

# **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](mailto:erikz@fceia.unr.edu.ar)

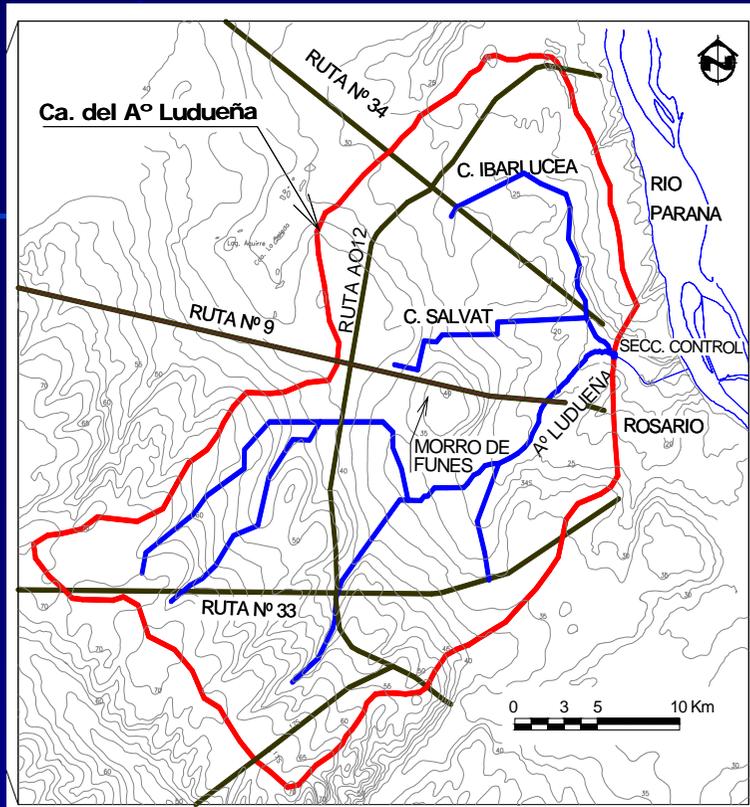
# Objetivos

**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

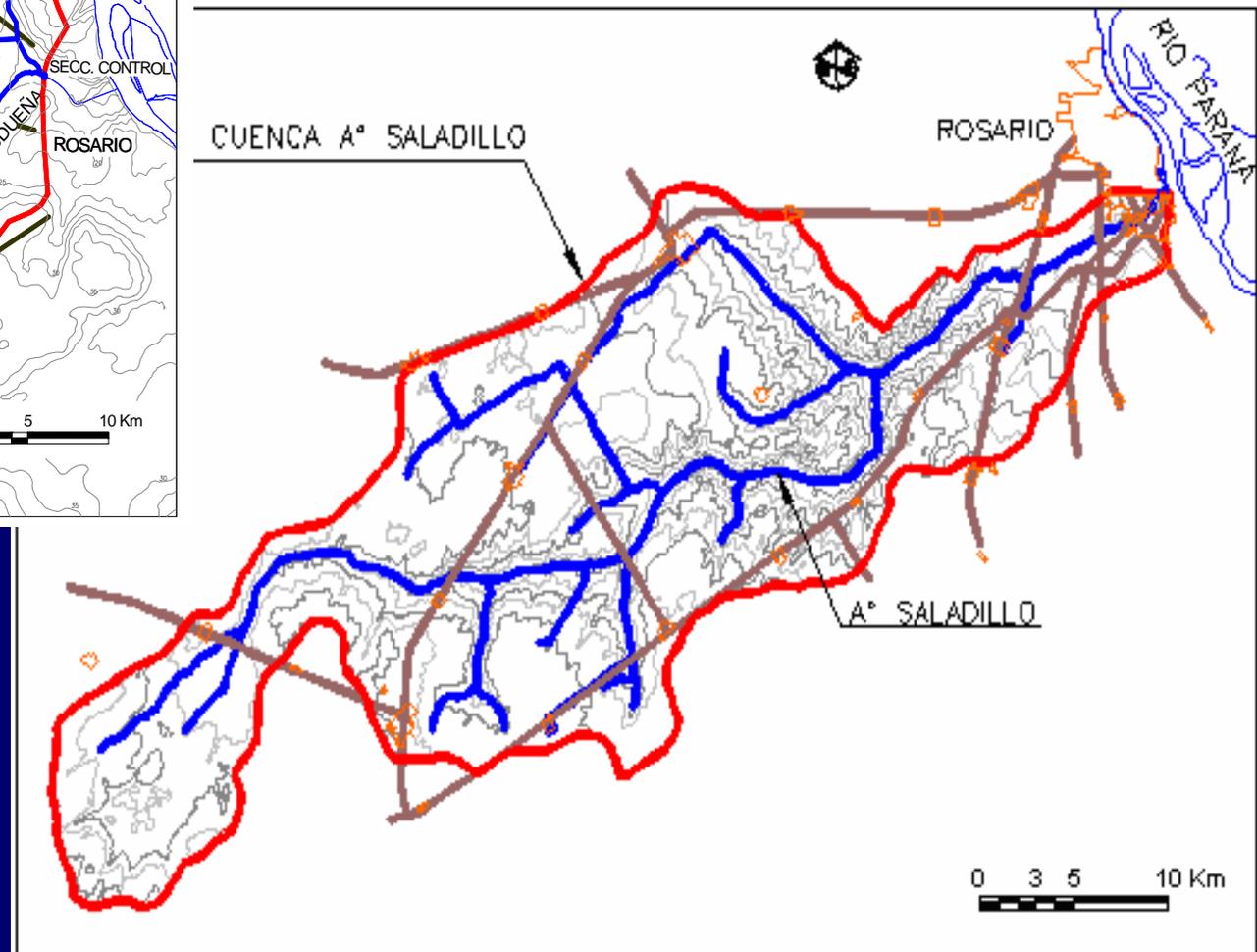


La cuenca del Arroyo Ludueña

Área de aporte  $\cong$  700 Km<sup>2</sup>.

La cuenca del Arroyo Saladillo

Área de aporte  $\cong$  3200 Km<sup>2</sup>.



# Antecedentes de acciones de acciones estructurales en Cuenca Arroyo Ludueña

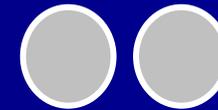
LLUVIA 250 y 300 mm en 2 - 3 DIAS

○ *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

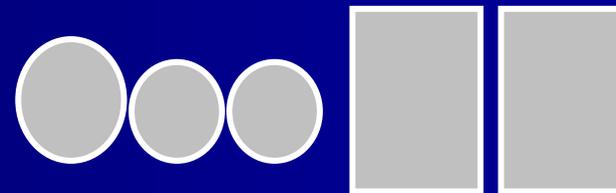
○ *2007* Lluvia 365-400 mm en 5 dias → existente + 100 m<sup>2</sup>



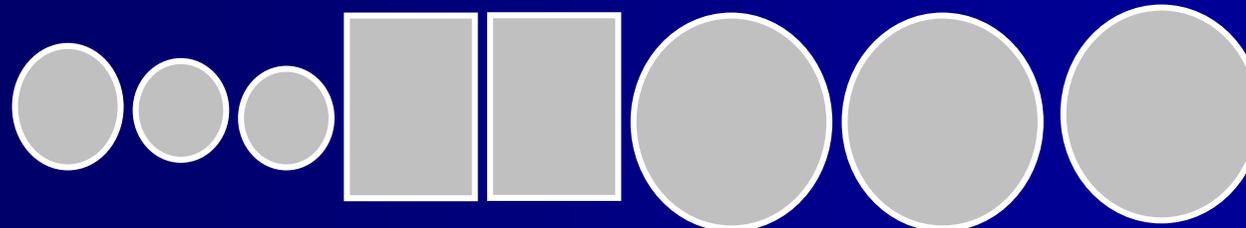
22.7 m<sup>2</sup>



35.8 m<sup>2</sup>



73.7 m<sup>2</sup>



174 m<sup>2</sup>

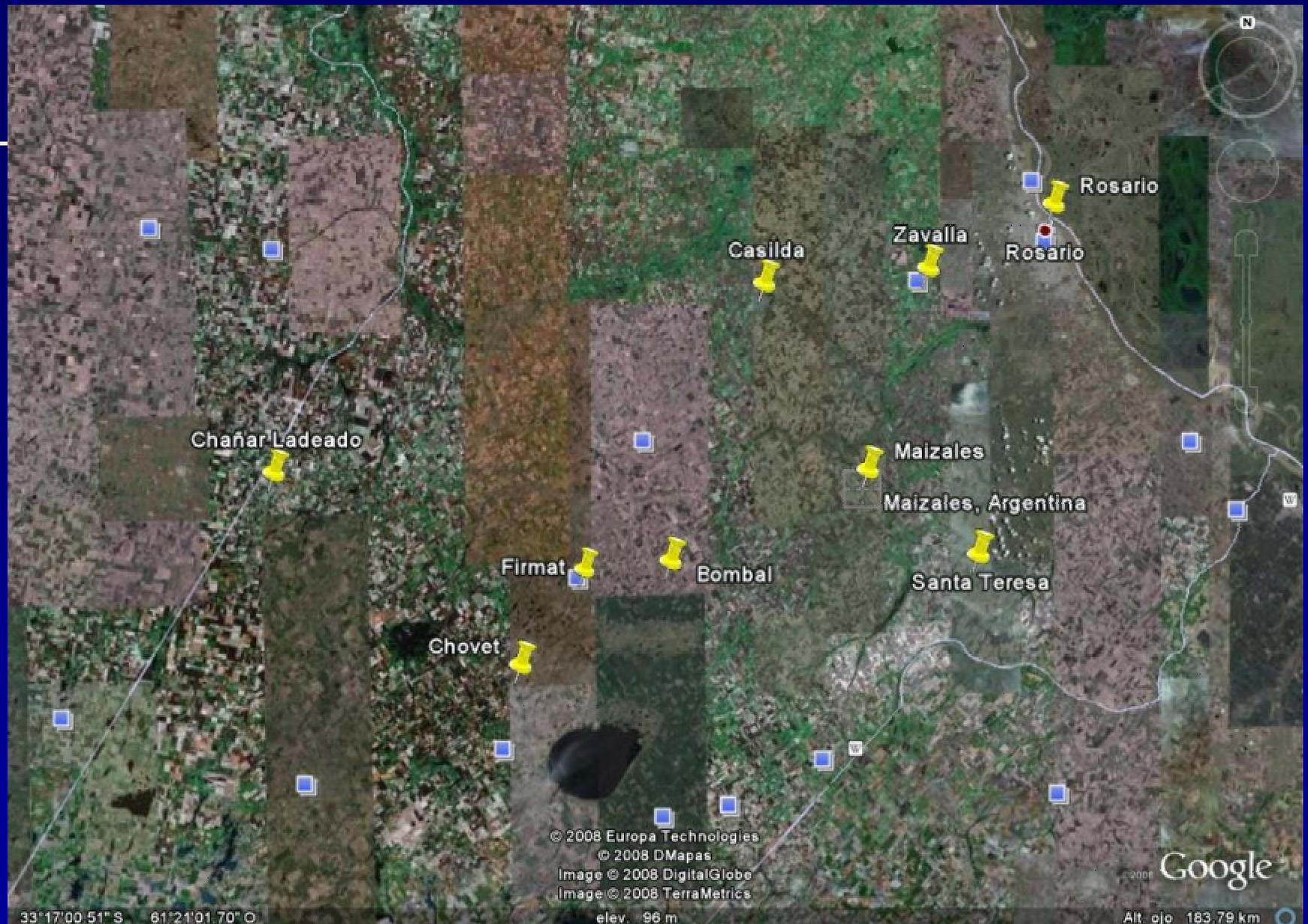
# I. Análisis Pluviométrico

## Objetivo:

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

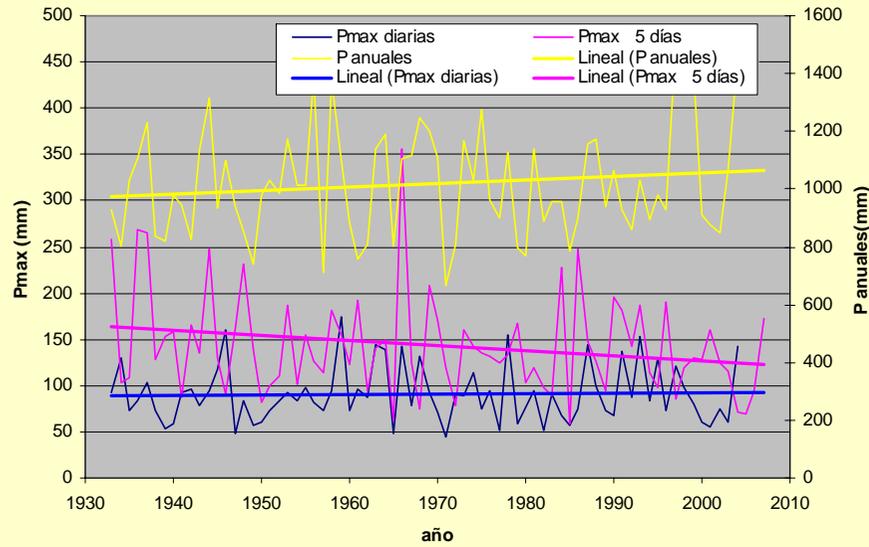
- Valores anuales
- Tormentas de larga duración
- Tormentas de corta duración
- Número de tormentas

