



Servei Meteorològic  
de Catalunya

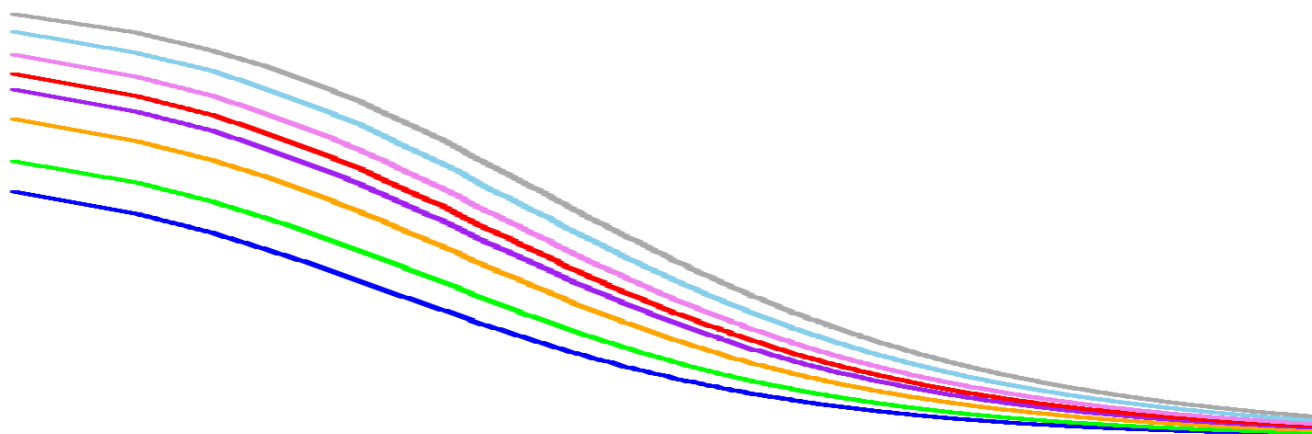


UNIVERSITAT DE BARCELONA

U

B

# ANÀLISI DE LES INTENSITATS MÀXIMES DE PRECIPITACIÓ ALS OBSERVATORIS DE L'EBRE I ESTARTIT. CORBES IDF



Núria Pérez Zanón

Projecte del Màster de Meteorologia 2012

# ANÀLISI DE LES INTENSITATS MÀXIMES DE PRECIPITACIÓ ALS OBSERVATORIS DE L'EBRE, ESTARTIT I FABRA.

## CORBES IDF



Servei Meteorològic  
de Catalunya



**Autora:** Núria Pérez Zanón

**Tutors:** Juan Carlos Peña Rabadán i Angel Redaño Xipell

*Barcelona, Juliol de 2012*

**Abstract.** Knowledge about distribution space and temporal rainfall intensity are essential at hydrology. Engineers have a basic tool for this job, IDF curves (Intensity – Duration – Frequency). In this inform, IDF curves are estimated for rain gauge data set over Catalonia.

**Resum.** A hidrologia és essencial el coneixement del comportament espacial i temporal de la intensitat de pluja. Una de les eines fonamentals pels enginyers són les corbes IDF (Intensitat – Duració – Freqüència). En aquest treball s'obtenen les corbes IDF a partir de les sèries de dades registrades a diversos pluviògrafs de Catalunya.

## ÍNDEX

<b>1</b>	<b>Introducció .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Dades i Mètodes .....</b>	<b>9</b>
2.1	Dades Disponibles .....	9
2.2	Tractament de Dades .....	10
2.3	Generació de la Sèrie de Dades Intensitat – Durada - Freqüència .....	10
2.3.1	Generació de la Sèrie de Dades per a cada Durada .....	12
2.3.2	Anàlisi de Freqüències .....	14
2.3.3	Selecció del Llindar de Precipitació .....	15
2.3.4	Ajust a una Funció de Distribució .....	16
2.3.4.1	Funció de Distribució Log-normal .....	17
2.3.4.2	Funció de Distribució Gamma .....	17
2.3.4.3	Funció de Distribució Generalitzada de Pareto .....	17
2.3.4.4	Funció de Distribució de Pearson tipus III.....	18
2.3.5	Selecció de la Funció Distribució: Prova de Kolmogorov – Smirnov.....	19
2.4	Càlcul de les Corbes IDF .....	19
2.4.1	Ajust a una Equació IDF .....	20
2.4.2	Selecció de l'Equació IDF.....	20
2.4.3	Generalització de les Corbes IDF .....	21
2.4.3.1	Generalització a un Paràmetre .....	22
2.4.3.1.1	Ajust Logarítmic a un Paràmetre .....	22
2.4.3.1.2	Ajust Potencial a un Paràmetre.....	22
2.4.3.2	Generalització a dos Paràmetres .....	22
<b>3</b>	<b>Aplicació a l'Observatori Ebre .....</b>	<b>23</b>
3.1	Dades Disponibles .....	24
3.2	Tractament de Dades .....	25
3.2.1	Validació del Programari .....	25
3.2.2	Control de Qualitat de la Sèrie .....	27
3.2.2.1	Validació de la Precipitació Acumulada Diària pel Pluviògraf.....	27
3.2.2.2	Completesa del Registre.....	31
3.3	Generació de la Sèrie de Dades Intensitat – Durada – Freqüència .....	32
3.3.1	Generació de la Sèrie de Dades per a cada Durada .....	32
3.3.2	Selecció del Llindar de Precipitació .....	35
3.3.3	Ajust a una Funció de Distribució .....	40
3.4	Càlcul de les Corbes IDF .....	45
3.4.1	Selecció de l'Equació IDF.....	45
3.4.2	Ajust a l'Equació de Bernard .....	46
3.4.3	Ajust a l'Equació de Sherman.....	47
3.4.4	Generalització de les Corbes IDF .....	48
3.4.4.1	Generalització a un Paràmetre .....	48
3.4.4.2	Generalització a dos Paràmetres .....	51

3.5	Anàlisi dels episodis extrems .....	57
4	Aplicació a l'Estació de l'Estartit.....	62
4.1	Dades Disponibles .....	64
4.2	Tractament de Dades .....	64
4.2.1	Validació Programari .....	64
4.2.2	Control de Qualitat de la Sèrie .....	65
4.2.2.1	Validació de la Precipitació Acumulada Diària pel Pluviògraf .....	66
4.2.2.2	Completesa del Registre Minutal .....	67
4.3	Generació de la Sèrie de Dades Intensitat – Durada – Freqüència .....	69
4.3.1	Generació de la Sèrie de Dades per a cada Durada .....	69
4.3.2	Selecció del Llindar de Precipitació .....	72
4.3.3	Ajust a una Funció de Distribució .....	76
4.4	Càlcul de les Corbes IDF .....	81
4.4.1	Selecció de l'Equació IDF.....	81
4.4.2	Ajust a l'Equació de Bernard .....	82
4.4.3	Ajust a l'Equació de Sherman.....	83
4.4.4	Generalització de les Corbes IDF .....	84
4.4.4.1	Generalització a un Paràmetre .....	84
4.4.4.2	Generalització a dos Paràmetres .....	87
4.5	Anàlisi dels episodis extrems .....	92
5	Aplicació a l'Observatori Fabra .....	97
5.1	Dades disponibles .....	98
5.2	Tractament de Dades .....	99
5.2.1	Validació del Programari .....	99
5.2.2	Control de Qualitat de la Sèrie .....	99
5.2.2.1	Validació de la Precipitació Acumulada Diària pel Pluviògraf .....	99
5.2.2.2	Completesa del Registre.....	103
5.3	Generació de la Sèrie de Dades Intensitat – Durada – Freqüència .....	103
5.3.1	Generació de la Sèrie de Dades per a cada Durada .....	103
5.3.2	Selecció del Llindar de Precipitació .....	106
5.3.3	Ajust a una Funció de Distribució .....	110
5.4	Càlcul de les Corbes IDF .....	115
5.4.1	Selecció de l'Equació IDF.....	115
5.4.2	Ajust a l'Equació de Bernard .....	116
5.4.3	Ajust a l'Equació de Sherman.....	117
5.4.4	Generalització de les Corbes IDF .....	118
5.4.4.1	Generalització a un Paràmetre .....	118
5.4.4.2	Generalització a dos Paràmetres .....	121
5.5	Anàlisi dels episodis extrems .....	125
6	Conclusions.....	131

<b>7</b>	<b>Bibliografia .....</b>	<b>137</b>
<b>8</b>	<b>Apèndix A: Programari Tractament de dades .....</b>	<b>141</b>
<b>A.1</b>	<b>Registre Minutal.....</b>	<b>141</b>
<b>A.2</b>	<b>Sèrie de Dades per a cada Durada .....</b>	<b>146</b>
<b>9</b>	<b>Apèndix B: Programari Estadístic .....</b>	<b>149</b>
<b>B.1</b>	<b>Selecció del Llindar de Precipitació.....</b>	<b>149</b>
<b>B.2</b>	<b>Selecció de la Funció de Distribució.....</b>	<b>150</b>
<b>B.3</b>	<b>Corbes IDF.....</b>	<b>154</b>
<b>B.4</b>	<b>Generalització de les Corbes IDF .....</b>	<b>157</b>

## 1 Introducció

Els esdeveniments extrems, meteorològics i climàtics, han rebut una atenció especial durant els darrers anys degut a la pèrdua de vides humanes i l'augment exponencial de les pèrdues econòmiques associades (Easterling et al., 2000). A més, la societat és més vulnerable als esdeveniments de temps extrem, ja que hi ha hagut un augment de la vulnerabilitat de bens i persones per un creixement cap a àrees exposades a les inundacions, efectes perjudicials de les tempestes i situacions extremes de fred o calor (Easterling et al, 2000).

Els esdeveniments extrems es classifiquen segons l'agent principal que els produeix: geològic, geomorfològic, meteorològic i hidrològic. Tanmateix, aquesta classificació és força complexa, donat que en molts casos els perills naturals interactuen entre ells mateixos i amb les activitats humanes. Per exemple, les esllavissades són un perill natural que a la majoria dels casos es presenta induït per l'ocurrència d'altres factors, com són els terratrèmols, el vulcanisme o les pluges torrencials, a més de les activitats humanes com la construcció de talussos a infraestructures lineals.

La predicció d'un perill natural pot donar-se a tres nivells: espacial (on es pot produir?), freqüència – intensitat (amb quin recurrència i de quin grau destructiu?) i temporal (quan succeirà?). L'estudi integrat d'aquestes qüestions constitueix una anàlisi genèrica d'"Avaluació de la perillositat". La predicció de la freqüència d'ocurrència del fenomen, i de la seva intensitat, s'estudia mitjançant tècniques estadístiques assumint models probabilístics. Les dades emprades poden provenir de fonts molt diferents: cròniques antigues que expliquen l'ocurrència d'algun fenomen natural passat; dades obtingudes d'instruments sensibles que registren fins i tot els esdeveniments de menor intensitat; i dades inferides d'un registre geològic (Bilbao et al, 2006).

Cal tenir en compte que, tant a Europa com a Espanya el risc natural més important són les inundacions (Bilbao et al, 2006). Estan produïdes per fenòmens meteorològics ocasionals o estacionals, en què la intensitat de la inundació dependrà de les característiques geomorfològiques del territori i les activitats humanes desenvolupades sobre aquest (Bilbao et al, 2006). A més, les inundacions donen lloc a altres processos com són les esllavissades de vessants, desprendiments de terreny (Cardinali et al, 2006; Knapp et al., 2008) i l'erosió del sòl (Beuselindk et al, 2000). Els esdeveniments d'inundacions intenses poden arrastrar tot tipus de materials, provocant gran destrosses al seu pas i empitjorar la situació amb la obstrucció de conductes naturals o artificials de drenatge, allargant el temps d'exposició al risc. Altres problemàtiques són les degudes a la modificació del paisatge que provoca variacions en la resposta hidrològica als fenòmens de precipitació extrema, com la construcció de preses, dics i altres projectes destinats al control d'inundacions. Finalment, els esdeveniments de tempestes severes i les inundacions poden ser especialment devastadors pels cultius: l'excessiva humitat del terreny pot crear condicions anòxiques (disminució de la concentració d'oxigen), fomenta la difusió de malalties i insectes, i dificulta el treball amb maquinària agrícola (National Wildlife Federation, 2008).

L'objectiu del present treball és l'estudi dels esdeveniments de precipitacions intensos susceptibles de provocar avingudes i inundacions. En hidrologia urbana i regional, l'anàlisi de les dades d'intensitat de pluja és necessari pel càlcul de les corbes d'intensitat, duració i freqüència (corbes IDF, Vázquez et al, 1987) que es fan servir per càlculs de caudals. També, resulta necessari el disseny de hietogrames, que representen la precipitació en funció del temps, com a entrada dels models hidrològics implementats per a diferents conques hidrogràfiques (Felipe i Ordóñez, 2007).

Fora de les nostres fronteres l'estudi de la precipitació mitjançant les corbes IDF ha estat ampliament utilitzat. Chow (1994) va classificar les diferents expressions de les corbes IDF emprades a diferents localitats d'Estats Units. Les primeres publicacions van ser les de Talbot al 1904 (Remenieras, 1960), que després van continuar Besson i Sherman a l'any 1931 i Bernard l'any 1932 (Ghahraman et al, 2005). Als darrers anys aquest mateix anàlisi s'esta implementant arreu del món per la seva reconeguda importància per a l'estudi hidrològic, d'enginyeria urbana i civil, càlculs de caudals, o anàlisi del risc en esdeveniments de precipitació (Vázquez et al., 1987). Per exemple, han estat determinades per diferents metodologies a Iran (Ghahraman, 2005), a Vietman per la seva alta necessitat en trobar-se a la zona del Monsó (Minh Nhat et al, 2006), a Israel on es van comparar diferents mètodes de càlculs estadístics (Ben-Zvi, 2008), o a la ciutat de Londres, al Canadà, on s'ha comprovat que els patrons de precipitació varien degut al canvi climàtic (Solaiman i Simonovic, 2011). D'altre banda trobem anàlisis multifractals de la precipitació (Bendjoudi et al, 1997; Castro et al, 2004).

L'estudi de les avingudes a Espanya es va començar a generalitzar a partir de la dècada dels 70, amb publicacions com la "Guia per al càlcul hidrometeorològic de caudals màxims" (Témez, 1978) o estudis dels recursos hídrics (Toran i Alberto, 1977). Aquest tipus d'anàlisis també es van fer per a diverses regions de Catalunya (Martinez, 1971). Posteriorment trobem publicacions del Ministeri d'Obres Públiques per al càlcul de caudals i determinació de les corbes IDF (Ferrer, 1993), estudis de les pluges màximes diàries a l'Espanya peninsular (Santamaria et al, 1999) o, més recentment, aproximacions al problema des d'un punt de vista fractal (García Marín, 2007).

La precipitació a Catalunya, amb mitjanes anuals que van des de menys de 400 mm, a les planes baixes de Lleida, fins a més de 1250 mm a certs indrets del Pirineu, presenta una alta variabilitat i intensitat, i un sorprenent ventall de règims estacionals, amb màxims a la tardor, a la primavera i, fins i tot, a l'àrea pirinenca i prepirinenca, a l'estiu (Martin-Vide et al, 2010). A més, la precipitació que es registra a zones de clima mediterrani, com és el cas de Catalunya, procedeix amb molta freqüència de núvols convectius i, per tant, es caracteritza per la variació ràpida de la seva intensitat, tant espacial com temporalment (Vázquez et al., 1987).

Una de les fonts de dades meteorològiques més importants a Catalunya es troba a l'Observatori Fabra, que disposa d'un dels registres d'intensitat de precipitació més llargs de tot el món, generat a partir del pluviògraf d'intensitat de precipitació Jardí (1927), el qual s'ha fet servir en nombrosos treballs d'estudi d'aquesta variable. Les corbes IDF, segons aquest

registre, han estat determinades en diversos treballs (Vazquez et al, 1987; Casas, 2005). Altres autors, han desenvolupat corbes IDF estacionals amb la mateixa font de dades (Llassat, 2001), o classificar el tipus de precipitació segons diferents paràmetres que mostren l'origen convectiu de la precipitació a Catalunya (Llassat, 1997; Llassat, 2001). Alguns d'aquests treballs i també d'altres, han estudiat la variabilitat de la precipitació arreu de Catalunya mitjançant altres formes d'estudi per a registres de precipitació diari (Casas et al, 2007) o mensuals (Lana et al, 2001) als quals a més d'un estudi en freqüència de la precipitació, utilitzen altre tipus de metodologia com poden ser el anàlisi en components principals.

Per a la determinació de les corbes IDF trobem dos mètodes estàndard: mitjançant models empírics (Elías i Ruiz, 1979; Ferrer i Ardiles, 1994), que relacionen les precipitacions màximes en 24 hores amb les intensitats horàries de precipitació; o a partir de registres de precipitació procedents de pluviògrafs o pluviòmetres automàtics, als quals s'estudia la intensitat de precipitació mitjançant l'anàlisi de la freqüència amb què es produeixen episodis de pluja extrema (Chow et al, 1994). Mitjançant aquest darrer procediment, en què les corbes IDF són de naturalesa probabilística, es determinaran les corbes IDF al present treball.



## 2 Dades i Mètodes

S'ha dissenyat un mètode unívoc i sistemàtic per tal de dur a terme l'estudi de les precipitacions màximes i la determinació de les corbes IDF que es descriu a continuació.

