

# **Análisis de precipitaciones extremas en la zona Norte-Centro-Costera de Venezuela**

**(con revisión de la metodología utilizada por la DHM (MARN) en el análisis de eventos extremos)**

**Caracas, diciembre del 2000**

*Borrador.*

---

**Dr. Ali R. NEUMANN**

**Proyecto PREVENE**

- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo)
- COSUDE (Agencia Suiza de Cooperación para el Desarrollo)

Trabajo realizado en estrecha colaboración con la DHM (Dirección de Hidrología y Meteorología) del MARN (Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales)

*Estadística de la información. Luis Belmonte  
Gustavo Grotzer.*

## CONTENIDO

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>4</b>
1.1	Antecedentes	4
1.2	Objetivos	4
1.3	Agradecimientos	5
1.4	Advertencia	5
<b>2.</b>	<b>Precipitaciones de diciembre 1999</b>	<b>5</b>
2.1	Valores de precipitación registrados e inferidos	5
2.2	Esquema general de la distribución de las precipitaciones durante el evento	6
<b>3.</b>	<b>Análisis de frecuencia de eventos extremos de precipitación</b>	<b>7</b>
3.1	Metodología	7
3.1.1	Pasos seguidos	7
3.1.2	Estaciones meteorológicas consideradas y determinación de series de máximos anuales	7
3.2	Determinación de los tipos de distribución de probabilidad	9
3.2.1	Tipos de distribución al norte del Ávila para lluvias de 1 día	9
3.2.2	Tipos de distribución al norte del Ávila para lluvias de duraciones otras que 1 día	15
	Maiquetía (0502), 10 días de duración, con dato de 1999	16
	Naiguatá (5005), 1 hora de duración	17
3.2.3	Tipos de distribución al sur del Ávila	18
	Caracas - La Carlota	21
	Caracas Caurimare	22
3.2.4	Conclusiones sobre los tipos de distribución	23
3.3	Variación espacial de los parámetros de distribuciones	24
3.3.1	Variaciones espaciales en el Litoral	24
3.3.2	Subiendo al Ávila desde el Litoral	25
3.3.3	Variaciones espaciales al sur del Ávila	28
3.4	Variación de la intensidad de precipitación con el área	32
3.5	Variación de la intensidad de precipitación con la duración de la lluvia	32
3.5	Relaciones intensidad-duración-frecuencia	36

## ANEXOS

## FIGURAS Y CUADROS:

Fig. 2.1	Mapa de isoyetas probable del evento de los días 14, 15 y 16 de diciembre de 1999 .....	6
Cuadro 3.1:	Estaciones meteorológicas utilizadas .....	8
Fig. 3.1:	Ajuste gráfico de las precipitaciones diarias máximas anuales de Maiquetía (1948-1983) a distribuciones Gumbel, Log-Gumbel y raíz cuadrada-Gumbel .....	9
Fig. 3.2:	Ajuste gráfico de las precipitaciones diarias máximas anuales de Maiquetía (1948-1983) a distribuciones Normal y Log-Normal.....	10
Fig. 3.3:	Ajuste gráfico de las precipitaciones diarias máximas anuales de Maiquetía (1948-1983 &1999) a distribuciones log-Gumbel y lognormal .....	11
Fig. 3.4 a:	Ajuste gráfico de las precipitaciones diarias máximas anuales de Maiquetía FAV (1961-1999) a distribuciones Gumbel y Log-Gumbel.....	12
Fig. 3.4 b:	Ajuste gráfico de las precipitaciones diarias máximas anuales de Maiquetía FAV (1961-1998) a una distribución Gumbel (no se considera 1999) .....	12
Fig. 3.5:	Ajuste gráfico de las precipitaciones diarias máximas anuales de Mamo (1957-1999) a distribuciones Gumbel, log-Gumbel y lognormal.....	13
Fig. 3.6:	Ajuste gráfico de las precipitaciones diarias máximas anuales de Mamo (1957-1999) a distribuciones normal y lognormal.....	14
Fig. 3.7:	Ajuste gráfico de las precipitaciones diarias máximas anuales de Macuto (1952-1997) a distribuciones Gumbel, log-Gumbel y lognormal .....	14
Fig. 3.8:	Ajuste gráfico de las precipitaciones diarias máximas anuales de Naiguatá (1952-1994) a distribuciones Gumbel, log-Gumbel y lognormal .....	15
Fig. 3.9:	Ajuste gráfico de las precipitaciones máximas anuales de 10 días de duración en Maiquetía (1948-1983 &1999) a distribuciones Gumbel, log-Gumbel y lognormal.....	16
Fig. 3.10:	Ajuste gráfico de las precipitaciones máximas anuales de 10 días de duración en Naiguatá (1952-1994) a distribuciones Gumbel, log-Gumbel y lognormal.....	17
Fig. 3.11:	Ajuste de distribución log-Gumbel a las precipitaciones máximas anuales de 1 hora de duración en Naiguatá (1975-1994).....	17
Fig. 3.12:	Ajuste gráfico de las precipitaciones diarias máximas anuales de Los Caracas (1967-1995) a distribuciones Gumbel y log-Gumbel .....	18
Fig. 3.13:	Ajuste gráfico de las precipitaciones diarias máximas anuales de Cagigal (1952-1994) a distribuciones Gumbel y log-Gumbel .....	19
Fig. 3.14:	Ajuste gráfico de las precipitaciones diarias máximas anuales de Cagigal (1952-1994) a distribuciones normal y lognormal .....	19
Fig. 3.15:	Ajuste gráfico de las precipitaciones diarias máximas anuales de Caracas – La Salle (1961-1983) a distribuciones Gumbel y log-Gumbel .....	20
Fig. 3.16:	Ajuste gráfico de las precipitaciones diarias máximas anuales de Caracas - Ciudad Universitaria (1950-1980) a distribuciones Gumbel, log-Gumbel y lognormal.....	20
Fig. 3.17:	Ajuste gráfico de las precipitaciones diarias máximas anuales de Caracas – La Carlota (1964-1999) a distribuciones Gumbel, log-Gumbel y lognormal.....	21
Fig. 3.18:	Ajuste gráfico de las precipitaciones diarias máximas anuales de Caracas - Caurimare (1953-1997) a distribuciones Gumbel, log-Gumbel y lognormal .....	22

Fig. 3.19: Ajustes de distribuciones Gumbel y log-Gumbel a las precipitaciones máximas anuales de 1 hora de duración en Cagigal (1939-1977) .....	23
Fig. 3.20: Comparación de las representaciones gráficas de las precipitaciones máximas anuales de 1 día de duración en Maiquetía MARN, Maiquetía Aerop. (FAV) y Mamo (Esc. Naval) .....	24
Fig. 3.21: Comparación de las representaciones gráficas de las precipitaciones máximas anuales de 1 día de duración en Maiquetía, Macuto y Naiguatá .....	25
Fig. 3.22: Correlación de precipitaciones de tormentas (más de 50 mm en Macuto) .....	26
Fig. 3.23: Correlación de precipitaciones de tormentas (más de 50 mm en Hotel Humboldt) .....	27
Fig. 3.24: Correlación de precipitaciones de tormentas (más de 50 mm en una de las estaciones) .....	27
Fig. 3.25: Comparación de las representaciones gráficas de las precipitaciones máximas anuales de 1 día de duración en Caracas - La Salle, Ciudad Universitaria y Cagigal .....	28
Fig. 3.26: Comparación de las representaciones gráficas de las precipitaciones máximas anuales de 1 día de duración en La Carlota, Caurimare y Cagigal .....	29
Fig. 3.27: Comparación de las representaciones gráficas de las precipitaciones máximas anuales de 1 día de duración en Chacaito (1967 - 1983) y Cagigal .....	30
Fig. 3.28: Comparación de las representaciones gráficas de las precipitaciones máximas anuales de 1 día de duración en Hotel Humboldt (1958 - 1974) y Cagigal .....	31
Fig. 3.29: Variación, con la duración de la lluvia, de los parámetros de ajustes log-Gumbel a las intensidades máximas anuales de precipitación en Naiguatá (5005) - Puntos observados .....	33
Fig. 3.30: Variación, con la duración de la lluvia, de los parámetros de ajustes log-Gumbel a las intensidades máximas anuales de precipitación en Naiguatá (5005) - Ajustes lineales .....	34
Fig. 3.31: Variación de los parámetros del ajuste Gumbel con la duración de la lluvia en Cagigal (0531) .....	35
Fig. 3.32: Curvas i-d-f para Maiquetía (distribuciones log-Gumbel) .....	36
Fig. 3.33: Curvas i-d-f para Macuto (distribuciones log-Gumbel) .....	37
Fig. 3.34: Curvas i-d-f para Naiguatá (distribuciones log-Gumbel) .....	37
Fig. 3.35: Curvas i-d-f para Cagigal (distribuciones Gumbel) .....	38

# 1 Introducción

## 1.1 Antecedentes

A raíz de la catástrofe de diciembre de 1999 se ha efectuado, en la DHM (Dirección de Hidrología y Meteorología) del MARN (Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales), un trabajo urgente sobre los aspectos climatológicos del desastre en la zona Norte-Centro-Costera. Este trabajo desembocó en la presentación de un informe en febrero del 2000, cuyos autores principales son Manuel Matute, Reina Isabel Pérez, Juan Carlos Reina y Silvia Limongi.

El informe presenta, entre otros, un análisis de eventos extremos registrados en los archivos históricos de varias estaciones de la zona considerada, y el lector puede encontrar allí curvas intensidad-duración-frecuencia, que son una herramienta de gran utilidad para los estudios de amenaza por flujos futuros y de diseño de obras de protección. De hecho, han sido utilizadas en estudios realizados por austriacos, italianos y japoneses.

Sin embargo, la metodología utilizada para definir las relaciones intensidad-duración-frecuencia y para su presentación tiene varias deficiencias importantes, que en parte se pueden atribuir a la presión que existía para una presentación rápida de resultados. Las principales deficiencias son:

- No se ha verificado la calidad de los datos, y no se ha realizado una verificación de los valores de intensidad para 24 horas de duración con los datos diarios de pluviómetros, a veces disponibles para series de tiempo mucho más largas que las de los pluviógrafos.
- Las series de intensidades máximas han sido recortadas a períodos de observación simultánea de diferentes duraciones de lluvia para garantizar su homogeneidad, al detrimento de su valor explicativo general.
- Las series utilizadas para el análisis de frecuencia no toman en cuenta al evento de 1999.
- Solo se han ajustado distribuciones de tipo Gumbel. La elección de distribuciones de tipo Gumbel no se está justificando en el informe. Un pequeño estudio de las series más largas de precipitaciones diarias, como las series de las estaciones Maiquetía (serial 0502) y Mamo (serial 1401), hubiese mostrado que las distribuciones Gumbel podrían subestimar de una manera peligrosa la intensidad de precipitaciones de períodos de retorno elevados (100 años y más).
- No se indica, ni en los cuadros, ni en los gráficos, ningún indicador de bondad de ajuste ni intervalo de confianza para los valores de intensidad obtenidos por los ajustes.

Cabe señalar que los valores utilizados para los ajustes de distribución se encuentran en el Anexo 4 de dicho informe, lo que debería haber permitido a cualquier utilizador darse cuenta del grado de incertidumbre importante que afecta a las relaciones i-d-f presentadas. De hecho, el estudio de la Universidad de Trento (Italia) hace hincapié en esta incertidumbre (pero no propone soluciones trascendentes).

## 1.2 Objetivos

El objetivo principal del presente estudio es presentar una metodología para llegar a relaciones intensidad-duración-frecuencia más apropiadas y que estén acompañadas por indicaciones relativas a intervalos de confianza. Además se presentan resultados para la zona Norte-Centro-Costera que podrían ser utilizados para estudios de amenazas y diseños de obras. Sin embargo, se espera que la DHM publicará pronto, en colaboración con la Armada y la Fuerza

Aérea, y con el asistencia técnica de PREVENE, un estudio actualizado empleando la metodología sugerida.

Lamentablemente, no se ha podido proceder a un control de calidad adecuado de los datos utilizados, debido a que las planillas de los registros pluviométricos y pluviográficos de la DHM se encuentran actualmente almacenadas en cajas, el acceso a las cuales no ha sido posible.

### **1.3 Agradecimientos**

Este trabajo ha sido realizado en estrecha colaboración con la DHM (Dirección de Hidrología y Meteorología) del MARN (Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales). Se agradece a todo el personal de la DHM por sus valiosos aportes, y en especial a Carmen Farías, Xiomara Graterol, María Teresa Martelo y su grupo, Reina Isabel Pérez, José Díaz, Jesús "Jucho", Carmen Ojera. Se agradece al Observatorio de Cagigal (Armada de Venezuela), y en particular al CF. Alfredo Piñero y a Luis Olivares por los datos comunicados oportunamente. También se agradece a SEMETFAV (Fuerza Aérea), Crnel Omar Sanz y Antonio Goldbrunner, por el intercambio de ideas y la preparación de datos. Finalmente, se agradece a todos los conocedores de la hidrología de Venezuela cuyos conocimientos se han podido aprovechar. En particular, se agradece a los profesores Abraham Salcedo, Luis Hidalgo y David Pérez Hernández de la UCV, y a Marcelo González y Rafael Córdova de la USB.

### **1.4 Advertencia**

El Dr. Ali Neumann es el autor del presente documento. Por consiguiente, lo que se dice a continuación no implica responsabilidad alguna por parte de MARN u otras instituciones.

## **2. Precipitaciones de diciembre 1999**

### **2.1 Valores de precipitación registrados e inferidos**

#### *Registros de precipitación*

Las precipitaciones de diciembre 1999 han sido ampliamente recopiladas y comentadas en diversos informes, incluyendo el libro de PNUD/CAF/CDB (José Grases, coordinador), el informe de la Comisión Nacional de Meteorología (Coordinación EDELCA), y el informe "Aspectos Climatológicos" del MARN (feb. 2000). En la zona Norte-Centro-Costera, los extremos de precipitación registrados durante los días 14 a 16 de diciembre se ubican en Maiquetía (911 mm) y Mamo (Escuela Naval, 308 mm). Al sur del Ávila, y en particular en la zona de Caracas, las precipitaciones de los tres días están entre 100 y 150 mm.

A los valores inventariados en estos diferentes informes se suman algunos datos obtenidos recientemente por la DHM (El Llanito, San Martín, Los Teques)

#### *Imágenes satelitales*

Las imágenes satelitales GOES 8 del evento también constituyen una fuente de información importante que permite corroborar las informaciones obtenidas de las estaciones pluviométricas y pluviográficas. Se sabe que los algoritmos de estimación de precipitaciones utilizan la información de diferentes longitudes de onda (varios canales). Sin embargo, la localización de los máximos registrados de precipitación debería estar fuertemente correlacionada con la de los máximos de vapor de agua. En la serie de imágenes de vapor de agua y de precipitaciones presentadas en el Anexo 1, se observa por una parte que las dimensiones de las zonas de máximos de vapor de agua y de nubosidad son relativamente reducidas, y por otra parte que la zona Maiquetía - Los Caracas aparece en varias imágenes como más afectada que las otras zonas situadas más al oeste (Mamo), o más al este.

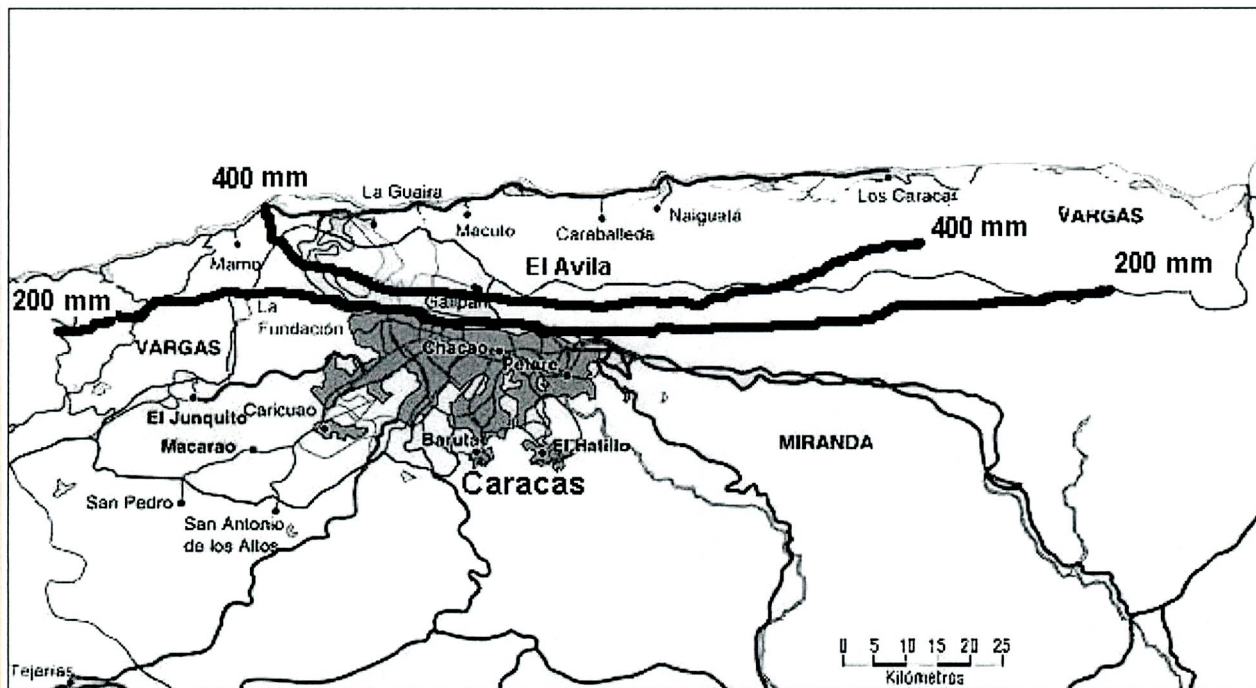
Luis Hidalgo (ver informe de la Comisión Nacional de Meteorología) ha utilizado las imágenes satelitales para determinar la cantidad total de precipitación en el mar frente a la costa durante el evento, y ha obtenido alrededor más de 400 mm. Sabiendo que las precipitaciones deben haber sido mayores sobre la tierra firme debido a la influencia del relieve, este dato compagina plenamente con los datos pluviométricos.