# Análisis pluviométrico

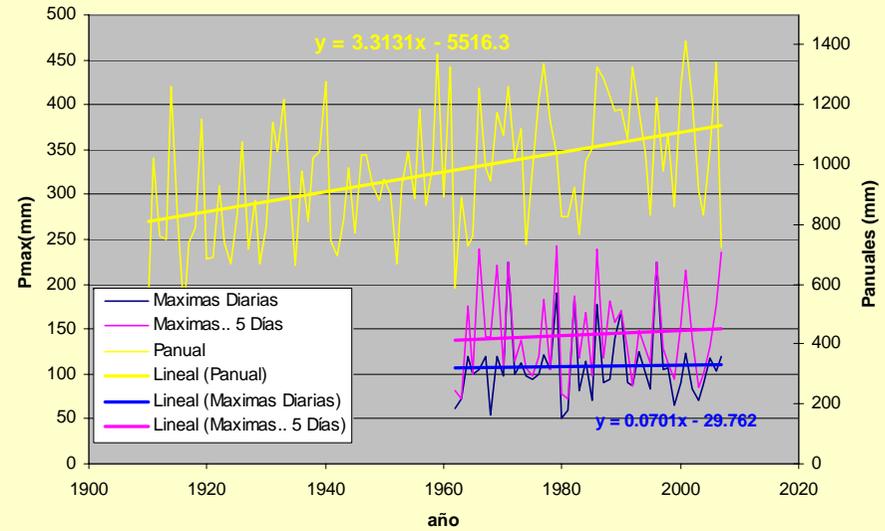


# Análisis pluviométrico

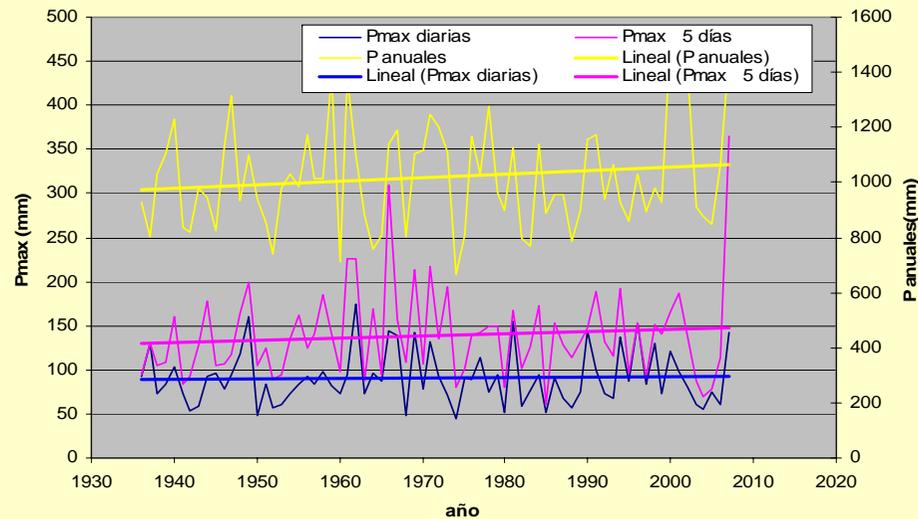
Lluvias Maximias Anuales Bombal



Lluvias Maximias Anuales CASILDA

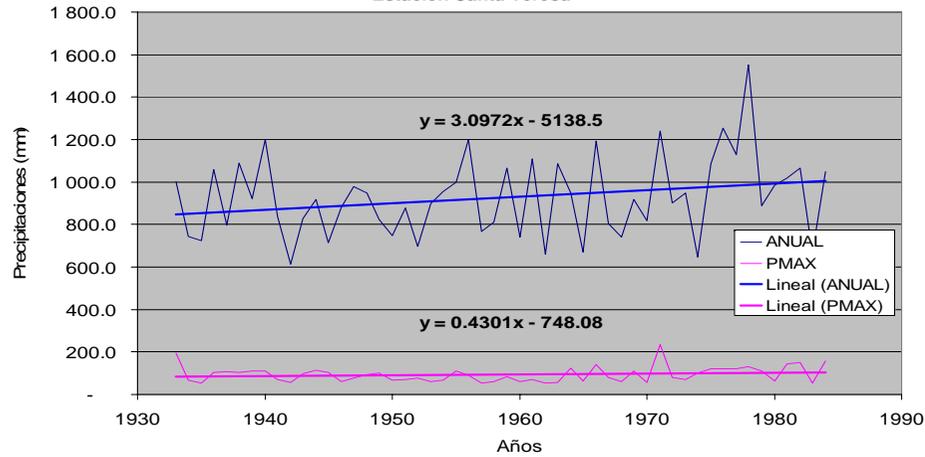


Lluvias Maximias Anuales Rosario

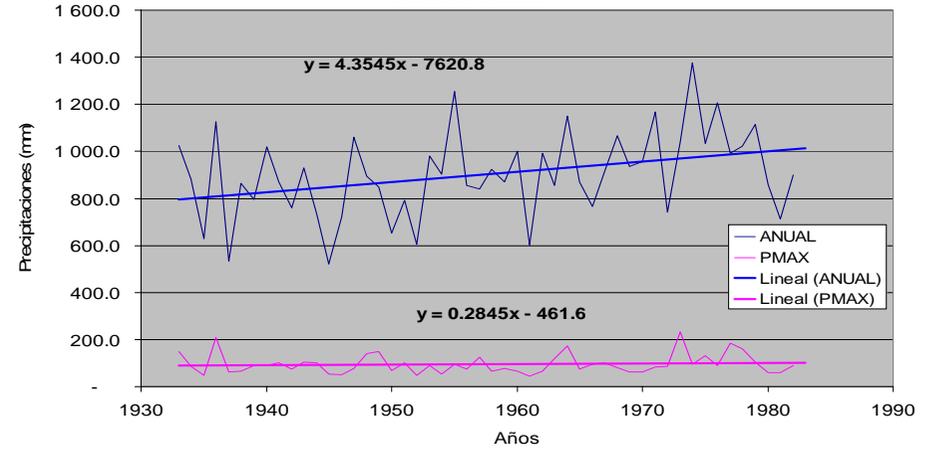


# Análisis pluviométrico

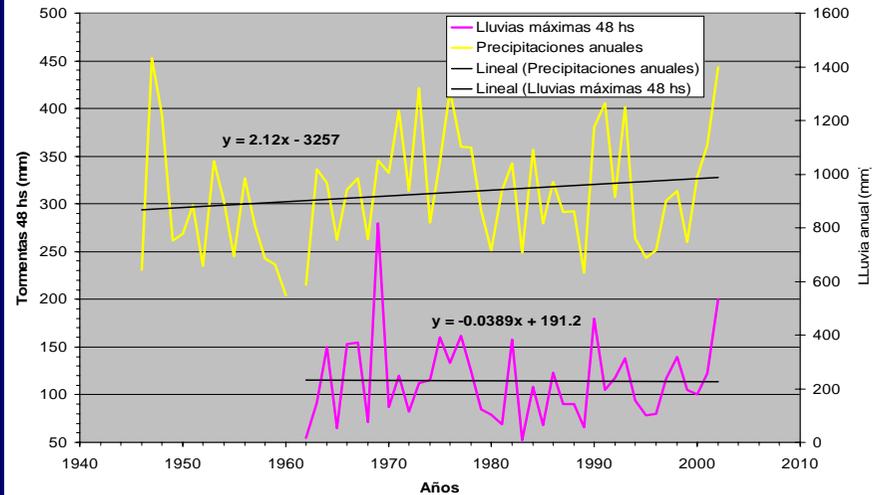
Tendencias pluviométricas.  
Estación Santa Teresa



Tendencias pluviométricas.  
Estación Chovet



Pluviometría Chañar Ladeado



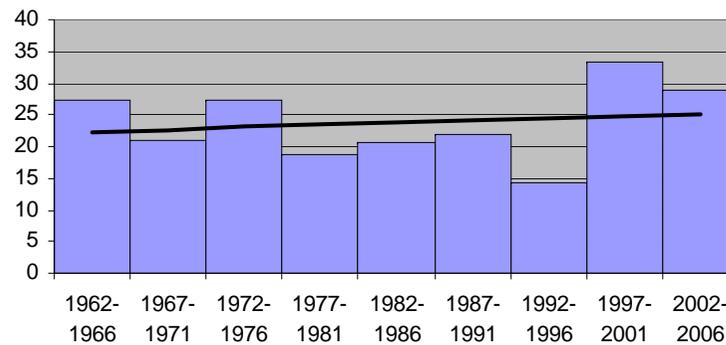
# Análisis pluviométrico

- 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

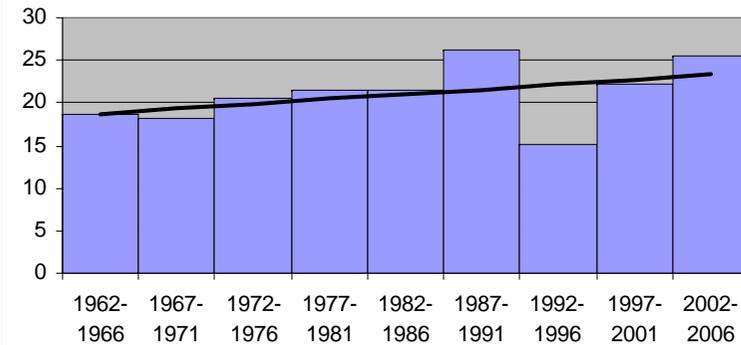
## Casilda

Frecuencias de tormentas por año menores a 10 mm



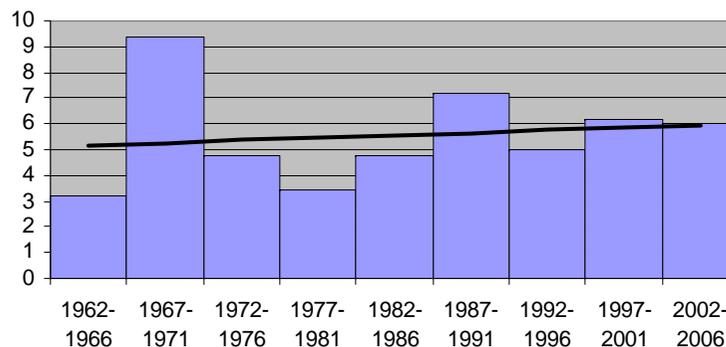
## Casilda

Frecuencias de tormentas por año entre 10..40 mm



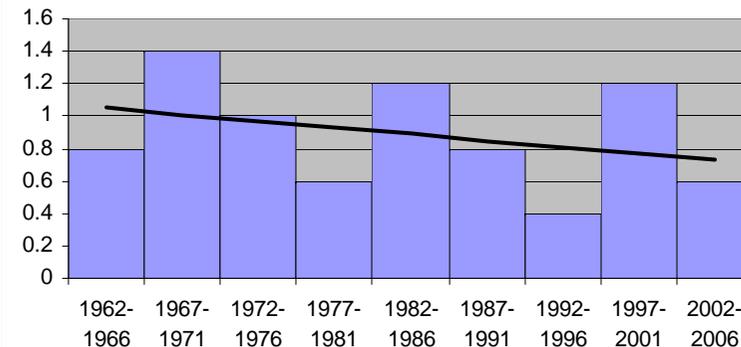
## Casilda

Frecuencias de tormentas por año entre 40..90 mm

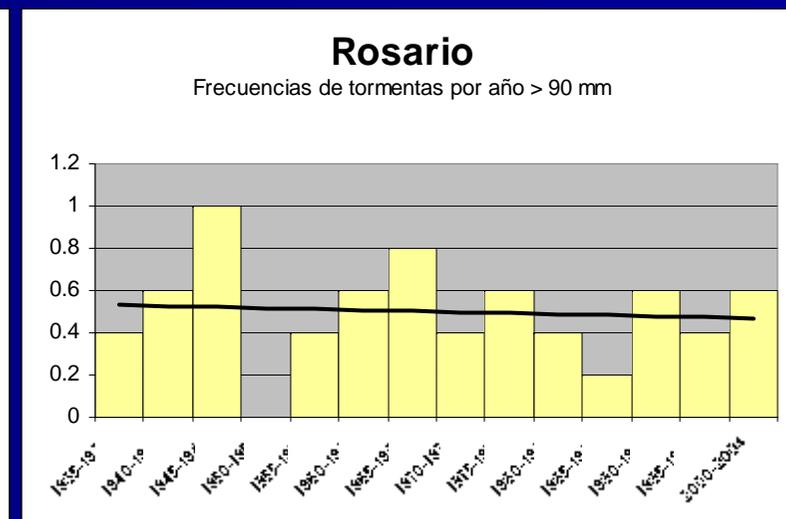
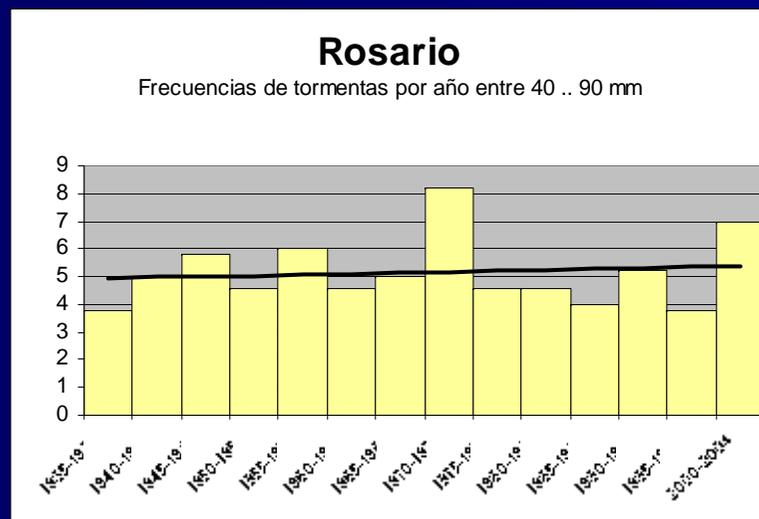
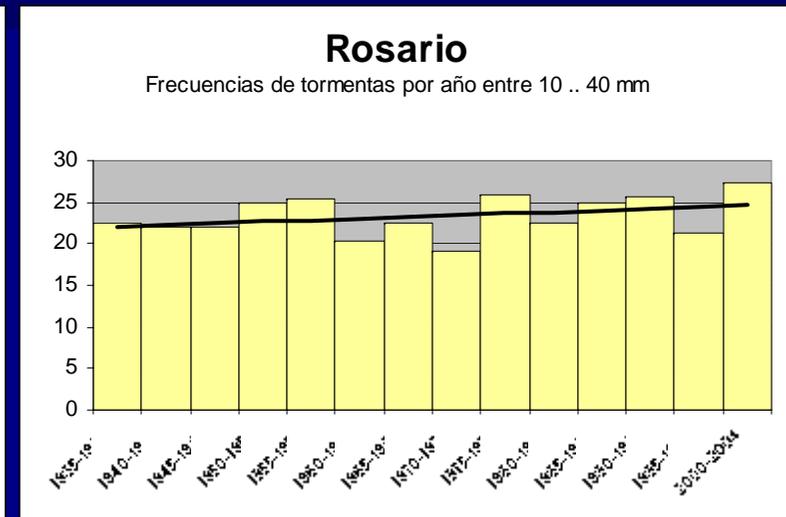
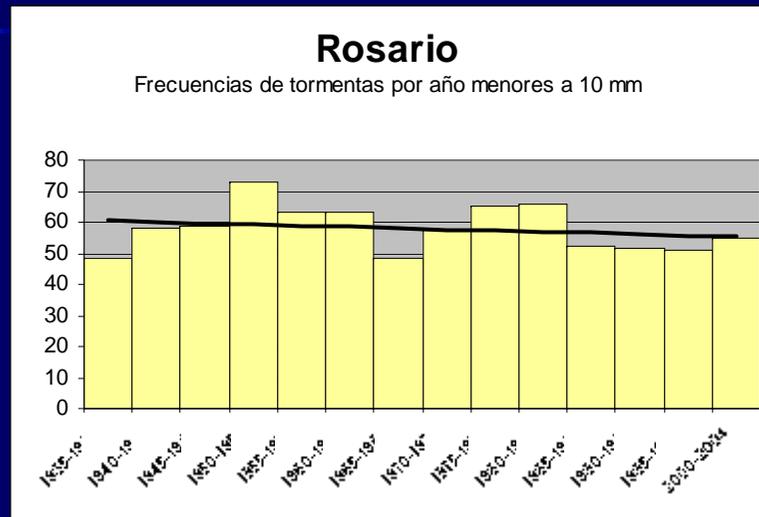