### 2.1 Dades Disponibles

Es disposa del registre de precipitacions de dos pluviògrafs de sífó ubicats a les estacions de l'Ebre i l'Estartit, i del pluviògraf d'intensitats Jardí de l'Observatori Fabra. La descripció del tractament de les dades per obtenir un registre minutal als dos primers observatoris s'inclou a continuació. El pluviògraf Jardí, en canvi, a rebut un tractament diferent en disposar d'un registre ja treballat per l'empresa CLABSA. Un cop obtingut el registre minutal, les dades i mètodes descrites són equivalents per a tots els observatoris.

Les bandes dels pluviògrafs de l'Observatori de l'Ebre i l'Estartit han estat digitalitzades per tècnics de l'Observatori de l'Ebre. Al procés de digitalització es distingeixen dos passos: l'escanejat de les bandes i el procés de digitalització, entès aquest últim com la transformació a un conjunt de valors numèrics de temps i precipitació, en format digital, que descriuen el registre de precipitació contingut a les bandes.

A partir de les bandes escanejades (*figura 1*) van crear un arxiu de precipitació acumulada designat segons la data d'inici de la banda com *bddmmaaa.dat*, on *dd* indica el dia, *mm* el mes i *aaa* l'any sense el dígit de milers.

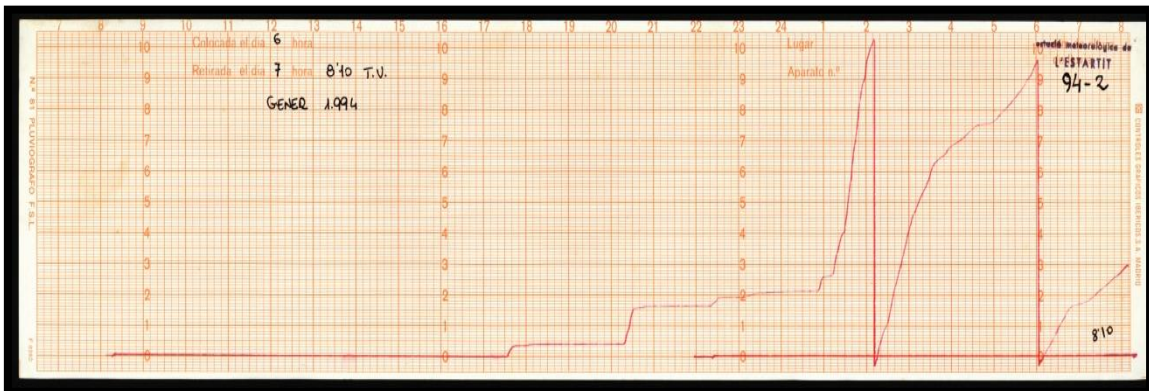
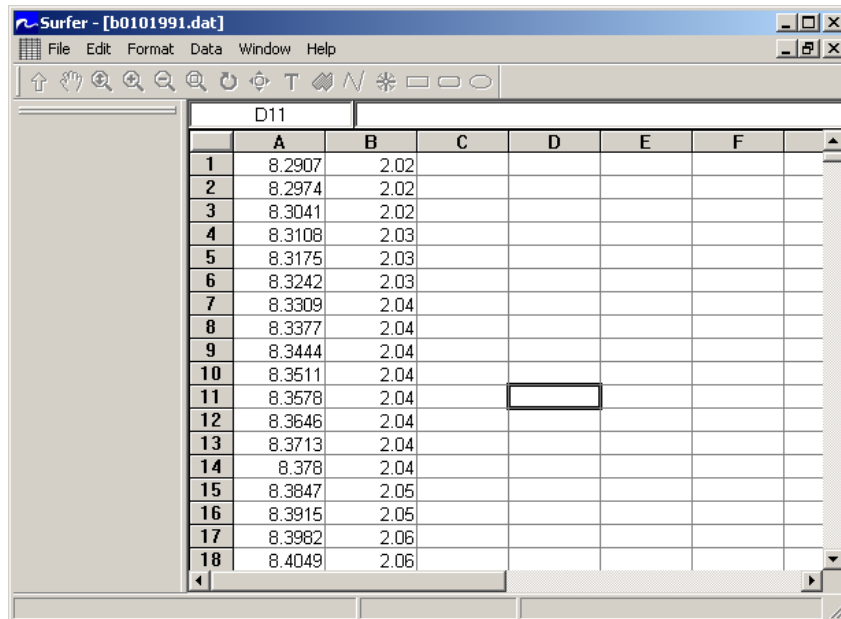


Figura 1: Exemple de banda del pluviògraf d'Estartit escanejada del dia 6 de gener de 1994.

A la *figura 2*, podem veure que el registre consta de parelles de valors, on la primera columna indica l'instant de temps en hores i la segona columna la precipitació acumulada fins aquell instant en mm. La variable temporal pertany al rang [8 – 32]h, amb 4 xifres decimals, mentre que la precipitació ve donada amb 2 xifres decimals.



	A	B	C	D	E	F
1	8.2907	2.02				
2	8.2974	2.02				
3	8.3041	2.02				
4	8.3108	2.03				
5	8.3175	2.03				
6	8.3242	2.03				
7	8.3309	2.04				
8	8.3377	2.04				
9	8.3444	2.04				
10	8.3511	2.04				
11	8.3578	2.04				
12	8.3646	2.04				
13	8.3713	2.04				
14	8.378	2.04				
15	8.3847	2.05				
16	8.3915	2.05				
17	8.3982	2.06				
18	8.4049	2.06				

Figura 2: Exemple de registre digitalitzat de la banda del dia 1 de gener de 1991 de l'Estartit amb nom del fitxer b0101991.dat.

## 2.2 Tractament de Dades

Amb l'objectiu de treballar més còmodament es proposa generar un registre minutal de precipitació. D'aquesta manera s'estalvia memòria i s'eviten possibles errors al registre derivats de la digitalització. El registre minutal es genera mitjançant un programa en *Visual Basic* donant lloc a un únic arxiu anomenat *registre\_nomestació.txt*.

Per a cada banda digitalitzada es busca l'instant en que s'acumula 0.1 mm o més. Després es suma la precipitació que s'hagi produït durant el mateix minut. Tot això es fa vigilant que dies consecutius de precipitació es guardin successivament. A la *figura 3* es mostra un esquema general del programa, mentre que a *l'apèndix A*, es mostra el codi en Visual Basic i el diagrama de flux. D'aquesta manera s'obté un registre minutal de precipitació.

## 2.3 Generació de la Sèrie de Dades Intensitat – Durada - Freqüència

La informació provinent d'un pluviògraf de sífó és de gran importància en l'estudi de la climatologia de la intensitat de la pluja d'un lloc. Els registres més llargs de dades de precipitació provenen de pluviòmetres totalitzadors, que aporten informació sobre la precipitació recollida en 24 hores però no sobre la seva distribució temporal. Actualment, gràcies a la implantació de noves tecnologies com les estacions automàtiques, és possible gaudir d'informació sobre la precipitació acumulada en un lloc en intervals de temps molt petits de l'ordre de un minut o inferior. El problema radica en que aquests registres encara no són prou llargs en el temps per poder realitzar estudis climàtics. Per tant, el registre d'aquests

pluviògrafs és ben valuós, facilitant-nos informació tant de la precipitació acumulada com de la forma en que ha estat succeïda a cada esdeveniment de pluja.

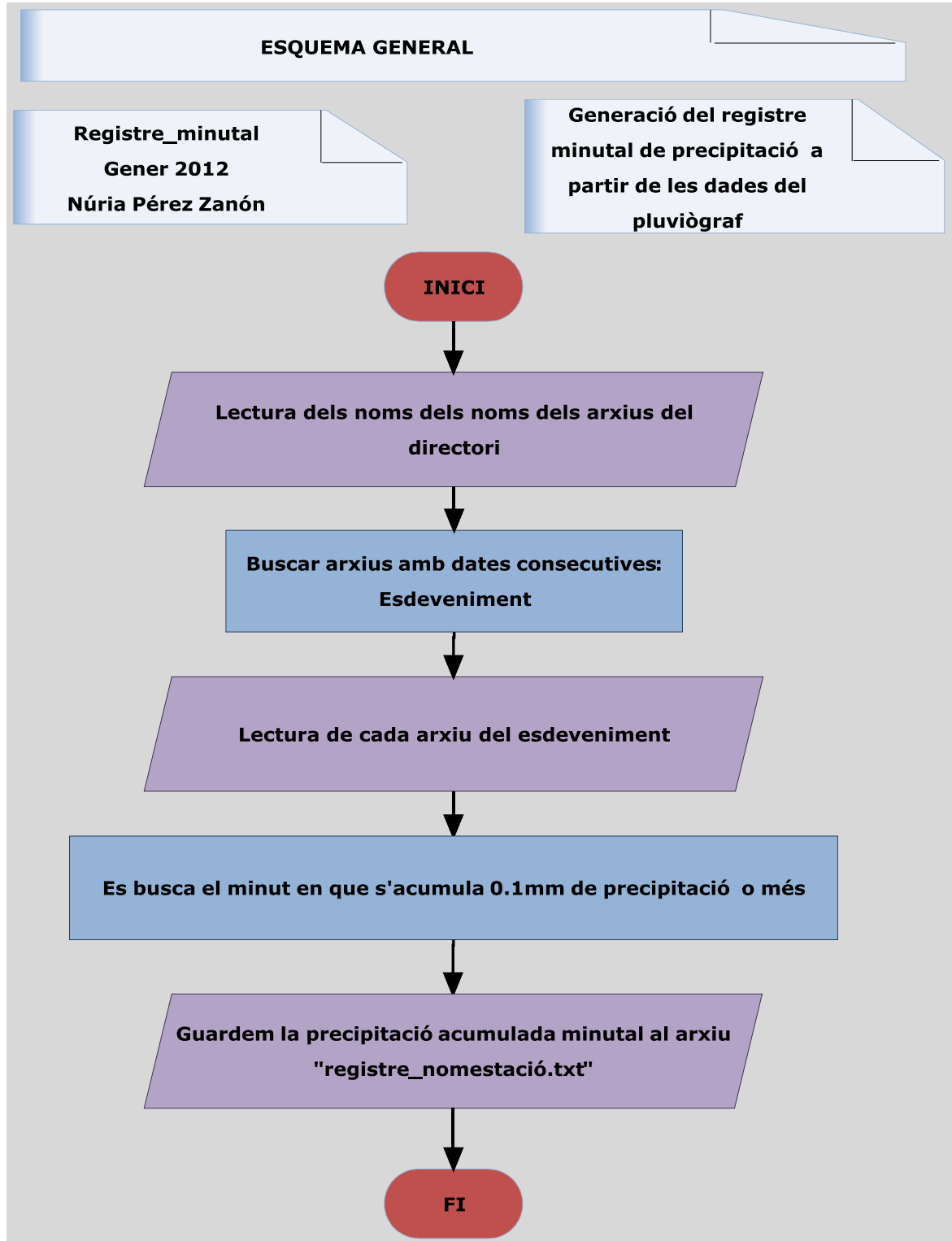


Figura 3: Esquema del programa generador del registre minutal.

### 2.3.1 Generació de la Sèrie de Dades per a cada Durada

Per estudiar les precipitacions màximes i determinar les intensitats màximes de pluja per a diferents intervals de temps a aquestes localitats, és necessari obtenir unes sèries de dades de precipitació per a cada durada desitjada a partir del registre minutal obtingut. Les durades ( $t$ ) que en aquest cas ens proposem analitzar van de 5 minuts a 2 hores en passos de 5 minuts, i de 3 a 24 hores cada 3 hores.

A continuació es descriu el programa informàtic que calcula la màxima quantitat de precipitació recollida als intervals de temps de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 105, 110, 115, 120, 180, 360, 540, 720, 900, 1080, 1260, 1440 minuts per a cada ruixat individual (*figura 4*), considerant-ne aquest com qualsevol episodi de precipitació separat temporalment de la resta una distància major que l'interval de temps que s'estigui considerant (*figura 5*). Als casos en què dos o més ruixats es trobin separats un temps menor que el de l'interval que s'estudia, s'han tractat com dos o més parts integrants d'un ruixat únic (Casas, 2005).

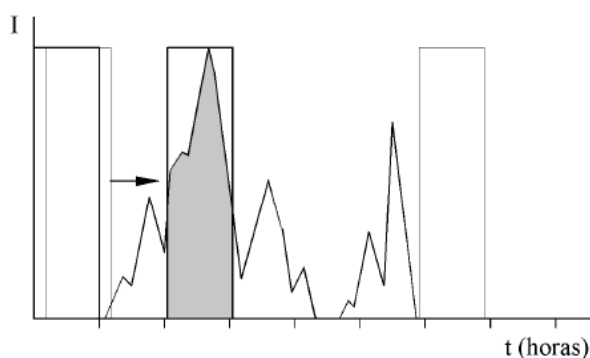


Figura 4: La zona ombrada representa l'interval de una hora amb la major quantitat de precipitació registrada durant el ruixat (Casas, 2005).

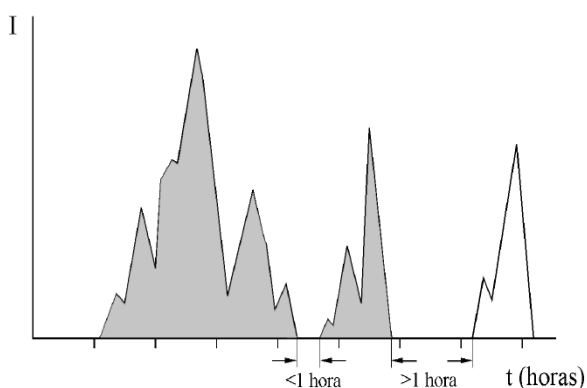


Figura 5: Exemple de separació d'esdeveniments per a una duració de 60 minuts: la zona ombrada es considera com un únic ruixat, donat que la separació entre els dos valors de precipitació nul·la és inferior a l'interval considerat de 1 hora (Casas, 2005).

Es crea doncs, un programa que genera la sèrie de dades de precipitació màximes acumulades (*Apèndix A*). Aquest determina l'inici i el final de cada esdeveniment de precipitació segons la

durada, i en aquest període calcula la precipitació màxima acumulada a aquesta durada (figura 6).

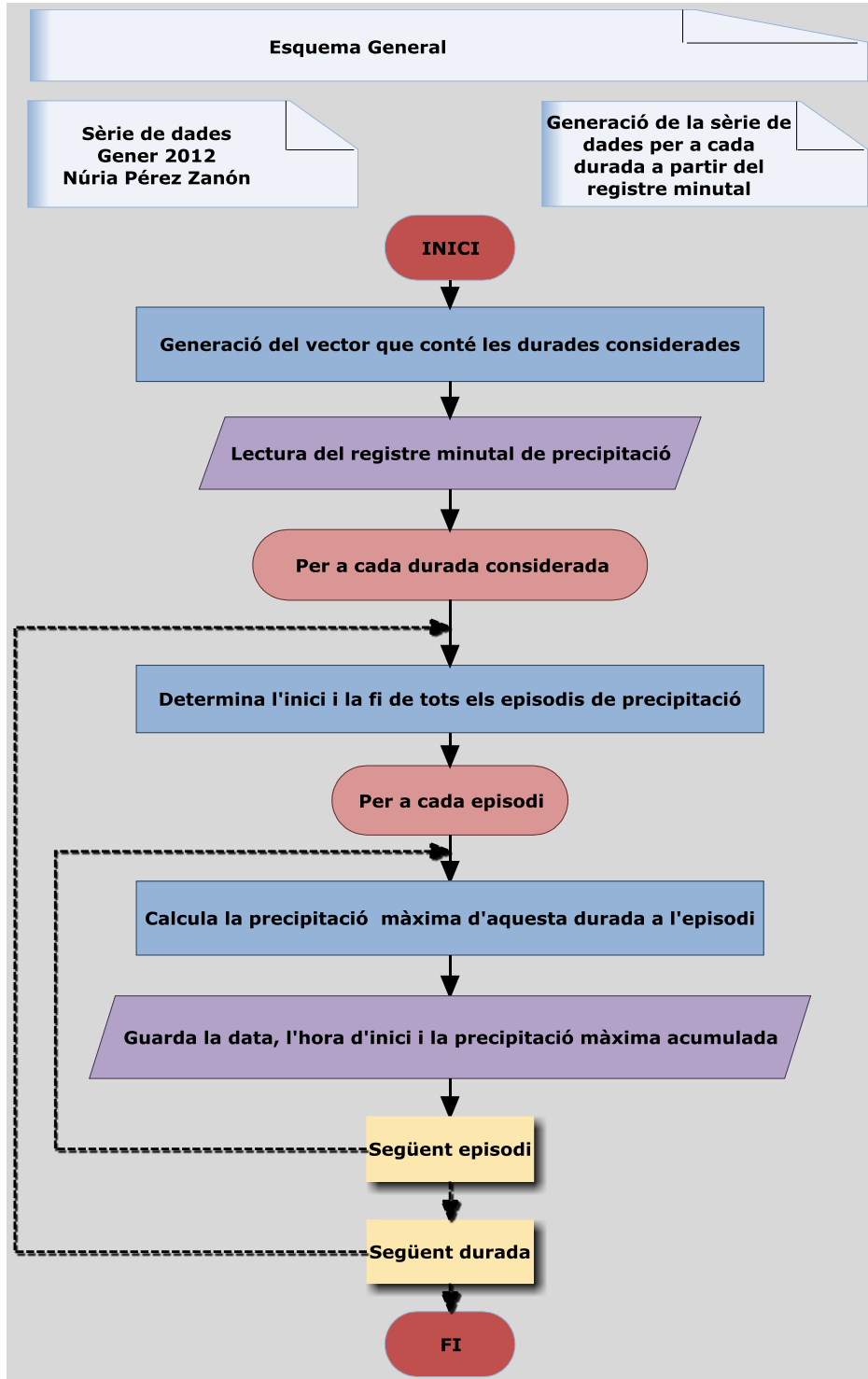


Figura 6: Esquema del programa generador de la sèrie de dades.