#### *Ubicación de las zonas afectadas por deslizamientos y flujos de lodo y escombros*

La ubicación de las zonas más afectadas está correlacionada con la severidad de las lluvias. Por consiguiente, se puede inferir que las precipitaciones han sido más severas en la zona Maiquetía - Los Caracas. En segundo lugar vendría la zona que se extiende de Mamo hacia el oeste. La vertiente sur del Ávila ha sido mucho menos afectada. Hacia las alturas del Ávila, el límite de la zona más afectada se ubica por lo general a poca distancia de la cima, del lado norte, y desborda hacia la vertiente sur en la parte occidental del macizo (quebradas Anauco y Catuche). La cuenca vertiente de la quebrada Tócome, que tiene una parte orientada hacia el norte, también fue parcialmente afectada.

## **2.2 Esquema general de la distribución de las precipitaciones durante el evento**

La orografía tiene un papel importante en la explicación de la repartición de las precipitaciones. Las masas de aire húmedo se encontraron represadas por la cordillera del Ávila, lo cual, junto con la presencia de un fenómeno de divergencia de los vientos en la altura, favoreció la formación de precipitaciones en la vertiente norte del Ávila. Debido a que el techo de las nubes estaba más bajo que las cimas de la cordillera, la vertiente sur quedó relativamente protegida.



**Fig. 2.1 Mapa de isoyetas probable del evento de los días 14, 15 y 16 de diciembre de 1999**

Tomando en cuenta todas las informaciones disponibles, es probable que la distribución de precipitación durante el evento de diciembre correspondía aproximadamente a las isoyetas representadas en la Figura 2.1. Esta figura presenta intencionalmente un grado de detalle bajo, porque las informaciones disponibles no permiten estimaciones más precisas.

### **3. Análisis de frecuencia de eventos extremos de precipitación**

#### **3.1 Metodología**

##### **3.1.1 Pasos seguidos**

La metodología utilizada para el análisis de frecuencias contempla los pasos principales siguientes:

- Ajustes de diferentes distribuciones de probabilidad a las series de máximos anuales más largas de la zona para identificar los tipos de distribución que mejor se ajustan. Debido a que ninguna serie es realmente muy larga (a excepción de la de Cagigal), se han evitado distribuciones que utilicen más de dos parámetros (como la Pearson III).
- Análisis de las variaciones regionales de las precipitaciones extremas basados en el análisis de la variación de los parámetros más fácilmente estimados con series cortas (por ej. promedio de los máximos anuales) y en el análisis de tormentas (correlaciones de intensidades de precipitación para eventos en exceso de un umbral en una estación de referencia)
- Análisis de la variación de las intensidades extremas con la duración de la lluvia. Una vez definido el tipo de distribución, la distribución que mejor se ajusta a los datos de una estación y para una determinada duración de lluvia es definida por los valores de los parámetros de la distribución. El análisis de las relaciones intensidad-duración puede entonces limitarse al análisis de las relaciones entre estos parámetros y la duración.

En todos estos pasos, se prestará una atención particular a los intervalos de confianza, ya que éstos permiten decidir si se puede o no considerar que dos distribuciones observadas son realmente diferentes.

##### **3.1.2 Estaciones meteorológicas consideradas y determinación de series de máximos anuales**

Para el análisis de las precipitaciones extremas en la zona considerada se han identificado las estaciones del cuadro 3.1. De éstas, la mayor parte son estaciones pluviométricas, con registros de precipitación diaria, sin mediciones de intensidad.

El análisis ha tenido que limitarse a las estaciones cuyos registros han sido transcritos a soporte informático, es decir a los datos que se encuentran en la base de datos de la DHM. Algunos valores de máximos anuales de precipitación diaria han podido ser añadidos, como es el caso para Mamo y Cagigal.

Casi todos los años de todas las estaciones tienen algunos datos faltantes (generalmente se encuentran en estos casos valores acumulados de varios días). El máximo observado de un año fue retenido si el número de observaciones faltantes no superaba 50. Es evidente que esta manera de proceder introduce un sesgo en la evaluación de valores extremos (se subestiman los máximos anuales). Sin embargo, la mayoría de los registros anuales de datos tienen un número reducido de datos faltantes, y no se ha considerado necesario hacer un ajuste para compensar el sesgo.

**Cuadro 3.1: Estaciones meteorológicas utilizadas**

Estación	Serial	Latitud	Longitud	Altitud [m]	Año inicio	Año fin	Intensidad
MAMO	1401	10°35'22"	67°03'13"		1956	1983	
CATIA LA MAR	0422	10°37'	67°02'		1970	1983	
MAIQUETIA-Aerop. (FAV)	0503	10°31'	66°59'	43	1949	1999	
MAIQUETIA (MARN)	0502		66°57' (?)		1948	1983	
MACUTO	0508	10°36'01"	66°53'47"	53	1951	1997	Sí
CARABALLEDA	5001	10°36'47"	66°50'43"		1958	1983	
URIA	5004	10°36'56"	66°46'57"		1952	1976	
NAIGUATA	5005	10°37'25"	66°44'08"	49	1951	1997	Sí
LOS CARACAS	5011	10°37'22"	66°37'22"	15	1967	1997	Sí
OSMA	5043	10°36'54"	66°31'02"	30	1969	1997	Sí
ORITAPO	5042	10°36'53"	66°29'31"	80	1969	1983	Sí
COLONIA TOVAR	1435	10°25'	67°11'	1 435	1931		
OJO DE AGUA	5070	10°31'56"	66°58'53"	608	1973	1983	
PIEDRA AZUL 3	5046	10°34'		640	1970		
PIEDRA AZUL 2	5045	10°34'	66°58'	1 050	1970	1980	
PIEDRA AZUL 1	5044	10°34'	66°57'	1 350	1970	1983	
RIO GRANDE	5015	10°34'20"	66°56'19"	925	1967	1983	
CCS SAN JOSE 'ÁVILA	0607	10°31'21"	66°54'58"		1967	1983	
CCS-HOTEL HUMBOLDT	0519	10°32'40"	66°52'54"	2 129	1958	1974	
MARIA ISABEL	5020	10°35'54"	66°40'53"		1969	1983	
LOS CCS-F. DEL INDIO	5017	10°36'05"	66°37'15"	575	1967	1983	
LOS CCS EL LIMON	5016	10°36'04"	66°35'37"	145	1967	1981	
CCS-HDA. MONTALBAN	0540	10°28'22"	66°58'05"	937	1958	1983	
CARACAS-CATIA	0522	10°30'29"	66°56'48"	970	1953	1983	
CCS-LA MARIPOSA	0563	10°24'41"	66°55'53"	980	1949	1985	
CAGIGAL	0531	10°30'25"	66°55'39"	1 042	1891	1988	Sí
CCS-SUBIDA ÁVILA	5024	10°31'21"	66°54'57"	1 000	1949	1974	
CCS-SAN BERNARDINO	5026	10°30'52"	66°53'47"		1969	1983	
LOS VENADOS	0514	10°32'19"	66°53'41"		1994	1997	
CCS-CIUDAD UNIVERS.	0539	10°29'41"	66°53'12"		1949	1980	
CARACAS TELEFERICO	0622	10°31'10"	66°53'10"		1968	1980	
CCS-EDIF. LA PAZ	0794	10°31'29"	66°52'		1962	1980	
CARACAS-LA TRINIDAD	0623	10°26'30"	66°51'50"	962	1968	1985	
CARACAS-CHACAITO	5021	10°31'25"	66°51'49"	1 200	1950	1983	
CARACAS-LA CARLOTA		10°30'	66°50'		1964	1999	
CARACAS-CAURIMARE		10°30'	66°50'		1953	1997	
CARACAS LA SALLE	0520	10°30'48"	66°50' (?)		1960	1983	

Para no descartar completamente la información contenida en los acumulados de varios días, se ha procedido a estimar, para cada valor de precipitación acumulada, el mínimo de precipitación diaria que debe haber ocurrido en por lo menos uno de los días tomados separadamente. Por ejemplo, si se conoce que la precipitación acumulada de 2 días es de 120 mm, se puede concluir que debe haber caído por lo menos 60 mm en uno de estos dos días. Se trata de un método sesgado (se siguen subestimando los máximos), pero que ha sido utilizado

por su comodidad. La esperanza matemática del sesgo remanente es débil si el número de datos faltantes es bajo.

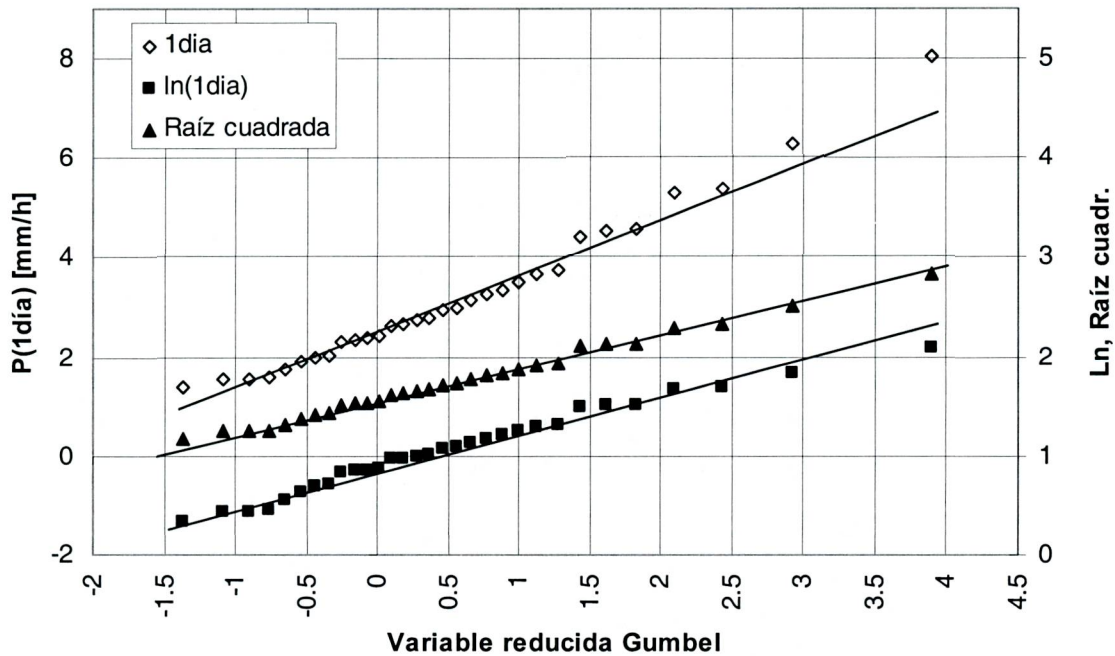
Lamentablemente, es probable que exista una correlación positiva entre la ocurrencia de datos faltantes y la ocurrencia de tormentas excepcionales. Esto quiere decir que se deben haber perdido más máximos anuales que los que corresponderían, en proporción, al número de días de observación faltantes. Debido a la falta de información cuantitativa acerca de esta relación, no es posible proceder a una corrección.

### 3.2 Determinación de los tipos de distribución de probabilidad

Para definir cual es el tipo de distribución de probabilidad que mejor se ajuste a las diferentes series de máximos anuales, se han considerado primero las series de máximos anuales de precipitación diaria de las siguientes estaciones que tienen registros relativamente largos: Maiquetía (0502), Mamo (1401) Macuto (0508) y Naiguatá (5005) en la costa; Cagigal (0531) del lado sur del Ávila.

#### 3.2.1 Tipos de distribución al norte del Ávila para lluvias de 1 día

*Maiquetía MARN (0502)*



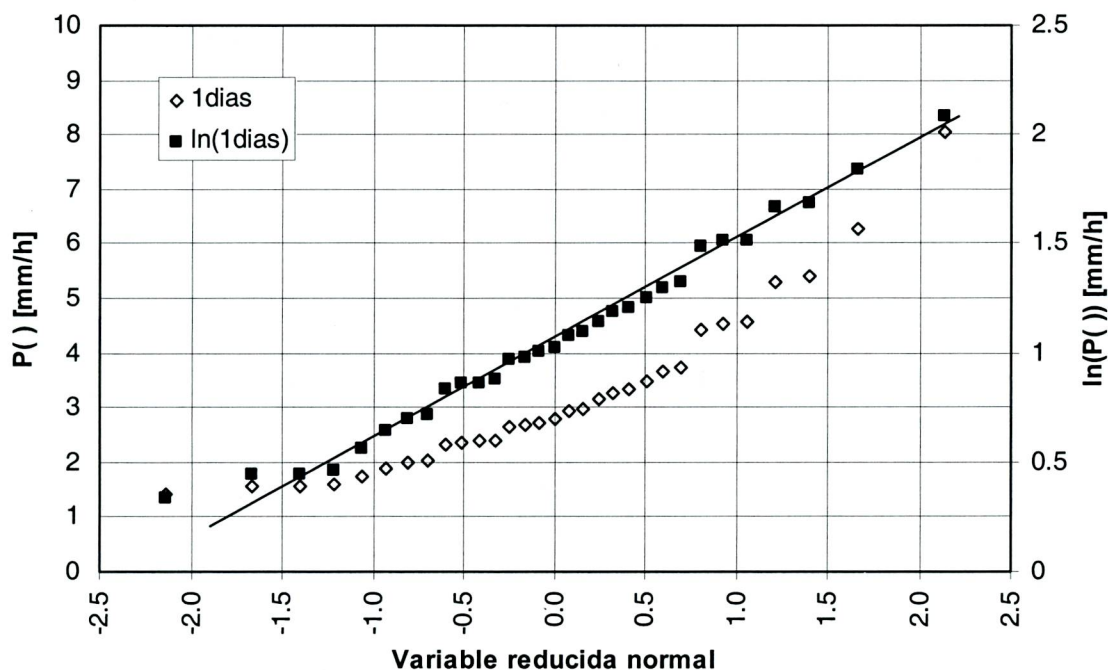
**Fig. 3.1: Ajuste gráfico de las precipitaciones diarias máximas anuales de Maiquetía (1948-1983) a distribuciones Gumbel, Log-Gumbel y raíz cuadrada-Gumbel**

Como se observa en la Figura 3.1, los puntos correspondientes a los máximos observados, representados en un papel Gumbel-aritmético (serie "1 día" con escala izquierda) tienden a formar una curva con concavidad hacia arriba. Esto significa que ajustando una distribución de tipo Gumbel se corre el riesgo de subestimar las intensidades para períodos de retorno elevados, lo que es peligroso. Se podría decir que el fenómeno que produce los máximos anuales no es de tipo Gumbel sino "hipergumbeliano". Una situación de este tipo siempre es una incitación a escoger distribuciones de probabilidad que tengan extremidades más gordas

(donde se atribuye una probabilidad mayor a valores elevados de la variable). Por ejemplo se puede utilizar el logaritmo de la variable.

Los puntos correspondientes al logaritmo natural de las precipitaciones (serie "ln(1día)" con escala izquierda) se ajustan mucho mejor a una distribución Gumbel (estamos entonces en presencia de un ajuste log-Gumbel). Se observa en este caso, al inverso de lo que ocurrió con el ajuste Gumbel, que los puntos se distribuyen con una ligera concavidad hacia abajo, lo que podría significar que se sobreestiman, con este tipo de ajuste, los valores extremos. Sin embargo, para fines de diseño de obras y planificación, esta situación da más tranquilidad.

El ajuste de las raíces cuadradas de los valores originales podría calificarse de todavía más satisfactorio, pero el uso de este tipo de distribución para máximos de precipitación no es corriente.



**Fig. 3.2: Ajuste gráfico de las precipitaciones diarias máximas anuales de Maiquetía (1948-1983) a distribuciones Normal y Log-Normal**

En la Figura 3.2 se indican los ajustes gráficos de distribuciones normal y lognormal. Se observa que la distribución normal (que tiene extremidades más delgadas que una Gumbel) es totalmente insatisfactoria, pero que un ajuste lognormal es satisfactorio, a excepción del grupo de los valores más bajos, los cuales están por encima de la recta.

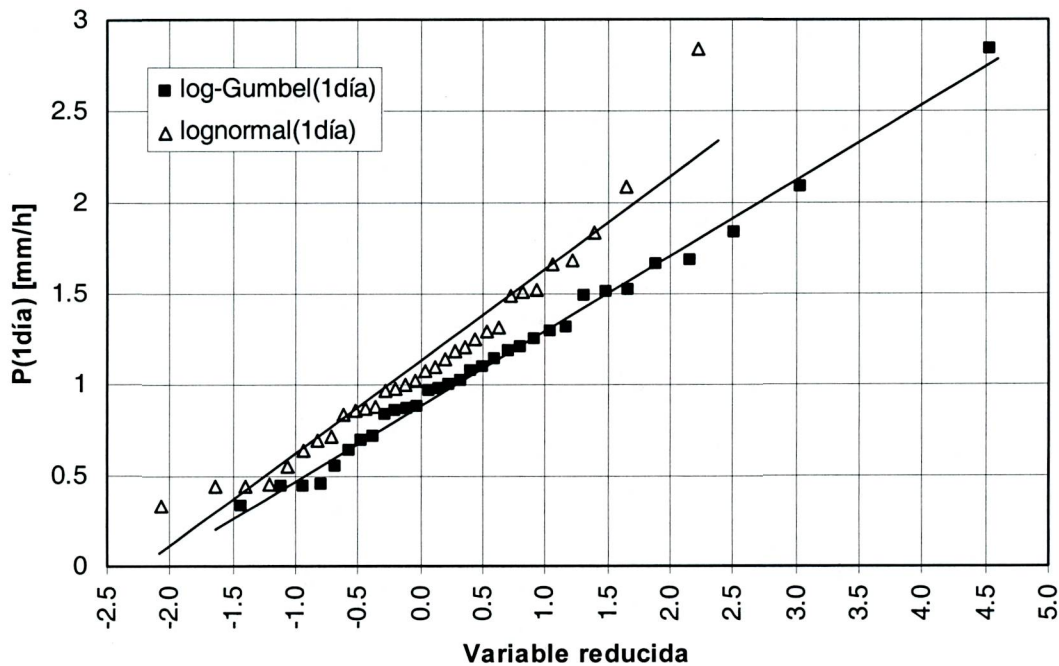
#### *Maiquetía (0502) con dato de 1999*

En diciembre de 1999 se observaron en Maiquetía-Aeropuerto, una estación cercana a la de Maiquetía, valores de precipitación diaria mucho más altos que los registrados durante todo el período 1948-1983 en Maiquetía. Es probable que la precipitación en Maiquetía en diciembre de 1999 haya sido del mismo orden de magnitud que los 410 mm reportados para Maiquetía-Aeropuerto. Entonces, se tiene para Maiquetía un dato adicional para la serie de máximos anuales: 410 mm para 1999. Debido a que se sabe que las precipitaciones de 1999 corresponden a un año excepcional, no se puede simplemente añadir este año a la serie anterior y hacer nuevos ajustes. El valor de 1999 debe graficarse con un período de retorno más grande (o una probabilidad más pequeña) que el (o la) que se estima normalmente para el

máximo de una serie que tendría un año más. El método aplicado para dibujar la Figura 3.3 ha sido considerar que el valor de 1999 corresponde al máximo de una serie que tiene  $1999 - 1983 = 16$  años más que la serie anterior (que comprendía 31 observaciones de máximos válidos). Este procedimiento, confiere a la observación de 1999 una posición de graficación que corresponde a 100 años de período de retorno.