## Casilda

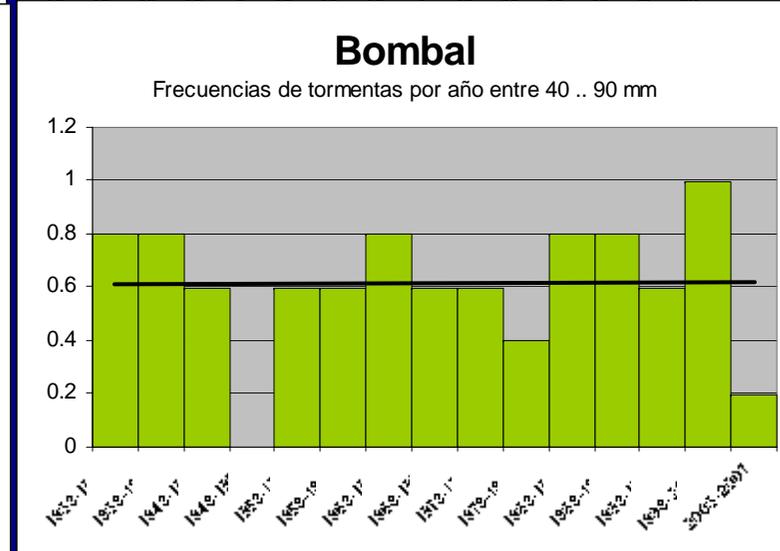
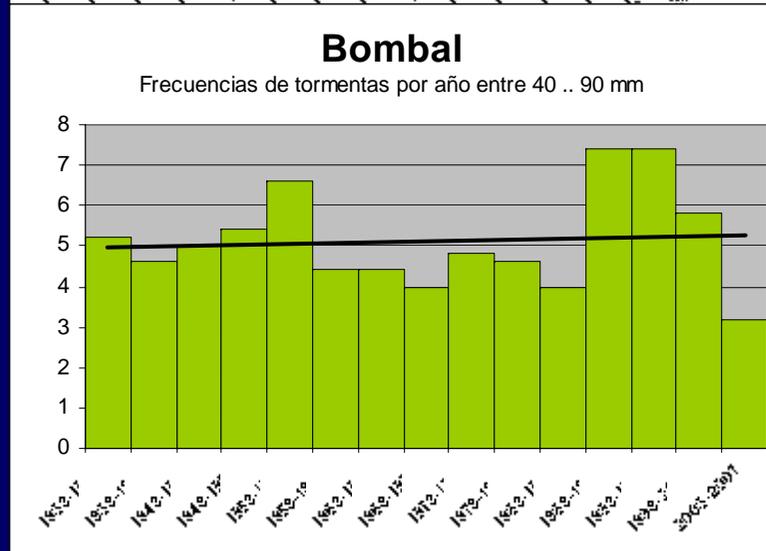
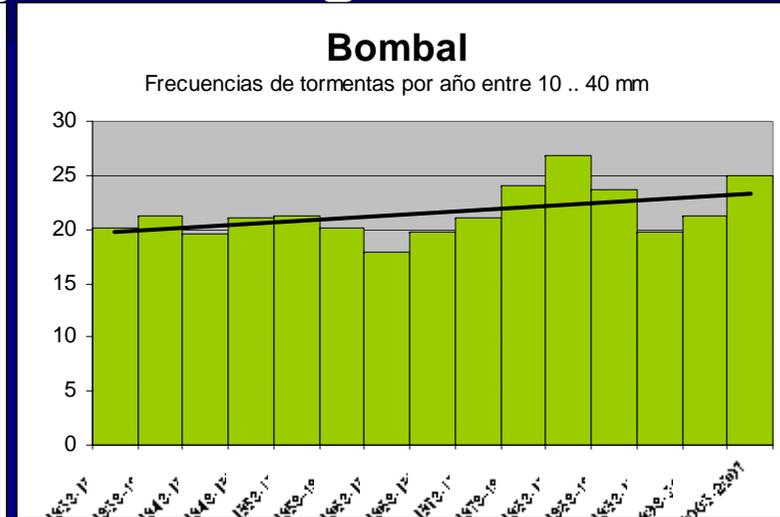
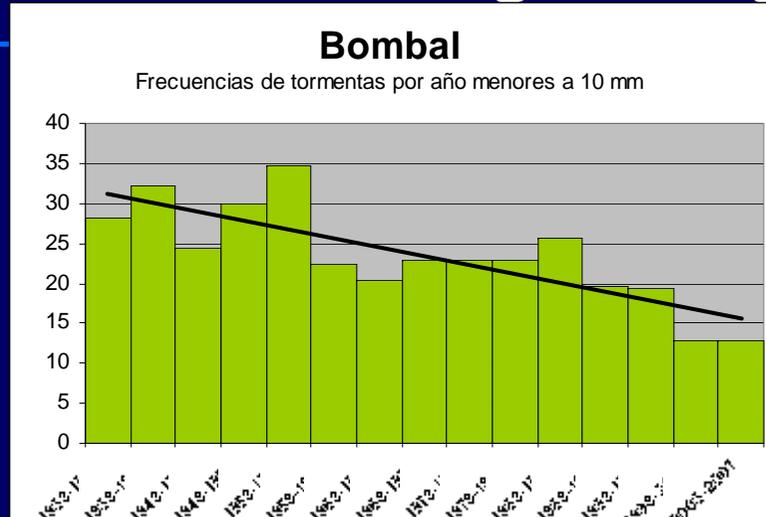
Frecuencias de tormentas por año >.90 mm



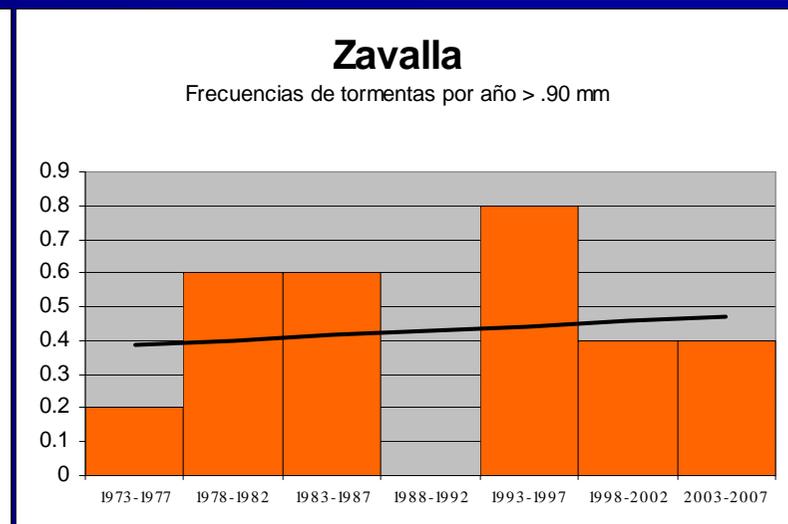
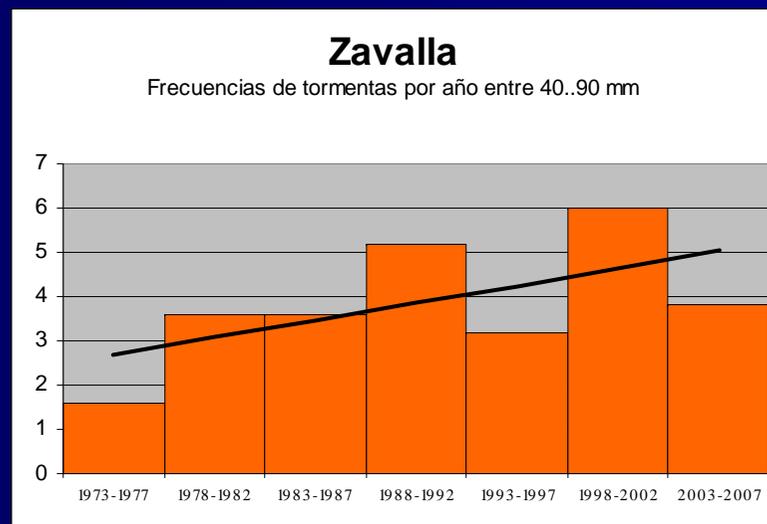
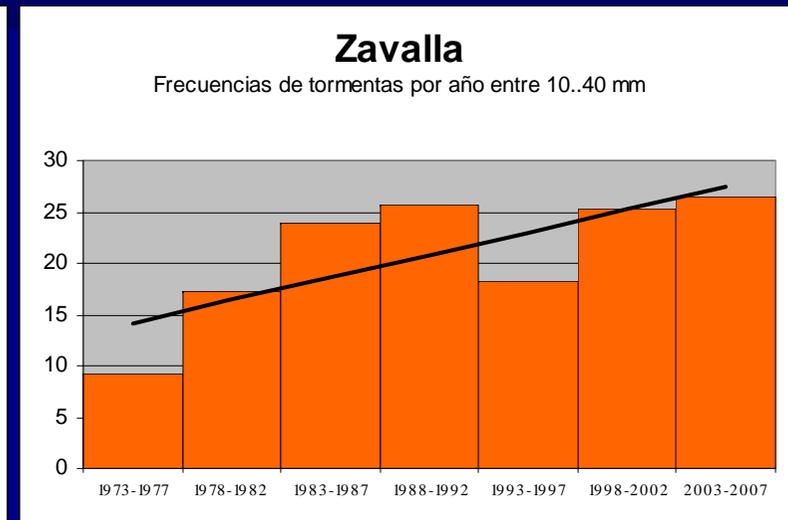
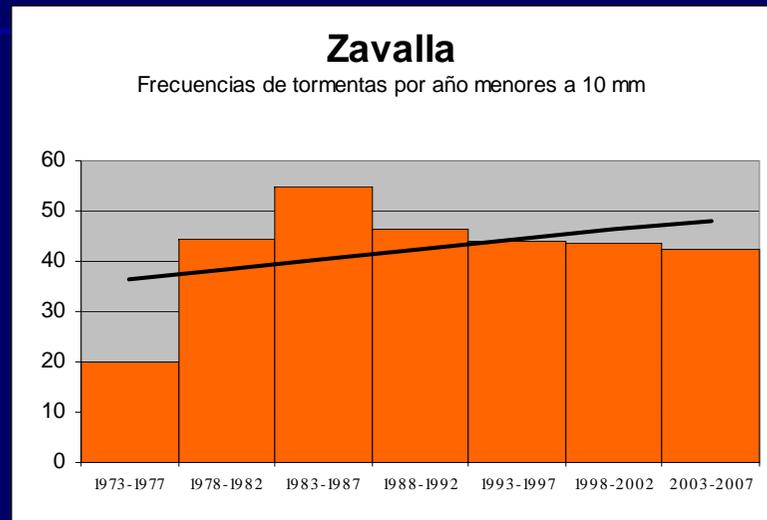
# Análisis pluviométrico: Frecuencias por quinquenio según rangos de magnitud



# Análisis pluviométrico: Frecuencias por quinquenio según rangos de magnitud



# Análisis pluviométrico: Frecuencias por quinquenio según rangos de magnitud

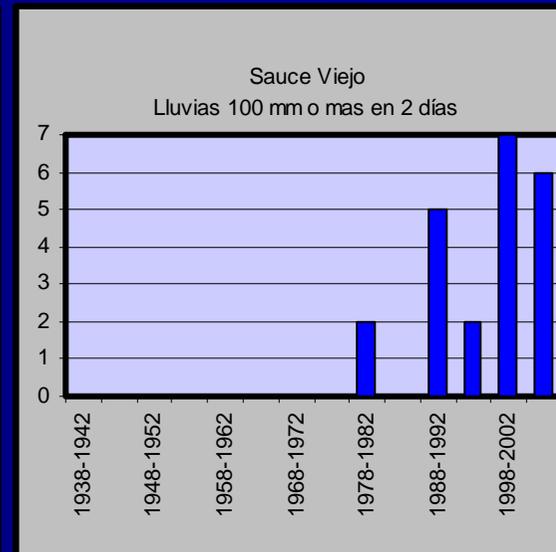
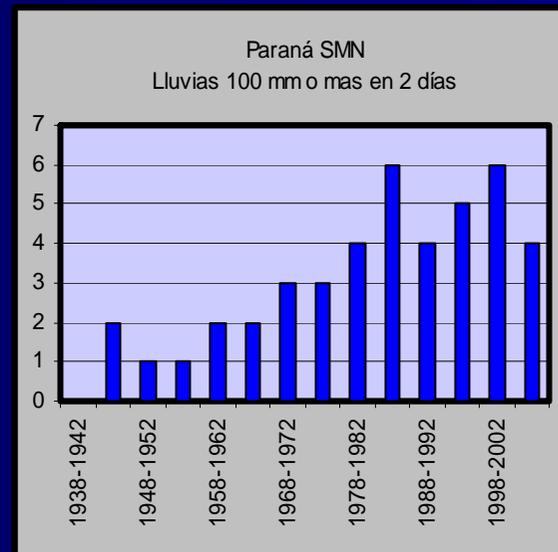
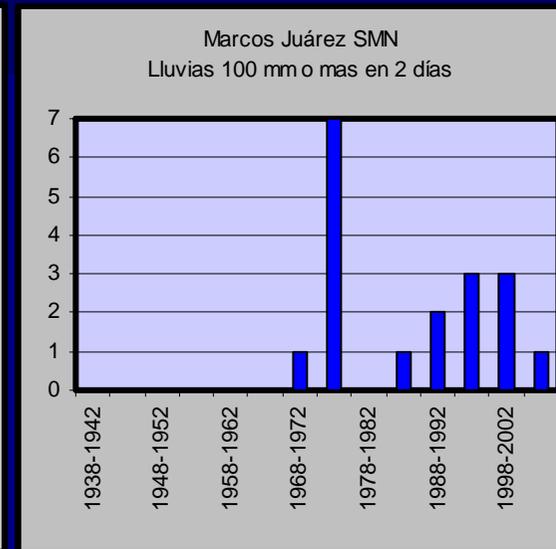
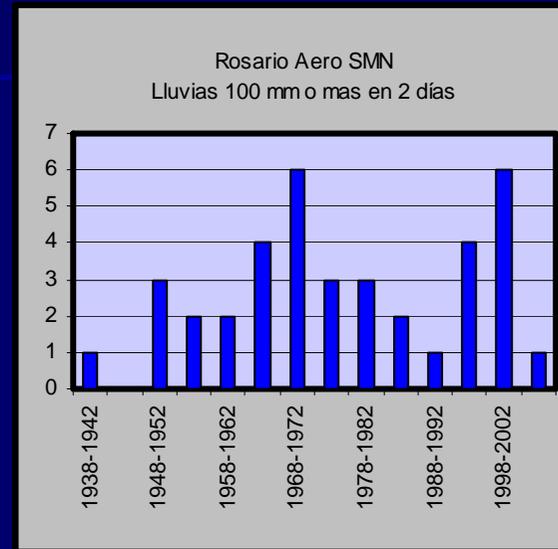