### 2.3.2 Anàlisi de Freqüències

Per a cada durada (5, 10, 15,...minuts), es pot construir un histograma de freqüència separant en intervals les precipitacions observades i comptant el nombre d'esdeveniments succeïts de cada classe (figura 7).

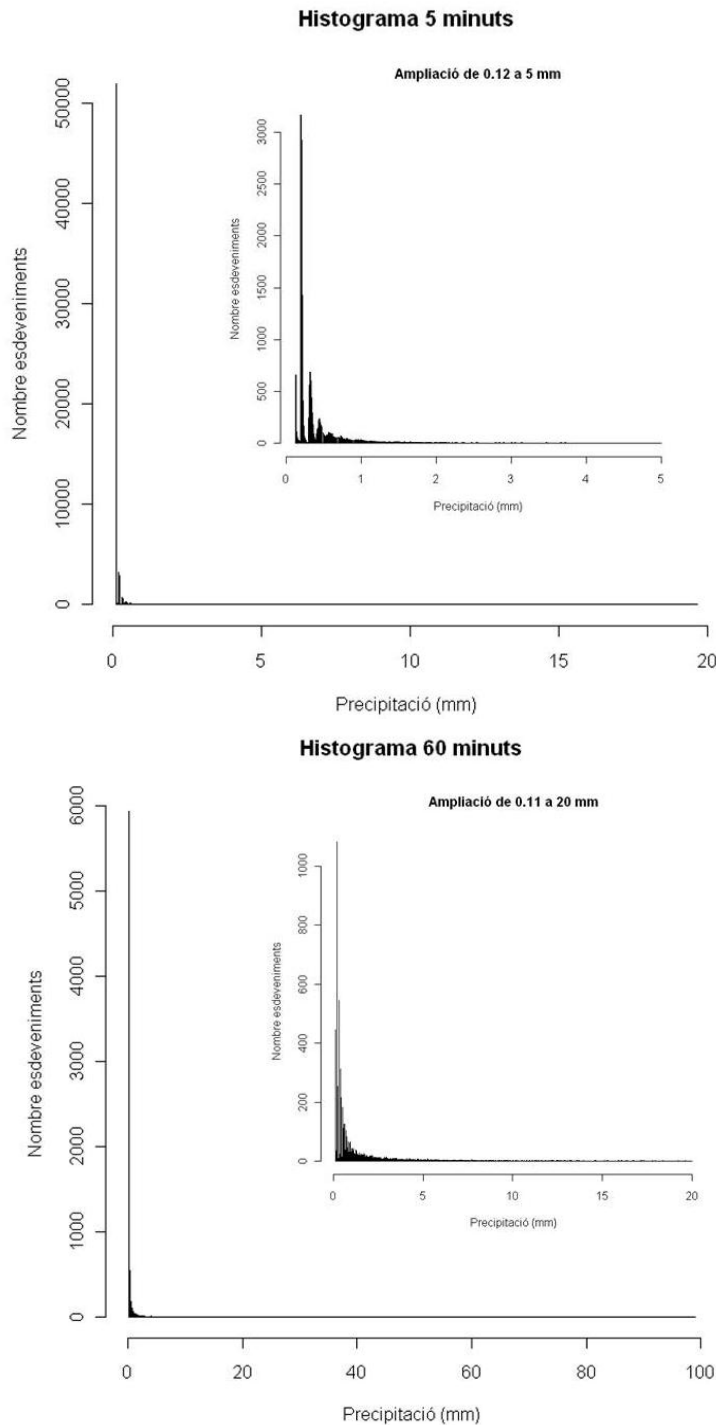


Figura 7: Exemple d'histogrames generats amb les dades de l'Observatori Ebre per a les durades de 5 (a dalt) i 60 minuts (a baix).

Notem que els histogrames de freqüència tenen una forma molt particular i no segueixen un patró aleatori, si no a una funció de densitat de probabilitat, i és aquest l'anàlisi que ens proposem.

El període de retorn  $T$  d'un esdeveniment amb una magnitud donada pot definir-se com l'interval de recurrència promig entre esdeveniments que igualen o superen aquesta magnitud donada. A més, la probabilitat  $p = P(x \geq x_{llindar})$  d'ocurrència del esdeveniment  $x \geq x_{llindar}$  en qualsevol observació, pot relacionar-se amb el període de retorn de la següent manera (Chow et al, 1994)

$$P(x \geq x_{llindar}) = \frac{1}{T}. \quad (1)$$

L'equació 1, tal i com esta expressada, és vàlida per a l'anàlisi d'esdeveniments extrems, és a dir, quan la sèrie a estudiar esta formada pel conjunt de valors màxims anuals, i aleshores el nombre d'anys i esdeveniments coincideixen.

L'estudi que ens proposem, en canvi, pretén analitzar aquells casos en què es va superar un cert valor de precipitació, i la relació entre el període de retorn i la probabilitat d'excedència és

$$P(x \geq x_{llindar}) = \frac{D}{NT} \quad (2)$$

on  $D$  és el nombre d'anys de la sèrie de dades i  $N$  és el nombre d'esdeveniments de la sèrie, que varia en funció de la durada considerada ( $t$ ).

Finalment, relacionem la funció de distribució acumulada  $F(x)$ , d'ús habitual en estudis estadístics, amb la probabilitat d'excedència com

$$F(x) = 1 - p. \quad (3)$$

### 2.3.3 Selecció del Llindar de Precipitació

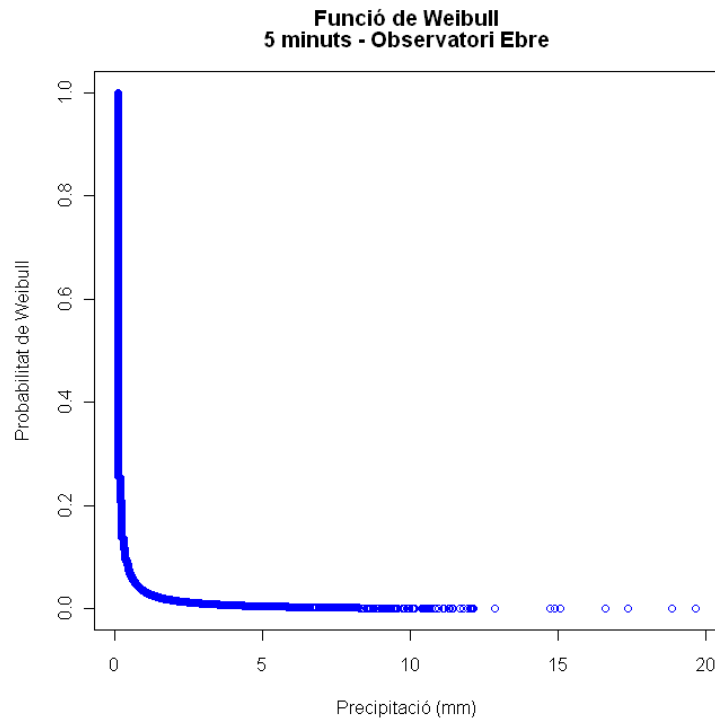
L'objectiu d'estudiar els esdeveniments de precipitació abundants, ens porta a haver de determinar un llindar de precipitació a partir del qual considerem l'esdeveniment important. D'aquesta manera, disposem d'una sèrie de dades només amb valors alts i no plena de valors baixos de precipitació, com s'observa que succeeix per a la sèrie completa segons la *figura 7*.

El procediment per determinar el llindar de precipitació que es farà servir, es repeteix per a cada durada considerada. En primer lloc, es determina la probabilitat d'excedència empírica de cada esdeveniment mitjançant la funció de Weibull (Chow et al, 1994):

$$P = \frac{m}{n+1} \quad (4)$$

on  $n$  és el nombre total d'esdeveniments de la sèrie i  $m$  és el rang d'un valor de precipitació de la llista d'esdeveniments ordenada de major a menor ( $m=1$  per el valor màxim). Aquesta funció

retorna la probabilitat d'excedència acumulada, és a dir,  $P(x \geq x_0)$  essent  $x_0$  el valor de la sèrie que ocupa la posició  $m$ . Un exemple gràfic es mostra a la *figura 8*.



**Figura 8:** Exemple de la probabilitat d'excedència observada donada per la funció de Weibull segons la sèrie de precipitacions màximes en 5 minuts de l'Observatori Ebre.

Establim el llindar de precipitació a partir del qual realitzem l'estudi de les corbes IDF al període de retorn de 0.5 anys. Podem determinar la probabilitat d'excedència per aquest període de retorn mitjançant l'equació 2 coneixent el nombre d'anys de la sèrie i el nombre d'esdeveniments en cada durada. A continuació, busquem la posició que ocupa aquest valor a la funció de Weibull i, en cas que no coincideixi exactament, s'interpolen els dos valors més pròxims, per determinar la precipitació llindar.

La sèrie de precipitacions màximes que s'estudiarà serà la formada pels valors de precipitació que superin el valor de precipitació llindar per a cada durada. El nombre d'esdeveniments que componen cada sèrie ha de ser de 2 per cada any de durada de la sèrie, com correspon a un període de retorn de 0.5 anys.

### 2.3.4 Ajust a una Funció de Distribució

Malgrat que es busca la millor forma d'inferir els valors extrems d'intensitat de precipitació per a cada durada, existeix una gran incertesa a l'estimació d'aquest valors extrems degut, senzillament, a què representen els esdeveniments més infreqüents i la mostra d'aquests és reduïda (Palmer and Räisänen, 2002).



Per inferir els valors de precipitació màxima, s'han escollit les següents funcions de distribució, normalment utilitzades amb aquest tipus de dades. Aquestes es caracteritzen per ésser definides per a valors positius de la variable i amb una asimetria positiva, com correspon a l'anàlisi de precipitació (Casas, 2005). Els paràmetres de cadascuna de les funcions de distribució s'han estimat amb el Mètode dels Moments o de Màxima Versemblança. Aquest estudi estadístic, s'ha realitzat implementant un programa en el llenguatge obert R (Apèndix B).

Per poder treballar amb el període de retorn que està relacionat directament amb la probabilitat d'excedència, cal relacionar les funcions de densitat de probabilitat definides amb la seva funció de distribució de probabilitat acumulada.

$$F(x) = \int_0^x f(x') dx' \quad (5)$$

#### 2.3.4.1 Funció de Distribució Log-normal

Amb funció densitat de probabilitat donada per

$$f(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (6)$$

On  $\mu$  i  $\sigma$  són la mitjana i la desviació estàndard del logaritme neperià de la variable.

#### 2.3.4.2 Funció de Distribució Gamma

La seva funció de densitat es defineix com

$$f(x, \alpha, \beta) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (7)$$

Els paràmetres de la distribució es determinen mitjançant la mitja ( $\bar{x}$ ) i la desviació estàndard ( $\sigma$ ) de la mostra per a cada durada de la forma següent

$$\alpha = \frac{\bar{x}^2}{\sigma^2} \quad (8)$$

$$\beta = \frac{\sigma^2}{\bar{x}} \quad (9)$$

#### 2.3.4.3 Funció de Distribució Generalitzada de Pareto

Definida per la funció densitat

$$f(x, \alpha, \kappa, \varepsilon) = \frac{1}{\alpha} \left[ 1 - \frac{\kappa}{\alpha} (x - \varepsilon) \right]^{\frac{1}{\kappa-1}} \quad (10)$$

on  $\varepsilon$  és el paràmetre de localització,  $\alpha$  el paràmetre d'escala i  $\kappa$  el paràmetre de forma (Vicente-Serrano et al. 2008). Pel mètode dels moments, Hosking and Wallis el 1997, van determinar que els paràmetres de la distribució venen donats per les següents relacions:

$$\bar{x} = \varepsilon + \frac{\alpha}{1+\kappa} \quad (11)$$

$$\sigma^2 = \frac{\alpha^2}{(1+\kappa)^2(1+2\kappa)} \quad (12)$$

$$\gamma = \frac{2(1-\kappa)(1+2\kappa)^{1/2}}{1+3\kappa} \quad (13)$$

on  $\bar{x}$ ,  $\sigma^2$  i  $\gamma$  són, respectivament, la mitjana, la variança i el coeficient d'asimetria de la mostra. De la darrera equació obtenim el paràmetre de forma  $\kappa$ , mitjançant el Mètode de Màxima Versemblança, que fem servir a les altres dues relacions per obtenir la resta de paràmetres de la distribució (Singh i Guo, 1995).

#### 2.3.4.4 Funció de Distribució de Pearson tipus III

La funció densitat de la distribució de Pearson tipus III també s'anomena funció de distribució Gamma de 3 paràmetres (Chow et al, 1994), i la seva expressió matemàtica és

$$f(x, \alpha, \kappa, \varepsilon) = \frac{1}{\alpha\Gamma(\kappa)} \left(\frac{x-\varepsilon}{\alpha}\right)^{\kappa-1} e^{-\frac{x-\varepsilon}{\alpha}} \quad (14)$$

Amb paràmetres de localització ( $\varepsilon$ ), escala ( $\alpha$ ) i forma ( $\kappa$ ), definits mitjançant el coeficient d'asimetria  $\gamma$ , la mitjana  $\bar{x}$  i la desviació estàndard  $\sigma$  de la mostra com segueix

$$\varepsilon = \bar{x} - \alpha\kappa \quad (15)$$

$$\alpha = \sigma \frac{\gamma}{2} \quad (16)$$

$$\kappa = \left(\frac{2}{\gamma}\right)^2 \quad (17)$$

Per simplicitat, treballem amb el factor de freqüència d'aquesta distribució en la seva forma acumulativa, aleshores el factor de freqüència  $K$  ve donat per:

$$K \approx z + (z^2 - 1)\frac{\gamma}{6} + \frac{1}{3}(z^3 - 6z)\left(\frac{\gamma}{6}\right)^2 - (z^2 - 1)\left(\frac{\gamma}{6}\right)^3 + z\left(\frac{\gamma}{6}\right)^4 + \frac{1}{3}\left(\frac{\gamma}{6}\right)^5 \quad (18)$$

On  $\gamma$  és, com abans, el coeficient d'asimetria de la mostra i  $z$  la variable normal estandarditzada. Aquest factor de freqüència, àmpliament utilitzat en estadística, està relacionat amb la variable mitjançant:

$$x = \bar{x} + K\sigma \quad (19)$$

### 2.3.5 Selecció de la Funció Distribució: Prova de Kolmogorov – Smirnov

La prova de Kolmogorov-Smirnov permet comprovar la bondat de l'ajust de les distribucions i, per tant, escollir la que millor s'adequa a la mostra de dades. Aquesta prova consisteix en determinar el màxim, en valor absolut, de les diferències entre la funció de distribució de probabilitat observada  $F_o(x)$  i l'estimada  $F(x)$

$$D = \max|F_o(x) - F(x)| \quad (20)$$

on la funció de distribució de probabilitat observada es considera la donada per la distribució de Weibull, i la funció de distribució estimada és la funció de la qual volem saber si s'ajusta a la mostra.

Segons aquest estadístic, calculem  $D$  per a cada durada i cada funció de distribució. Si volem el resultat amb un nivell de significació  $\alpha = 0.05$  el valor crític  $d$  es calcula com

$$d = \frac{1.36}{\sqrt{n}} \quad (21)$$

on  $n$  és el nombre de dades de la mostra. En cas de trobar  $D \leq d$ , s'accepta la hipòtesi nul·la, sabent que la hipòtesi nul·la és que la funció de distribució s'ajusta a la mostra.

El valor crític del test de Kolmogorov – Smirnov depèn de la funció de distribució ajustada i del mètode en que s'han calculat els paràmetres de cada distribució (Wilks, 2006). Donada la dificultat de determinar-lo correctament i que la variació del resultat esperat és molt petita, es decideix fer servir l'equació 21, i per completesa mostrar el valor de l'arrel de l'error quadràtic mitjà (RMSE) que es defineix més endavant (apartat 2.4.2).

## 2.4 Càlcul de les Corbes IDF

A partir del procés d'inferència estadística aplicat a cada durada, obtenim la precipitació màxima esperada per a cada període de retorn considerat (1, 2, , 5, 10, 15, 25, 50 i 100 anys), i dividint entre la durada corresponent s'aconsegueix la sèrie de dades d'intensitat de precipitació per a cada durada i període de retorn.

La fiabilitat de l'anàlisi de freqüències depèn de la longitud i la qualitat de la sèrie històrica, a més de la incertesa pròpia de la distribució de probabilitats. Quan es realitzin extrapolacions per a períodes de retorn més grans que la longitud de la sèrie de dades, l'error relatiu serà més gran que en fer interpolacions per a períodes de retorn menors on la incertesa depèn principalment de la qualitat de les dades (Ashkar et al, 2003; Aguilera, 2007).

A continuació es descriu el mètode per determinar les corbes IDF.