Como se puede ver en la Figura 3.3, el dato de 1999 se inserta perfectamente en la línea de los puntos de una distribución log-Gumbel. En el caso de un ajuste lognormal, se observa una tendencia de los puntos a formar una curva con concavidad hacia arriba. En realidad, cuando se hace la hipótesis que la distribución es de tipo lognormal, se debería eliminar el punto correspondiente al año 1999 por ser un valor dudoso del punto de vista estadístico ("outlier"). En este caso se regresaría al ajuste de la Figura 3.2.

Sin embargo, es más satisfactorio poder incluir el valor de 1999 (con el ajuste log-Gumbel), lo que nos permite concluir que la distribución log-Gumbel es la más satisfactoria, sobre todo del punto de vista de la seguridad, para representar el fenómeno natural que produce los máximos anuales de precipitación en Maiquetía.



**Fig. 3.3: Ajuste gráfico de las precipitaciones diarias máximas anuales de Maiquetía (1948-1983 & 1999) a distribuciones log-Gumbel y lognormal**

#### *Maiquetía FAV (0503)*

En la serie de la estación de la Fuerza Aérea en Maiquetía (Figura 3.4 a), se observa la misma concavidad hacia arriba de los puntos representados en papel Gumbel, a pesar de que no se trate del mismo intervalo de tiempo. Pero lo que más llama la atención es el punto que representa al año 1999, el cual está completamente fuera del cuadro para un ajuste Gumbel, y relativamente cerca de una posible recta de ajuste si se supone una distribución log-Gumbel.

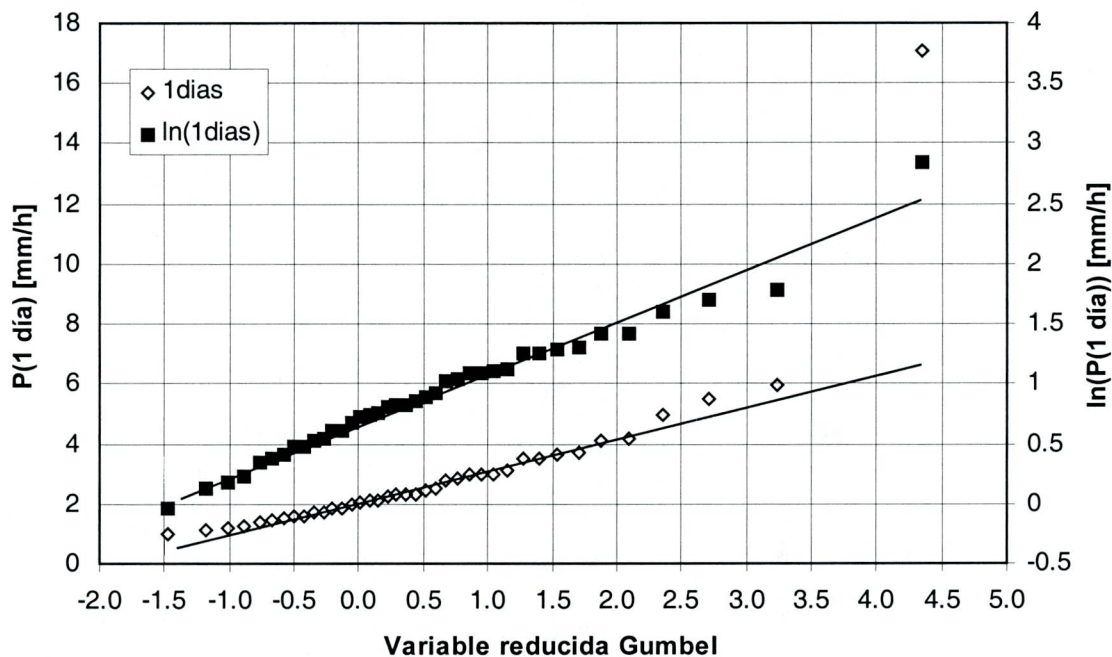


Fig. 3.4 a: Ajuste gráfico de las precipitaciones diarias máximas anuales de Maiquetía FAV (1961-1999) a distribuciones Gumbel y Log-Gumbel

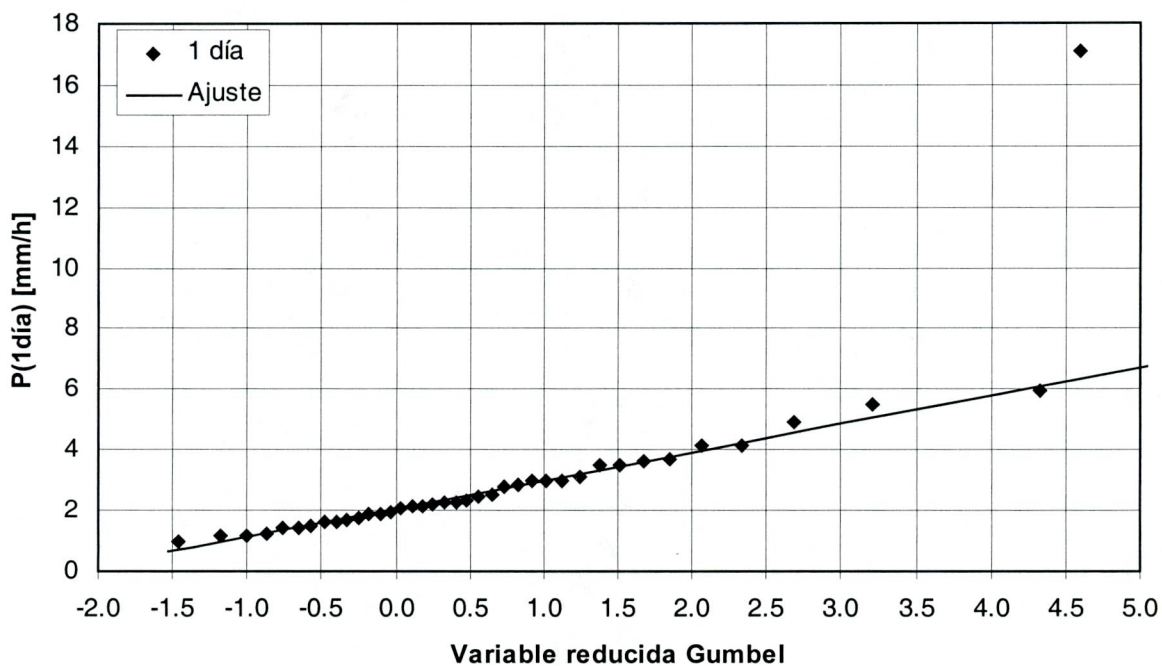
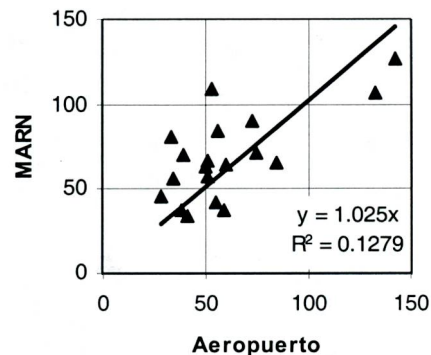


Fig. 3.4 b: Ajuste gráfico de las precipitaciones diarias máximas anuales de Maiquetía FAV (1961-1998) a una distribución Gumbel (no se considera 1999)

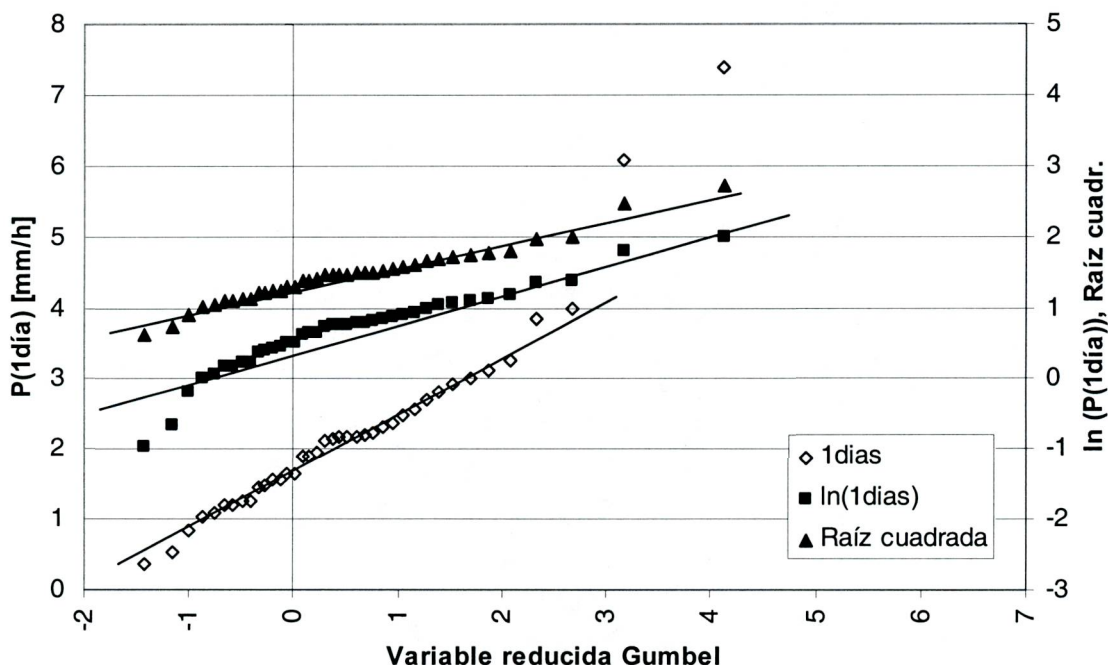
Cuando no se considera el punto de 1999 por ser una "observación dudosa alta" del punto de vista estadístico (Figura 3.4 b), la concavidad hacia arriba desaparece. Sin embargo, el ajuste no da confianza porque no están incluidos, ni el evento de 1951, ni el evento de 1999. Con la

recta de ajuste dibujada, el evento de 1951 tiene un período de retorno de más de 500 años, y el de 1999 se vuelve astronómico (unos 10 millones de años). Incluso cuando se utiliza el límite superior del intervalo de confianza a 90%, el evento de 1999 sigue teniendo un período de retorno de 200 000 años. Aunque haya una pequeña probabilidad de que se haya observado un evento de un período de retorno tan grande, es mucho más probable que el tipo de distribución sea inadecuado.

Los máximos anuales de Maiquetía FAV presentan, en el período de observación común, una correlación muy débil con las observaciones de Maiquetía (MARN). Por esta razón, no se ha considerado conveniente unir las dos series.



Mamo (0502)



**Fig. 3.5: Ajuste gráfico de las precipitaciones diarias máximas anuales de Mamo (1957-1999) a distribuciones Gumbel, log-Gumbel y lognormal**

De la Figura 3.5 se desprende que los máximos anuales de Mamo tampoco se ajusten satisfactoriamente a una distribución de tipo Gumbel. En cambio, las distribuciones log-Gumbel, raíz cuadrada-Gumbel y lognormal (ver Figura 3.6) se ajustan bien, por lo menos en las partes medias y altas. Los dos valores más bajos observados en Mamo no cuadran con las distribuciones log-Gumbel y lognormal. Sin embargo, si el objetivo es obtener una buena estimación de los valores extremos altos (de período de retorno elevado), las distribuciones log-Gumbel, raíz cuadrada-Gumbel y lognormal pueden ser consideradas satisfactorias.

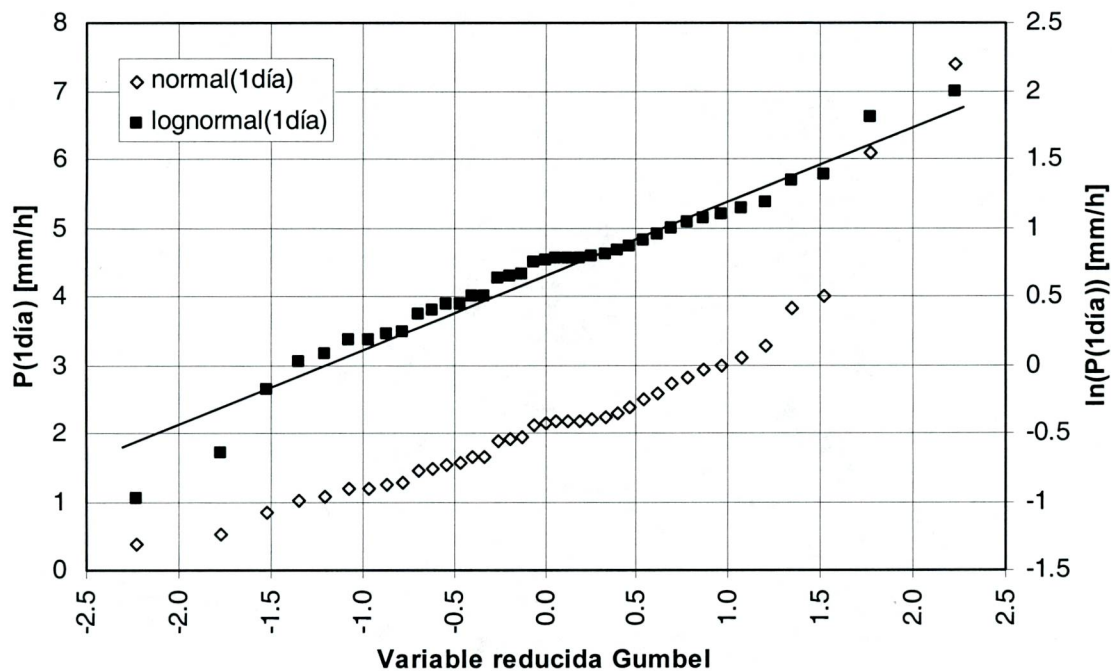


Fig. 3.6: Ajuste gráfico de las precipitaciones diarias máximas anuales de Mamo (1957-1999) a distribuciones normal y lognormal

Macuto (0508)

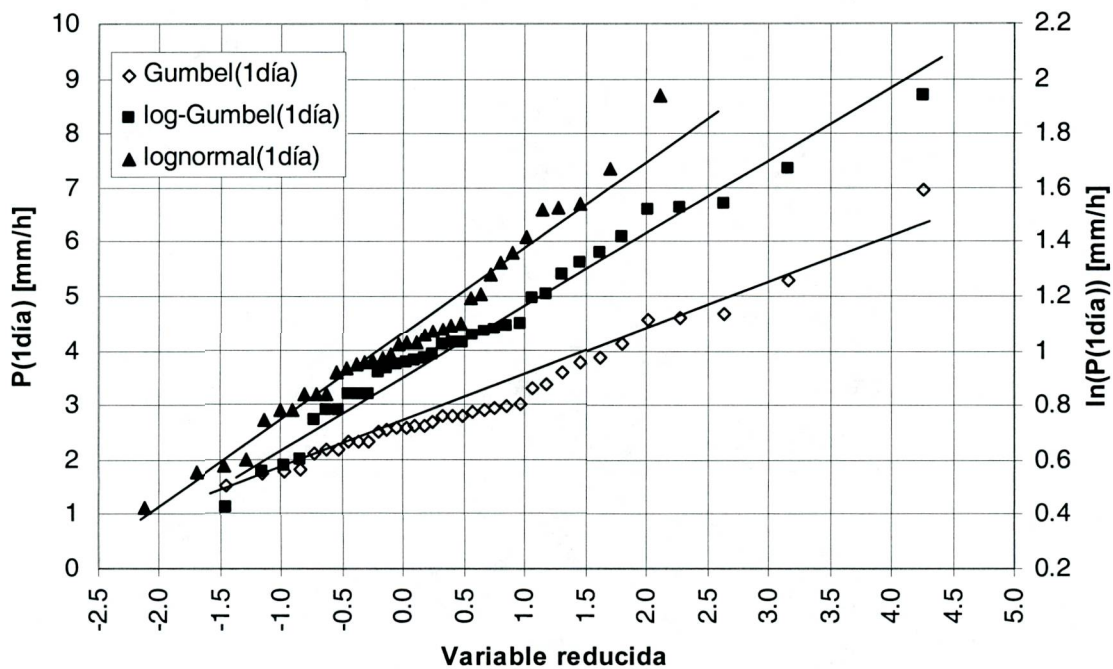
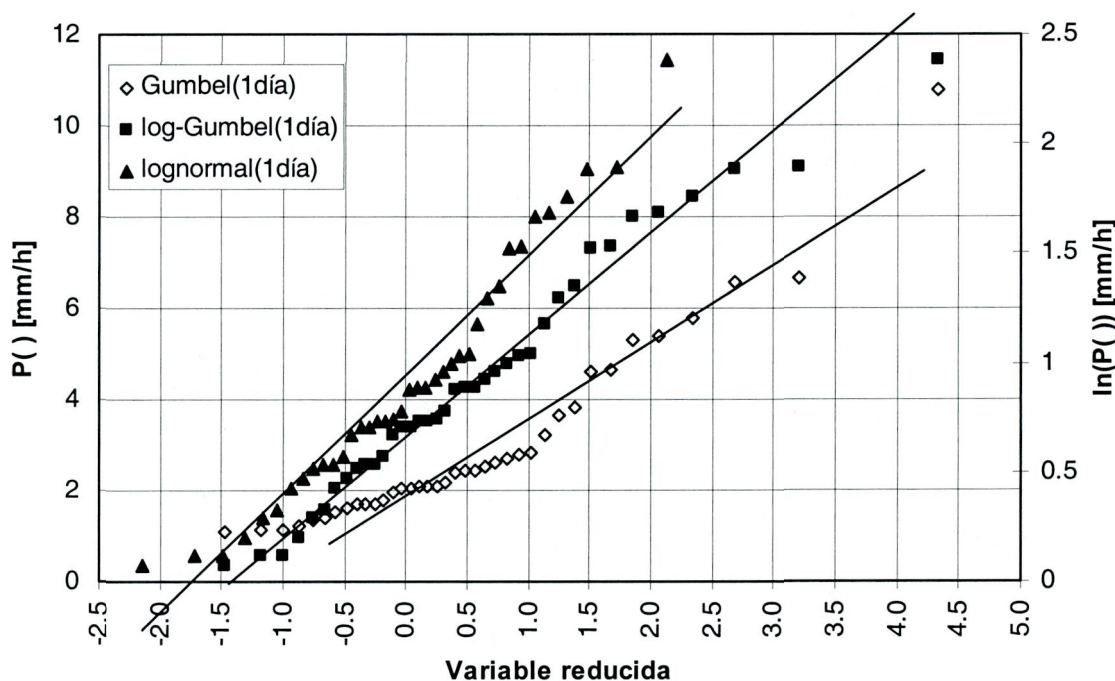


Fig. 3.7: Ajuste gráfico de las precipitaciones diarias máximas anuales de Macuto (1952-1997) a distribuciones Gumbel, log-Gumbel y lognormal

En la Figura 3.7 se enseñan ajustes de distribuciones Gumbel, log-Gumbel y log-Normal a los datos de Macuto. Contrariamente a lo que se ha observado en las dos estaciones anteriores (Maiquetía y Mamo), no parecen existir razones contundentes para desconfiar de una distribución Gumbel.