# Análisis pluviométrico: Frecuencias por quinquenio según rangos de magnitud

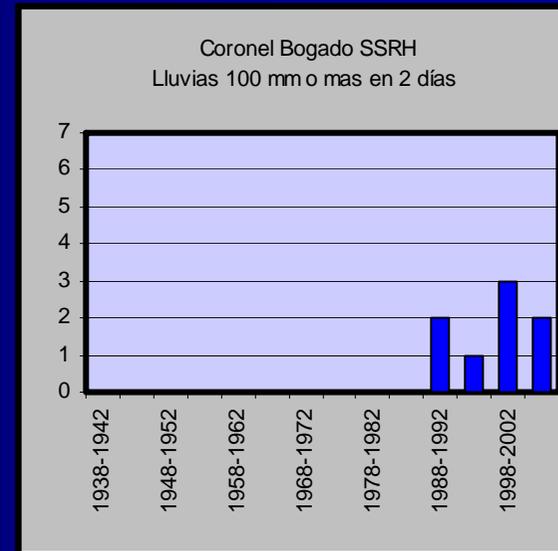
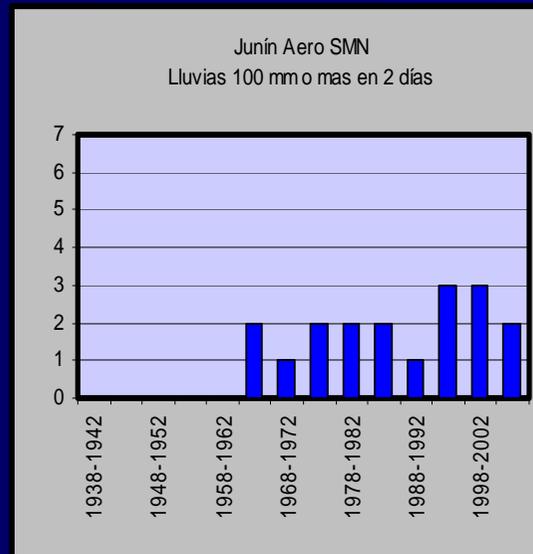
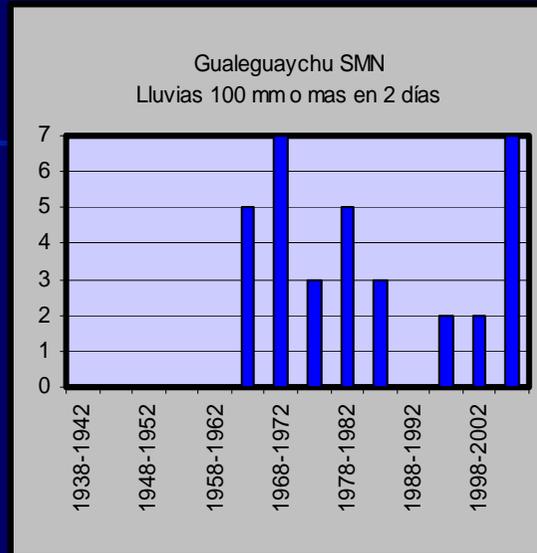
Pendientes de las rectas de tendencia				
Rango	Bombal	Rosario	Zavalla	Casilda
0-10	-1.124	-0.338	1.936	0.357
10..40	0.259	0.196	2.207	0.567
40-90	0.0221	0.033	0.393	0.097
>90	0.0007	-0.0048	0.014	-0.04



# Análisis pluviométrico



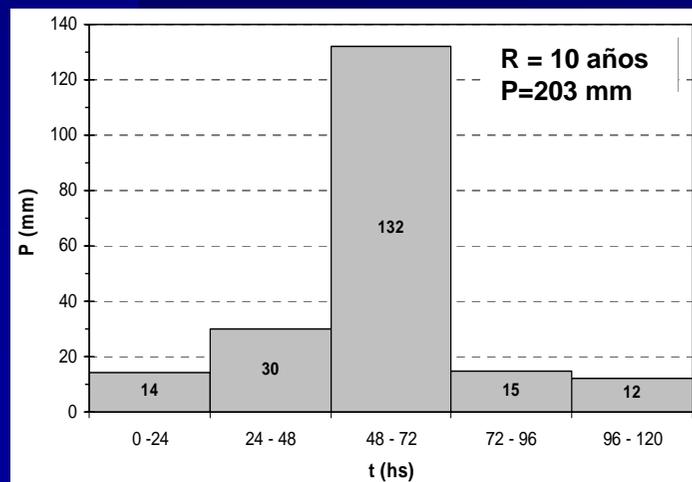
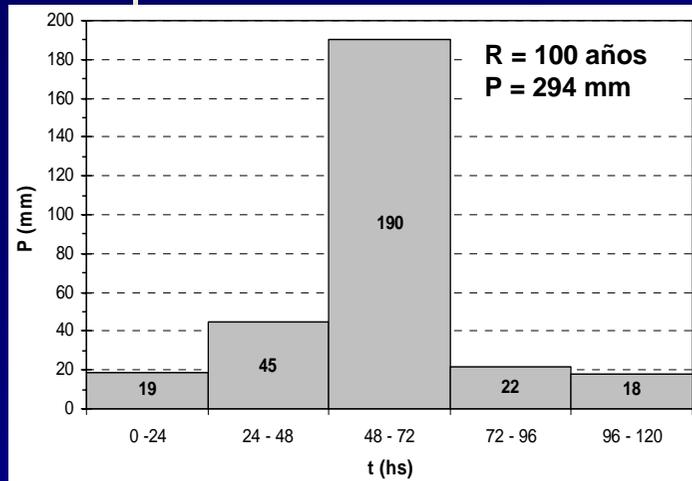
# Análisis pluviométrico



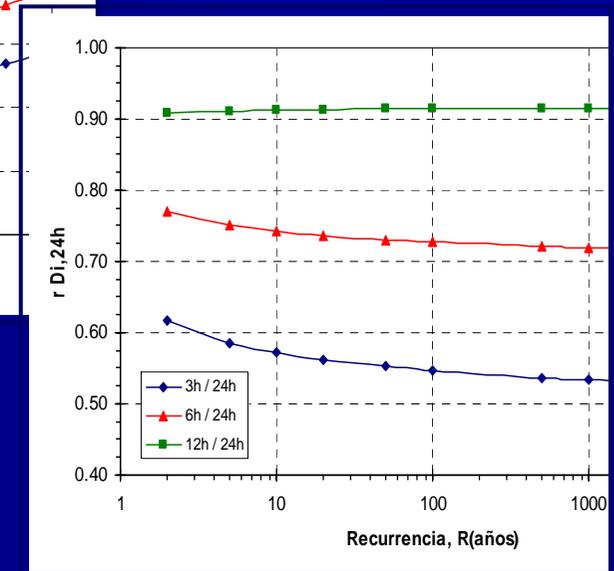
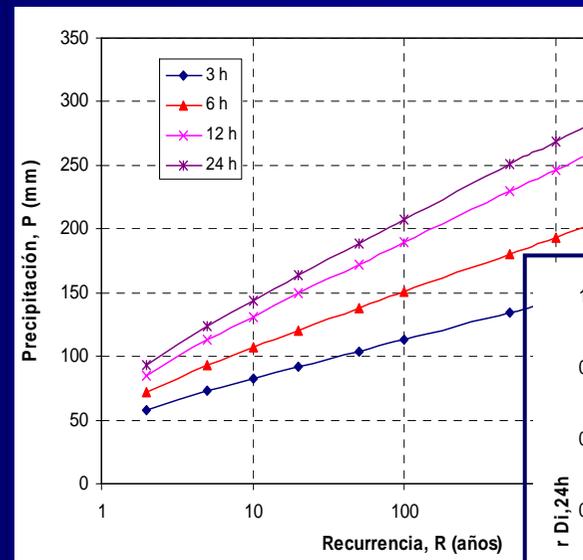
# Análisis pluviométrico

Como consecuencia del aumento en la frecuencia de lluvias de bajo a mediano monto puede inferirse acerca de una tendencia creciente en las condiciones antecedentes de humedad previas a cada tormenta.

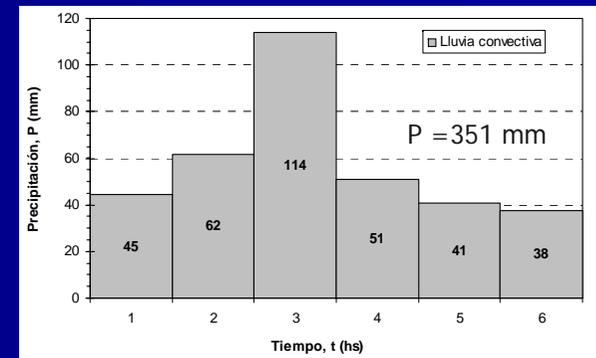
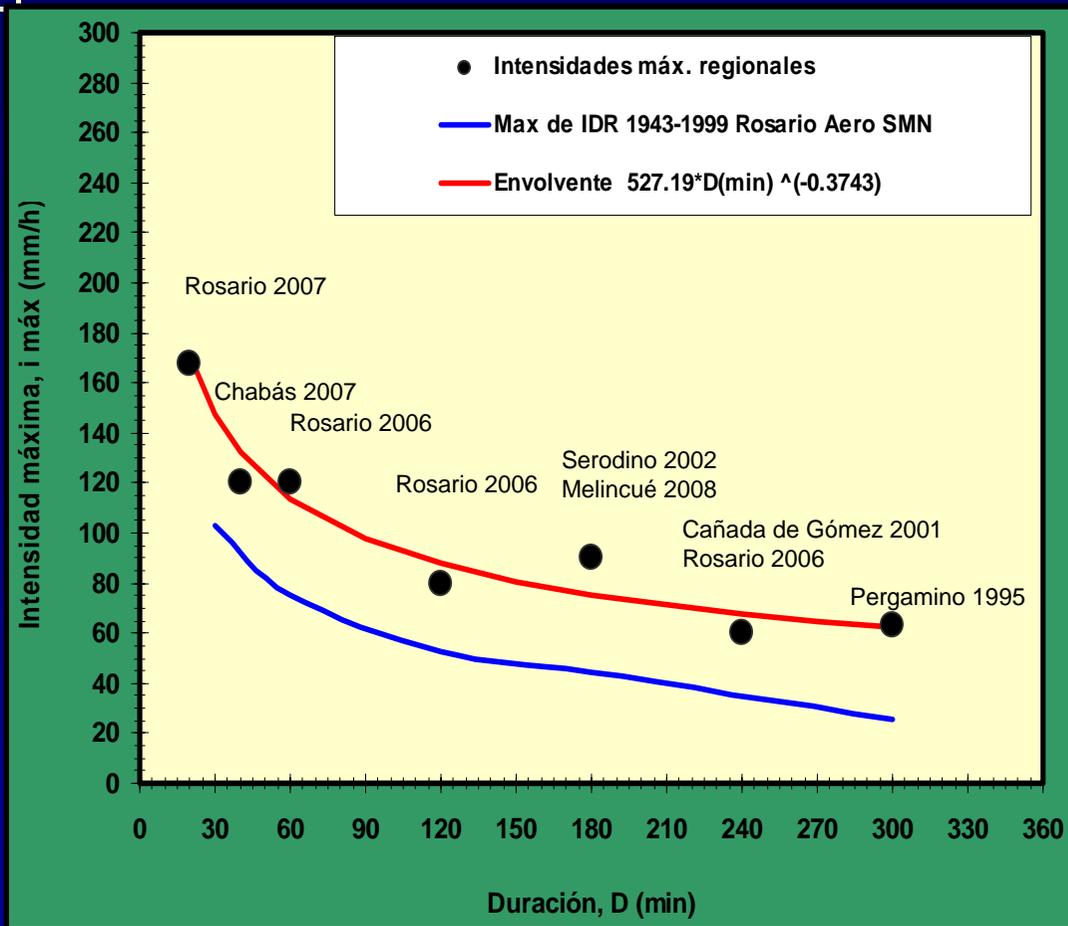
## II. Hietogramas de Diseño Lluvia de larga duración