#### 2.4.1 Ajust a una Equació IDF

Una corba IDF és una equació empírica que representa la relació entre la intensitat de pluja màxima, com a variable depenent, i altres variables d'interès, com la durada i la freqüència, com a variables independents. Els tipus senzills d'aquests models són una relació entre la intensitat ( $I$ ) i la durada ( $t$ ) per a un període de retorn ( $T$ ) donat (Ghahraman i Hosseini, 2005). Les següents equacions són alguns dels models IDF més utilitzats.

$$I = \frac{a}{b+t} \quad (22)$$

$$I = \frac{a}{t^b} \quad (23)$$

$$I = \frac{a}{(t+b)^c} \quad (24)$$

$$I = \frac{a}{b+t^c} \quad (25)$$

On  $a$ ,  $b$  i  $c$  són paràmetres que depenen del període de retorn i de la climatologia pròpia de la zona. La primera equació (22) és la coneguda *funció de Talbot* (Chow, 1994), la segona (23) s'anomena *equació de Bernard* (Ghahraman i Hosseini, 2005), la tercera *equació* (24) és *l'equació de Sherman* (Casas, 2005; Ghahraman i Hosseini, 2005) i, la darrera (25), *l'equació de Chow* (Moncho et al, 2009).

Aquestes relacions empíriques mostren que la intensitat de precipitació disminueix amb la durada per a un període de retorn donat. Totes aquestes funcions han estat extensament utilitzades al camp de la Hidrologia Aplicada (Minh Nhat et al., 2006). L'ajust a aquests models s'ha implementat a un codi en R (*Apèndix B*), que fa servir el mètode no lineal de mínims quadrats (Fox, 2002).

Observem que si  $c=1$  a les equacions 24 i 25, obtenim l'equació 22, mentre que si fem  $b=0$ , en aquestes mateixes equacions recuperem l'equació 23.

#### 2.4.2 Selecció de l'Equació IDF

El criteri per seleccionar el model IDF que millor ajust presenta ha estat el coeficient de correlació de Pearson. Una forma d'entendre el coeficient de correlació de Pearson és com la raó entre la covariància de la mostra de dues variables i el producte de les dues desviacions estàndards (Wilks, 2006):

$$r_{xy} = \frac{Cov(x,y)}{s_x s_y} = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2} \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right]^{1/2}} \quad (26)$$

on  $x$  i  $y$  són les sèries de dades entre les quals volem veure la seva semblança, és a dir, les observacions empíriques obtingudes del ajust a una funció de distribució i els valors esperats pel model IDF ajustat. El coeficient de correlació de Pearson no és estadísticament robust, perquè relacions lineals fortes entre dues variables poden ser no reconegudes, i és molt sensible als valors extrems. Tanmateix és freqüentment utilitzat per la seva fàcil manipulació matemàtica i està fortament relacionat amb l'anàlisi de regressió.

Per completar l'estudi i assegurar l'ajust correcte, veurem com de bona predictor és l'equació que ajustem fent servir l'arrel del error quadràtic mitjà, RMSE (Root Mean Squared Error), emprat en altres estudis de corbes IDF (Ninh Nhat et al, 2006).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (y_k - o_k)^2} \quad (27)$$

Aquest permet comparar dos estimadors:

*Donats  $\hat{\alpha}$  i  $\tilde{\alpha}$  estimadors d'un mateix paràmetre  $\alpha$ ,  $\hat{\alpha}$  serà millor estimador de  $\alpha$  si el seu RMSE és menor que el donat per  $\tilde{\alpha}$  (Storch i Zwiers, 1999).*

Podem veure que el valor que retorna el RMSE és molt senzill conceptualment, ja que es tracta de les diferències o distàncies mitjanes que es produeixen entre els valors estimats ( $y_k$ ) i el observats ( $o_k$ ).

A més d'aquests criteris de selecció del model IDF es tenen en compte certes consideracions:

- L'equació de Bernard (23) és de gran utilitat per a treballs futurs per a l'estudi del comportament fractal de la precipitació (Bendjoudi et al, 1997).
- L'equació de Sherman (24) resulta més intuïtiva que l'equació de Chow (25), en ser el paràmetre  $b$  una suma directa a la variable temporal de la durada del episodi, i per tant, podent ser entesa com un desplaçament de la variable o un límit per a durades petites.

### 2.4.3 Generalització de les Corbes IDF

Les equacions de les corbes IDF descrites a l'apartat 2.4.1 relacionen, com ja s'ha descrit, la intensitat màxima de pluja amb la seva durada per a un període de retorn concret.

El següent pas és obtenir una única equació de les corbes IDF que dependrà de la durada considerada i també del període de retorn.

$$I = I(t, T) \quad (28)$$

Amb aquesta finalitat es proposem els models següents per a la generalització de les corbes IDF.

### 2.4.3.1 Generalització a un Paràmetre

Alguns autors proposen que els paràmetres  $b$  i  $c$  de la *funció de Sherman* (24) no depenen del període de retorn (Chen-lung Chen, 1983, citat a Casas, 2005, pàg. 22). De manera que, si els paràmetres  $b$  i  $c$  de l'ajust a l'equació de Sherman (24), foren iguals per a tots els períodes de retorn, podríem obtenir les corbes IDF generalitzades, on el paràmetre  $a$  es reescriu segons la seva dependència amb el període de retorn (Casas, 2005).

El procediment és el següent. Un cop determinades les corbes IDF es calcula el valor mitjà dels paràmetres  $b$  i  $c$ . Assumint-los constants, es torna a ajustar a l'equació IDF on l'únic paràmetre a determinar en funció del període de retorn és  $a$ . A continuació, es busca la dependència del paràmetre  $a$  segons un dels models proposats als següents apartats.

En tots dos casos s'escollirà el millor ajust segons el valor del coeficient de correlació de Pearson, en ésser possible escriure les relacions en forma lineal.

#### 2.4.3.1.1 Ajust Logarítmic a un Paràmetre

La dependència amb el període de retorn es posa de manifest al paràmetre  $a$  dels models IDF segons l'equació següent, que mostra una relació exponencial entre el paràmetre  $a$  i el període de retorn (Casas, 2005; Ghahraman i Hosseini, 2005).

$$a = g + h \cdot \ln T \quad (29)$$

#### 2.4.3.1.2 Ajust Potencial a un Paràmetre

El model IDF generalitzat pot presentar dependència amb el període de retorn a través del paràmetre  $a$  del tipus potencial (Casas, 2005).

$$a = k_1 T^{k_2} \quad (30)$$

### 2.4.3.2 Generalització a dos Paràmetres

Com més endavant es podrà comprovar, no resulta obvi que la assumptió de que els paràmetres  $b$  i  $c$  són constants sigui plenament correcte, especialment pel que es refereix al paràmetre  $b$ . Per aquest motiu es proposa repetir el procediment anterior, mantenint  $c$  constant en el seu valor mitjà. D'aquesta manera, s'aconsegueixen els valors d' $a$  i  $b$  en funció del període de retorn. A continuació, i de forma independent, es busca la dependència d' $a$  i  $b$  amb el període de retorn, i es generalitzen adientment les corbes IDF.

### 3 Aplicació a l'Observatori Ebre

L'Observatori de l'Ebre es troba ubicat al municipi de Roquetes (lat: 40.819 N, long: 0.493 E, alt: 47 m) (figura 9).

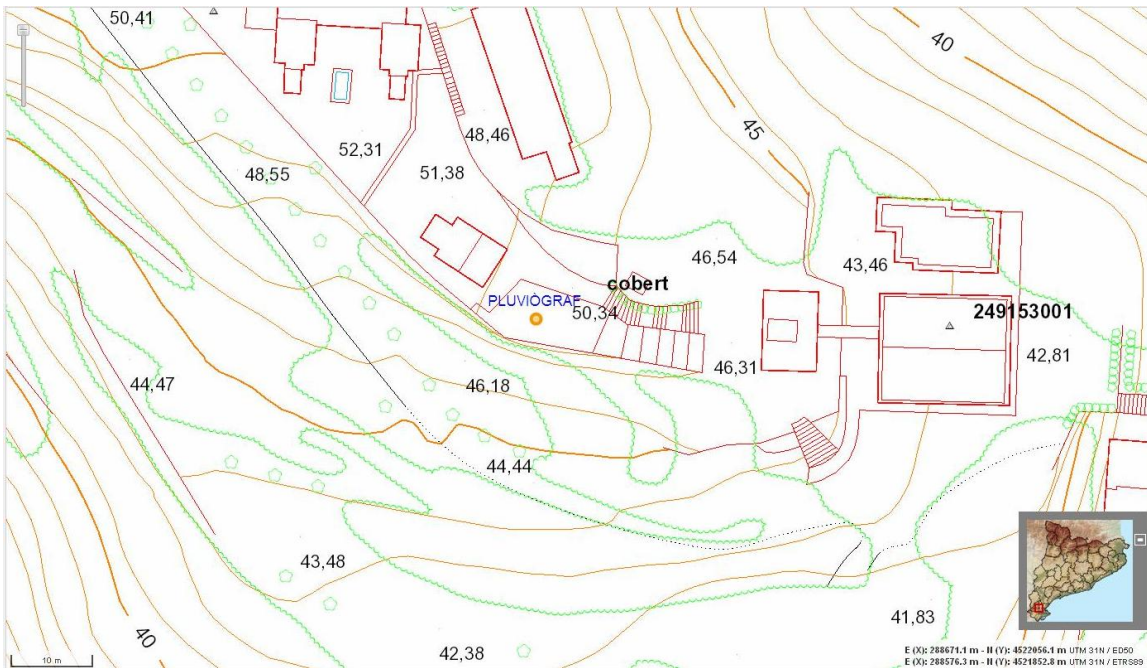


Figura 9: Ubicació del Observatori del Ebre al municipi de Roquetes, imatge ortofoto (a dalt) i mapa topogràfic (a baix) ([www.icc.cat](http://www.icc.cat)).

*“L’Observatori va néixer a finals del segle XIX fruit d’una decisió de la Companyia de Jesús de crear, al costat de les facultats de Filosofia i Teologia, tres instituts dedicats a la física, la química i les ciències naturals.*

*La creació d’un institut de física fou encomanada a Ricard Cirera, jesuïta que havia estat sots-director de l’Observatori de Manila i que, a partir de la seva experiència, va proposar la creació d’un observatori. El camp de treball escollit va ser l’estudi de la relació entre les perturbacions solars i les seves manifestacions a la Terra.*

*L’Observatori de l’Ebre va començar la seva activitat investigadora el 8 de setembre de l’any 1904. Des d’aquell moment els coneixements i la societat on s’insereix l’observatori han evolucionat. L’observatori, seguint-los, també ha evolucionat amb els seus alts i baixos, com tota institució viva i lligada al seu entorn” (www.obsebre.es).*

### 3.1 Dades Disponibles

Es disposa d’un registre de precipitació generat a partir del pluviògraf de sífó de la marca Lambrecht (*figura 10*) pel període 1905 -2003.



Figura 10: Pluviògraf Lambrecht instal·lat a l’Observatori de l’Ebre.

Aquesta sèrie va ser interrompuda durant un any aproximadament, del 4 d’abril de 1938 a l’1 de maig de 1939, degut a la Guerra Civil. Es considera doncs, que la sèrie té una durada de 98 anys. La ubicació actual d’aquests pluviògrafs a l’Observatori Ebre es mostra a la *figura 11*.





Figura 11: Ubicació dels pluviògrafs a l'Observatori Ebre.

D'aquest període es disposa de 7369 bandes diàries digitalitzades. El procés de digitalització va ser dut a terme pel mateix observatori.

### 3.2 Tractament de Dades

#### 3.2.1 Validació del Programari

Es construeix el registre minutal de les dades del Observatori Ebre mitjançant el programa en Visual Basic, *registre\_nomestació.bas*.

Per tal de validar el resultat del programa, s'ha fet un exercici de comparació entre la precipitació calculada com la diferència entre la precipitació acumulada al final de cada banda i la precipitació inicial ( $P_{dif}$ ) de la banda donades per l'arxiu *bddmmaaa.dat*, i l'obtinguda per la mateixa banda com a suma de la precipitació del registre minutal ( $P_{sum}$ ).

$$\Delta P = P_{dif} - P_{sum} \quad (31)$$

L'histograma de freqüències d'aquestes diferències es mostra a la *figura 12*, mentre que a la *taula 1* es mostra les mateixes freqüències entre -0.1 i 1 mm.

De 7369 bandes només 4 tenen una diferència major a  $\pm 2$  mm segons el procediment de càlcul, i es deguda a una petita descàrrega que apareix al final d'aquests arxius, què es corregida amb la generació del registre minutal. Per tant, podem concloure que el resultat d'execució del programa és correcte.

<i>Classe (mm)</i>	<i>Nombre de bandes</i>
$\leq -5$	2
(-5 a -2.5]	2
(-2.5, -1]	2
(-1, -0.5]	10
(-0.5, 0]	2144
(0, 0.5]	5208
(0.5, 1]	0
(1, 2.5]	0
(2.5, 5]	1
>5	0

Taula 1: Freqüències observades de les diferències de precipitació diària segons el tipus de registre.

A banda d'aquesta revisió, s'ha comprovat que en dies consecutius la segona banda comenci després de que hagi acabat la primera. S'han trobat tres casos en què es produïa un solapament de registres a les parelles de dies: 19 – 20/10/1951, 04 – 05/12/1971 i 11 – 12/05/1998, els quals s'han reparat manualment.

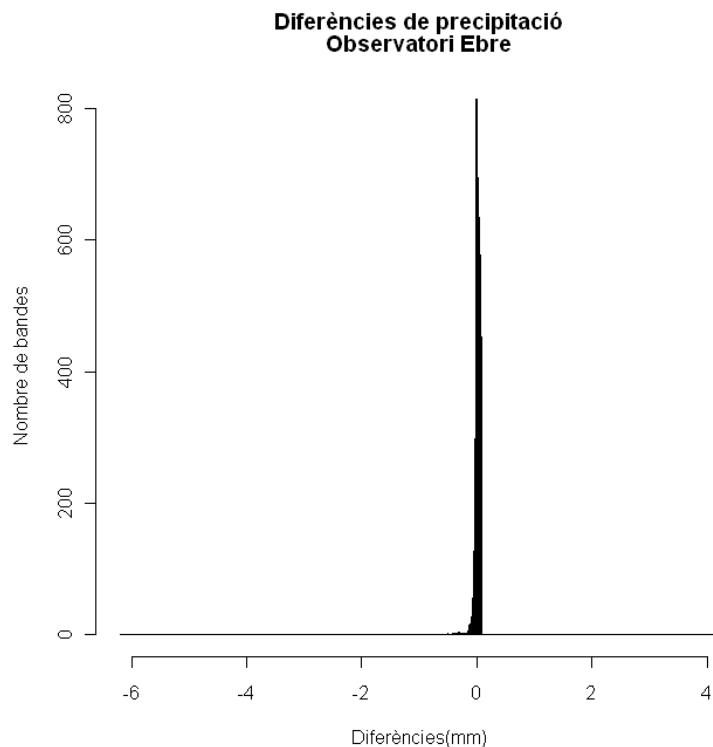


Figura 12: Diferència de precipitació per l'Observatori Ebre (amplada barra 0.01 mm).

### 3.2.2 Control de Qualitat de la Sèrie

Al mateix observatori es disposa d'un pluviòmetre totalitzador Hellman amb sèrie simultània a la dels pluviògrafs. Seguidament es comprova que els valors del registre minutal de precipitació sigui coherent i es quantifica la possible mancança de dades.

#### 3.2.2.1 Validació de la Precipitació Acumulada Diària pel Pluviògraf

Per tal de comprovar la coherència entre els resultats dels dos sistemes de mesura, es compara la precipitació diària del registre minutal per a les bandes del pluviògraf ( $P_{\text{pluviògraf}}$ ) amb la precipitació diària del pluviòmetre ( $P_{\text{pluviòmetre}}$ ), tenint en compte que tant l'observació del pluviòmetre com el canvi de la banda es fa a l'observació del matí (7 UTC).

$$DP = P_{\text{pluviòmetre}} - P_{\text{pluviògraf}} \quad (32)$$

A la *figura 13* es mostra el histograma de freqüències d'aquestes diferències de precipitació, i a la *taula 2* es troben numèricament.

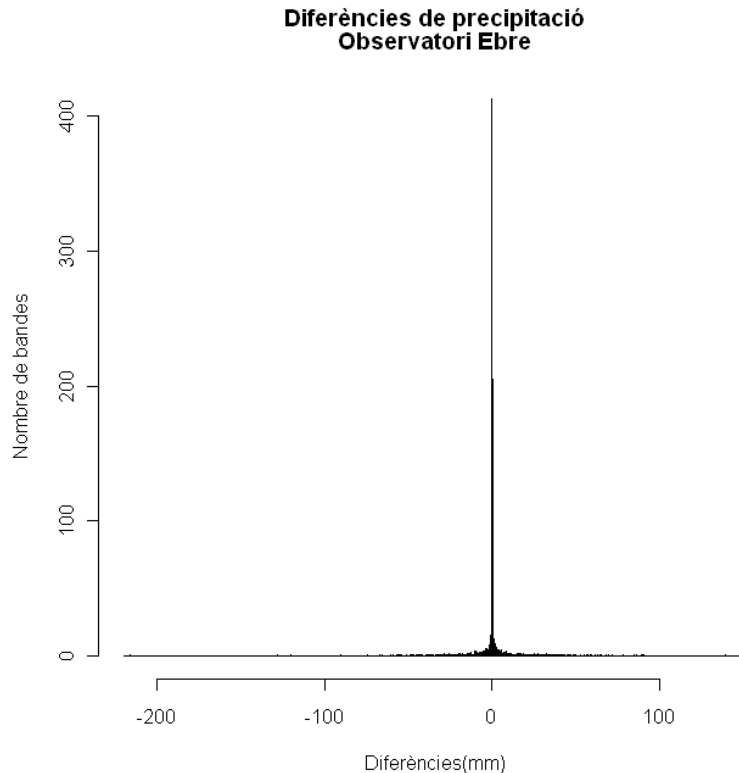


Figura 13: Histograma de diferències de precipitació diària entre el pluviòmetre i el pluviògraf (amplada barra 0.01 mm).