Es importante resaltar, sin embargo, que los datos utilizados no contienen ni el evento de 1951, ni el evento de 1999. Por consiguiente, parece mucho más prudente adoptar una distribución log-Gumbel para esta estación también (podría talvez ser una lognormal, pero se nota una ligera concavidad hacia arriba en la distribución de los puntos).

*Naiguatá (5005)*



**Fig. 3.8: Ajuste gráfico de las precipitaciones diarias máximas anuales de Naiguatá (1952-1994) a distribuciones Gumbel, log-Gumbel y lognormal**

Los comentarios que se pueden hacer con respecto a los ajustes para Naiguatá (Fig. 3.8) son similares a los que se hicieron para Macuto: debido a la ausencia, en las series representadas, de los eventos de 1951 y 1999, la distribución log-Gumbel debe considerarse como la única distribución que es prudente adoptar. Además se observa, en el caso de Naiguatá, un marcado codo en la alineación de los puntos (para un valor de la variable reducida de 1.0).

### 3.2.2 Tipos de distribución al norte del Ávila para lluvias de duraciones otras que 1 día

Para duraciones de 2, 3, 5, 10 y 15 días consecutivos, se pueden también determinar series de máximos anuales. Los resultados son similares a los obtenidos con duraciones de 1 día. Como ejemplos se tratan a continuación los casos de las series de 10 días de duración para Maiquetía y Naiguatá. Además se dispone para Naiguatá de registros de duraciones inferiores a 1 día (intensidades de lluvias con duraciones desde 0,50 horas hasta 24 horas).

Maiquetía (0502), 10 días de duración, con dato de 1999

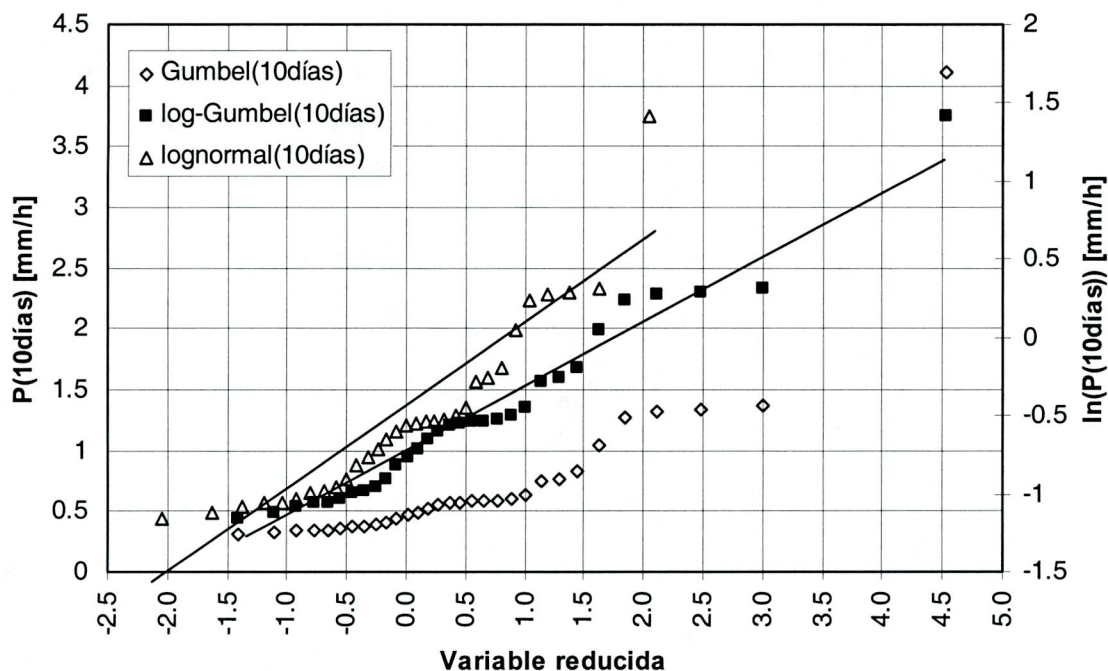


Fig. 3.9: Ajuste gráfico de las precipitaciones máximas anuales de 10 días de duración en Maiquetía (1948-1983 & 1999) a distribuciones Gumbel, log-Gumbel y lognormal.

Al igual que en el caso de las precipitaciones de 1 día, se observa en la Figura 3.9 que la distribución Gumbel no es apropiada (por lo menos cuando se incluye la observación de 1999), y que la log-Gumbel es la que mejor se adapta a los valores extremos (en particular, el máximo absoluto observado, que corresponde a 1999, está muy arriba de la recta correspondiente a la distribución lognormal).

*Naiguatá (5005), 10 días de duración*

Los comentarios que permite hacer la Figura 3.10 son similares a las que se hicieron para 1 día de duración de lluvias en esta misma estación: debido a la ausencia de los eventos de 1951 y 1999 en los datos, las distribuciones lognormal y log-Gumbel deben considerarse las más apropiadas.

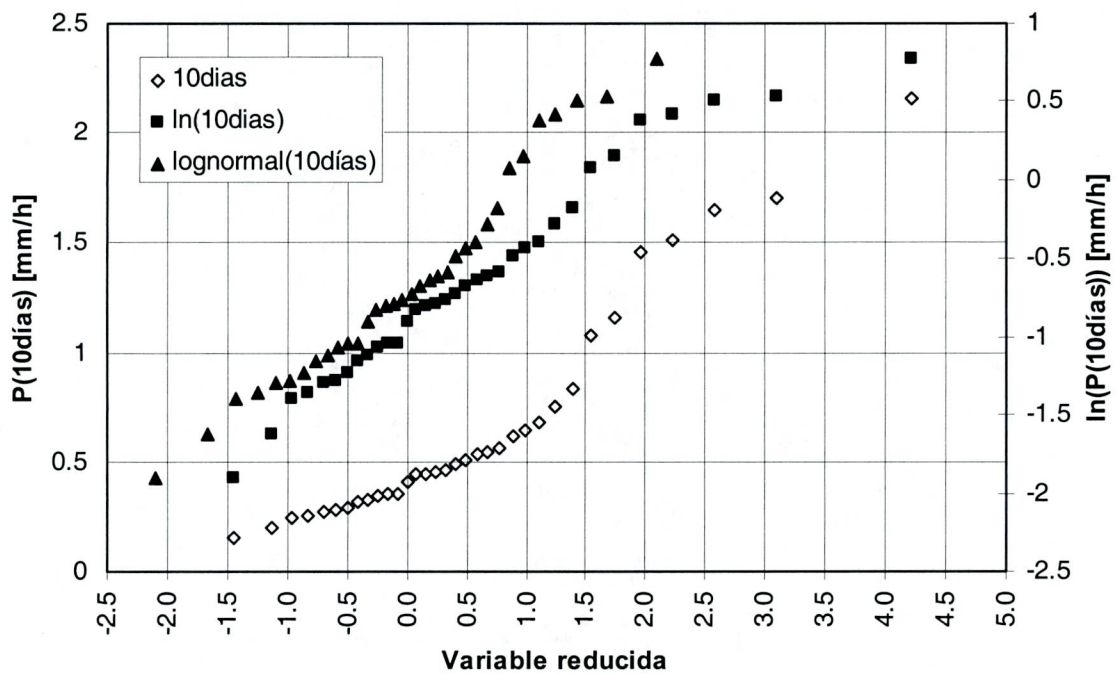


Fig. 3.10: Ajuste gráfico de las precipitaciones máximas anuales de 10 días de duración en Naiguatá (1952-1994) a distribuciones Gumbel, log-Gumbel y lognormal

Naiguatá (5005), 1 hora de duración

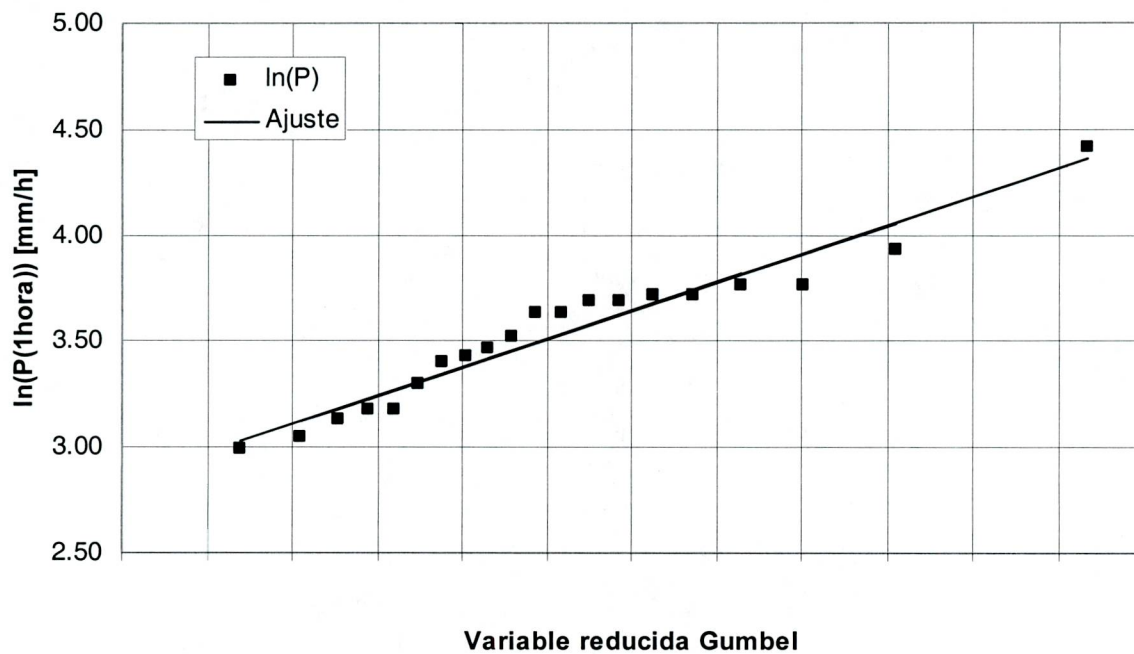
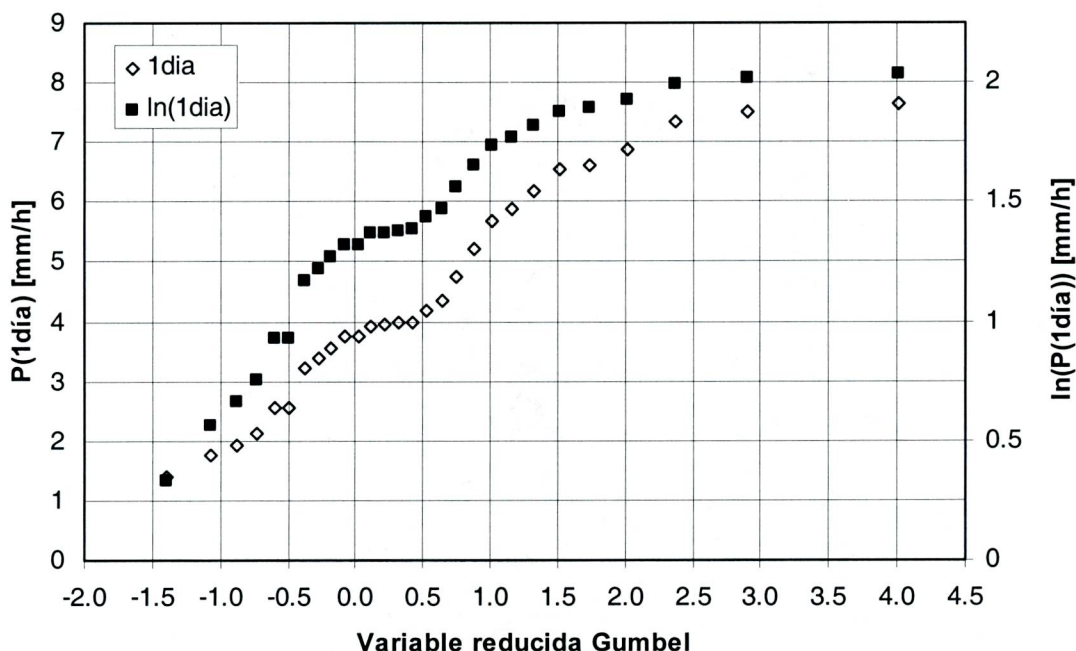


Fig. 3.11: Ajuste de distribución log-Gumbel a las precipitaciones máximas anuales de 1 hora de duración en Naiguatá (1975-1994)

En la Figura 3.11 se observa que los máximos anuales de precipitación de una hora de duración también se dejan representar satisfactoriamente por una distribución log-Gumbel. Cabe señalar que el período de observación (20 años) es más corto que en el caso de las precipitaciones de 1 día y más de duración (lo que hace muy difícil la búsqueda de la mejor distribución), y que el período de observación tampoco incluye los eventos de 1951 y 1999.

*Mas allá de Naguayatá (Los Caracas, Osma)*

Mas allá de Naguayatá, ya no se observa el comportamiento "hipergumbeliano" de los datos de precipitación diaria máxima anual. Es el caso en particular de Los Caracas (Fig. 3.12), donde se dispone de una serie de 28 años. En Osma solo se dispone de 14 años, y las conclusiones son menos contundentes.



**Fig. 3.12: Ajuste gráfico de las precipitaciones diarias máximas anuales de Los Caracas (1967-1995) a distribuciones Gumbel y log-Gumbel**

### 3.2.3 Tipos de distribución al sur del Ávila

*Cagigal (0531)*

La serie de precipitación diaria del Observatorio de Cagigal, que tiene más de 100 años, es la más larga del país, y es considerada de buena calidad (muy pocos errores y datos faltantes). Como se puede ver en la Figura 3.13, la distribución observada se parece mucho a una Gumbel y muy poco a una log-Gumbel.

De la Figura 3.14 se desprende que un modelo lognormal podría también explicar el fenómeno de una manera satisfactoria, y es difícil decidir cual de las dos distribuciones se ajusta mejor. La bondad de ajuste de ambas es muy buena. Debido a que la distribución Gumbel es la más empleada en la hidrología del país, se debería seguir usándola para Cagigal.

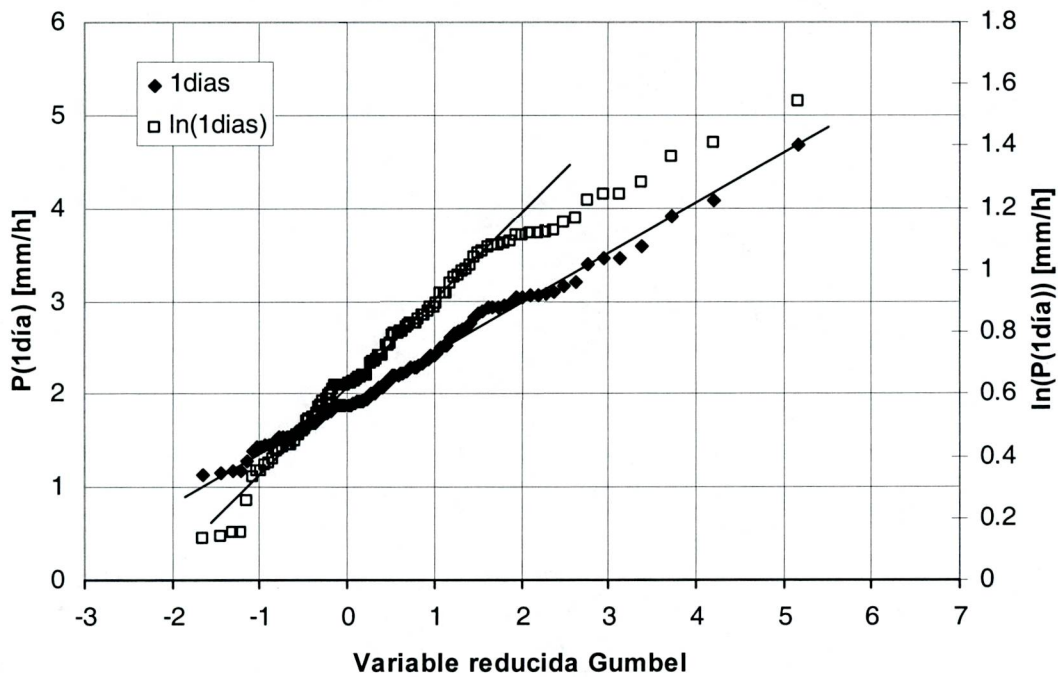


Fig. 3.13: Ajuste gráfico de las precipitaciones diarias máximas anuales de Cagigal (1952-1994) a distribuciones Gumbel y log-Gumbel

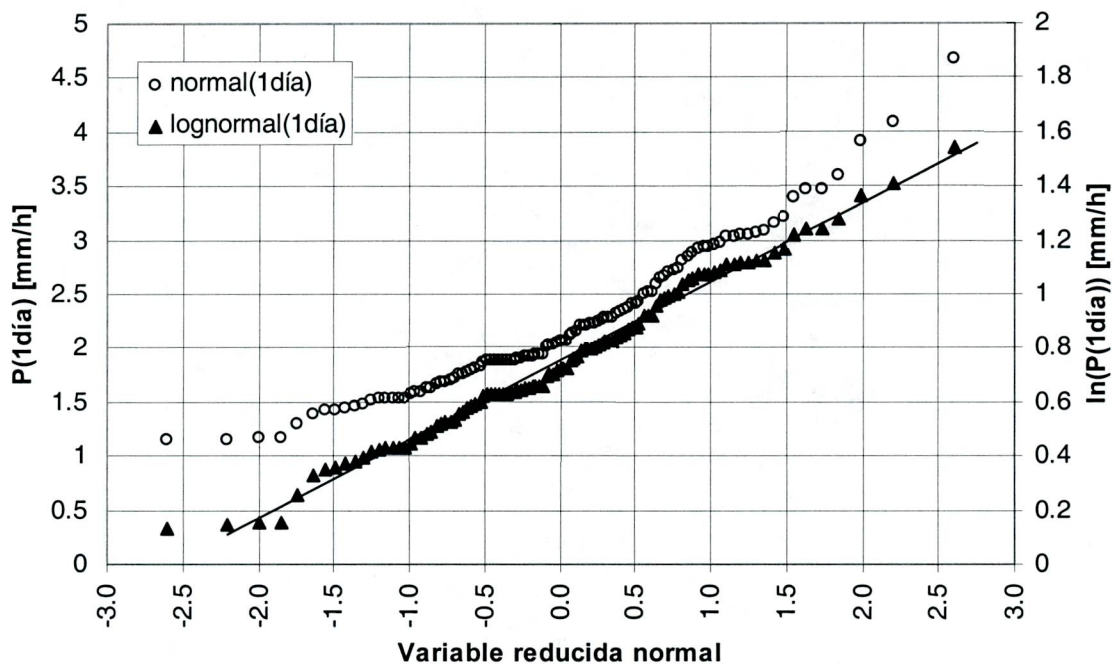


Fig. 3.14: Ajuste gráfico de las precipitaciones diarias máximas anuales de Cagigal (1952-1994) a distribuciones normal y lognormal

Caracas La Salle (0520)

En el caso de La Salle, el número de observaciones de máximos anuales (19) es pequeño.