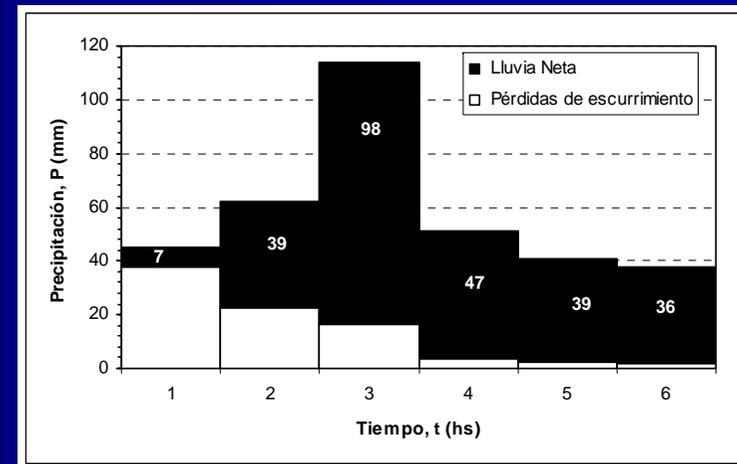
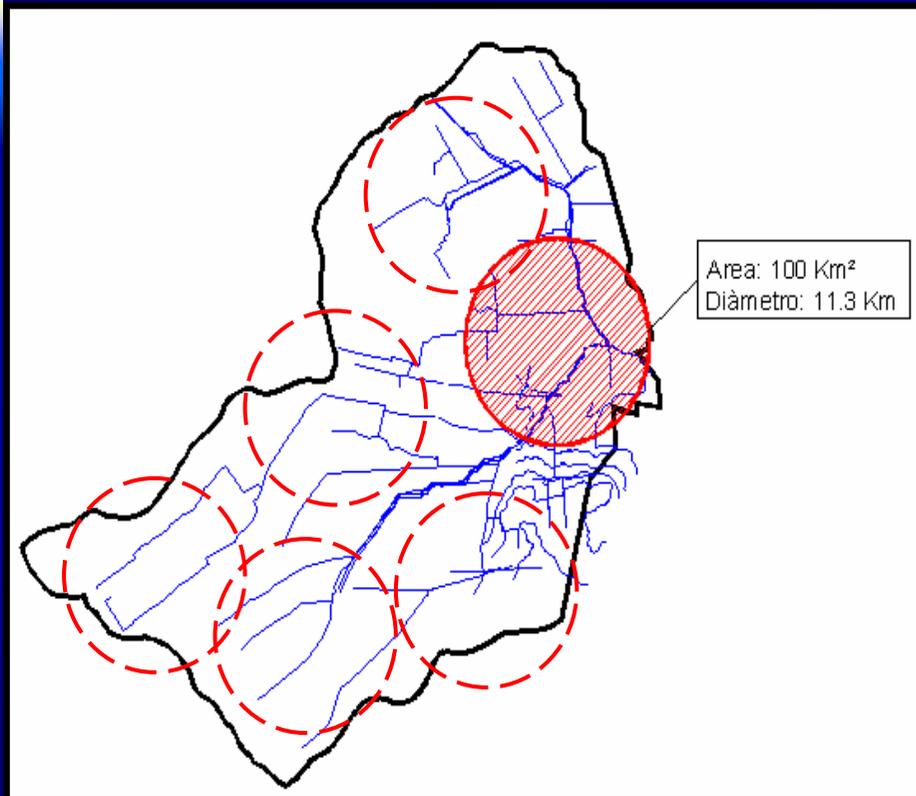
- Duración : 5 días
- Recurrencia: variable 10 y 100 años
- Distribución temporal diaria : bloques alternos
- Distribución temporal sub diaria: Coeficiente de Evans



# Lluvia de corta duración



# Lluvia de corta duración

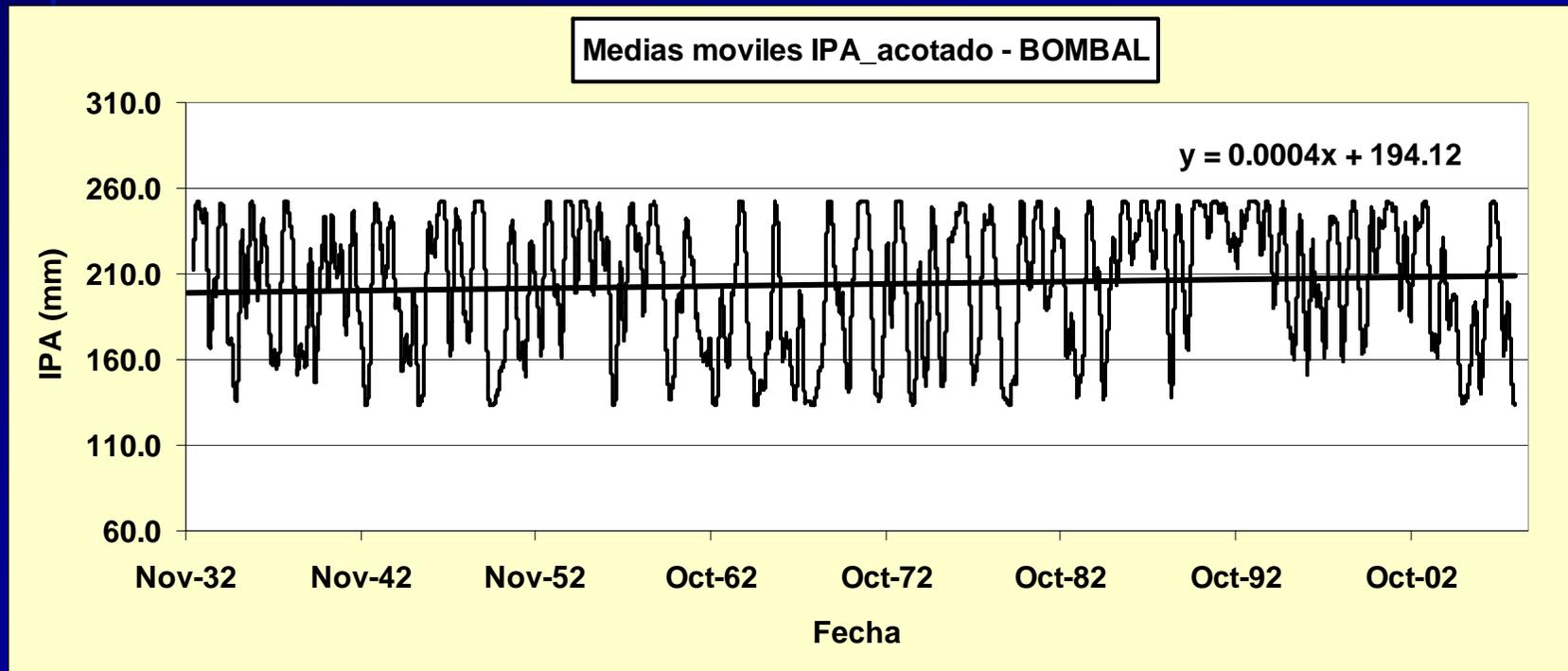


# III. Condiciones Antecedentes del hietograma de diseño

## 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.

# Análisis pluviométrico: Incremento de las condiciones antecedentes de humedad

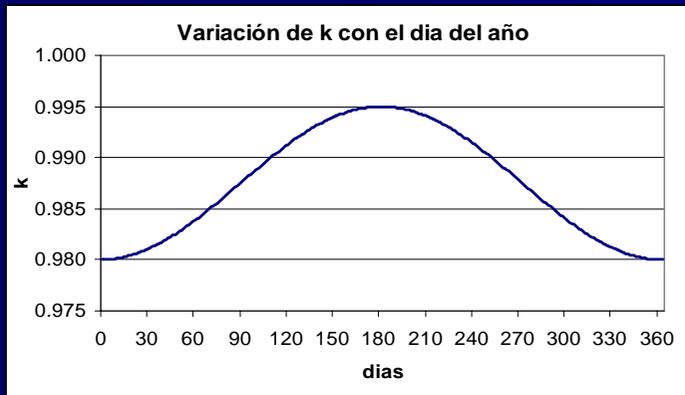


### III. Condiciones Antecedentes.

# 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

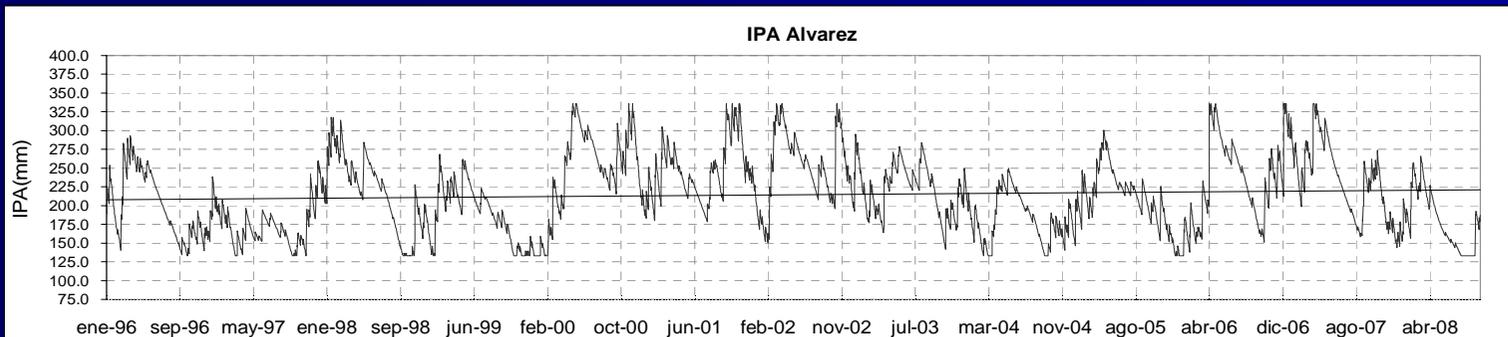
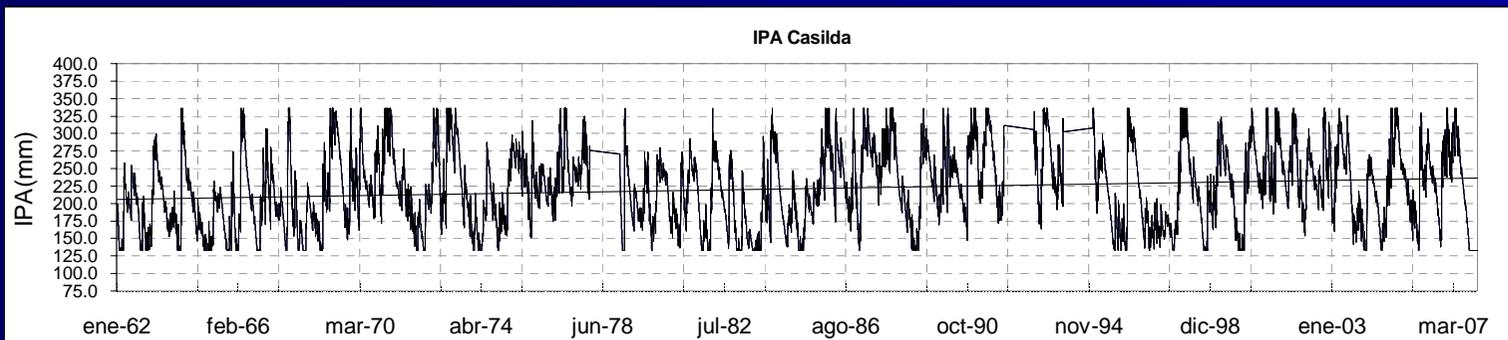
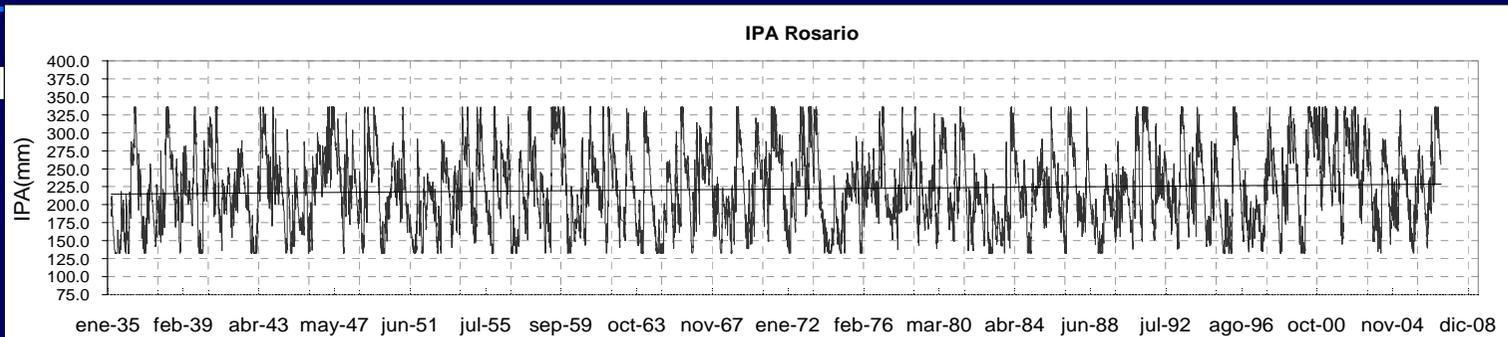
$$k(n) = k_{\text{ver}} + (k_{\text{inv}} - k_{\text{ver}}) \text{seno}^2 \left( \frac{\pi}{365} n \right)$$

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

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

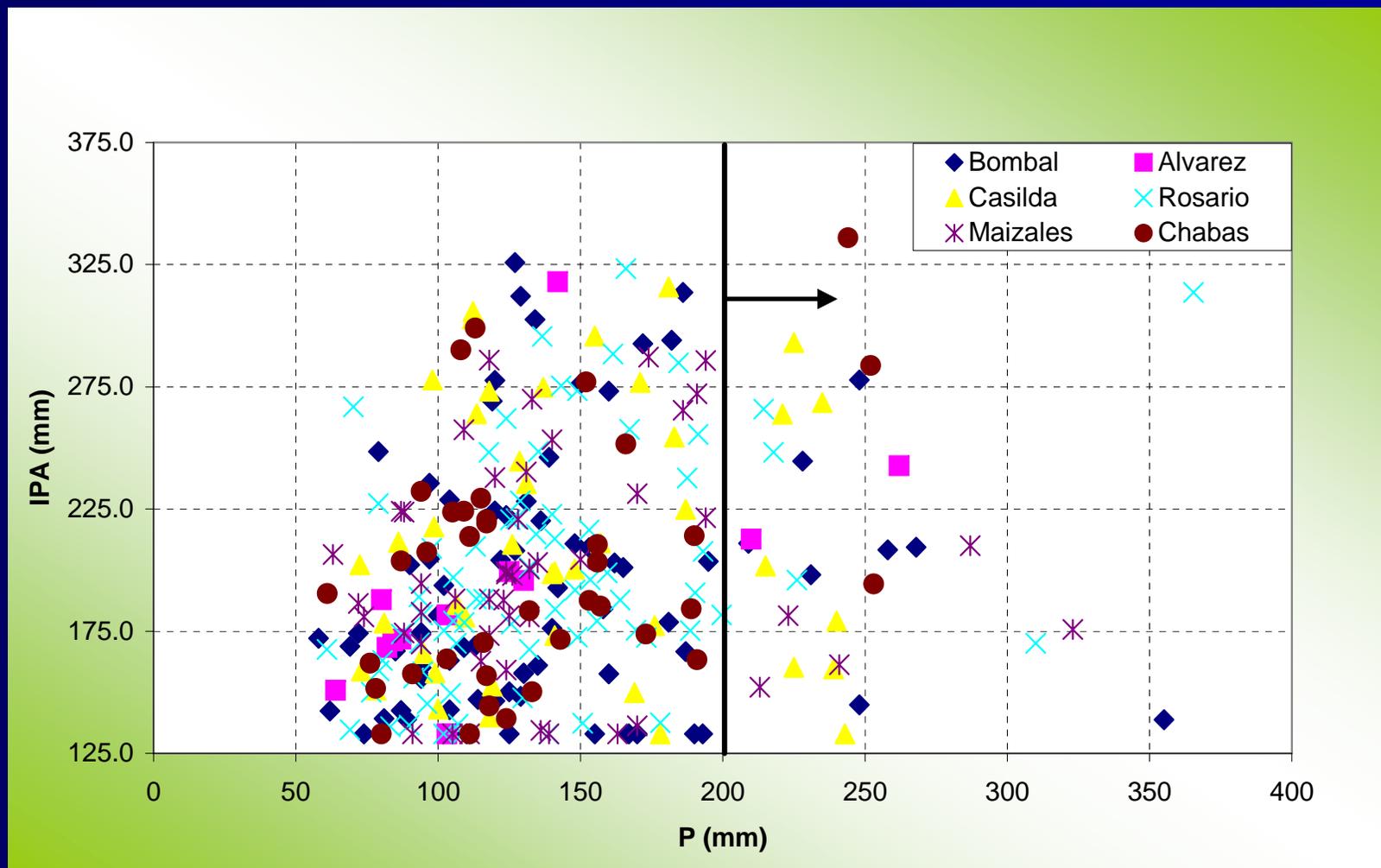
# III. Condiciones Antecedentes.