Classe (mm)	Freqüència
≤ -200	1
(-200, -150]	0
(-150, -100]	2
(-100, -50]	15
(-50, -25]	86
(-25, -10]	237
(-10, -5]	301
(-5, 0]	3550
(0, 5]	2635
(5, 10]	237
(10, 25]	203
(25, 50]	80
(50, 100]	20
(100, 150]	1
(150, 200]	1
>200	0

Taula 2: Freqüències observades de les diferències de precipitació diària segons l'aparell de mesura.

El 91.2 % de les bandes han registrat una diferència de precipitació inferior a 10 mm, en valor absolut. Hi ha 40 bandes, què representen el 0.5% del total, en què la diferència de precipitació diària entre el registre del pluviògraf i del pluviòmetre és major a  $\pm 50$ mm, i d'aquests, trobem 24 casos en què la datació de les bandes sembla incorrecta. A la *taula 3* es mostren alguns exemples:

Diferència > 50 mm				Diferència < - 50 mm			
Data	Diferència (mm)	PPT (mm) pluviògraf	PPT (mm) pluviòmetre	Data	Diferència (mm)	PPT (mm) pluviògraf	PPT (mm) pluviòmetre
09/05/1921	59.19	0.61	59.8	08/05/1921	-58.87	59.97	1.1
01/05/1937	58.39	1.01	59.4	30/04/1937	-54.2	54.2	0
19/10/1940	151.25	57.95	209.2	18/10/1940	-216.19	227.79	11.6
16/09/1943	139.24	125.76	265	15/09/1943	-127.97	143.17	15.2
19/11/1945	57.03	19.07	76.1	18/11/1945	-56.02	85.72	29.7
15/06/1957	55.1	0.3	55.4	14/06/1957	-51.14	58.74	7.6
06/06/1960	89.8	31.3	121.1	05/06/1960	-120.07	122.27	2.2
04/09/1961	61.2	0.4	61.6	03/09/1961	-60.81	64.31	3.5
25/02/1962	90.74	9.06	99.8	24/02/1962	-90.63	122.83	32.2
30/09/1964	69.3	0	69.3	29/09/1964	-54.18	57.08	2.9
04/11/1993	68.15	4.75	72.9	03/11/1993	-74.64	74.64	0
04/11/1994	62.95	22.45	85.4	03/11/1994	-65.93	65.93	0

Taula 3: Precipitació diària calculada amb el pluviògraf i amb el pluviòmetre per a diferents dies en què la diferència de precipitacions és superior als 50 mm en valor absolut.

Per veure com de coincident són els registres de precipitació diària del pluviòmetre i del pluviògraf del Observatori Ebre es construeix una gràfica de dispersió com es mostra a la *figura*

14. Observem que les dades de precipitació diària presenten una gran dispersió. En cas que tot el registre fos coincident mitjançant els dos mètodes de mesura, les dades s'haurien de disposar al voltant de la línia verda que representa una recta de pendent 1 i ordenada a l'origen 0. En canvi observem que hi ha un gran nombre de punts que es troben allunyats d'aquest cas ideal, i són més com més a prop del origen. Però fins a 100 mm de precipitació podem veure que encara hi ha un gran nombre de punts que es situen a prop de la línia verda. També notem que hi ha un gran nombre de casos que tenen una de les seves components zero, això indica que s'han produït registres de precipitació en un dels instruments i no en l'altre, mantenint una certa simetria al voltant del cas ideal. La línia blava correspon a la recta de regressió de totes les dades, que al cas ideal hauria de coincidir amb la línia verda. Per tant, podem pensar que el raonament de la datació incorrecte d'algunes bandes pot ser vàlid, per aquest motiu s'ha fet una representació de la evolució temporal de les diferències de precipitació diàries entre els dos mètodes de mesura (*figura 15*).

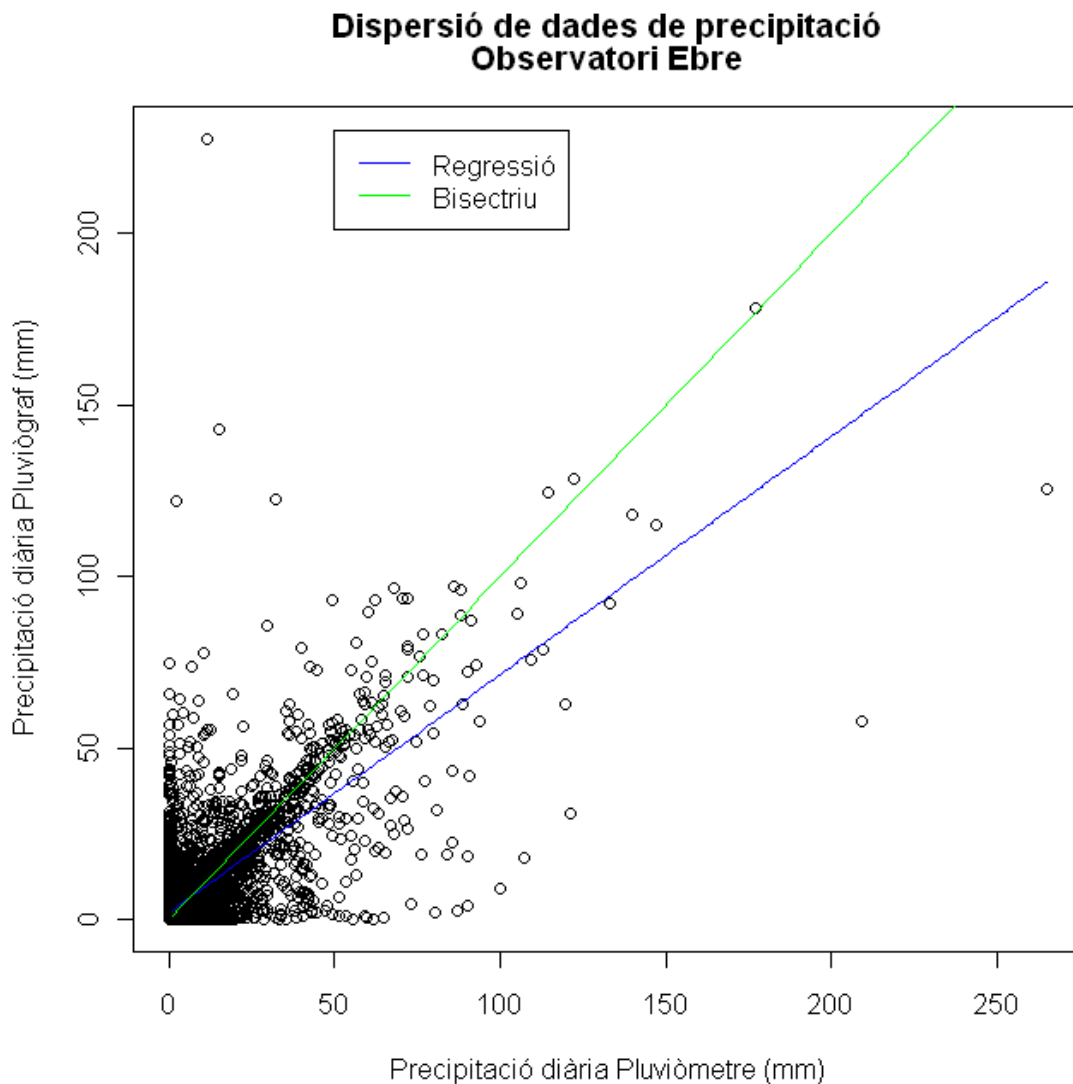


Figura 14: Precipitació diària del pluviòmetre respecte a la del pluviògraf, recta de regressió (verd) i cas ideal, bisectriu del primer quadrant (blau).

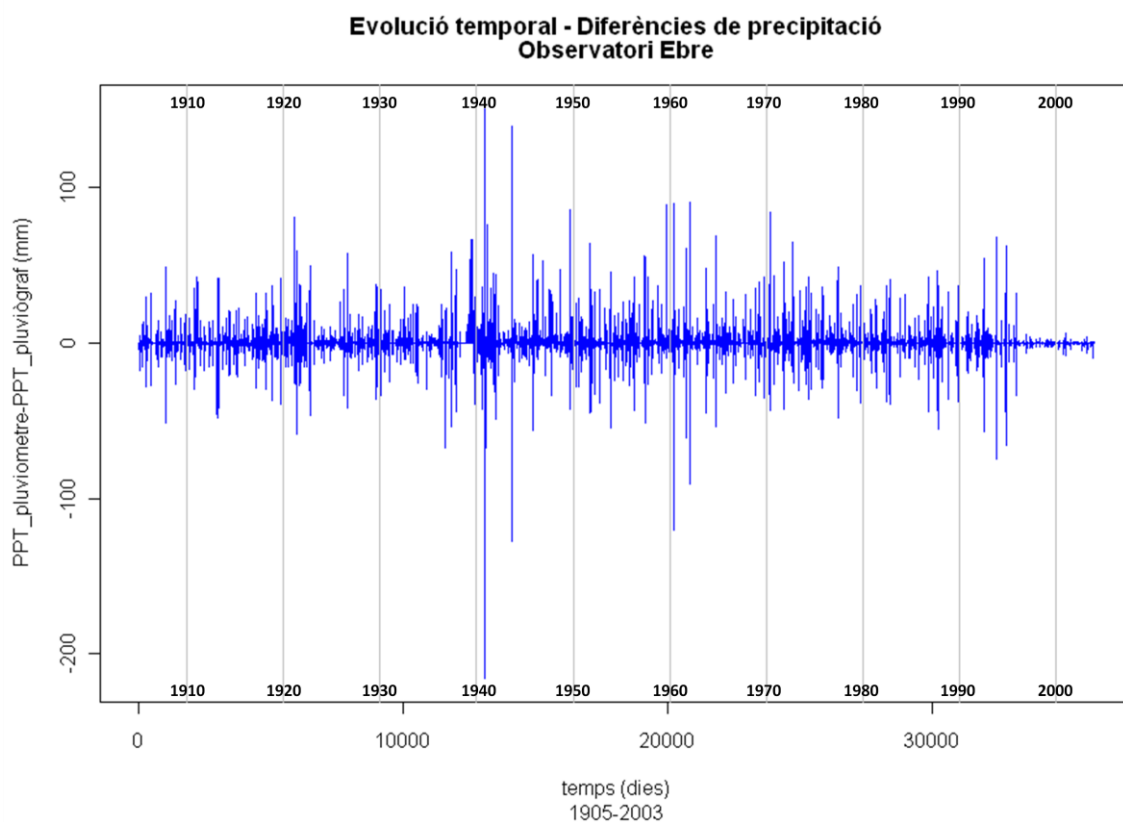


Figura 15: Evolució de les diferències de precipitació diàries entre el registre del pluviòmetre i del pluviògraf de l'Observatori Ebre.

A la *figura 15*, veiem que les diferències de precipitació entre els dos registres prenen valors més grans fins a mitjans de la dècada de 1990, moment a partir del qual els valors es mantenen molt propers a zero. La problemàtica que es presenta per modificar correctament la datació d'un dels registres és que l'error no sembla constant en el temps o exclusiu d'un període, si no que succeeix a pràcticament tota la sèrie i no de forma continua. Una possible hipòtesis pot ser que hi haguessin diversos observadors simultàniament i que només un o algun d'ells datés incorrectament les bandes, fet que complica la modificació del registre.

Any a any s'ha representat la precipitació acumulada diària al pluviòmetre i al pluviògraf per tal de comprovar si es correcte unir dies consecutius de precipitació, tal i com estan datades les bandes digitalitzades. Encara que en molts cassos es troba que els registres d'un i altre sistema de mesura discrepen temporalment, la longitud dels esdeveniments es manté constant. Per tant, podrem unir dies consecutius de precipitació, ja que aquesta relació si es pot considerar correcte.

A banda, la *figura 16* presenta l'evolució de la precipitació anual d'ambdós instruments, que verifica que la precipitació que recullen ambdós sistemes és pràcticament igual.

Per tant, donat que es pretén l'estudi dels esdeveniments de precipitació intensa sense atendre a la data en què es van produir, al present treball es pren com a vàlid el registre del pluviògraf, i es prossegueix sense modificar cap data en cap dels dos registres.

### Precipitació anual - Observatori Ebre

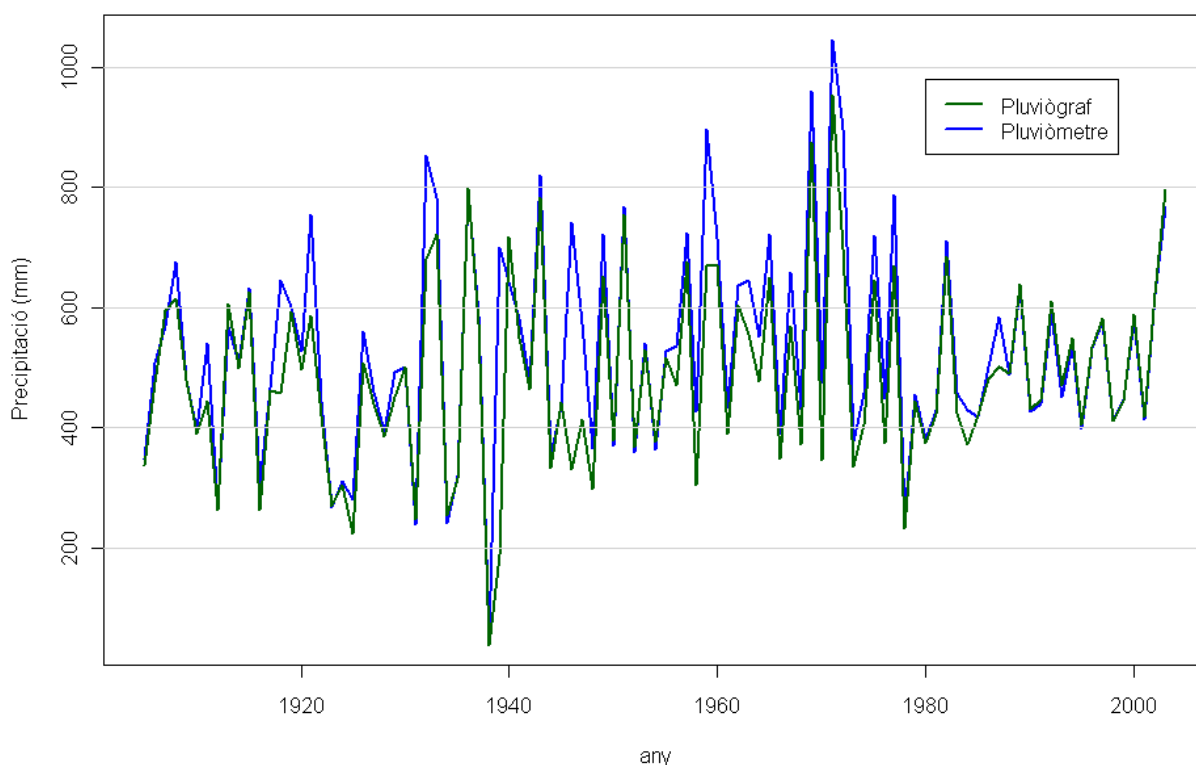


Figura 16: Evolució de la precipitació anual del pluviòmetre i del pluviògraf de l'Observatori Ebre.

#### 3.2.2.2 Completesa del Registre

Calculem el nombre de dies en què hi ha precipitació registrada pel pluviòmetre i del qual no hi ha cap banda digitalitzada del pluviògraf, aquestes són les bandes mancants de la sèrie. No es té en compte els dies en que hi hagué registre de precipitació inapreciable mesurat pel pluviòmetre. Finalment, trobem que el nombre total de bandes mancants és de 1760, on el 91.4% dels dies presenten una precipitació igual o inferior a 10mm.

Classe (mm)	Freqüència
(0, 0.5]	762
(0.5, 1]	229
(1, 5]	496
(5, 10]	122
(10, 25]	109
(25, 50]	34
(50, 100]	8

Taula 4: Nombre de bandes mancants segons la precipitació registrada pel pluviòmetre.

De les quantitats registrades superiors a 50 mm, 8 casos (*taula 4*), 3 van ser registrats durant la primavera i l'estiu de 1939, i 2 casos més semblen corresponde a un error en la data (*taula 5*).

Data	PPT (mm) pluviògraf	Data	PPT (mm) pluviòmetre
10/01/1941	74.09	11/01/1941	76.0
08/08/1992	57.08	09/08/1992	54.5

Taula 5: Comparació de registres de precipitació superiors a 50 mm que poden indicar una incorrecte datació de les bandes.

Cal tenir en compte que la durada de la sèrie és de 98 anys, i que les condicions de mesura poden haver canviat al llarg del segle XX.