La Figura 3.15 no da razones de pensar que la distribución Gumbel sería inapropiada.

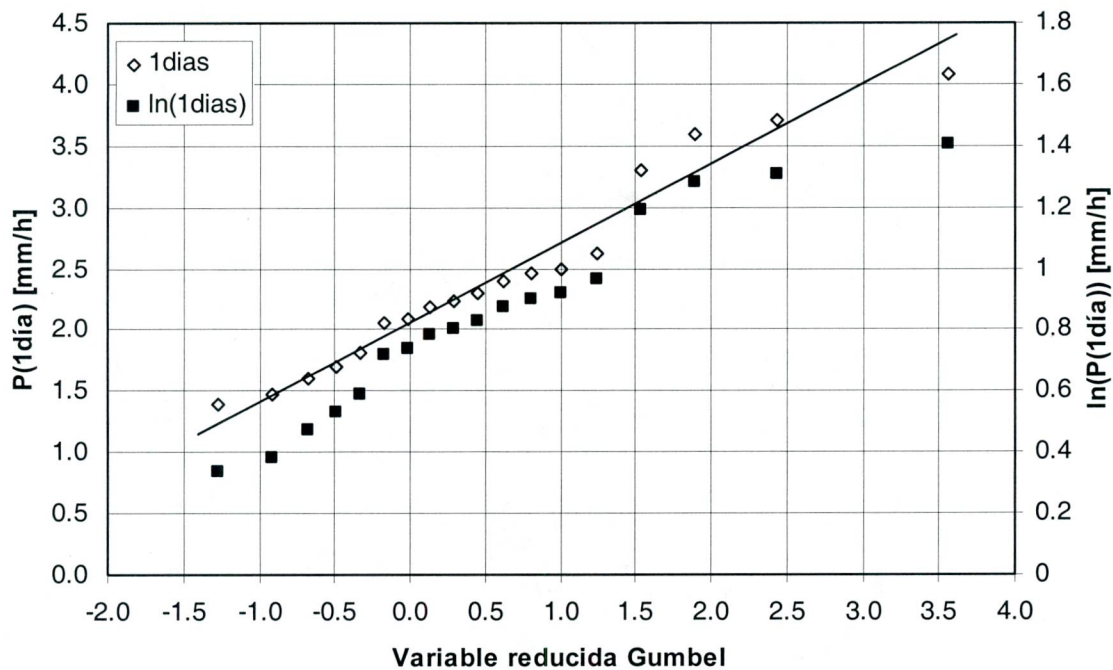


Fig. 3.15: Ajuste gráfico de las precipitaciones diarias máximas anuales de Caracas - La Salle (1961-1983) a distribuciones Gumbel y log-Gumbel

Caracas Ciudad Universitaria (0539)

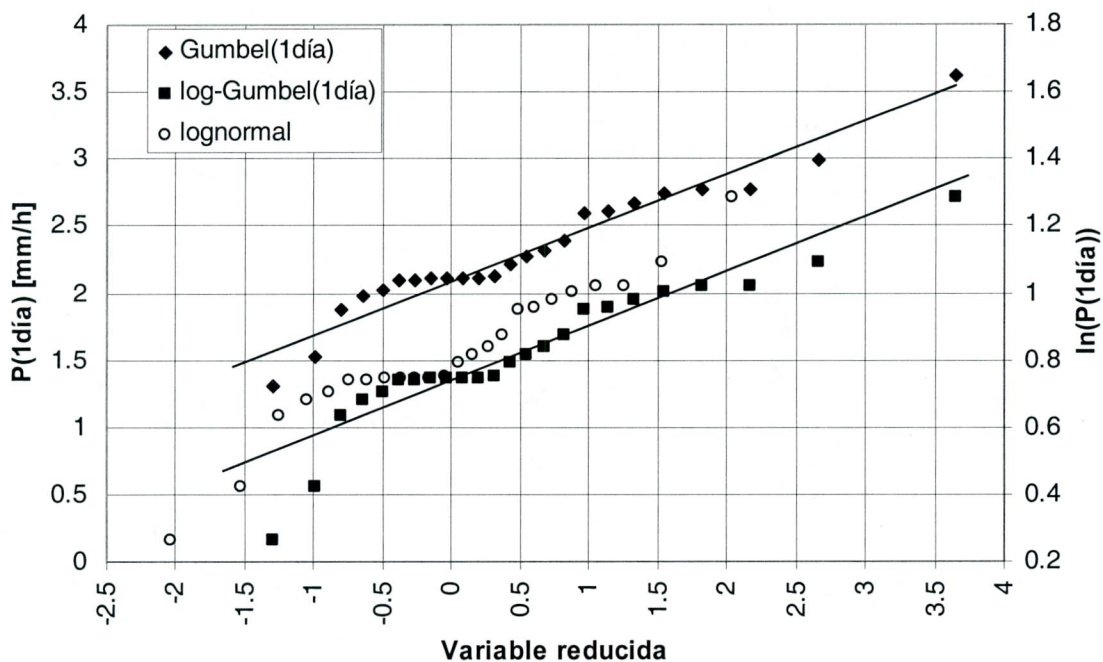
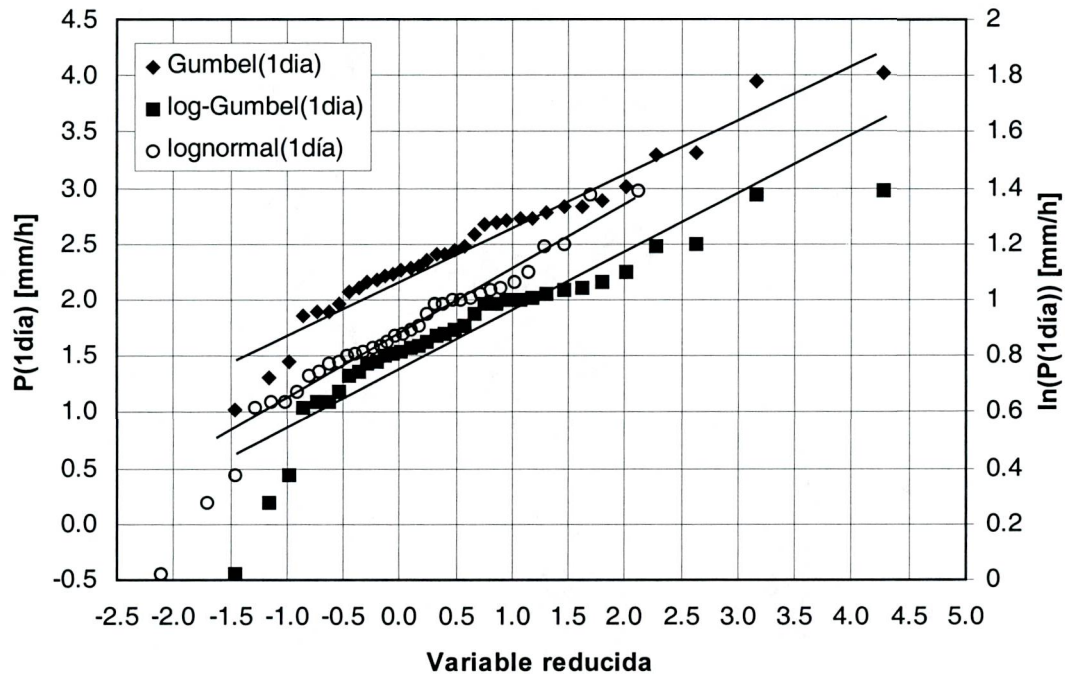


Fig. 3.16: Ajuste gráfico de las precipitaciones diarias máximas anuales de Caracas - Ciudad Universitaria (1950-1980) a distribuciones Gumbel, log-Gumbel y lognormal

En Caracas Ciudad Universitaria (Fig. 3.16), las distribuciones Gumbel, log-Gumbel y lognormal representan relativamente bien los eventos observados, pero la Gumbel es la que mejor se ajusta, sobre todo para los valores bajos.

Caracas - La Carlota

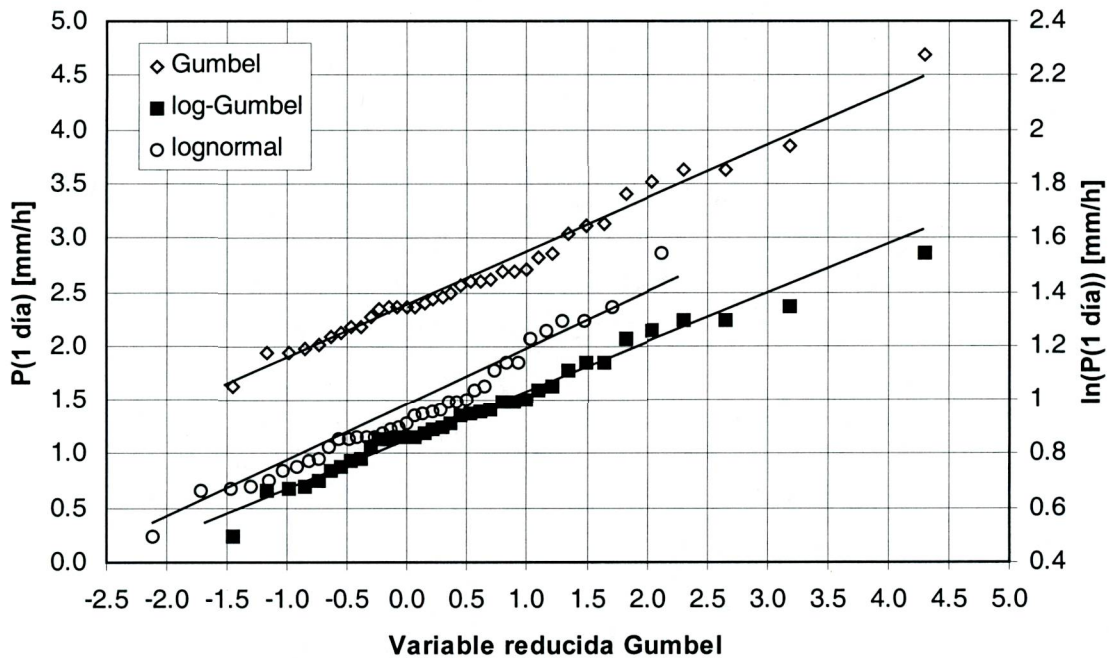


**Fig. 3.17: Ajuste gráfico de las precipitaciones diarias máximas anuales de Caracas – La Carlota (1964-1999) a distribuciones Gumbel, log-Gumbel y lognormal**

En Caracas La Carlota, se dispone de una serie de datos relativamente larga (36 años). Como se observa en la Figura 3.17, ninguna distribución refleja adecuadamente la observación de un número importante de máximos anuales muy bajos (3 años con menos de 0.5 mm/h ó 12 mm/día). Parte de estos datos podrían ser debidos a observaciones deficientes.

En la parte media-alta de la distribución, las tres distribuciones son relativamente buenas, aunque la distribución Gumbel parece llevarse una ventaja: la log-Gumbel tiende a sobreestimar los valores altos, y la lognormal que se obtendría sin tomar en cuenta a los valores más bajos tendría una ligera tendencia a subestimar los valores altos.

Caracas Caurimare



**Fig. 3.18: Ajuste gráfico de las precipitaciones diarias máximas anuales de Caracas - Caurimare (1953-1997) a distribuciones Gumbel, log-Gumbel y lognormal**

En Caurimare, donde se dispone de 39 años de registros, las tres distribuciones (Gumbel, log-Gumbel y lognormal) se ajustan bastante bien a las observaciones. Sin embargo, se puede notar una ligera concavidad hacia arriba en la repartición de los puntos que corresponden a la representación lognormal, lo que hace temer una ligera subestimación de los valores extremos con un ajuste lognormal. Como era de esperar, el ajuste log-Gumbel parece un poco más conservador (da estimaciones más altas de los valores extremos) que un ajuste Gumbel. Es difícil afirmar, sin embargo, que uno de los dos sea mejor que el otro.

*Cagigal (0531), 1 hora de duración*

La distribución Gumbel se ajusta igualmente bien a los datos de Gagigal para 1 hora de duración, como se puede ver en la Figura 3.19. Los puntos que representan los máximos anuales de 1 hora de duración en un ajuste log-Gumbel presentan una concavidad hacia abajo, lo que significa que un ajuste log-Gumbel tendría a sobreestimar los valores altos.

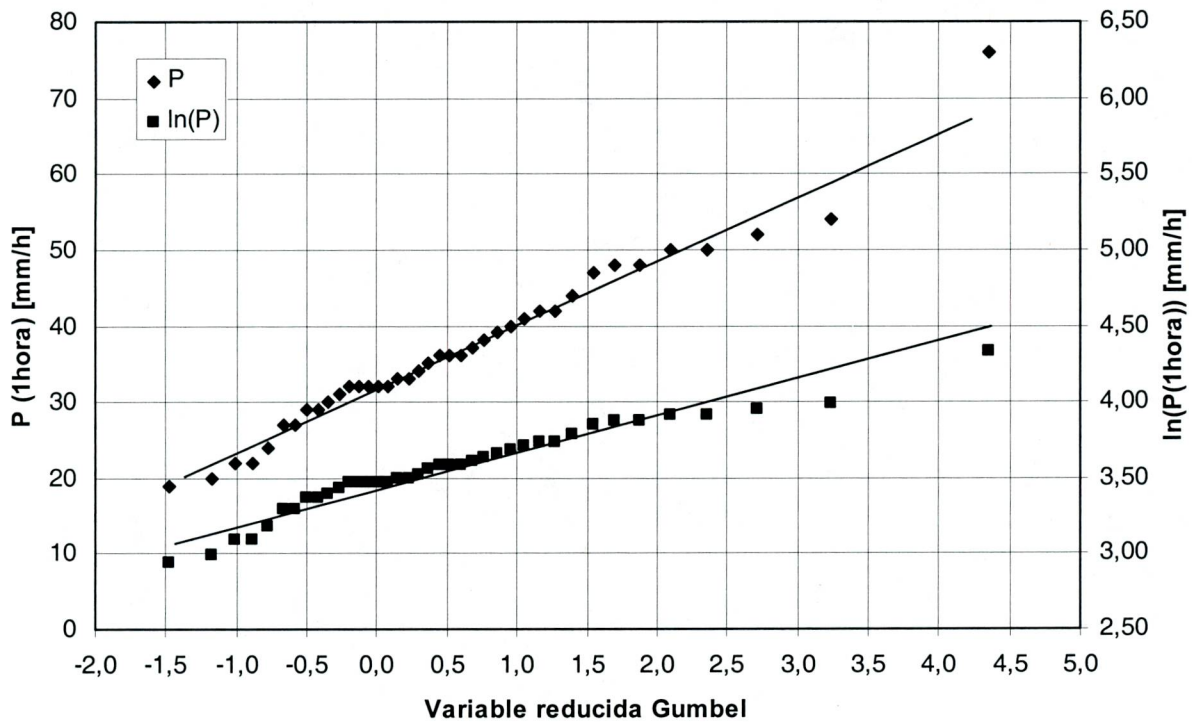


Fig. 3.19: Ajustes de distribuciones Gumbel y log-Gumbel a las precipitaciones máximas anuales de 1 hora de duración en Cagigal (1939-1977)

### 3.2.4 Conclusiones sobre los tipos de distribución

Resumiendo las observaciones hechas para las diferentes regiones y diferentes duraciones de lluvia, se puede concluir que:

La distribución Gumbel-aritmética subestima muy probablemente los máximos anuales de precipitación en la costa (al norte del Ávila entre Mamo y Naiguatá).

La distribución log-Gumbel representa satisfactoriamente los máximos anuales de precipitación en la costa (al norte del Ávila entre Mamo y Naiguatá), y las estimaciones obtenidas son del lado de la seguridad.

La distribución Gumbel-aritmética representa adecuadamente los máximos anuales de precipitación al sur del Ávila.

Estas constataciones son válidas para todas las duraciones de lluvia, desde 1 hora hasta 15 días.