## Indice de Precipitación Antecedente



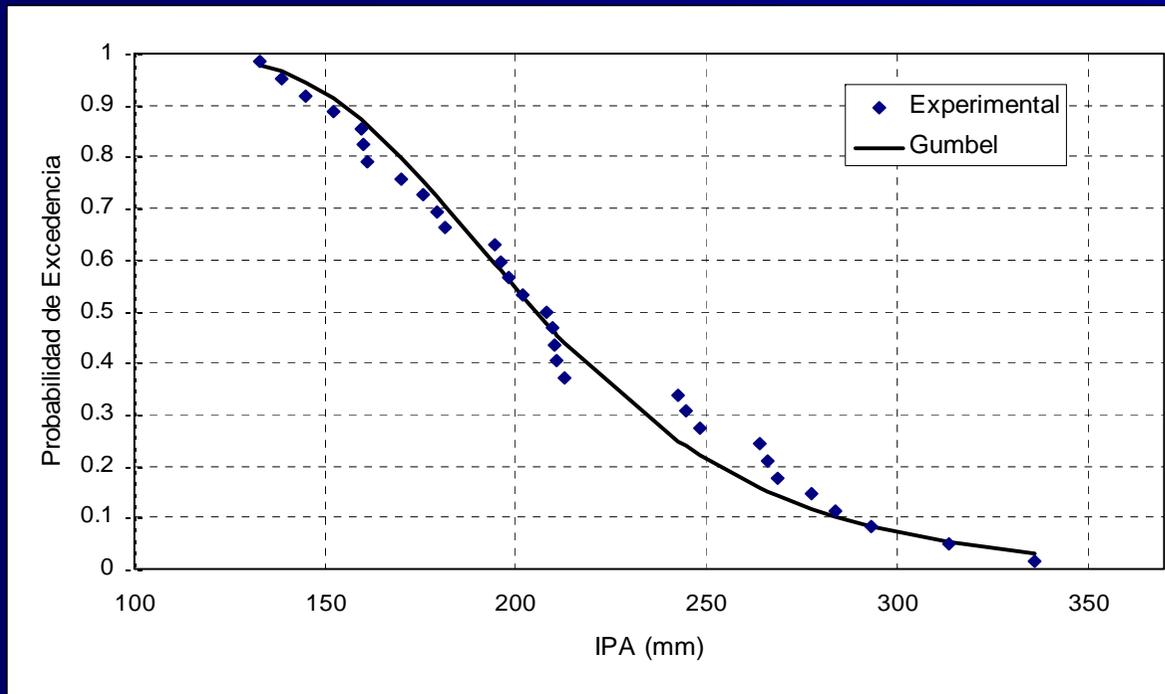
### III. Condiciones Antecedentes.

# 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. Medida de correlación.

El principio básico de interpolación establece la suposición que en distancias cortas es probable que los valores de una variable sean más similares que a distancias más grandes.

Para examinar si esto es verdad y analizar cómo cambia la "similaridad" con la distancia se debe realizar una exploración de los datos espaciales. La estructura de la correlación espacial puede examinarse de varias maneras, pero normalmente es analizada mediante el llamado semi-variograma (SV):

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

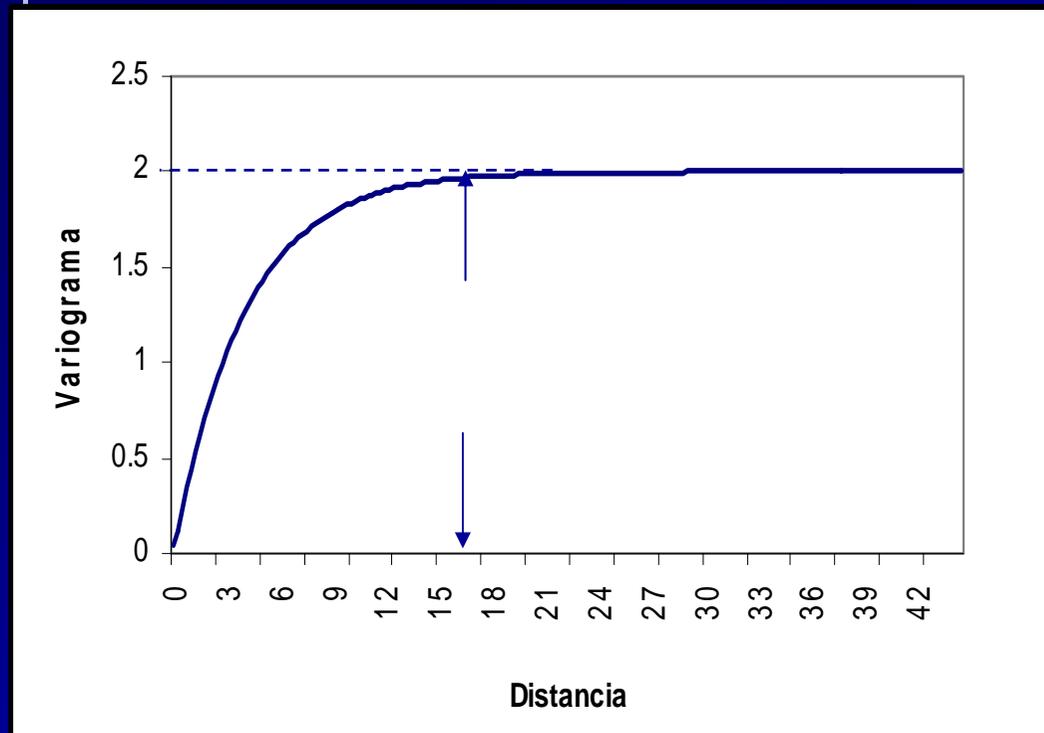
## IV. Patrón Espacial del hietograma de diseño. Semi-variograma teórico.

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

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

- $\gamma$  es independiente de la localización  $x$
- $\gamma$  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.

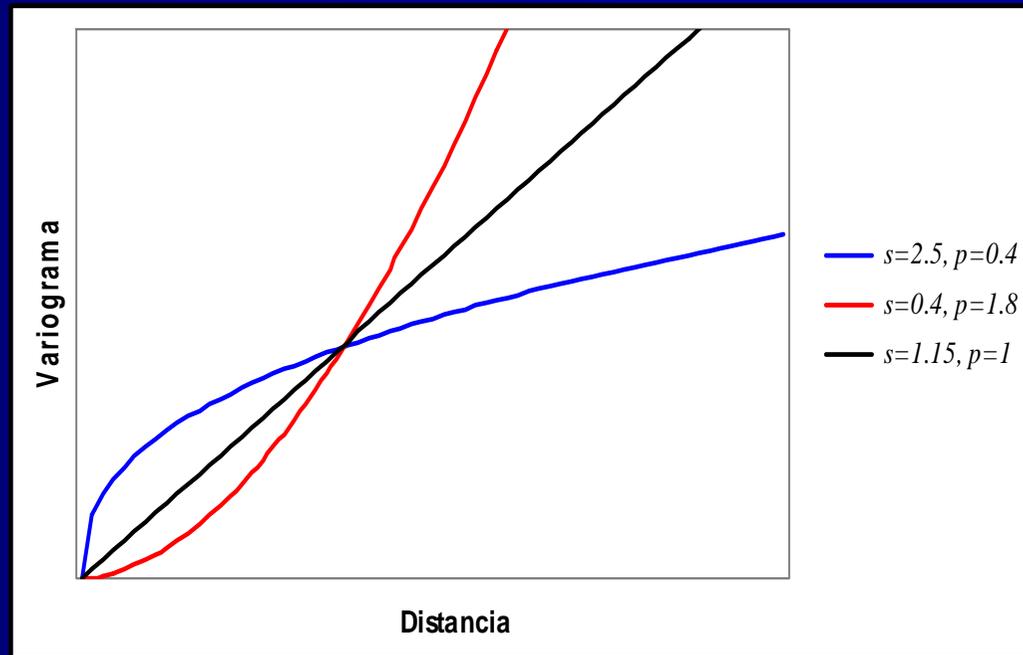
$$\gamma(h) = s|h|^p$$

$S$  se denomina factor de escala

$$0 \leq p < 2$$

El comportamiento en el origen depende del valor de  $p$

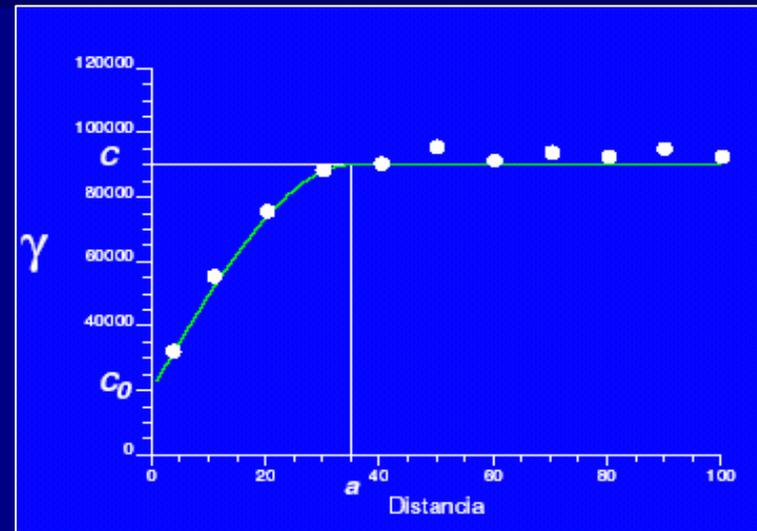
Representa fenómenos no estacionarios



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  $\Delta_i$  (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  $h$ :

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

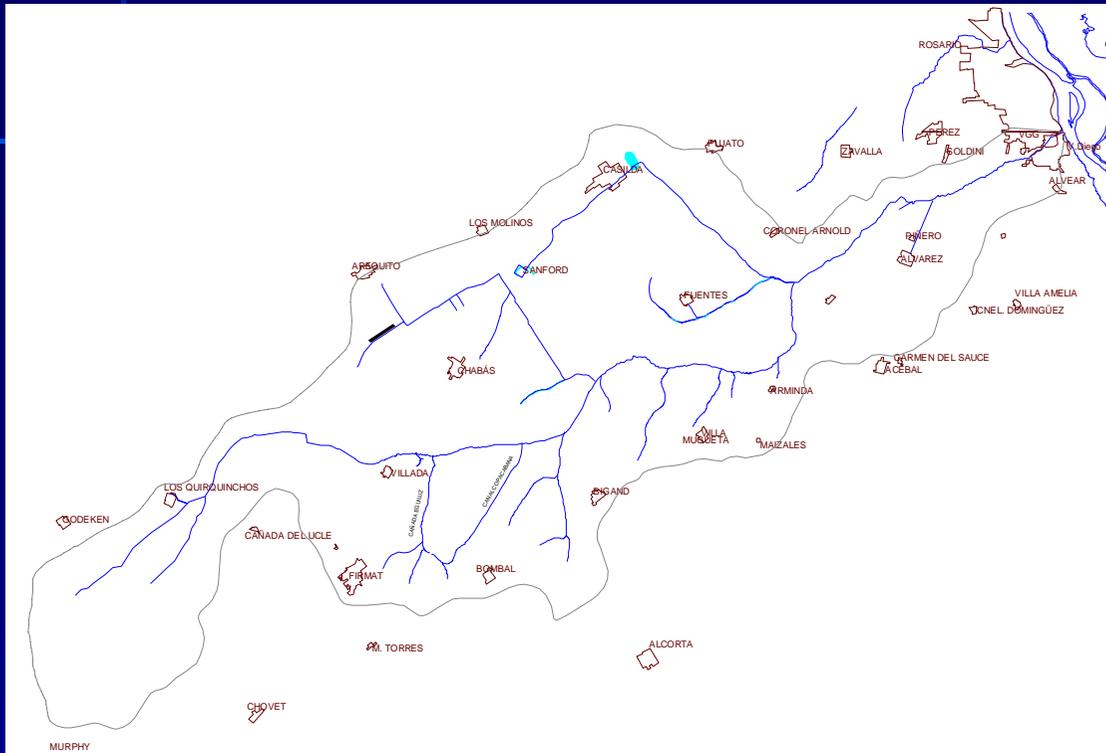
Si se propone la variación como estacionaria en el dominio, e incluso, considerar que  $z(x_i)$  sea el foco de una tormenta,  $P(0)$ , y  $z(x_{i+h})$  el valor de precipitación  $P(h)$ , a una distancia  $h$  del foco, se tiene:

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

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

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

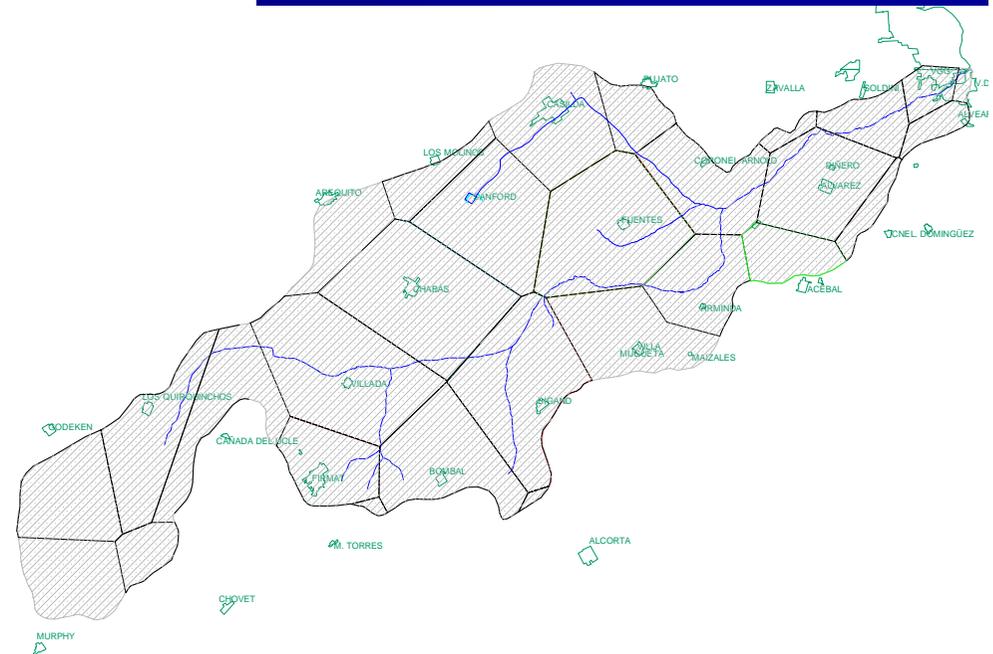
# IV. Patrón Espacial del hietograma de diseño. Cuenca de Estudio.