### 3.3 Generació de la Sèrie de Dades Intensitat – Durada – Freqüència

#### 3.3.1 Generació de la Sèrie de Dades per a cada Durada

Mitjançant el programari descrit, s'obté la sèrie de dades de precipitacions màximes per a cada durada de l'Observatori Ebre. A les *figures 17a i 17b* es mostren els diagrames de caixa per a cada durada, que permet conèixer la distribució de les precipitacions màximes observades. A la *taula 6*, s'indica la precipitació màxima registrada a la sèrie construïda per a cada durada, i la data en què es va iniciar l'esdeveniment de precipitació.



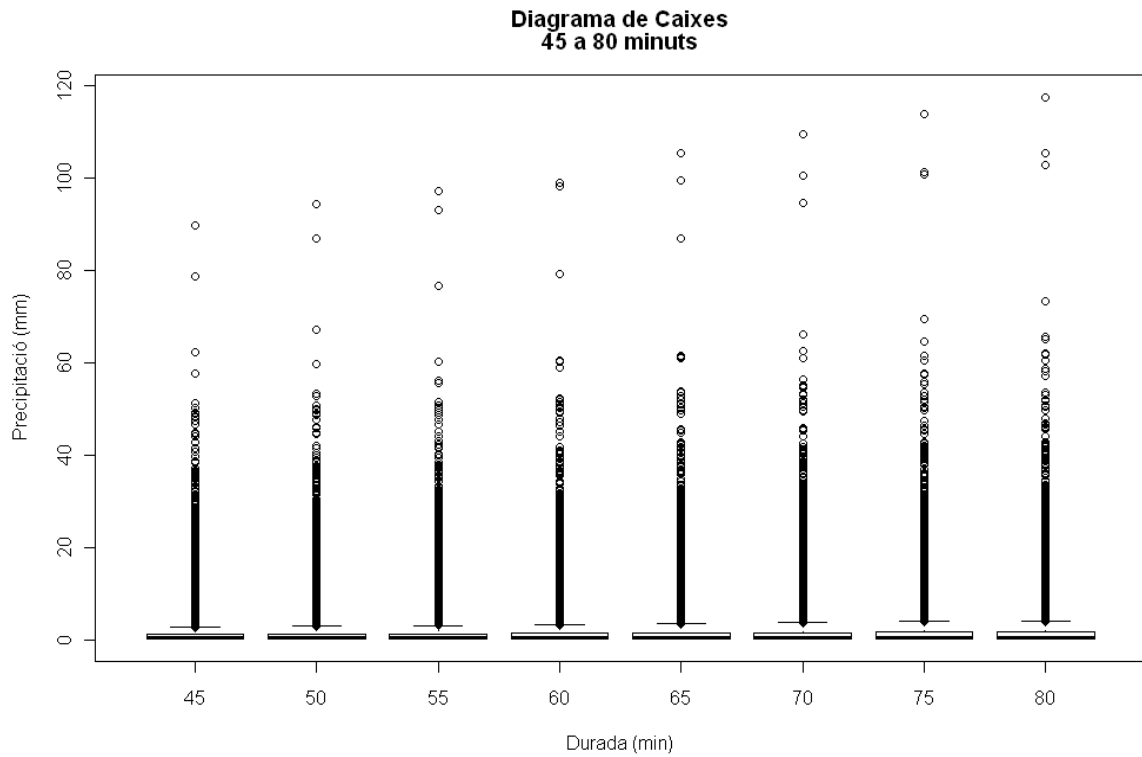
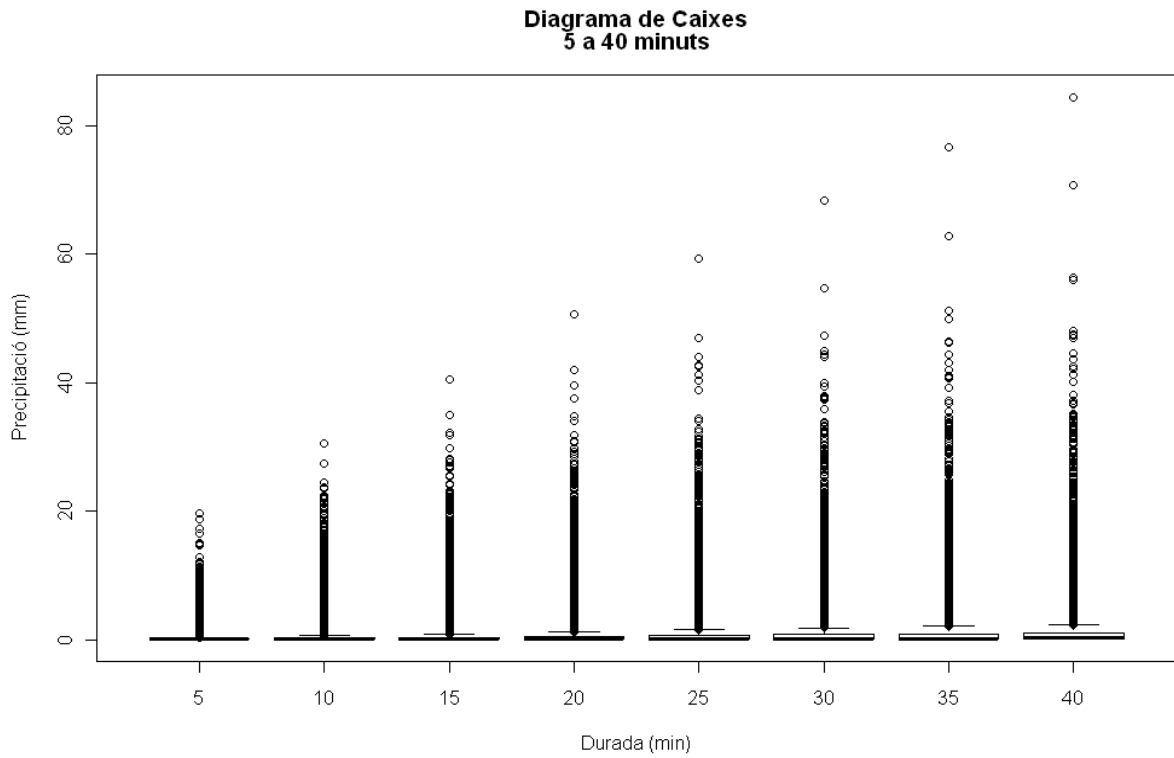


Figura 17a: Diagrama de caixes de la sèrie de dades de l'Observatori Ebre per a durades de 5 a 40 minuts (a dalt) i de 45 a 80 minuts (a baix).

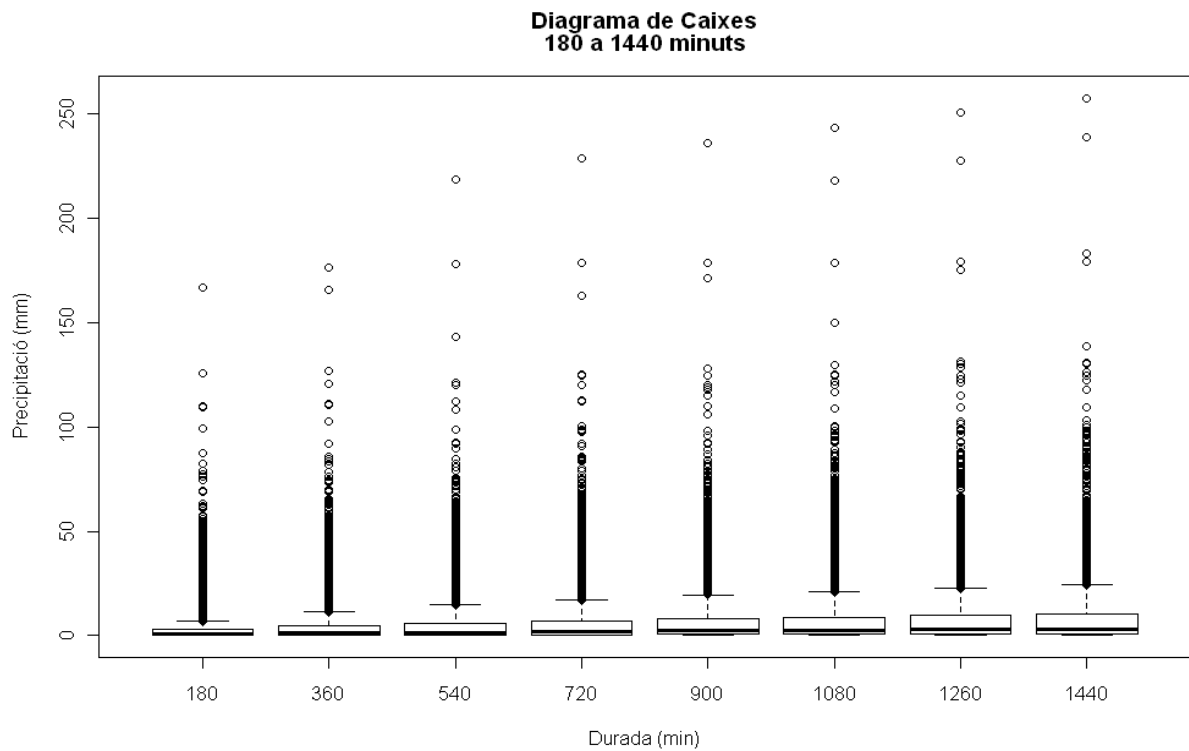
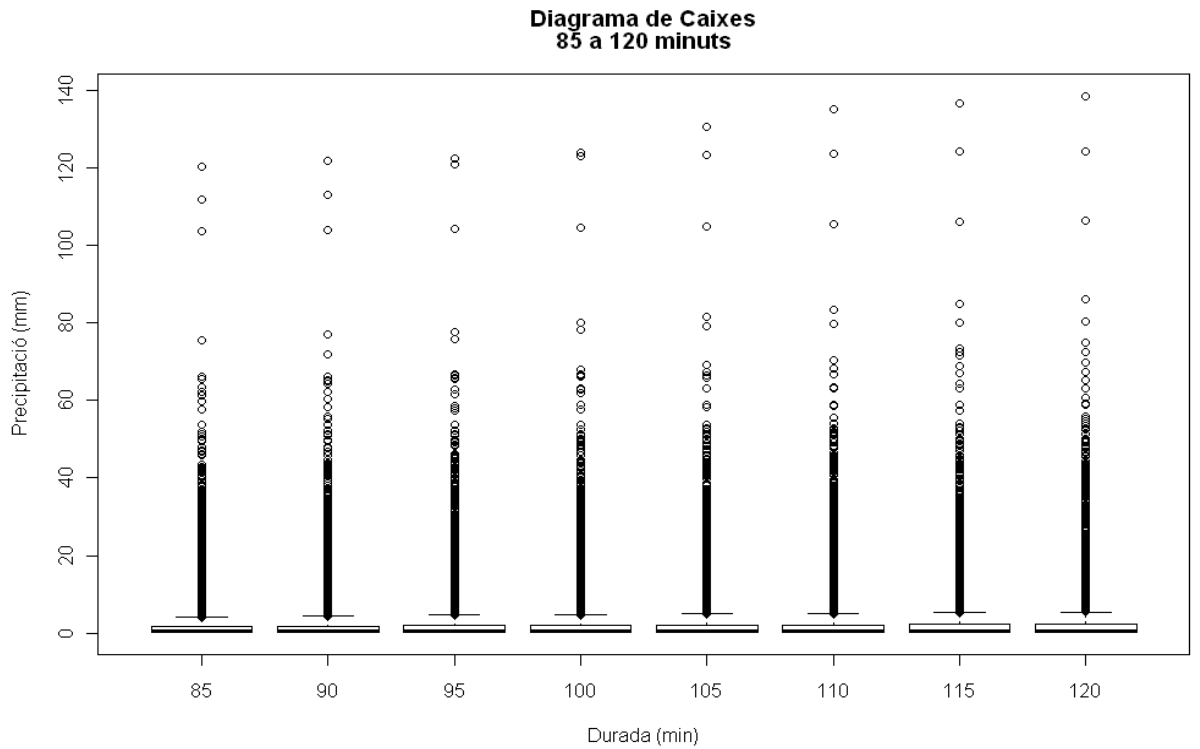


Figura 17b: Diagrama de caixes de la sèrie de dades de l'Observatori Ebre per a durades de 85 a 120 minuts (a dalt) i de 180 a 1440 minuts (a baix).

<b>Valor extrems de precipitació</b>		
<b>Durada (min)</b>	<b>Extrem (mm)</b>	<b>Data d'inici del esdeveniment</b>
5	19.65	10/10/1906
10	30.54	26/09/1992
15	40.52	26/09/1992
20	50.66	26/09/1992
25	59.28	26/09/1992
30	68.34	26/09/1992
35	76.74	26/09/1992
40	84.48	26/09/1992
45	89.81	26/09/1992
50	94.52	26/09/1992
55	97.34	26/09/1992
60	98.92	26/09/1992
65	105.52	18/10/1940
70	109.66	18/10/1940
75	113.96	18/10/1940
80	117.65	18/10/1940
85	120.31	18/10/1940
90	121.82	18/10/1940
95	122.60	18/10/1940
100	124.08	18/10/1965
105	130.80	18/10/1965
110	135.14	18/10/1965
115	136.61	18/10/1965
120	138.67	18/10/1965
180	166.98	18/10/1965
360	176.48	18/10/1965
540	218.68	15/09/1943
720	228.54	15/09/1943
900	235.90	15/09/1943
1080	243.51	15/09/1943
1260	250.67	15/09/1943
1440	257.65	15/09/1943

Taula 6: Màxim de precipitació de la sèrie i data en la que es va iniciar l'esdeveniment per a cada durada.

### 3.3.2 Selecció del Llindar de Precipitació

Segons el procediment d'escrit a l'apartat 2.3.3, s'ha calculat la precipitació màxima esperada per a un període de retorn de 0.5 anys i per a cada durada (taula 7).

Durada (min)	N	$P(x > x_0)$	Llindar(mm)
5	70924	0.00276352	6.69
10	42586	0.00460245	9.72
15	32908	0.005956	11.96
20	27781	0.00705518	13.53
25	24802	0.00790259	14.77
30	22710	0.00863056	15.86
35	21111	0.00928426	16.50
40	19842	0.00987804	17.15
45	18861	0.01039181	17.83
50	18029	0.01087137	18.33
55	17303	0.01132752	19.15
60	16668	0.01175906	19.53
65	16118	0.01216032	19.83
70	15633	0.01253758	20.30
75	15204	0.01289134	21.11
80	14837	0.01321022	21.60
85	14468	0.01354714	21.84
90	14128	0.01387316	22.03
95	13818	0.0141844	22.06
100	13518	0.01449919	22.13
105	13240	0.01480363	22.22
110	12998	0.01507924	22.70
115	12759	0.01536171	23.19
120	12561	0.01560385	23.59
180	10557	0.01856588	26.22
360	7758	0.02526424	31.69
540	6535	0.02999235	35.13
720	5785	0.03388073	38.00
900	5262	0.03724819	39.53
1080	4890	0.04008180	41.13
1260	4627	0.04236006	41.98
1440	4446	0.04408457	43.16

Taula 7: Nombre de dades, probabilitat d'excedència per a  $T=0.5$  anys i llindar de precipitació per a cada durada a l'Observatori de l'Ebre.

La probabilitat llindar donada pel període de retorn de 0.5 anys ocupa la posició 196 segons la funció de Weibull per a totes les durades. A aquesta probabilitat li correspon la precipitació llindar mostrada a la *taula 7*. El nombre d'esdeveniments a estudiar és coherent amb el valor assignat al període de retorn de 0.5 anys, equivalent a prendre, com a mitjana, els dos esdeveniments més abundants per cada any, donat que la sèrie consta de 98 anys complets.

Finalment, presentem els diagrames de caixes per a cada durada per a les sèries de precipitacions màximes que han superat el llindar establert (*figura 18a i 18b*).