### 3.3 Variación espacial de los parámetros de distribuciones

#### 3.3.1 Variaciones espaciales en el Litoral

Mamo – Maiquetía Aeropuerto – Maiquetía MARN

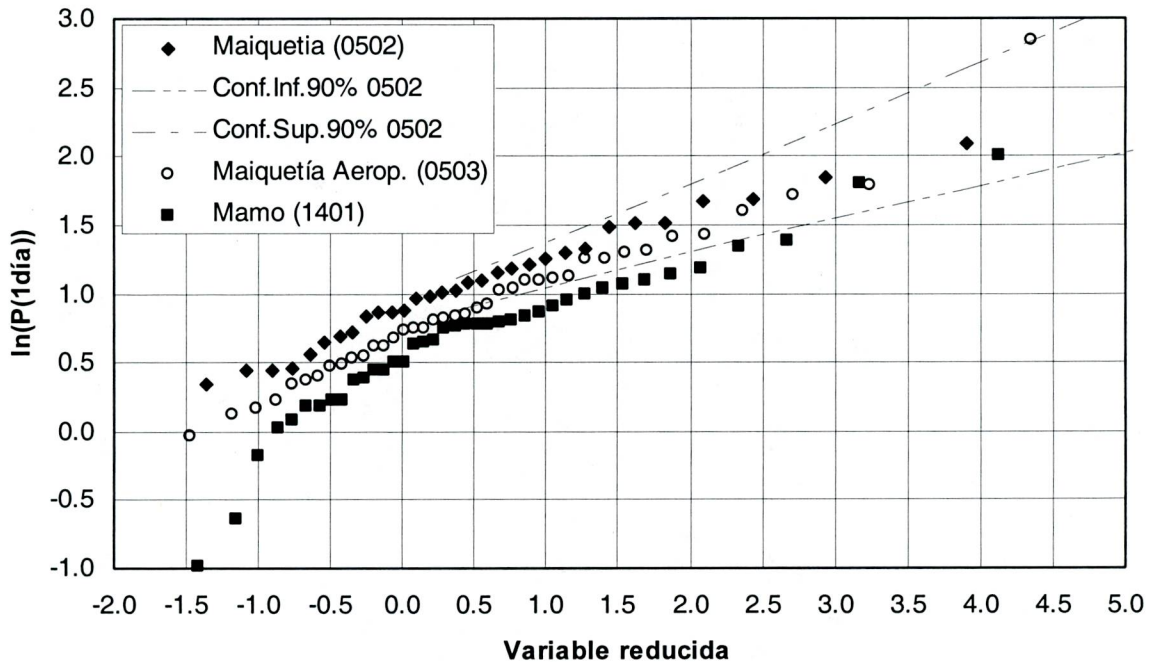


Fig. 3.20: Comparación de las representaciones gráficas de las precipitaciones máximas anuales de 1 día de duración en Maiquetía MARN, Maiquetía Aerop. (FAV) y Mamo (Esc. Naval)

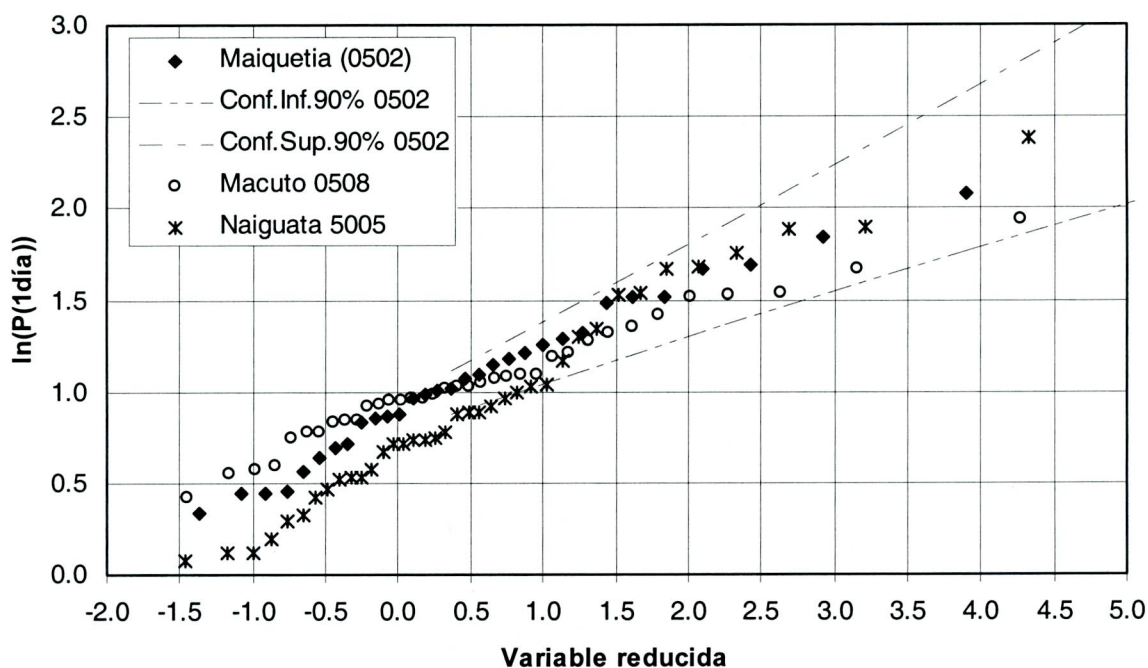
En la comparación gráfica (Fig. 3.20) se observa una ligera diferencia entre las líneas de puntos que corresponden a las dos estaciones de Maiquetía. Para períodos de retorno inferiores a 10 años (variable reducida  $< 2,2$ ), la diferencia corresponde aproximadamente a 20% (siendo Maiquetía MARN más alta que Maiquetía FAV). Para períodos de retorno superiores, la diferencia es menos clara, y finalmente el punto que corresponde a 1999 en Maiquetía FAV está encima de cualquier recta de ajuste de las dos estaciones.

Entre Maiquetía FAV y Mamo existe otra diferencia del mismo orden de magnitud, lo que implica que finalmente haya un factor de 1,50 más o menos entre Mamo y Maiquetía MARN.

Las tres series tienen en común los años 1961 a 1983, lo que permite atribuir un poco más de significación a las diferencias que si se trataría de muestras independientes de un mismo fenómeno. Además, la diferencia entre Maiquetía MARN y Mamo ya no cae dentro del intervalo de confianza a 90% de Maiquetía MARN.

Por estas razones, podemos asumir que:

**Existe un decrecimiento de las precipitaciones extremas de este a oeste, entre Maiquetía MARN y Mamo, que alcanza en total un factor de aproximadamente 1,50.**



**Fig. 3.21: Comparación de las representaciones gráficas de las precipitaciones máximas anuales de 1 día de duración en Maiquetía, Macuto y Naiguatá**

Las diferencias entre las distribuciones de probabilidad que se podrían ajustar a los datos representados en la Figura 3.21 son pequeñas y en gran parte insignificativas. La serie de Macuto parece tener la menor desviación estándar. La de Naiguatá parece tener la mayor desviación estándar, acompañada de un menor valor promedio. Sin embargo, para valores altos de la variable reducida, las tres series aparecen mezcladas, y dentro de los límites del intervalo de confianza a 90% de la serie de Maiquetía.

Por estas razones, podemos asumir que:

**No existen variaciones significativas de las distribuciones de precipitaciones extremas en la zona Maiquetía MARN – Macuto – Naiguatá, a lo largo del litoral.**

### 3.3.2 Subiendo al Ávila desde el Litoral

#### Tormenta de febrero 1951

Durante la tormenta de los días 15-18 de febrero de 1951, la precipitación acumulada en 24 horas en ciertas partes de la vertiente norte del Ávila fue superior a 400 mm, y según ciertos estudios realizados en la época la precipitación acumulada de la tormenta debería haber sobrepasado los 500 mm (Sardi, 1959 y Mapa de G. Posewitz, 1952, ver por ej. Matute et al., MARN, febrero de 1999). En esta ocasión, la precipitación en el litoral (Maiquetía, Macuto) fue inferior a unos 250 mm.

Visto que la situación meteorológica sinóptica de diciembre de 1999 fue similar a la de febrero de 1951, se podría pensar que las precipitaciones de diciembre podrían haber sido mucho más fuertes en las partes más altas del Ávila, que lo que se registró en Maiquetía. Considerando que este tipo de situaciones meteorológicas podría ser responsable de la mayor parte de los eventos extremos fuertes, uno está en derecho de preguntarse si las precipitaciones extremas

estimadas para la franja costera deben ser multiplicados por un factor alto (tipo 2 a 2,5) para obtener una estimación de las precipitaciones extremas en la parte alta del Ávila.

Cabe constatar que una sola observación (la de la tormenta de 1951) es muy poco para hacer una correlación de precipitaciones de eventos extremos.

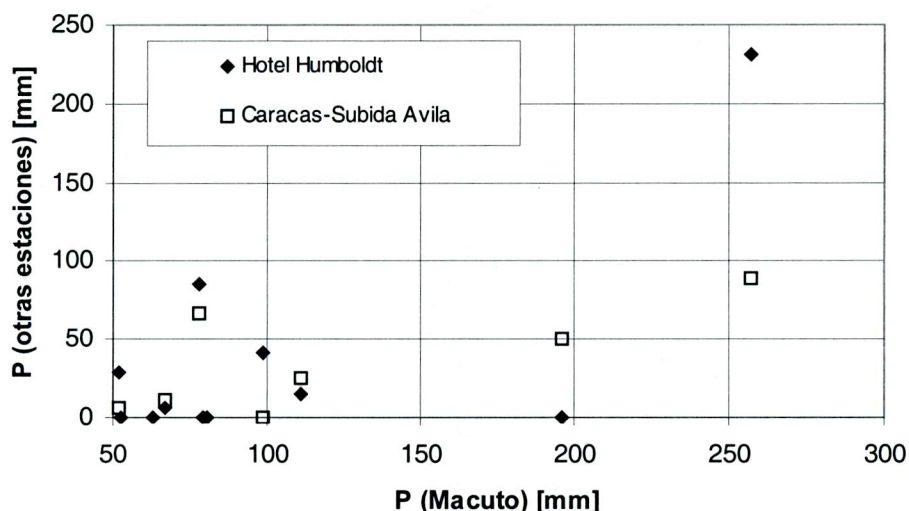
Pero por otra parte, es muy probable que la orografía tenga una fuerte influencia sobre las precipitaciones asociadas a eventos extremos. Sin embargo, atribuir el factor de 2 a 2,5 a la precipitación de 410 mm reportada en Maiquetía resultaría en unos 1000 mm de precipitación diaria en las vertientes del Ávila, lo cual muy probablemente es un resultado exagerado, ya que se combina el máximo observado del factor con la máxima precipitación registrada en el litoral.

La exploración estadística de la información existente de las partes más altas del Ávila permitirá obtener otros indicios.

#### *Correlación de tormentas Hotel Humboldt – Litoral*

La estación Hotel Humboldt está situada en la fila del Ávila, al límite entre las vertientes norte y sur. Por esta razón los argumentos desarrollados previamente (3.2) no son útiles para decidir si esta estación debería ajustarse más a una distribución Gumbel o a una log-Gumbel. La serie de máximos anuales tiene 14 años, lo que es muy poco para realizar ajustes de distribuciones.

En la Figura 3.22 se comparan las precipitaciones de tormentas ocurridas entre noviembre y abril, durante el período de registro común de Macuto, Hotel Humboldt, y Caracas – Subida al Ávila.



**Fig. 3.22: Correlación de precipitaciones de tormentas (más de 50 mm en Macuto)**

Se nota que no siempre cuando llueve fuerte en Macuto llueve también fuerte en la cima del Ávila y del otro lado del Ávila. En la figura siguiente (Fig. 3.23) se presenta otra correlación: esta vez se han representado las precipitaciones en diferentes estaciones cada vez que se ha observado una tormenta de más de 50 mm diarios en Hotel Humboldt. Al igual que en el caso anterior, no parece existir una correlación fuerte entre las precipitaciones en Hotel Humboldt y las de las demás estaciones de las dos vertientes y del litoral. No se encuentra ningún respaldo para la adopción de un factor tipo 2 o 2,5 entre Macuto y la cima del Ávila. Sin embargo, el Hotel Humboldt está situado más arriba de la zona donde se podría esperar encontrar los máximos de precipitación.

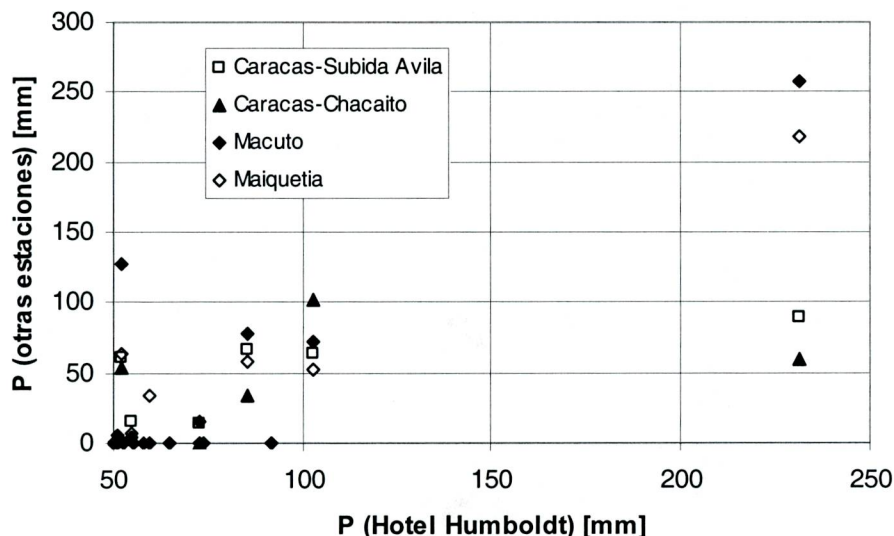


Fig. 3.23: Correlación de precipitaciones de tormentas (más de 50 mm en Hotel Humboldt)

Cabe señalar que la mayoría de los eventos observados no llegan al mismo orden de magnitud que las tormentas de 1951 y 1999, razón por la cual es difícil generalizar la conclusión (relativa a la falta de correlación) a las precipitaciones de períodos de retorno elevados. Pero por otra parte, la falta de correlación observada indica que es poco probable que las precipitaciones extremas en la cima del Ávila sean mucho más fuertes que las del Litoral.

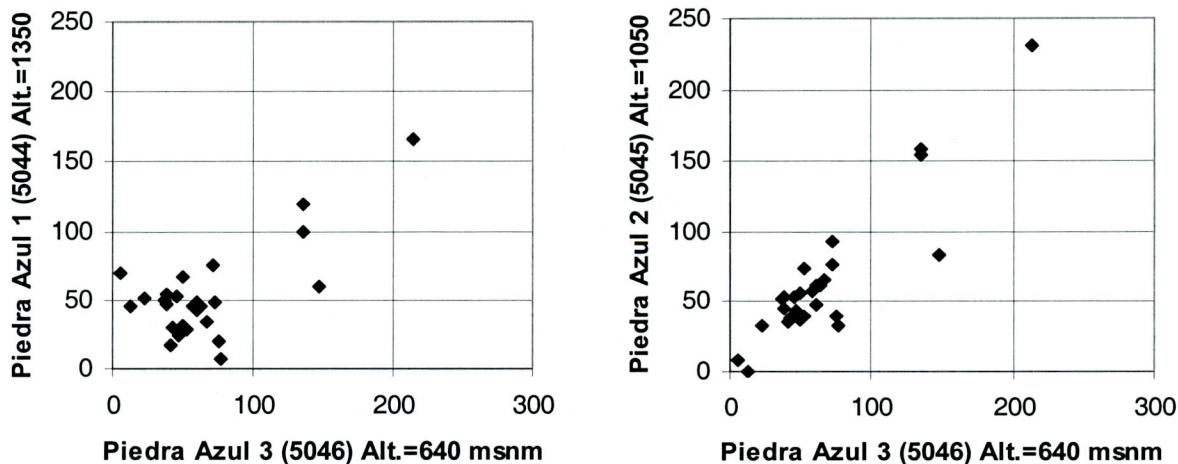


Fig. 3.24: Correlación de precipitaciones de tormentas (más de 50 mm en una de las estaciones)

Ejercicios similares con las series de Piedra Azul 1, Piedra Azul 2 y Piedra Azul 3 (Fig. 3.24), Los Caracas Fila del Indio y otras, permitirían mostrar que tampoco existe una correlación obvia entre estas estaciones, situadas en la parte baja a media de la vertiente, y las estaciones del litoral o de la cima.

Por estas razones, podemos asumir que:

Es posible que exista un crecimiento de la intensidad de las precipitaciones extremas entre el Litoral y las partes altas del Ávila. El factor 2 atribuido al evento de 1951 debería representar un límite superior para el factor involucrado. Es mucho más probable que el factor sea cercano a 1,0 (ausencia de incremento).