La cuenca del Arroyo Saladillo tiene un área de aporte de aproximadamente 3200 Km<sup>2</sup>.

La pendiente media es del orden de 0,8 m.km<sup>-1</sup>. El caudal base es de 5 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, alcanzándose en crecidas ordinarias los 500 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> y en extraordinarias (R > 50 años) caudales superiores a los 1200 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>

Se consideraron 30 estaciones pluviométricas, se trazaron los polígonos de Thiessen a los fines de estimar la precipitación media en la cuenca del A<sup>o</sup> Saladillo. Se estimaron las lluvias medias para el período 2002-2007. Se seleccionaron 11 tormentas de cinco (5) días de duración que cumplieron con el requisito que su lámina media areal superó los 75 mm.



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

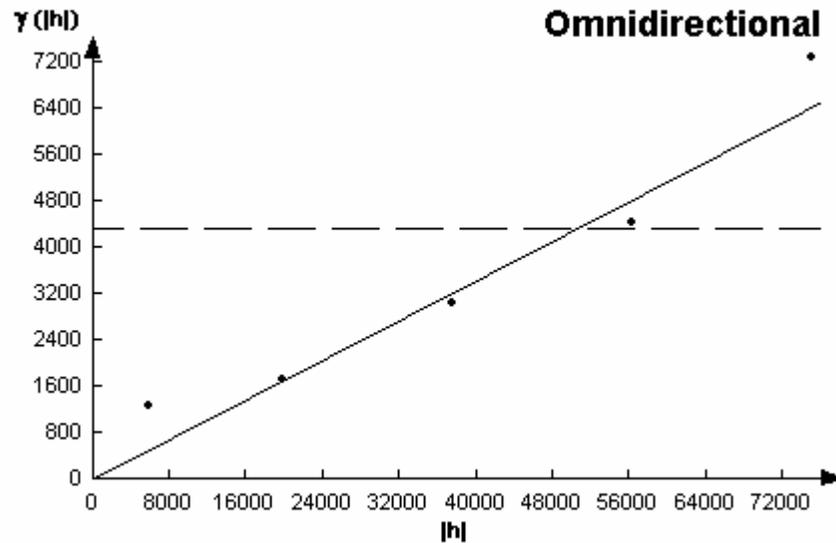
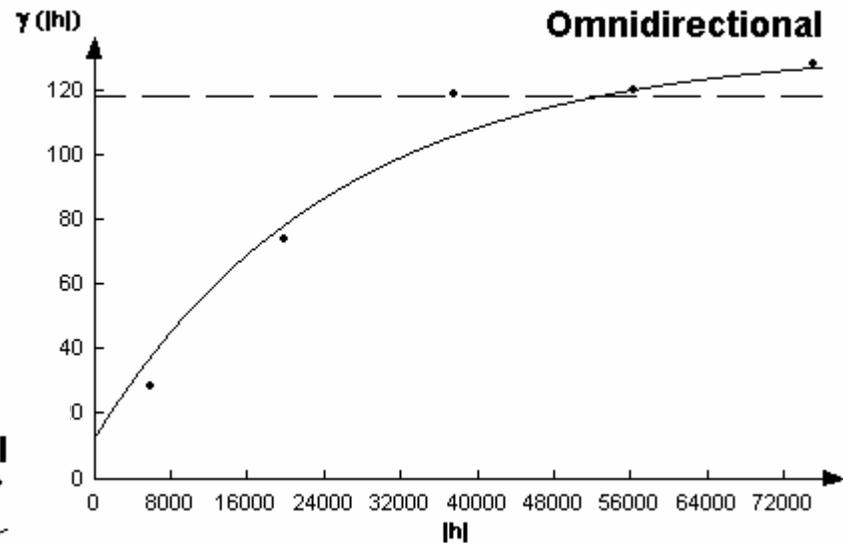
Para cada una de las tormentas se estimó la precipitación media diaria aplicando la metodología de Thiessen, el valor acumulado hasta los 5 días, promedio simple de precipitaciones, desvío estandar y coeficiente de variación, valores extremos de precipitación en el área y rango de precipitación, es decir, diferencia entre valor máximo y mínimo.

Las tormentas diarias que acumularon en valores medios areales menos de 5 mm se eliminaron.

Se calcularon los semivariogramas diarios utilizando el modelo lineal y el exponencial. Los parámetros se obtuvieron con el programa VarioWin© (Pannatier, 1996).

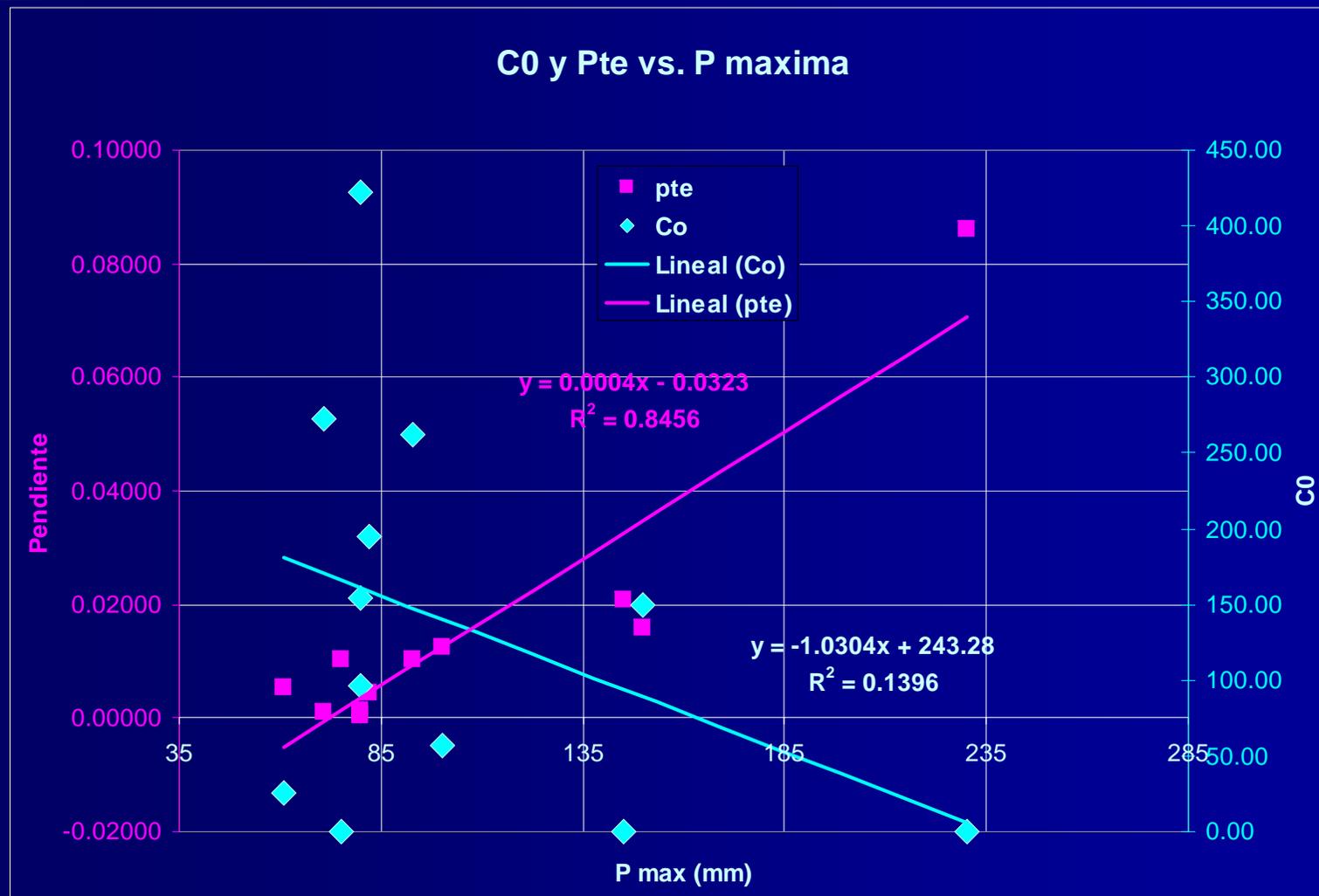
# IV. Patrón Espacial del hietograma de diseño. Procesamiento pluviométrico.

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

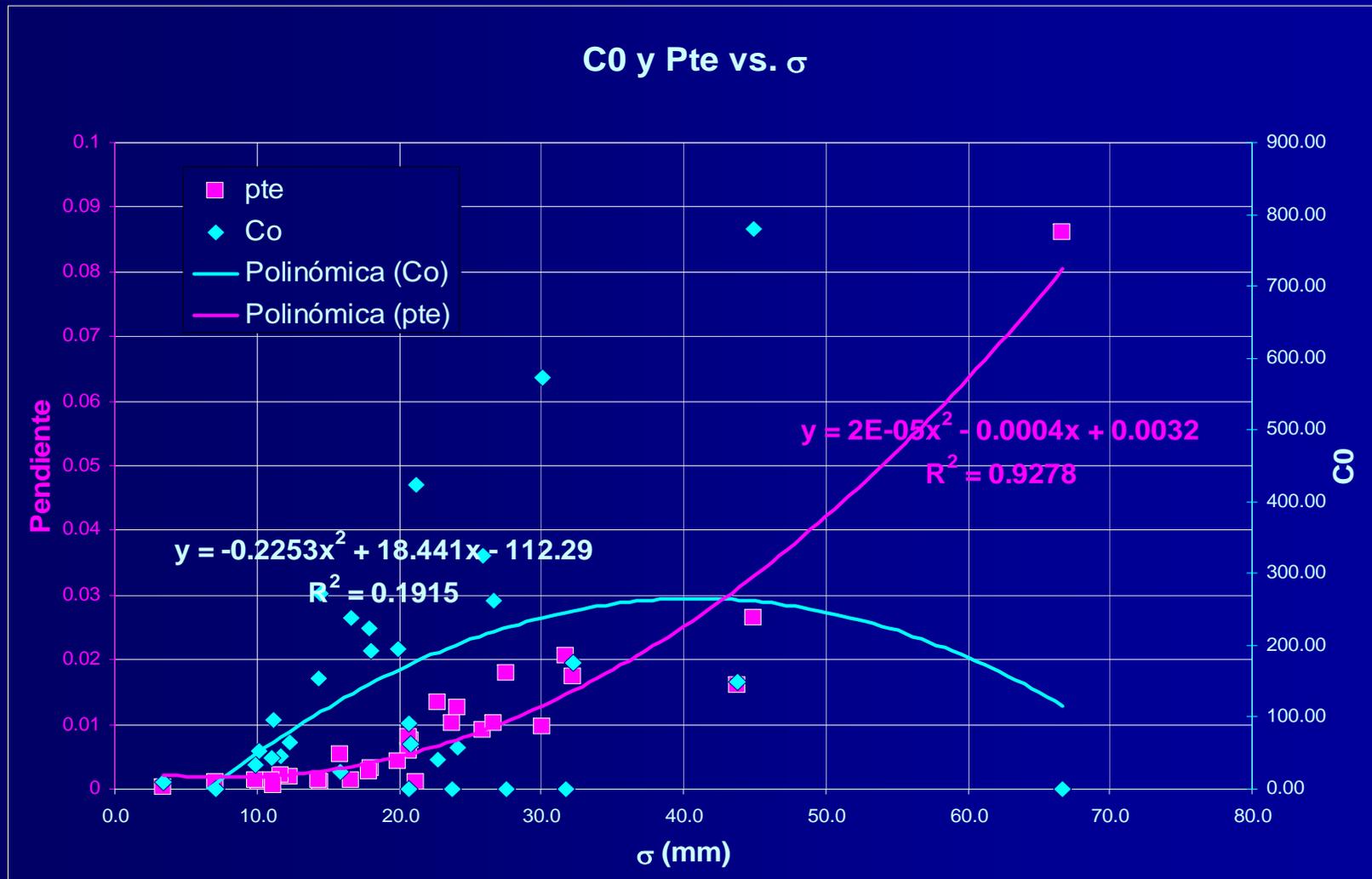


Variograma ajustado para la tormenta  
11 (27/03/2007) día 2, Precipitación  
media areal: 109,5 mm; Modelo lineal,  
Pendiente = 0.086 mm<sup>2</sup>/m, C0= 0 mm<sup>2</sup>

