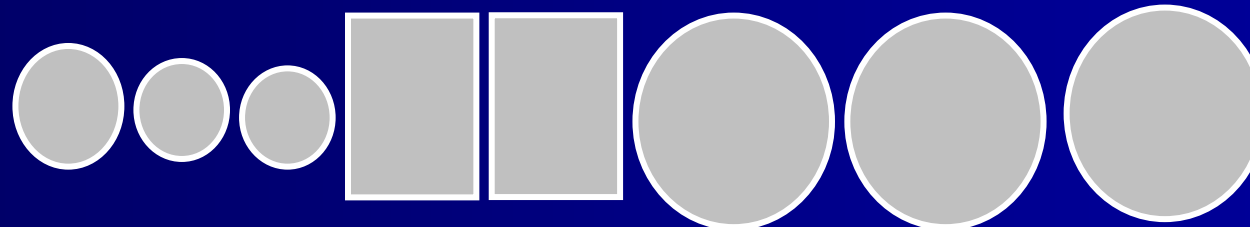
22.7 m²



35.8 m²



73.7 m²



174 m²