### 3.3.3 Variaciones espaciales al sur del Ávila

Variaciones espaciales en la parte central del Valle de Caracas

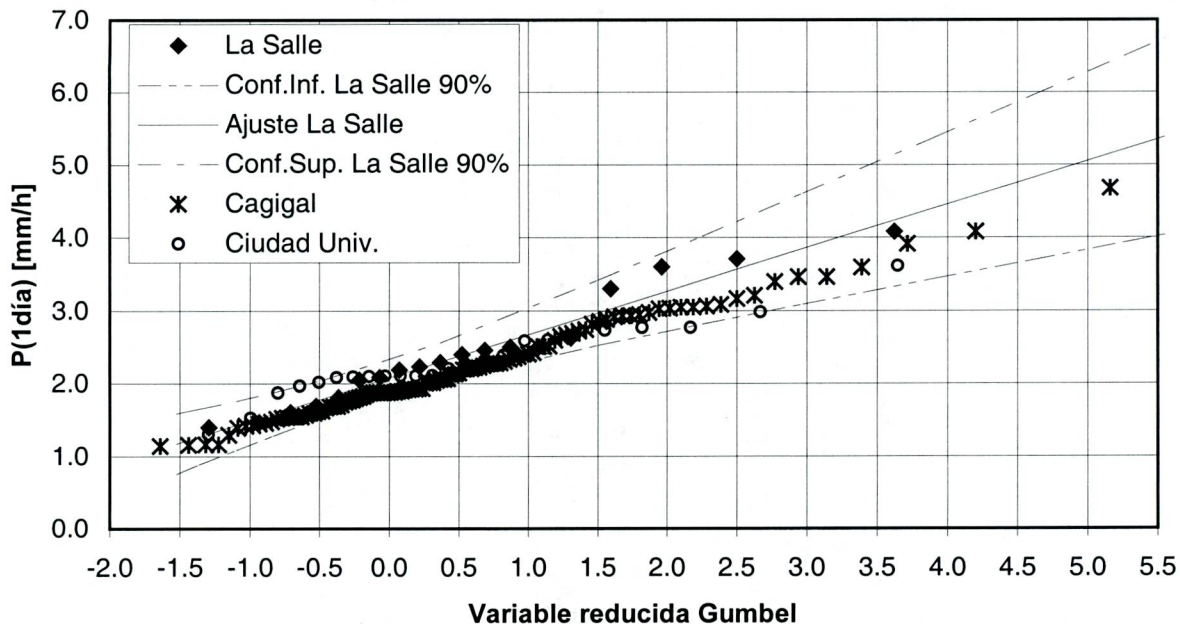


Fig. 3.25: Comparación de las representaciones gráficas de las precipitaciones máximas anuales de 1 día de duración en Caracas - La Salle, Ciudad Universitaria y Cagigal

Como se observa en la Figura 3.25, las distribuciones de probabilidad para La Salle y Ciudad Universitaria no pueden ser consideradas significativamente distintas de la distribución de Cagigal. Se puede asumir entonces:

**Las precipitaciones extremas en la parte central del Valle de Caracas (al oeste del Country Club y de Bello Monte, meridiano 66°52') son iguales a las de Cagigal.**

## Variaciones espaciales en la parte oriental del Valle de Caracas

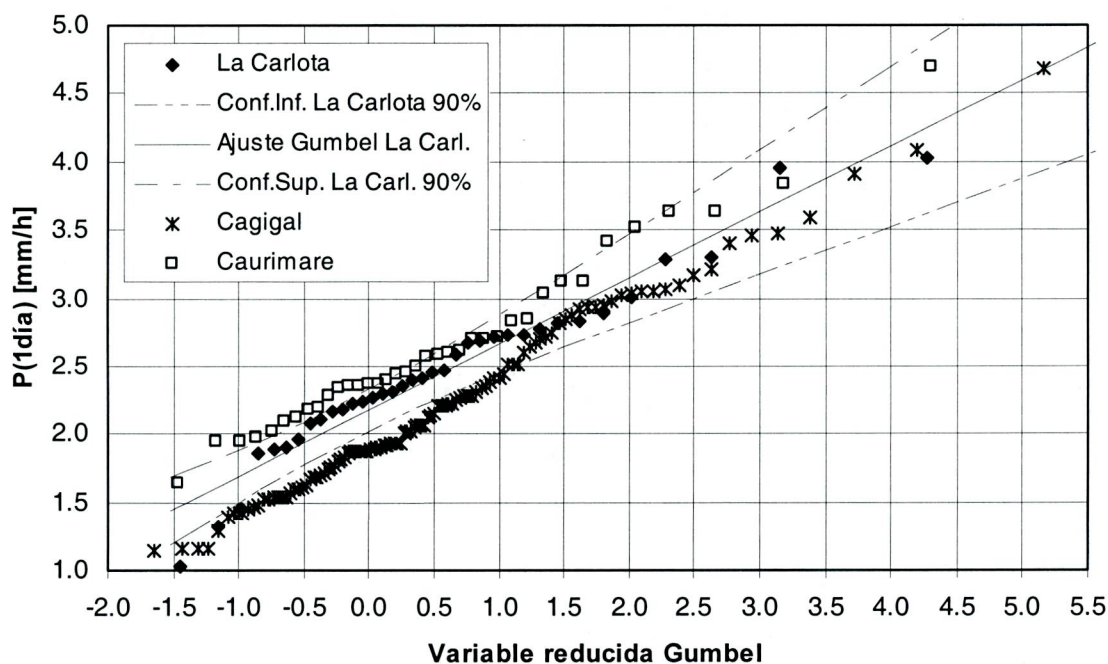


Fig. 3.26: Comparación de las representaciones gráficas de las precipitaciones máximas anuales de 1 día de duración en La Carlota, Caurimare y Cagigal

Las representaciones gráficas de las series de máximos anuales que se observan en la Figura 3.26 permiten observar que las precipitaciones extremas de La Carlota y Caurimare son más fuertes (significativamente) que las de Cagigal, al menos para períodos de retorno de menos de 5 años (variable reducida < 1,5). La diferencia es de 0,4 mm/h, ó 9,6 mm/día, lo que representa un porcentaje variable en función del período de retorno considerado (entre 15 y 30% para la zona de separación en el gráfico).

Para eventos menos frecuentes (variable reducida > 1,5), la distribución que corresponde a Cagigal parece compensar la diferencia mencionada con una pendiente más fuerte que las distribuciones de las dos otras estaciones. Sin embargo, los intervalos de confianza de las otras distribuciones (el intervalo a 90% de La Carlota está representado en el gráfico) no permiten excluir que estas otras estaciones tengan una pendiente similar a la de Cagigal.

La diferencia entre Caurimare y La Carlota no parece ser significativa, y la misma distribución se puede utilizar para estas dos estaciones.

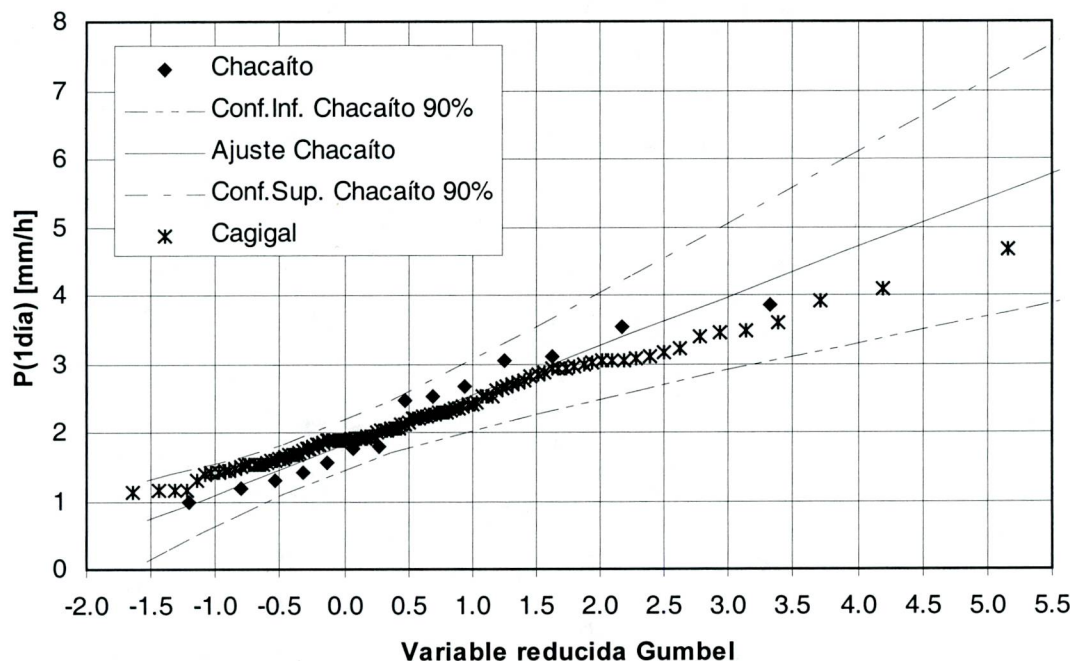
Por las razones expuestas parece prudente asumir que:

**Las precipitaciones extremas en la parte Este del Valle de Caracas (al este del Country Club y de Bello Monte, meridiano 66°52') son 10 mm/día más fuertes que las precipitaciones extremas del mismo período de retorno en Cagigal (esto corresponde a un máximo de 20% más cuando la variable reducida de Gumbel es superior a 1).**

### Estación Chacaito

No existen estaciones en el Ávila con registros largos de precipitación. Chacaito es una de las estaciones que tiene los registros más largos (16 años, de los cuales 2 tienen que descartarse), y está situada a solo 1200 m de altura (a unos 350 m más arriba que la parte baja del valle). Incluso los años no rechazados tienen muchas lagunas (playas de datos faltantes) que en algunos casos suman más de 50 días por año. Sin embargo, casi siempre se dispone del valor

acumulado de precipitación que corresponde a las lagunas, y de este modo se ha podido verificar que la probabilidad de no haber registrado el máximo anual real es baja.

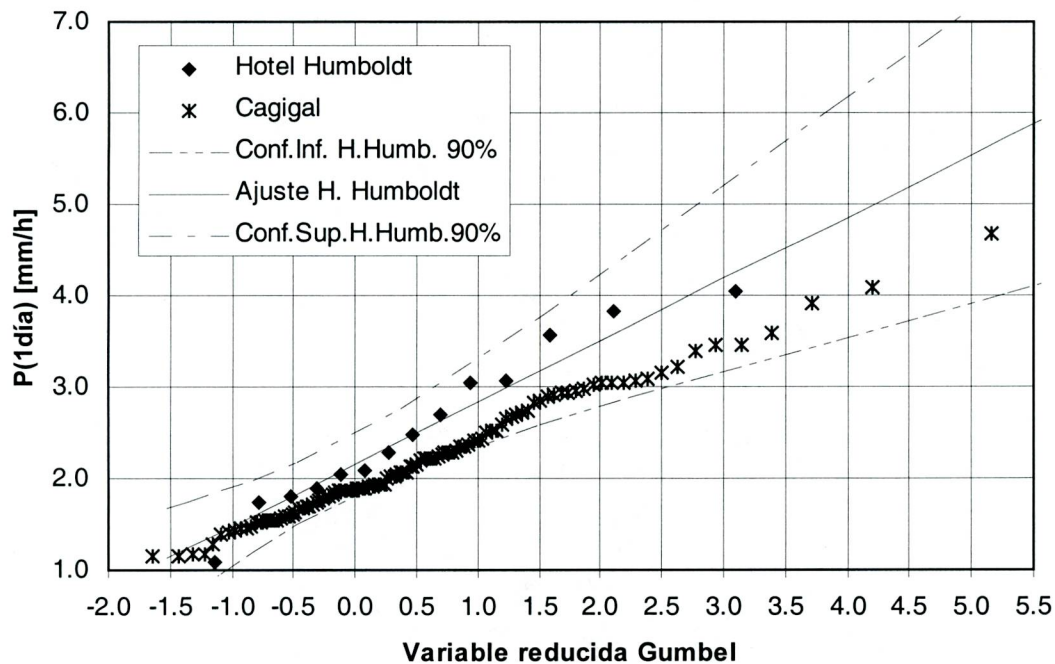


**Fig. 3.27: Comparación de las representaciones gráficas de las precipitaciones máximas anuales de 1 día de duración en Chacaíto (1967 – 1983) y Cagigal**

Como se puede observar en la Figura 3.27, no existe razón de afirmar que la distribución de Chacaíto es diferente de la Cagigal. Pero tampoco se puede descartar que las precipitaciones de Chacaíto sean 20% más fuertes que las de Cagigal.

#### *Estación Hotel Humboldt*

Si se comparan las representaciones gráficas Gumbel de las estaciones Hotel Humboldt y Cagigal (Figura 3.28), se observa que el margen de incertidumbre asociado a la serie del Hotel Humboldt, asumiendo que se trate de una distribución Gumbel, es muy amplio. Parece que se puede descartar que las precipitaciones extremas en la fila del Ávila sean más débiles que en Cagigal. Pero no se puede descartar que sean iguales, ni que sean 20% más fuertes.



**Fig. 3.28: Comparación de las representaciones gráficas de las precipitaciones máximas anuales de 1 día de duración en Hotel Humboldt (1958 – 1974) y Cagigal**

El análisis de correlación de tormentas presentado anteriormente (ver análisis de la vertiente norte), tampoco ha permitido identificar una relación entre las precipitaciones en Hotel Humboldt y las de Caracas.

Por otra parte, no se tiene conocimiento de situaciones meteorológicas que indujeran precipitaciones orográficas pronunciadas sobre la vertiente sur del Ávila, de modo que no existe un proceso físico conocido que incitaría a incrementar notablemente las precipitaciones extremas de la vertiente sur del Ávila en comparación con el Valle de Caracas.

Siendo las precipitaciones extremas de la parte oriental del Valle de Caracas ligeramente más fuertes que las de Cagigal, tomando en cuenta el análisis de los datos del Ávila, y observando que las precipitaciones de diciembre de 1999 han "desbordado", en ciertas partes (partes altas de las cuencas de Catuche, Anauco y Tócome), se puede asumir que:

**Las precipitaciones extremas en la vertiente sur del Ávila son alrededor de un 20% más fuertes que las precipitaciones extremas del mismo período de retorno en Cagigal.**

### **3.4 Variación de la intensidad de precipitación con el área**

Las distribuciones de probabilidad sirven para representar el comportamiento de las precipitaciones extremas en un punto. Cuando se considera la precipitación media de cierta probabilidad para toda una cuenca vertiente, es necesario introducir un factor de reducción de la precipitación puntual, debido al área, porque no suele llover en toda una cuenca con la misma intensidad extrema.

Los datos disponibles no permiten un análisis de la variación de la precipitación con el área. Se necesitaría datos de tormentas extremas de una red relativamente densa de pluviógrafos. A falta de una relación local, será necesario aplicar o transponer relaciones desarrolladas para otras partes del mundo.

Sin embargo, se pueden hacer algunas observaciones:

Se han observado tormentas extremas de poca extensión (algunos kilómetros cuadrados hasta pocas decenas de kilómetros cuadrados), pero también existen, en la zona costera, precipitaciones extremas debidas a fenómenos mucho más extensos (centenas de kilómetros cuadrados), como el que azotó el Estado Vargas en diciembre de 1999. La existencia de estos últimos fenómenos implica una reducción menos fuerte de la intensidad media con el área.

### **3.5 Variación de la intensidad de precipitación con la duración de la lluvia**

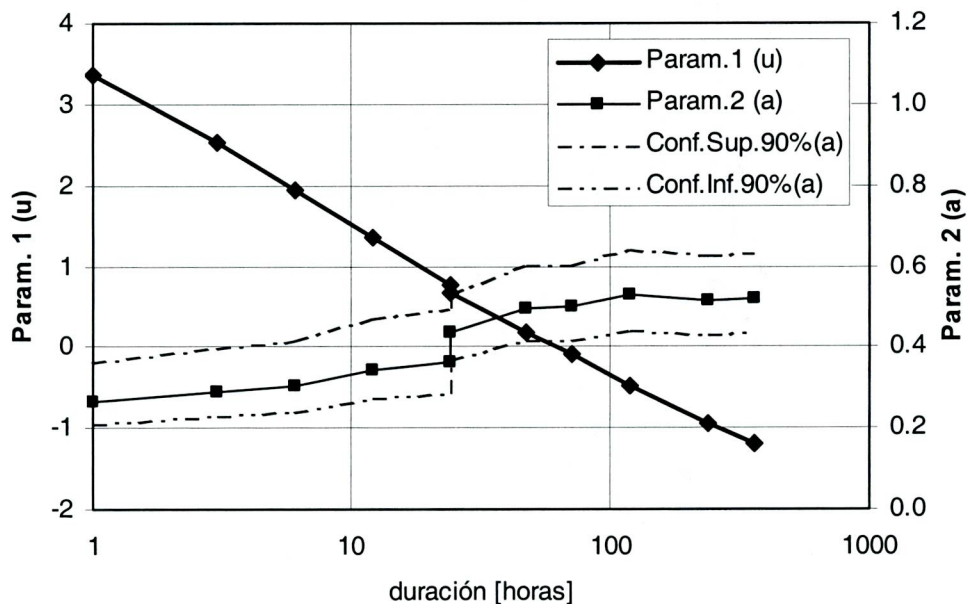
Los máximos anuales de la precipitación media de intervalos de tiempo de cierta duración (5 minutos, 10 minutos, 15 minutos, etc.) decrecen con la duración del intervalo de tiempo considerado. Esto se puede comprobar realizando ajustes de distribuciones para precipitaciones de diferentes duraciones, cuando se dispone de los datos correspondientes. El hecho de que el decrecimiento de la intensidad con la duración es generalmente progresivo puede ser aprovechado para aproximar la relación intensidad-duración con una formulación matemática adecuada, reduciendo de este modo la influencia del muestreo para cada duración (limando asperidades) y proveyendo una herramienta para la interpolación entre duraciones.

Una vez asumido un tipo de distribución (Gumbel, log-Gumbel, etc.), la distribución de probabilidad de las precipitaciones extremas de cierta duración en un punto es definida por sus parámetros (2 en los casos utilizados aquí), que se estiman por algún método (gráfico, de momentos, o de máxima verosimilitud) y la dispersión observada alrededor de la distribución teórica se considera producto del azar. Por consiguiente, el análisis de la variación de la intensidad de las precipitaciones extremas con la duración de la lluvia se puede resumir en un análisis de la variación de los parámetros.

#### *Litoral Central (Maiquetía - Naiguatá)*

Naiguatá es la estación de la costa para la cual se dispone de las series más largas de intensidades de corta duración (inferior a 1 día).

En la Figura 3.29 se presenta la variación de los parámetros de distribuciones log-Gumbel estimados para Naiguatá, en función de la duración de la lluvia.



**Fig. 3.29: Variación, con la duración de la lluvia, de los parámetros de ajustes log-Gumbel a las intensidades máximas anuales de precipitación en Naiguatá (5005) - Puntos observados**

El primer parámetro (u) representa la intersección de la recta de ajuste con el eje de las ordenadas. El segundo parámetro (a) representa la pendiente de la recta de ajuste ( $d \ln(i) / dx$ , donde x es la variable reducida e i es la intensidad). La intensidad correspondiente a un período de retorno T se obtiene determinando primero el valor de la variable reducida que corresponde a T (cuadro siguiente).

T [años]	5	10	20	50	100	200	500	1000
x	1.500	2.250	2.970	3.902	4.600	5.296	6.214	6.907

Se calcula luego:  $i = e^{(u + ax)}$  i en mm/h

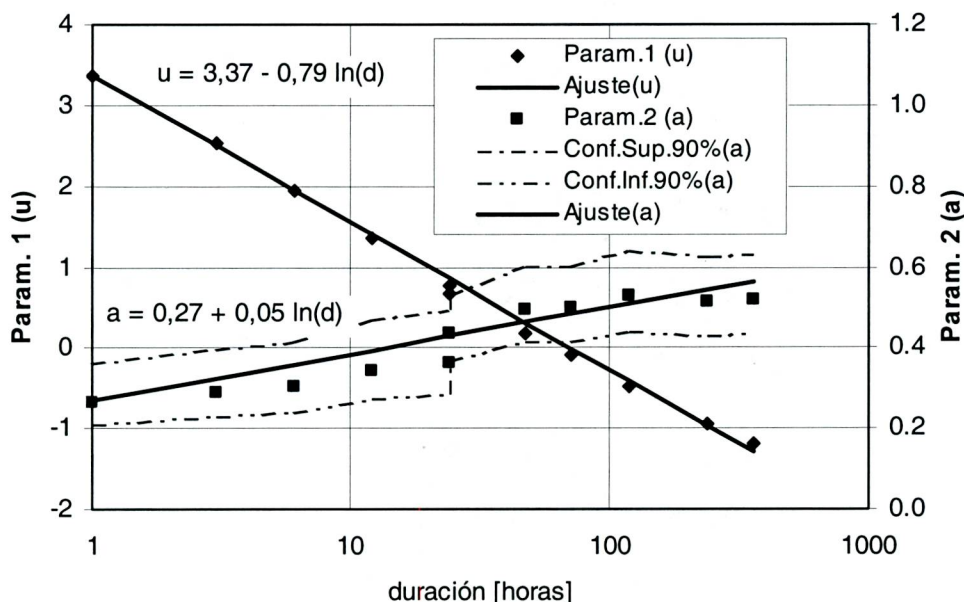
En la Figura 3.29 se observa un salto en ambos parámetros para  $t = 24$  horas. Para esta duración se han representado dos valores: El uno corresponde a los registros pluviográficos (que también constituyen la base para la estimación de los parámetros para duraciones inferiores a 24 horas) y el otro corresponde a los registros pluviométricos diarios (también utilizados para duraciones superiores a 1 día). Se debe notar que las precipitaciones diarias subestiman un poco la precipitación de 24 horas. Se sabe que en otras partes del mundo el factor correspondiente está alrededor de 1,12. Para 2 días y más, este fenómeno se atenúa (la precipitación de 3 días representa bastante bien la precipitación de 72 horas).