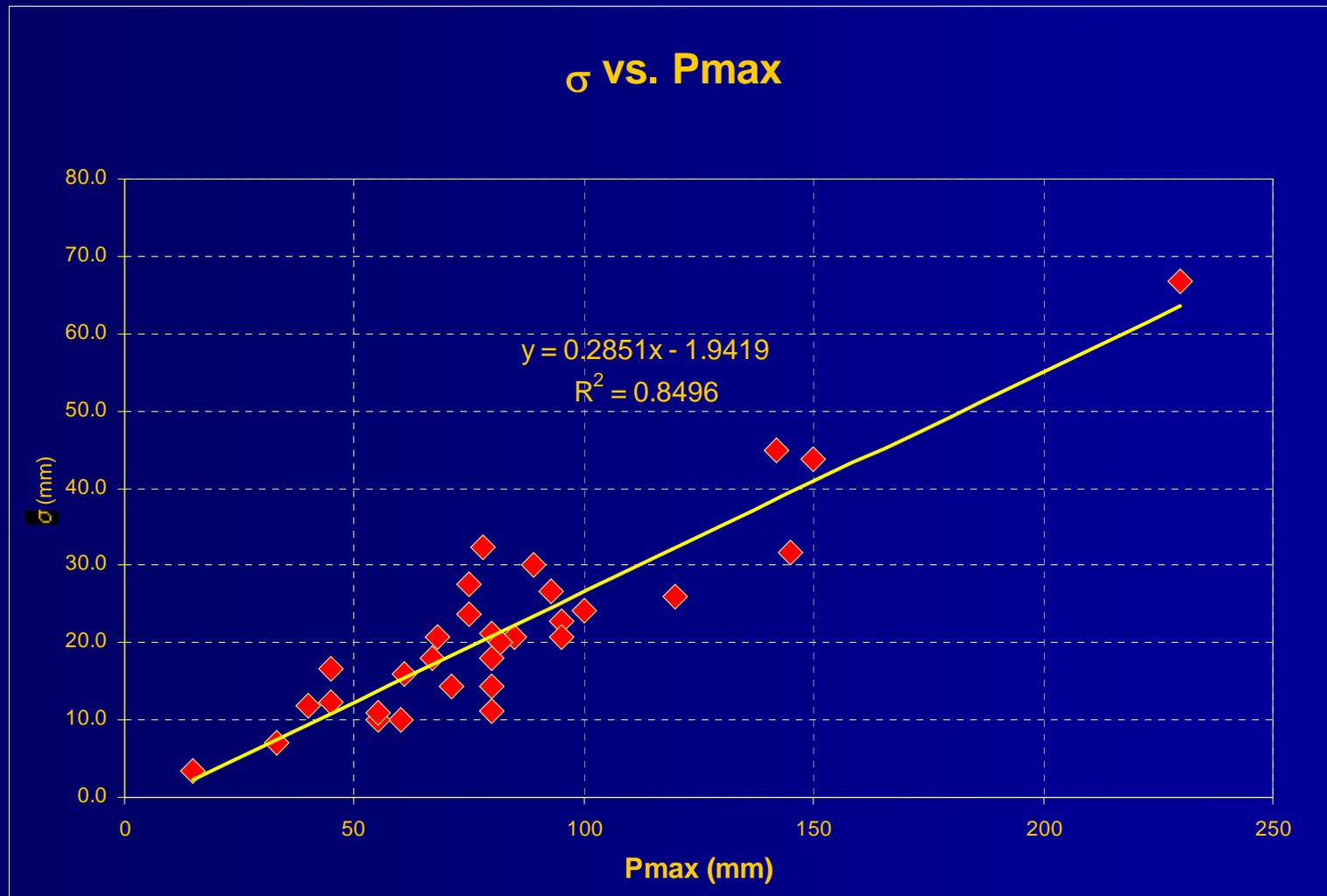
# IV. Patrón Espacial del hietograma de diseño. Pronóstico de parámetros del SV.



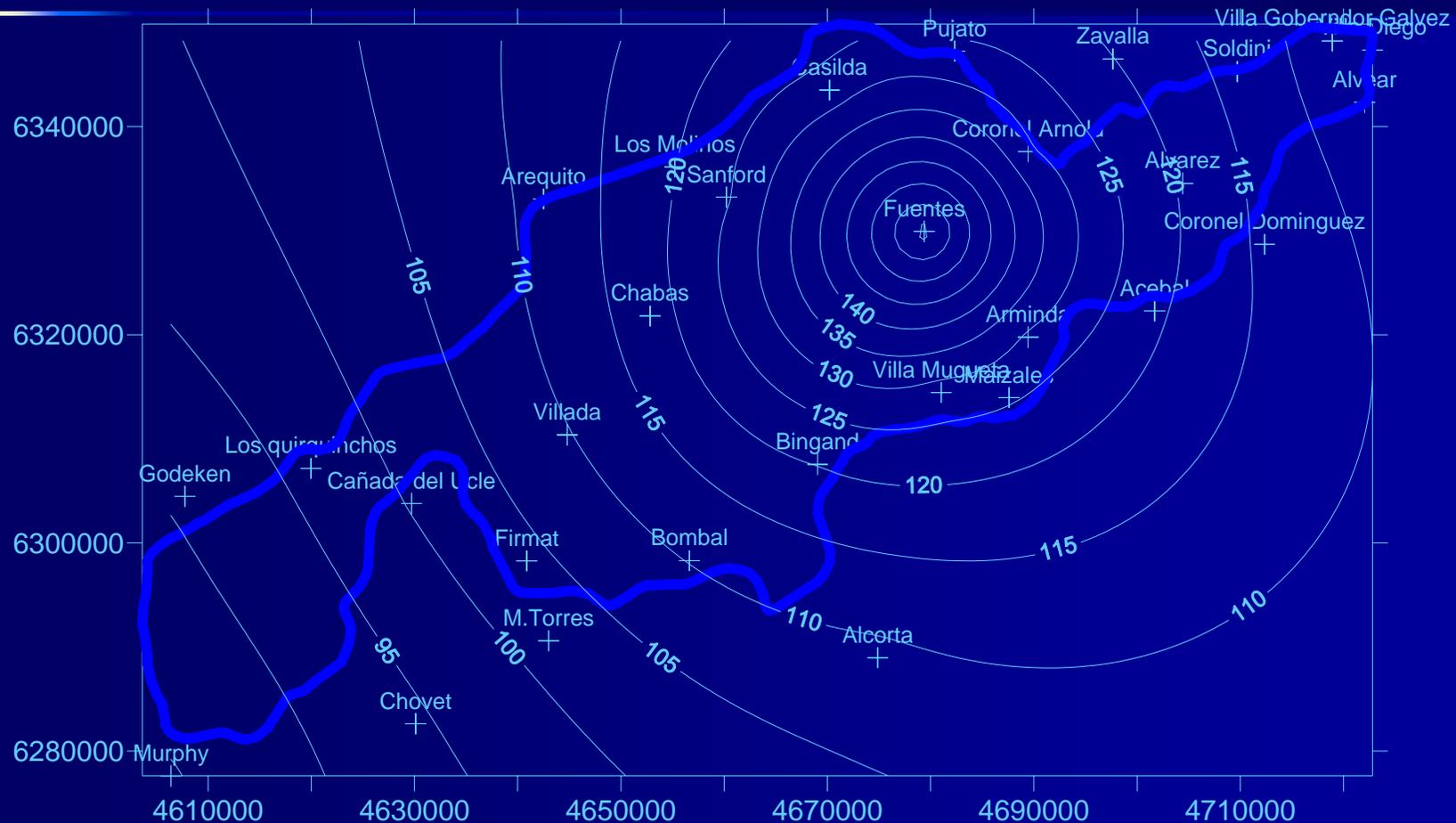
# IV. Patrón Espacial del hietograma de diseño. Pronóstico de parámetros del SV.



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

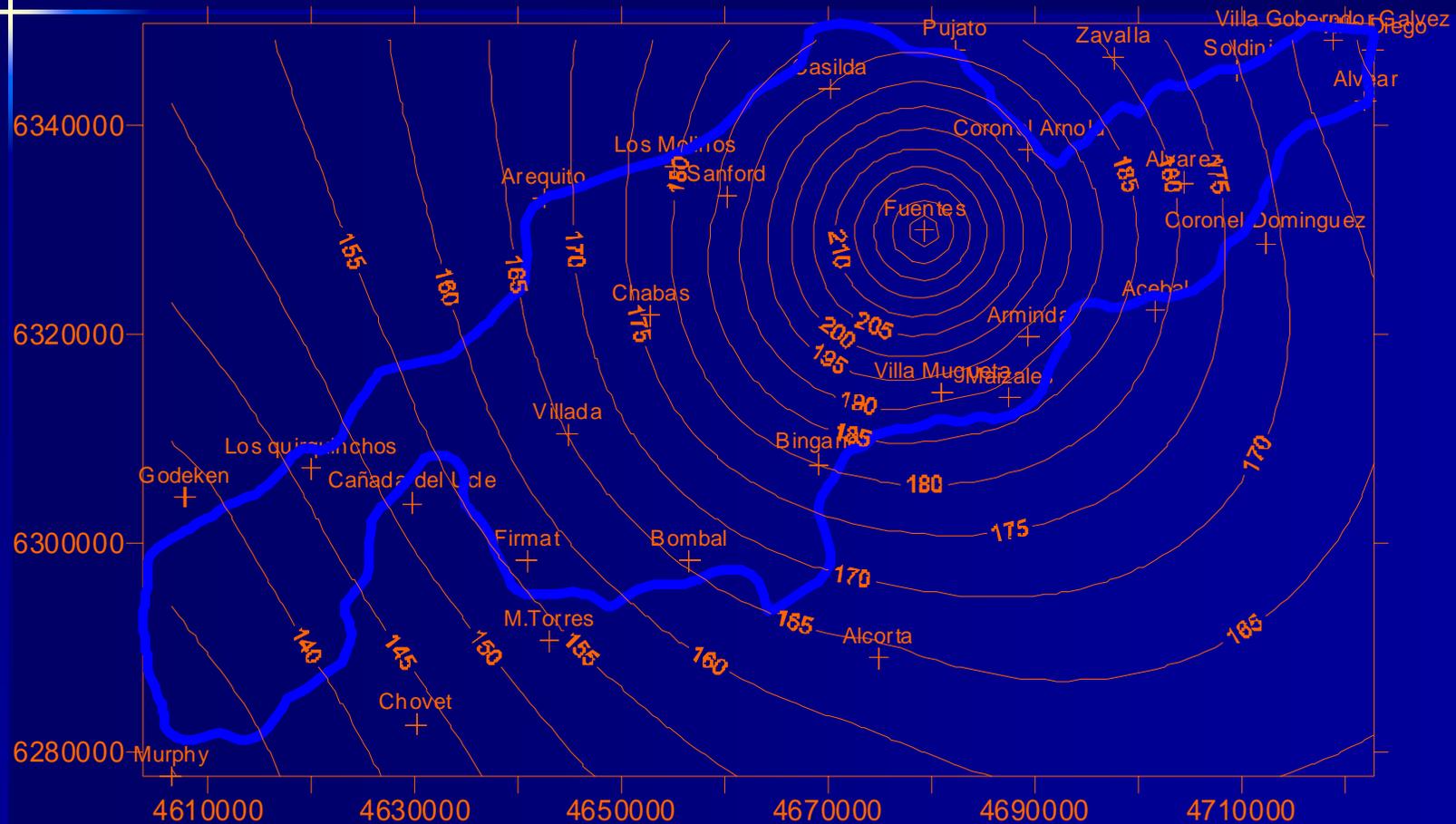


# IV. Patrón Espacial del hietograma de diseño. Tormenta de 10 años de TR.



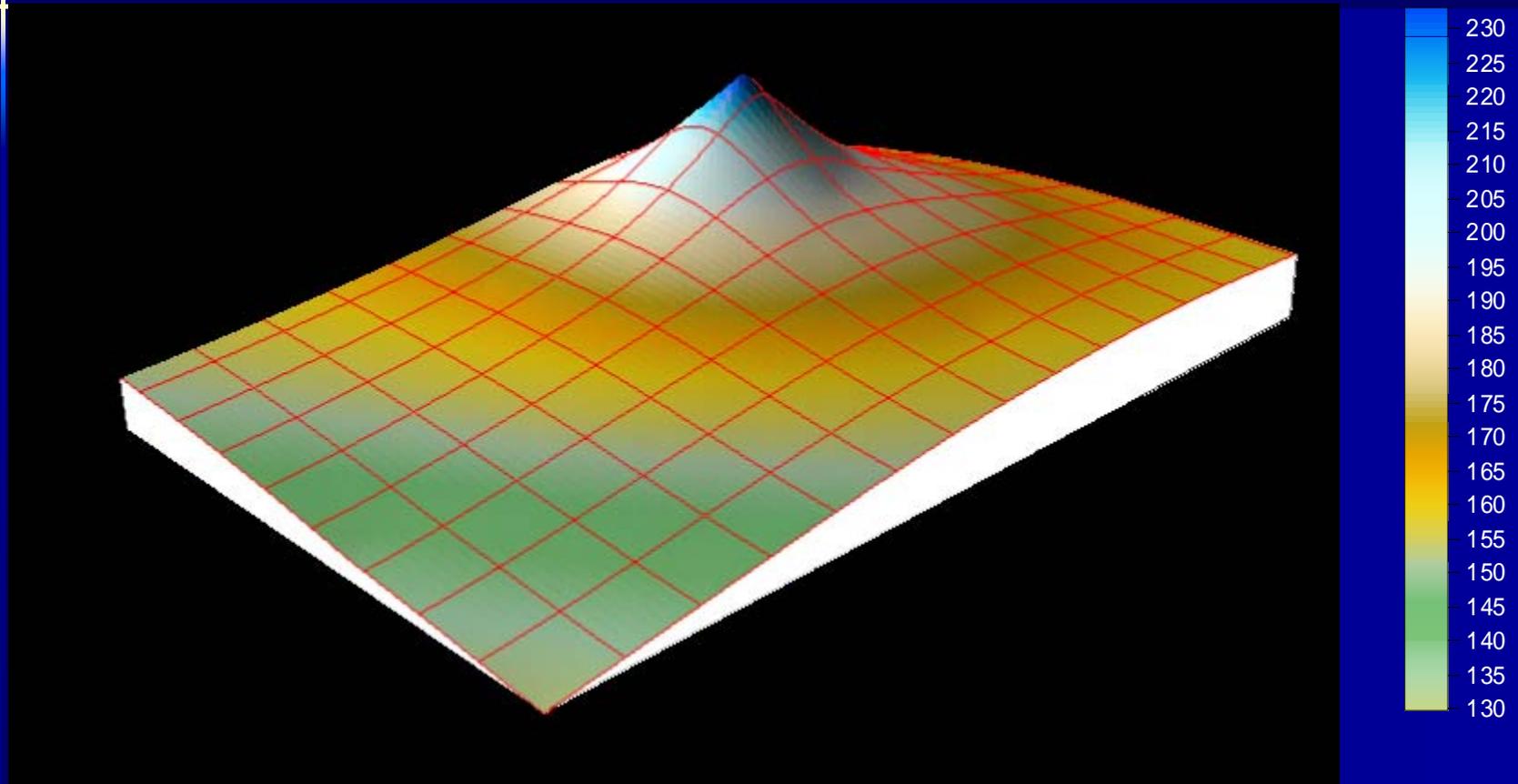
Isohietas trazadas con el método propuesto para el 3er. día de la tormenta de recurrencia 10 años.

# 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.