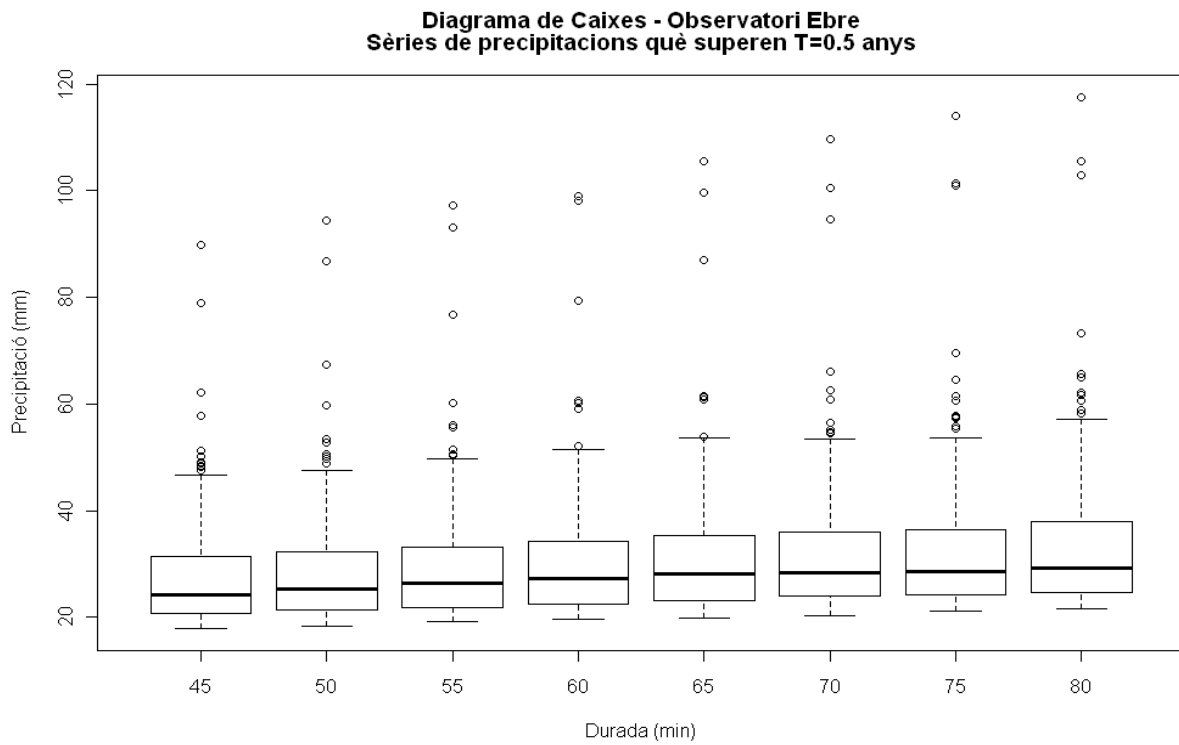
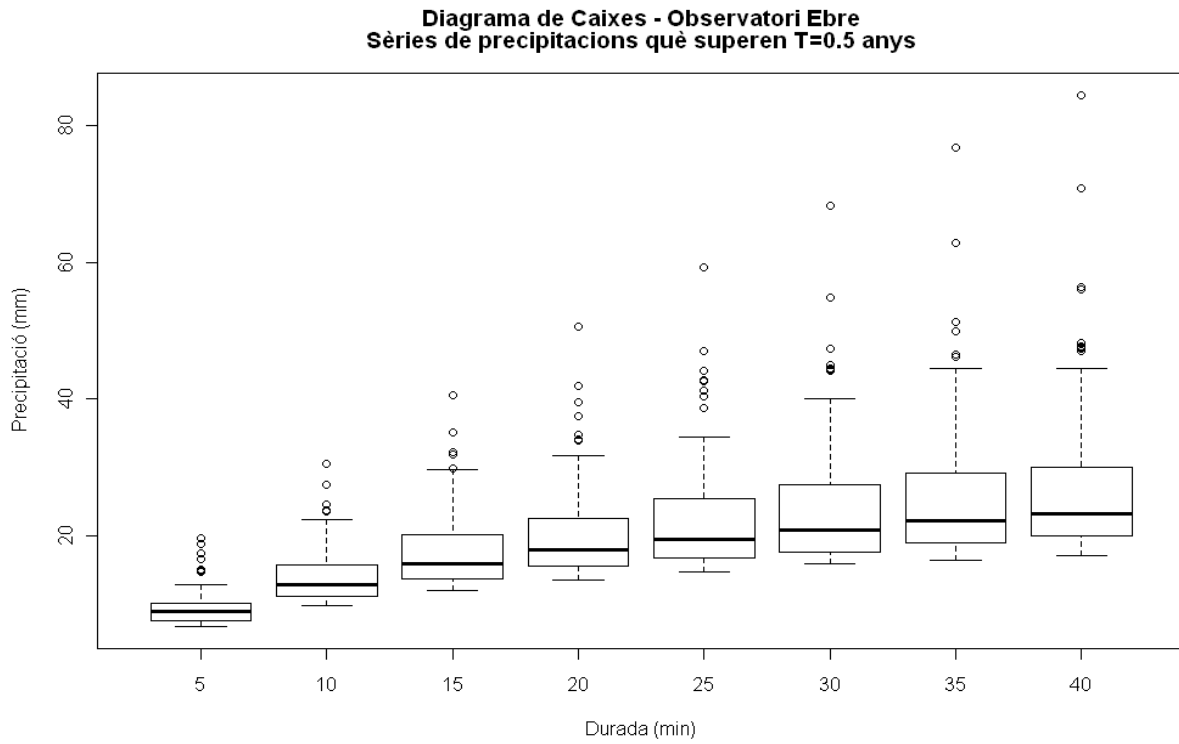


Figura 18a: Sèries de dades de precipitacions màximes de l'Observatori Ebre per a durades de 5 a 40 minuts (a dalt) i de 45 a 80 minuts (a baix).

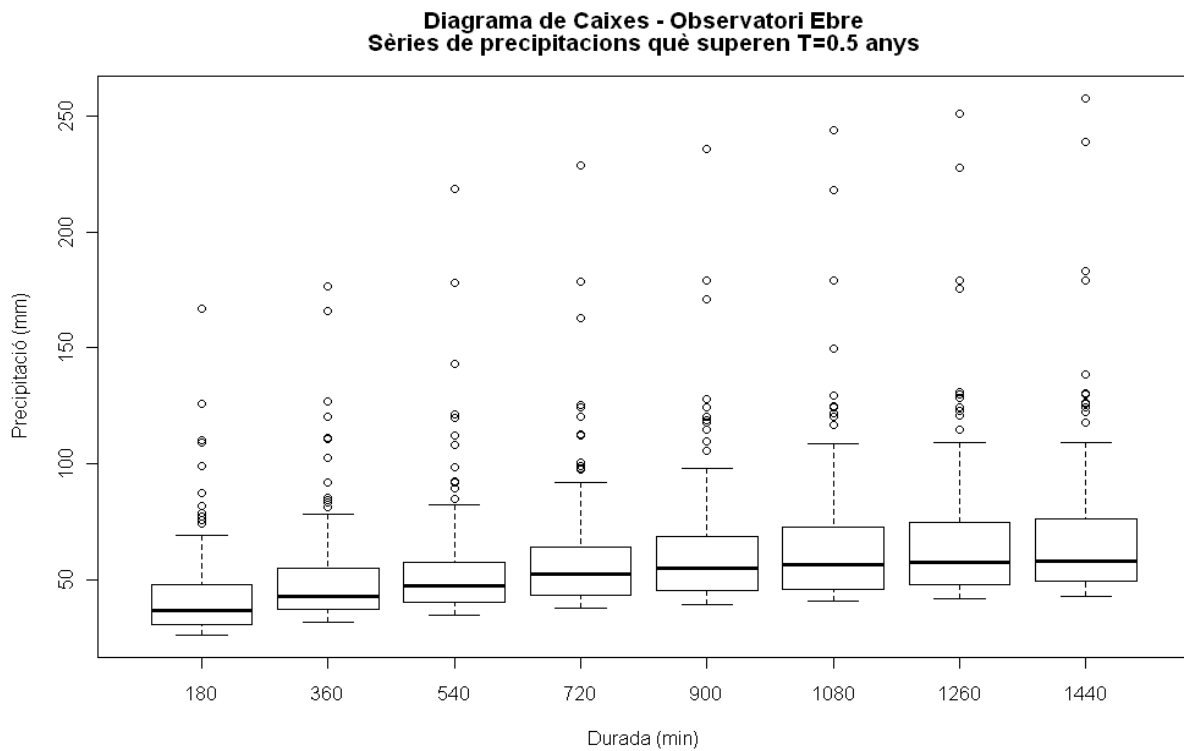
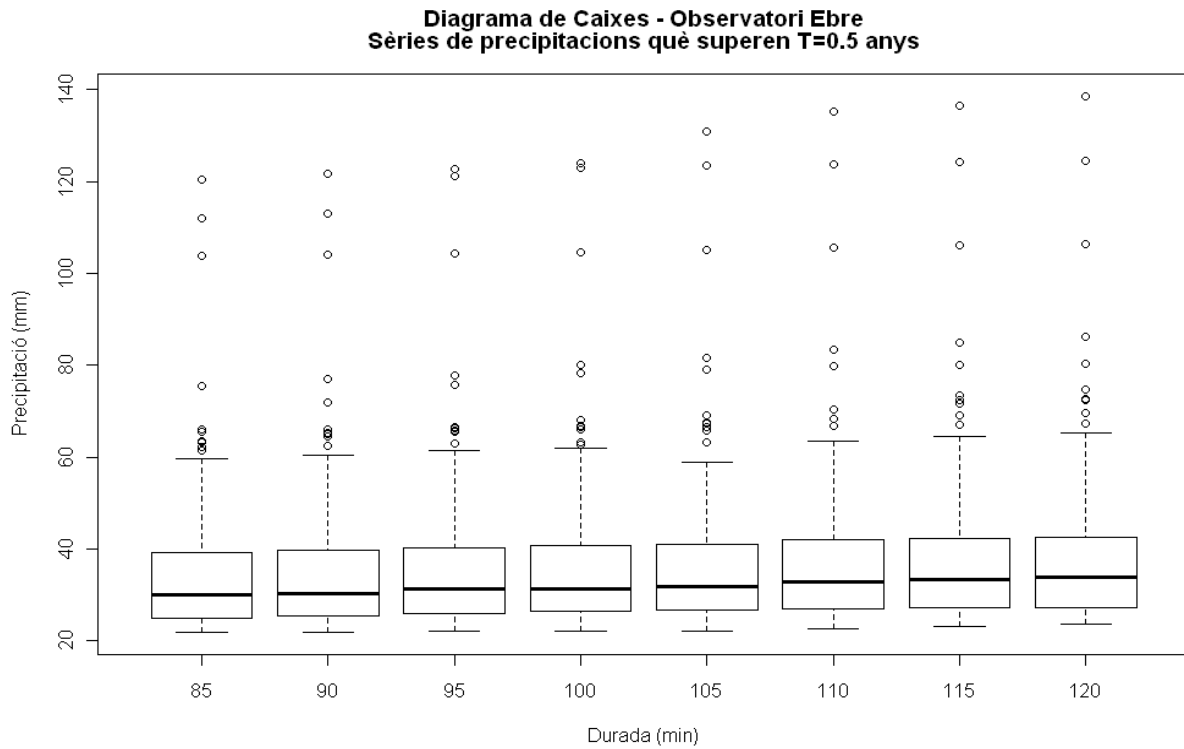


Figura 18b: Sèries de dades de precipitacions màximes de l'Observatori Ebre per a durades de 85 a 120 minuts (a dalt) i de 180 a 1440 minuts (a baix).

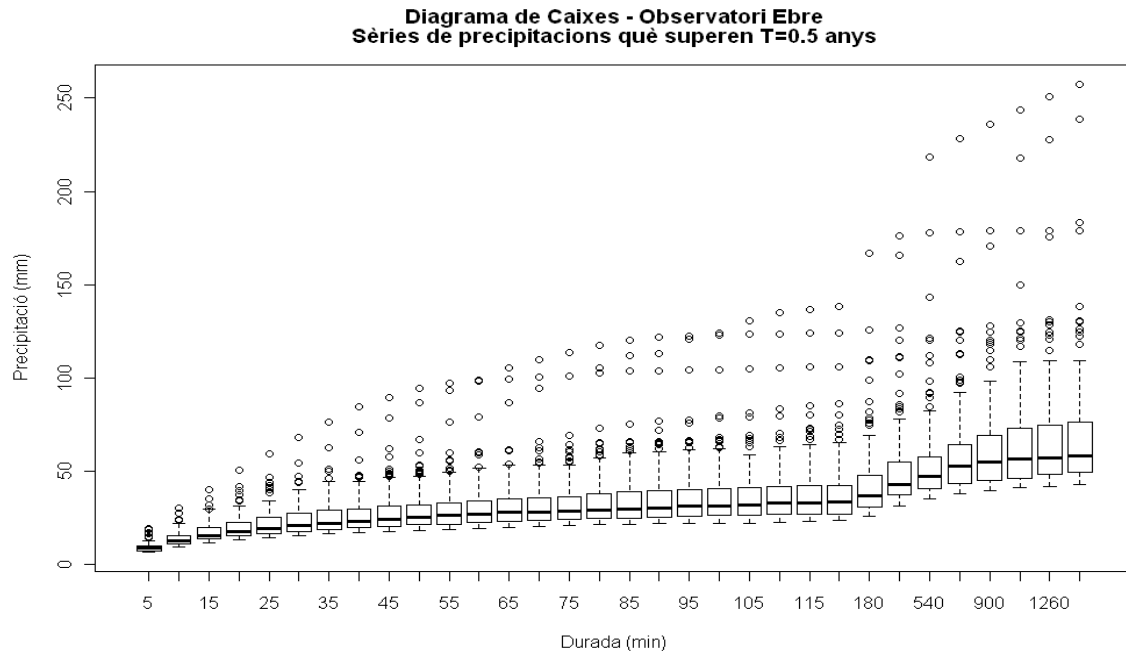


Figura 19: Diagrama de caixes de les sèries de dades de cada durada de l'Observatori Ebre.

A la figura 19 s'han representat tots els diagrames de caixes per tal de comparar les distribucions de precipitació extremes obtingudes per a cada durada. Cal anar en compte amb l'espaiat entre distribucions, ja que es produeix un canvi a partir de 2 hores de durada. Igualment, es pot observar com per a la distribució de 360 minuts, el valor màxim de la sèrie no augmenta amb la durada seguint la tendència general. Aquest fet es pot interpretar de diverses formes, per exemple, si s'opossem que el valor màxim de cada durada té un període de retorn de 98 anys, com la longitud de la sèrie, al cas de la durada de 360 minuts, podríem pensar que encara no s'ha produït, el valor de precipitació amb període de retorn de 98 anys per aquesta durada. En qualsevol cas podem dir que hi ha una peculiaritat en la distribució de les precipitacions màximes segons la durada de l'esdeveniment en aquesta regió, sent menys probable que es produeixin esdeveniments abundants per a durades properes a 6 hores.

<b>Durada(min)</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>35</b>	<b>40</b>
<b>mitjana (mm)</b>	9.16	13.84	17.30	19.82	21.77	23.44	24.93	26.27
<b>desviació(mm)</b>	2.11	3.70	4.84	5.90	6.93	7.79	8.64	9.57
<b>Durada(min)</b>	<b>45</b>	<b>50</b>	<b>55</b>	<b>60</b>	<b>65</b>	<b>70</b>	<b>75</b>	<b>80</b>
<b>mitjana (mm)</b>	27.52	28.66	29.64	30.46	31.28	32.08	32.89	33.61
<b>desviació(mm)</b>	10.31	10.95	11.52	11.94	12.46	12.94	13.47	13.92
<b>Durada(min)</b>	<b>85</b>	<b>90</b>	<b>95</b>	<b>100</b>	<b>105</b>	<b>110</b>	<b>115</b>	<b>120</b>
<b>mitjana (mm)</b>	34.20	34.81	35.43	35.97	36.46	36.97	37.43	37.81
<b>desviació(mm)</b>	14.30	14.53	14.89	15.15	15.46	15.72	15.87	16.00
<b>Durada(min)</b>	<b>180</b>	<b>360</b>	<b>540</b>	<b>720</b>	<b>900</b>	<b>1080</b>	<b>1260</b>	<b>1440</b>
<b>mitjana (mm)</b>	41.93	49.30	53.92	58.24	61.34	64.21	66.31	68.24
<b>desviació(mm)</b>	18.15	20.72	22.74	24.15	25.06	27.51	28.69	29.83

Taula 8: Mitjana i desviació típica per a cada sèrie de dades de l'Observatori Ebre.

A la *taula 8*, es presenten la mitjana i la desviació típica de la sèrie de dades obtinguda per a cada durada.

### 3.3.3 Ajust a una Funció de Distribució

Cadascuna de les sèries és ajustada a les quatre funcions de distribucions descrites a l'apartat 2.3.4, aconseguint els paràmetres per a cada una d'elles. Comparant les freqüències acumulades observades i empíriques es construeix la *taula 9* on es presenta el valor del test de Kolmogorov – Smirnov.

Kolmogorov - Smirnov				
Durada	D.Gamma	D.Log-normal	D.Pearson	D.G.Pareto
5	0.11	0.08	0.10	0.12
10	0.12	0.09	0.07	0.04
15	0.13	0.11	0.06	0.04
20	0.13	0.10	0.04	0.04
25	0.15	0.12	0.04	0.04
30	0.16	0.11	0.05	0.05
35	0.16	0.11	0.10	0.05
40	0.17	0.12	0.13	0.04
45	0.17	0.11	0.15	0.04
50	0.17	0.11	0.18	0.04
55	0.18	0.11	0.17	0.04
60	0.18	0.11	0.18	0.04
65	0.18	0.11	0.18	0.04
70	0.18	0.11	0.19	0.04
75	0.19	0.11	0.20	0.05
80	0.20	0.12	0.21	0.04
85	0.20	0.12	0.21	0.05
90	0.19	0.11	0.22	0.05
95	0.18	0.11	0.21	0.05
100	0.18	0.10	0.20	0.05
105	0.18	0.10	0.21	0.06
110	0.18	0.10	0.22	0.05
115	0.18	0.10	0.22	0.05
120	0.19	0.10	0.23	0.05
180	0.20	0.11	0.21	0.06
360	0.20	0.11	0.19	0.07
540	0.21	0.11	0.26	0.06
720	0.21	0.12	0.26	0.06
900	0.19	0.11	0.26	0.07
1080	0.21	0.12	0.26	0.06
1260	0.20	0.12	0.24	0.06
1440	0.21	0.13	0.23	0.06

Taula 9: Estadístic D del test de Kolmogorov – Smirnov per a cada durada i funció de distribució calculat amb la comanda `ks.test` de R.