Mientras se observa una buena continuidad entre las dos series para el parámetro 1 (para duraciones inferiores y superiores a 24 horas), existe un salto relativamente fuerte para el parámetro 2. Esta discontinuidad no va en el sentido esperado (se esperaría que el valor límite a la derecha de 24 horas sea más bajo). Este fenómeno se debe explicar por la diferencia de origen de los datos (períodos de medición diferentes y también diferencias de calidad).

El parámetro 2 es calculado a partir de la estimación de la varianza de la muestra únicamente, sin tomar en cuenta al promedio. Se puede esperar entonces que la estimación de este parámetro sea más inexacta que la del parámetro 1. Para tener una idea del rango en el cual podría estar el valor real del parámetro 2, se han calculado sus límites de confianza al 90% (suponiendo que para cada duración se hace una estimación independiente de una varianza). Se nota que estos intervalos de confianza permiten aproximar la variación del parámetro 2 (a)

con una recta, sin topar en ningún punto los límites del intervalo de confianza. En el caso del parámetro 1 ( $u$ ), los puntos representados se ajustan casi perfectamente a una recta. Por consiguiente, se puede suponer que las variaciones de ambos parámetros con la duración de la precipitación son lineales.

Los ajustes lineales propuestos se representan en la Figura 3.30. Es necesario tomar en cuenta que los puntos a los cuales se ajustan las rectas no corresponden a observaciones independientes, por lo cual no se justifica la aplicación de un método de ajuste como los mínimos cuadrados. Los ajustes realizados son gráficos.



**Fig. 3.30: Variación, con la duración de la lluvia, de los parámetros de ajustes log-Gumbel a las intensidades máximas anuales de precipitación en Naiguatá (5005) - Ajustes lineales**

Las ecuaciones de las rectas de ajuste para Naiguatá son:

$$u = 3,37 - 0,79 \ln(d)$$

$$a = 0,27 + 0,05 \ln(d) \quad d \text{ en horas}$$

Dada la buena calidad de los ajustes, parece admisible extrapolar ligeramente las relaciones para estimar intensidades de precipitación para duraciones inferiores a una hora.

Aunque las relaciones obtenidas para Naiguatá puedan considerarse buenas estimaciones para las precipitaciones en otras localidades del Litoral entre Maiquetía y Naiguatá, se puede también adaptar estas relaciones a otras localidades para las cuales se dispone de un ajuste confiable para una cierta duración  $d_0$  (por ejemplo 24 horas). Los parámetros de otras duraciones  $d$  se obtienen entonces asumiendo que las pendientes de las rectas que representan la variación de los parámetros son iguales a las de Naiguatá:

$$u(d) = u(d_0) - 0,79 (\ln(d) - \ln(d_0))$$

$$a(d) = a(d_0) + 0,05 (\ln(d) - \ln(d_0)) \quad d \text{ y } d_0 \text{ en horas}$$

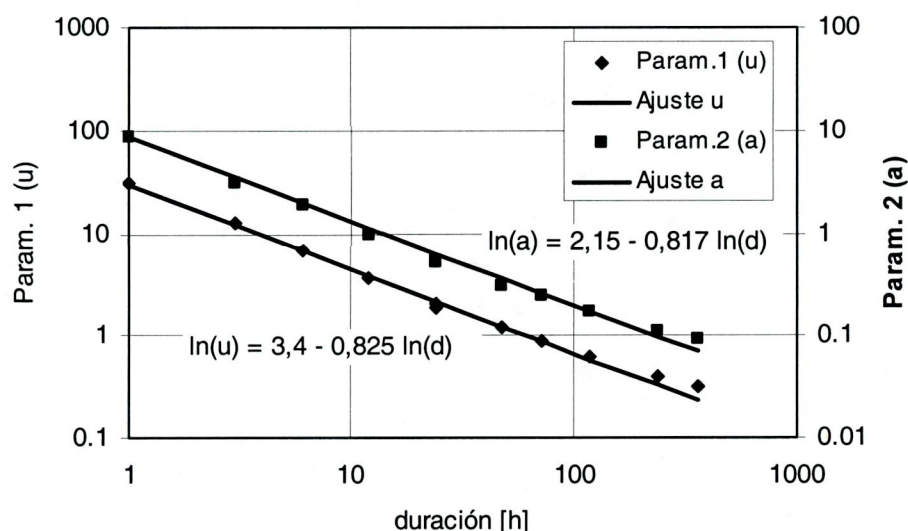
Para *Maiquetía*, se puede usar  $u(24 \text{ horas}) = 0,99$   
 $a(24 \text{ horas}) = 0,364$

Estos valores se obtienen efectuando un ajuste log-Gumbel con la serie de máximos anuales de precipitación diaria de Maiquetía (0502), incluyendo el valor de 1999 para Maiquetía Aeropuerto con un peso reducido (correspondiente al máximo de una serie de 100 años), multiplicada por un factor correctivo de 1,12 para estimar intensidades de 24 horas (en vez de diarias) y dividida para 24 horas para obtener intensidades. Los intervalos de confianza tienen que evaluarse por separado, de considerarse necesario.

#### Valle de Caracas

Cagigal es la estación del Valle de Caracas para la cual se dispone de las series más largas de intensidades de corta duración.

En la Figura 3.31 se presenta la variación de los parámetros de distribuciones log-Gumbel estimados para Cagigal, en función de la duración de la lluvia.



**Fig. 3.31: Variación de los parámetros del ajuste Gumbel con la duración de la lluvia en Cagigal (0531)**

Se observa que en esta representación bi-logarítmica, los puntos correspondientes a los ajustes efectuados se alinean según rectas, cuyas ecuaciones son:

$$u = e^{(3,4 - 0,825 \ln(d))}$$

$$a = e^{(2,15 - 0,817 \ln(d))} \quad d \text{ en horas}$$

Con estas ecuaciones se pueden estimar los parámetros de la distribución que corresponde a una cierta duración  $d$ . Luego se calcula la intensidad a través de:

$$\text{Se calcula luego: } i = u + ax \quad i \text{ en mm/h}$$

donde  $x$  es la variable reducida Gumbel (ver cuadro del párrafo anterior - por ejemplo  $x = 4,6$  para  $T = 100$  años).

Para  $T = 100$  años y una duración de 24 horas, se obtiene por ejemplo 5,12 mm/h ó 123 mm/24horas

### 3.5 Relaciones intensidad-duración-frecuencia

A partir de las relaciones presentadas en el párrafo anterior, se pueden calcular las relaciones intensidad-duración-frecuencia (i-d-f).

*Litoral*

Las relaciones i-d-f para las estaciones de Maiquetía, Macuto y Naiguatá son representadas en las Figuras siguientes.

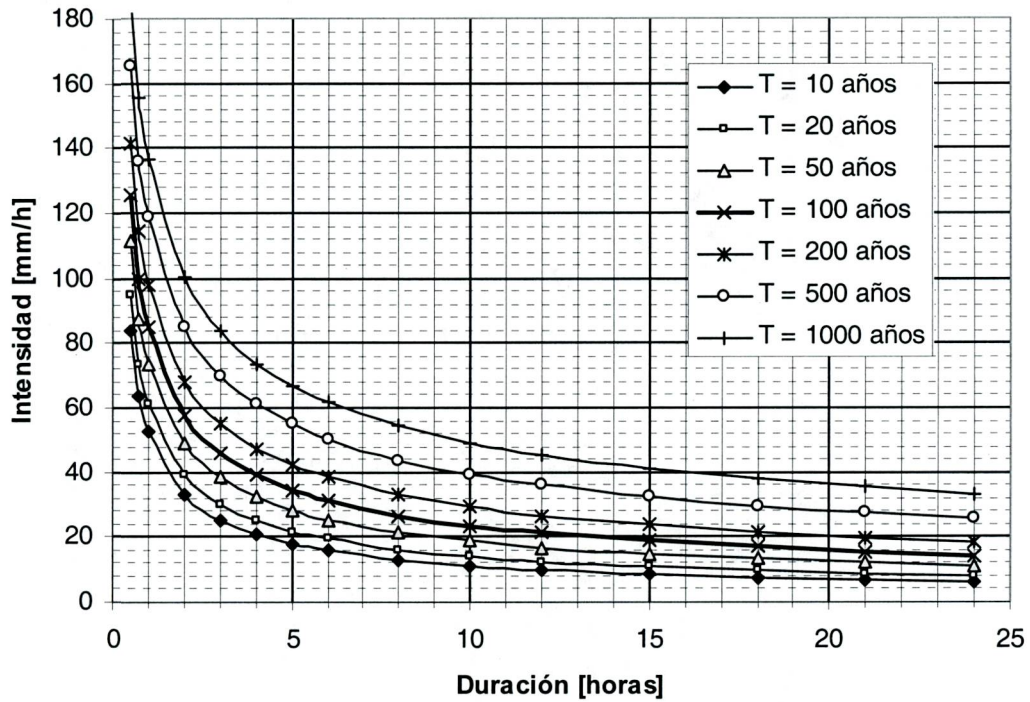


Fig. 3.32: Curvas i-d-f para Maiquetía (distribuciones log-Gumbel)

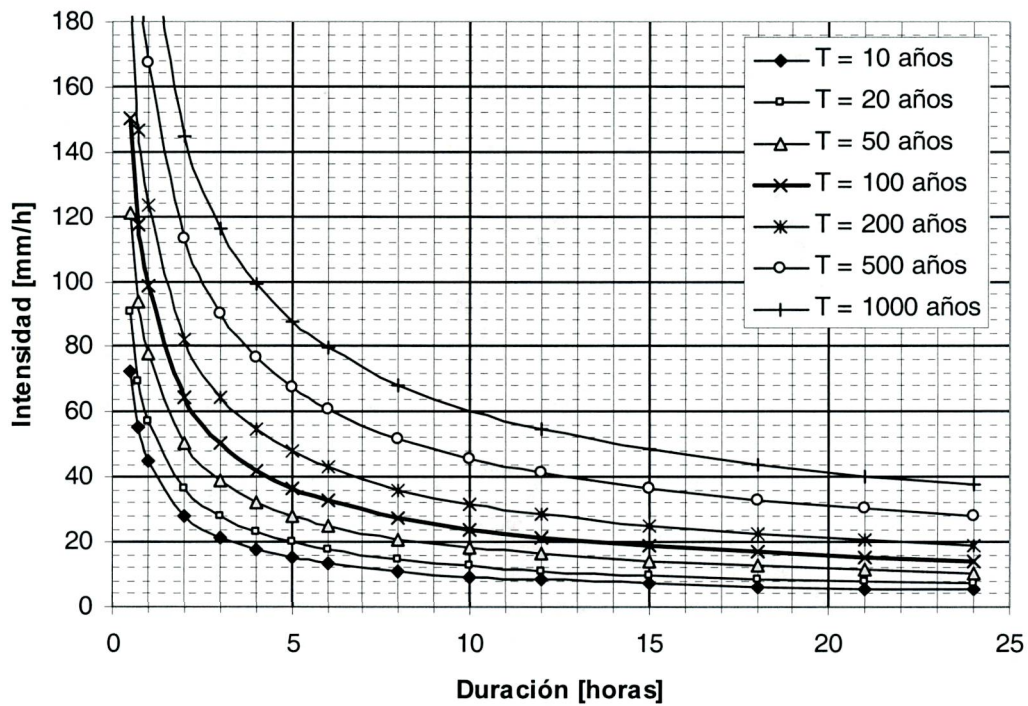


Fig. 3.33: Curvas i-d-f para Macuto (distribuciones log-Gumbel)

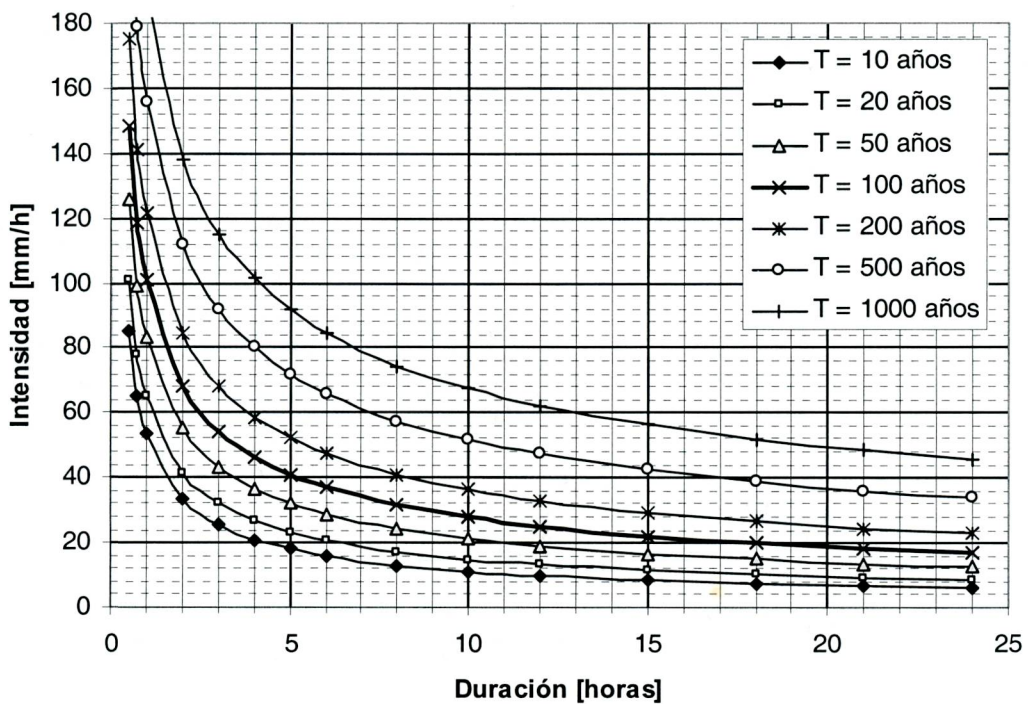


Fig. 3.34: Curvas i-d-f para Naguayá (distribuciones log-Gumbel)

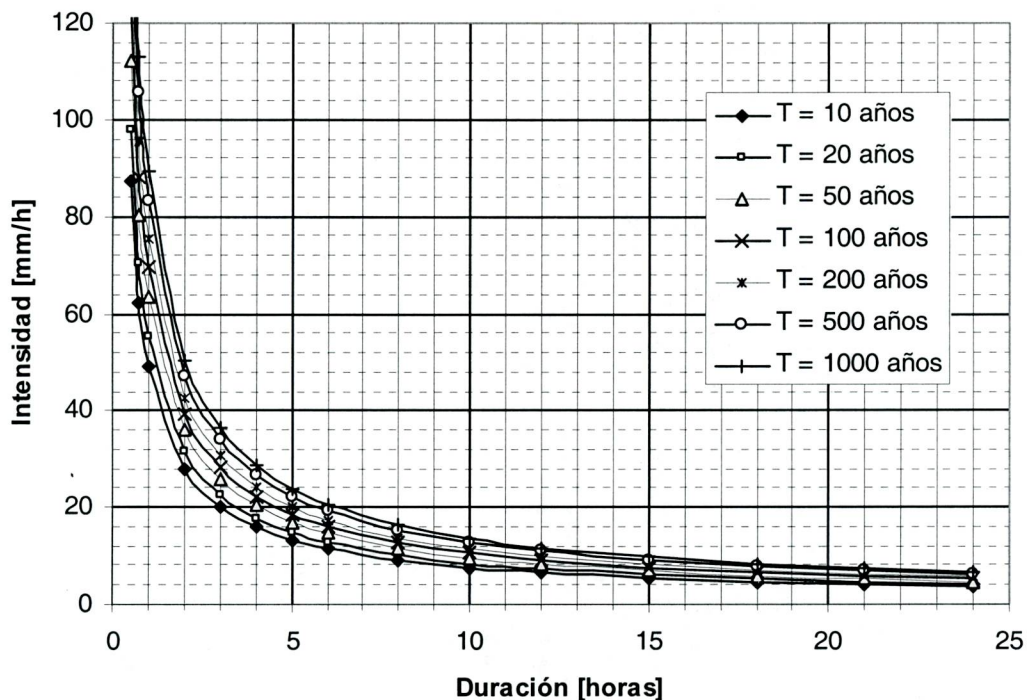


Fig. 3.35: Curvas i-d-f para Cagigal (distribuciones Gumbel)

*Observaciones*

Se observa que una importante variación entre las intensidades de 10 años y de 1000 años de período de retorno para Maiquetía: para 5 horas de duración de lluvia, existe un factor de casi 4. En cambio, la diferencia es mucho más pequeña en el caso de Cagigal, donde la relación es de 1 a 2.

Es necesario enfatizar que el grado de incertidumbre es importante para los períodos de retorno elevados (superiores a 100 años en Maiquetía, superiores a 200 años en Cagigal), debido a la extensión de las series observadas. En particular, es posible que las precipitaciones de períodos de retorno elevados en Cagigal sean mucho más fuertes que las indicadas, debido a la posibilidad de aparición de fenómenos climáticos todavía no observados durante el período de registro.

Los intervalos de confianza para cada punto no se pueden incluir en este tipo de representación. En caso de necesidad, se podrá consultar los intervalos de confianza de ciertos ajustes presentados más arriba.