Es determina el valor crític del test mitjançant l'equació 21, sabent que el nombre d'esdeveniments  $n$ , és 196 per a totes les durades, obtenim  $d = 0.10$ . Segons el resultat del test de Kolmogorov – Smirnov, la funció de distribució generalitzada de Pareto és acceptada com la funció de distribució que millor ajust presenta a les sèries de dades de totes les durades excepte a la de 5 minuts, en ser major el valor del test que el valor crític. En canvi, la resta de distribucions superen el valor crític a una o més durades.

El valor del RMSE (*taula 10*) mostra una bona estimació de la precipitació per a les funcions de distribució generalitzada de Pareto i de Pearson.

Durada	RMSE			
	D.Gamma	D.Log-normal	D.Pearson	D.G.Pareto
5	0.68	0.64	0.42	0.44
10	0.92	0.85	0.31	0.27
15	1.34	1.24	0.47	0.43
20	1.72	1.62	0.56	0.57
25	2.16	2.06	0.85	0.85
30	2.52	2.42	0.96	0.98
35	2.91	2.82	1.15	1.16
40	3.34	3.27	1.38	1.37
45	3.67	3.62	1.56	1.55
50	3.99	3.95	1.81	1.77
55	4.37	4.35	2.06	2.02
60	4.59	4.58	2.17	2.14
65	4.92	4.92	2.40	2.35
70	5.19	5.21	2.49	2.46
75	5.41	5.44	2.57	2.54
80	5.66	5.70	2.61	2.61
85	5.88	5.93	2.81	2.79
90	5.89	5.94	2.71	2.70
95	6.08	6.14	2.93	2.90
100	6.10	6.15	2.95	2.91
105	6.27	6.33	3.03	2.97
110	6.40	6.47	3.05	2.98
115	6.45	6.52	2.98	2.94
120	6.50	6.58	2.95	2.91
180	7.65	7.78	3.39	3.41
360	8.78	8.91	3.70	3.86
540	10.79	10.93	4.89	5.03
720	10.72	10.83	4.97	4.90
900	10.67	10.74	4.96	4.83
1080	11.71	11.88	5.40	5.38
1260	12.31	12.51	5.68	5.74
1440	12.61	12.83	5.84	5.88

Taula 10: RMSE per a cada durada i funció de distribució assajada per a les dades de l'Observatori Ebre.

El valor del RMSE augmenta amb la durada i, segons aquest error, les distribucions de Pearson i generalitzada de Pareto són les que menys desviació presenten. Amb la finalitat d'escollir una funció de distribució per a la durada de 5 minuts, representem la precipitació observada per aquesta durada, i les precipitacions esperades segons les distribucions log-normal, Pearson i generalitzada de Pareto (per a les freqüències observades calculades amb la funció de Weibull (4)) (figura 20). Segons aquesta gràfica, la distribució de Pearson i generalitzada de Pareto segueixen igualment bé les precipitacions observades, i es descarta la distribució log-normal ja que no representa correctament cap extrem de les observacions.

Finalment, escollim emprar la funció de distribució generalitzada de Pareto per a la construcció de les corbes IDF de l'Observatori Ebre.

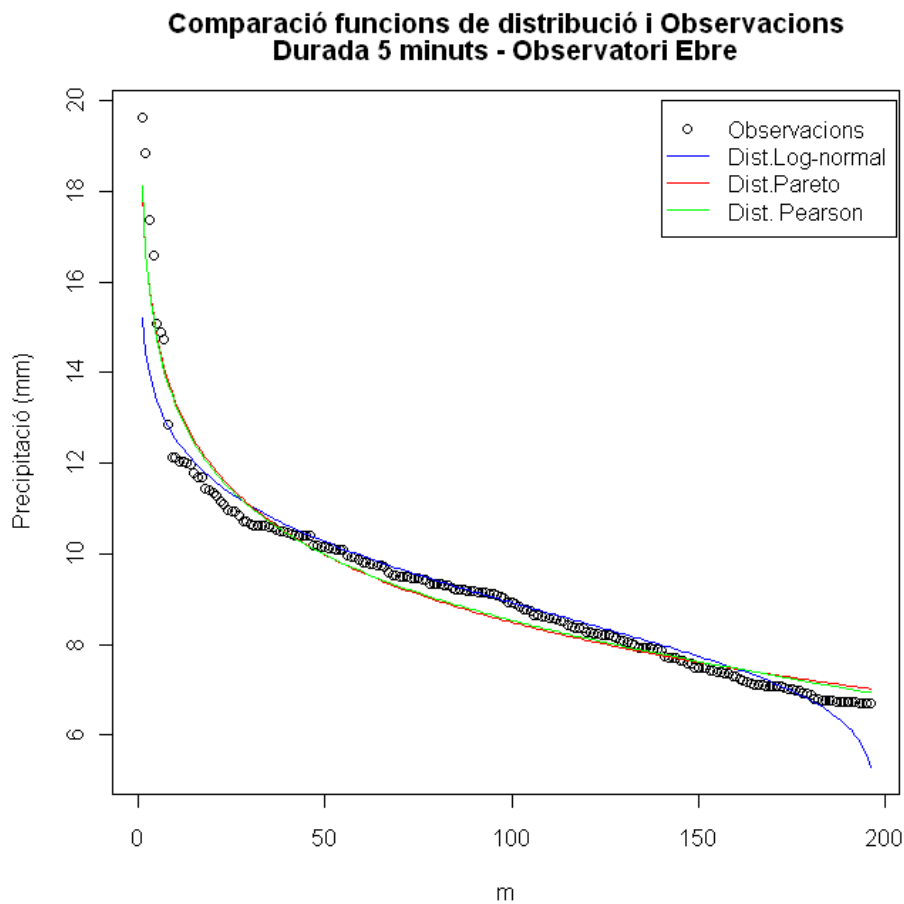


Figura 20: Precipitacions observades en 5 minuts i ajust de les funcions de distribucions generalitzada de Pareto, Pearson i Log-normal.

Recordem que la funció de distribució generalitzada de Pareto depèn de tres paràmetres que es calculen pel mètode dels moments i mitjançant la tabulació del paràmetre de localització en funció del coeficient d'asimetria de cada mostra (Veure apèndix B). A continuació (taula 11) es presenten els valors que prenen els paràmetres de la funció de distribució generalitzada de Pareto per a cada durada.

PARÀMETRES DE LA FUNCIÓ DE DISTRIBUCIÓ GENERALITZADA DE PARETO								
<b>Durada (min)</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>35</b>	<b>40</b>
<b>P. Forma</b>	0.018	0.118	0.079	0.038	0.014	-0.013	-0.038	-0.057
<b>P. Escala</b>	2.19	4.60	5.62	6.35	7.13	7.59	8.00	8.49
<b>P. Localització</b>	7.01	9.72	12.09	13.70	14.74	15.75	16.62	17.27
<b>Durada (min)</b>	<b>45</b>	<b>50</b>	<b>55</b>	<b>60</b>	<b>65</b>	<b>70</b>	<b>75</b>	<b>80</b>
<b>P. Forma</b>	-0.067	-0.079	-0.089	-0.091	-0.101	-0.106	-0.107	-0.111
<b>P. Escala</b>	8.95	9.26	9.51	9.81	10.02	10.27	10.67	10.92
<b>P. Localització</b>	17.92	18.61	19.20	19.67	20.14	20.60	20.94	21.33
<b>Durada (min)</b>	<b>85</b>	<b>90</b>	<b>95</b>	<b>100</b>	<b>105</b>	<b>110</b>	<b>115</b>	<b>120</b>
<b>P. Forma</b>	-0.116	-0.111	-0.115	-0.112	-0.117	-0.119	-0.117	-0.117
<b>P. Escala</b>	11.08	11.38	11.56	11.85	11.95	12.10	12.25	12.36
<b>P. Localització</b>	21.67	22.00	22.36	22.63	22.94	23.24	23.55	23.81
<b>Durada (min)</b>	<b>180</b>	<b>360</b>	<b>540</b>	<b>720</b>	<b>900</b>	<b>1080</b>	<b>1260</b>	<b>1440</b>
<b>P. Forma</b>	-0.129	-0.121	-0.158	-0.142	-0.130	-0.130	-0.131	-0.128
<b>P. Escala</b>	13.61	15.84	15.84	17.54	18.75	20.60	21.44	22.43
<b>P. Localització</b>	26.30	31.27	35.11	37.80	39.79	40.54	41.64	42.51

Taula 11: Paràmetres d'ajust de la Funció de Distribució Generalitzada de Pareto per a cada durada.

Es calculen i es representen les precipitacions màximes esperades per a cada durada i període de retorn (figura 21).

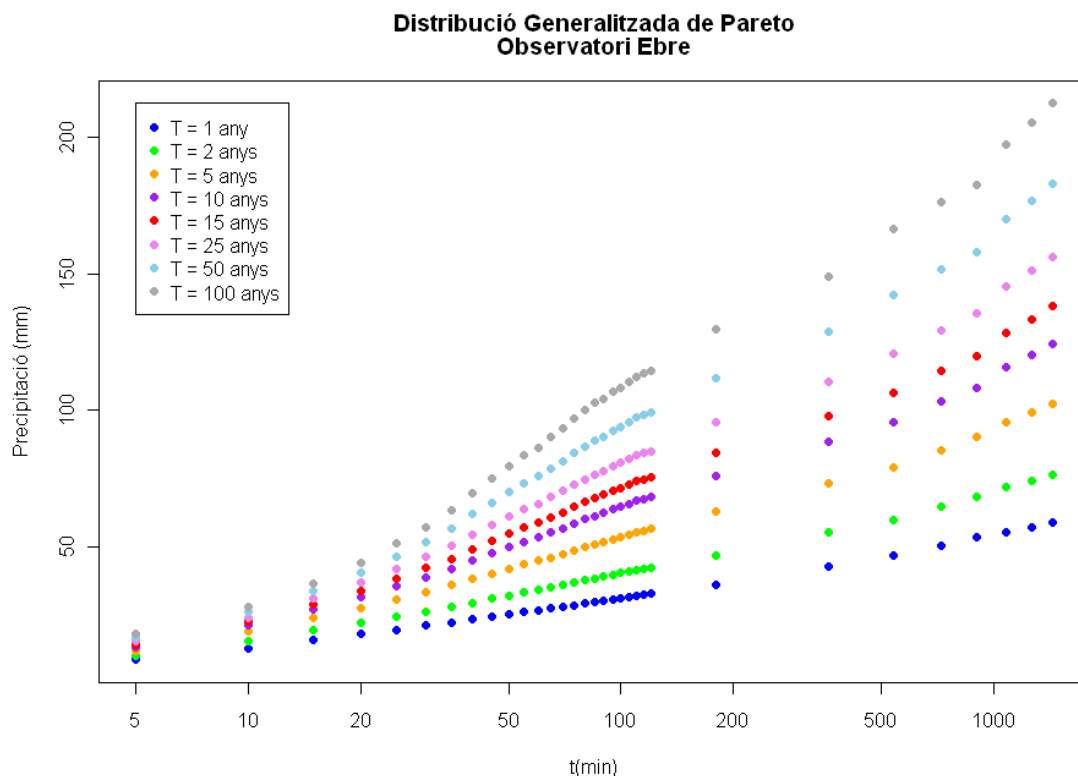


Figura 21: Sèries de dades de precipitació per a cada durada i període de retorn de l'Observatori Ebre obtinguda a partir de la funció de distribució generalitzada de Pareto.

FUNCIÓ DE DISTRIBUCIÓ GENERALITZADA DE PARETO								
Durada(min)	T (anys)							
	1	2	5	10	15	25	50	100
5	8.52	10.01	11.95	13.40	14.23	15.28	16.68	18.07
10	12.79	15.61	19.00	21.33	22.61	24.13	26.06	27.84
15	15.88	19.47	23.93	27.09	28.86	31.02	33.80	36.44
20	18.05	22.28	27.71	31.69	33.97	36.80	40.54	44.19
25	19.66	24.53	30.89	35.65	38.41	41.87	46.52	51.12
30	21.03	26.36	33.48	38.92	42.13	46.19	51.74	57.34
35	22.24	28.00	35.86	41.99	45.65	50.34	56.85	63.53
40	23.27	29.51	38.16	45.00	49.14	54.48	61.98	69.79
45	24.28	30.93	40.22	47.63	52.13	57.97	66.23	74.88
50	25.21	32.17	41.98	49.89	54.72	61.03	70.00	79.47
55	26.00	33.23	43.51	51.85	56.98	63.71	73.34	83.59
60	26.69	34.17	44.81	53.46	58.79	65.78	75.81	86.49
65	27.33	35.04	46.09	55.16	60.76	68.16	78.82	90.25
70	27.98	35.93	47.37	56.80	62.64	70.36	81.54	93.57
75	28.62	36.89	48.80	58.62	64.71	72.77	84.43	97.00
80	29.19	37.69	49.97	60.12	66.43	74.80	86.93	100.04
85	29.67	38.33	50.91	61.35	67.86	76.50	89.08	102.70
90	30.20	39.06	51.88	62.48	69.08	77.82	90.50	104.21
95	30.70	39.74	52.84	63.72	70.50	79.50	92.60	106.78
100	31.17	40.40	53.76	64.81	71.69	80.81	94.06	108.37
105	31.56	40.92	54.50	65.79	72.84	82.20	95.82	110.60
110	31.98	41.48	55.28	66.78	73.95	83.49	97.41	112.51
115	32.39	41.99	55.94	67.53	74.77	84.38	98.39	113.59
120	32.74	42.42	56.48	68.17	75.46	85.16	99.28	114.59
180	36.17	46.96	62.81	76.10	84.44	95.60	111.96	129.86
360	42.73	55.19	73.36	88.51	97.98	110.60	129.02	149.06
540	46.71	59.66	79.09	95.78	106.42	120.84	142.36	166.37
720	50.58	64.67	85.56	103.27	114.46	129.51	151.76	176.30
900	53.39	68.27	90.13	108.48	120.02	135.44	158.07	182.84
1080	55.48	71.82	95.82	115.96	128.61	145.53	170.36	197.52
1260	57.20	74.23	99.24	120.25	133.45	151.10	177.02	205.39
1440	58.77	76.54	102.59	124.42	138.12	156.43	183.26	212.57

Taula 12: Precipitació esperada per la funció de distribució generalitzada de Pareto per a cada durada i període de retorn considerat.

Finalment, s'haurà de dividir els valors de precipitació de la *taula 12* pel corresponent valor de durada, per tal d'obtenir la sèrie de dades d'Intensitat – Durada – Freqüència.

### 3.4 Càlcul de les Corbes IDF

#### 3.4.1 Selecció de l'Equació IDF

A partir de les dades d'Intensitat – Durada – Freqüència obtingudes, s'ajusten les quatre equacions de corbes IDF descrites a l'apartat 2.4.1, i es calcula el coeficient de correlació de Pearson (26) (taula 13).

COEFICIENT DE CORRELACIÓ				
T (anys)	Talbot	Bernard	Sherman	Chow
1	0.998	0.995	0.99997	0.99997
2	0.998	0.993	0.99998	0.99997
5	0.998	0.992	0.99989	0.99996
10	0.997	0.992	0.9997	0.99985
15	0.996	0.992	0.9994	0.9997
25	0.995	0.991	0.9989	0.9994
50	0.994	0.99	0.998	0.9986
100	0.992	0.988	0.996	0.997

Taula 13: Coeficient de correlació per l'ajust de les quatre corbes IDF a cada període de retorn.

També s'ha calculat el valor del RMSE en cada cas segons l'equació 27 (taula 14).

RMSE				
T (anys)	Talbot	Bernard	Sherman	Chow
1	0.0262	0.0396	0.0027	0.0027
2	0.0313	0.0541	0.0032	0.0032
5	0.0424	0.0702	0.0085	0.0051
10	0.0537	0.0815	0.0165	0.0108
15	0.0614	0.0883	0.0231	0.0162
25	0.0724	0.0978	0.0332	0.0255
50	0.0892	0.1131	0.0504	0.0402
100	0.108	0.1325	0.0716	0.0599

Taula 14: RMSE per l'ajust de les quatre corbes IDF per a cada període de retorn.

A les taules 13 i 14, es pot comprovar fàcilment que les equacions de Sherman (24) i Chow (25) són les que millor ajust presenten en ésser definides per 3 paràmetres. Tanmateix les altres dues equacions presenten un valor del coeficient de correlació molt proper a 1 i un RMSE prou baix. Per tant, donats aquests valors que expliquen el bon ajust entre les dades i els models, i les consideracions fetes a l'apartat 2.4.2, es conclou determinar les corbes IDF mitjançant les equacions de Bernard (23) i de Sherman (24).

### 3.4.2 Ajust a l'Equació de Bernard

Els valors dels paràmetres de l'ajust al model de Bernard (23) es presenta a la *taula 15*.

T (anys)	a (mm)	$\epsilon_a$ (mm)	b	$\epsilon_b$
1	4.5	0.2	0.563	0.011
2	5.1	0.2	0.537	0.013
5	5.8	0.2	0.506	0.013
10	6.3	0.3	0.485	0.013
15	6.6	0.3	0.474	0.013
25	6.9	0.3	0.459	0.013
50	7.3	0.3	0.440	0.013
100	7.6	0.4	0.421	0.014

Taula 15: Paràmetres de l'ajust a l'equació de Bernard (23) per a cada període de retorn de la sèrie de dades de l'Ebre.

La representació de les corbes IDF segons aquest model es mostra a la *figura 22*.

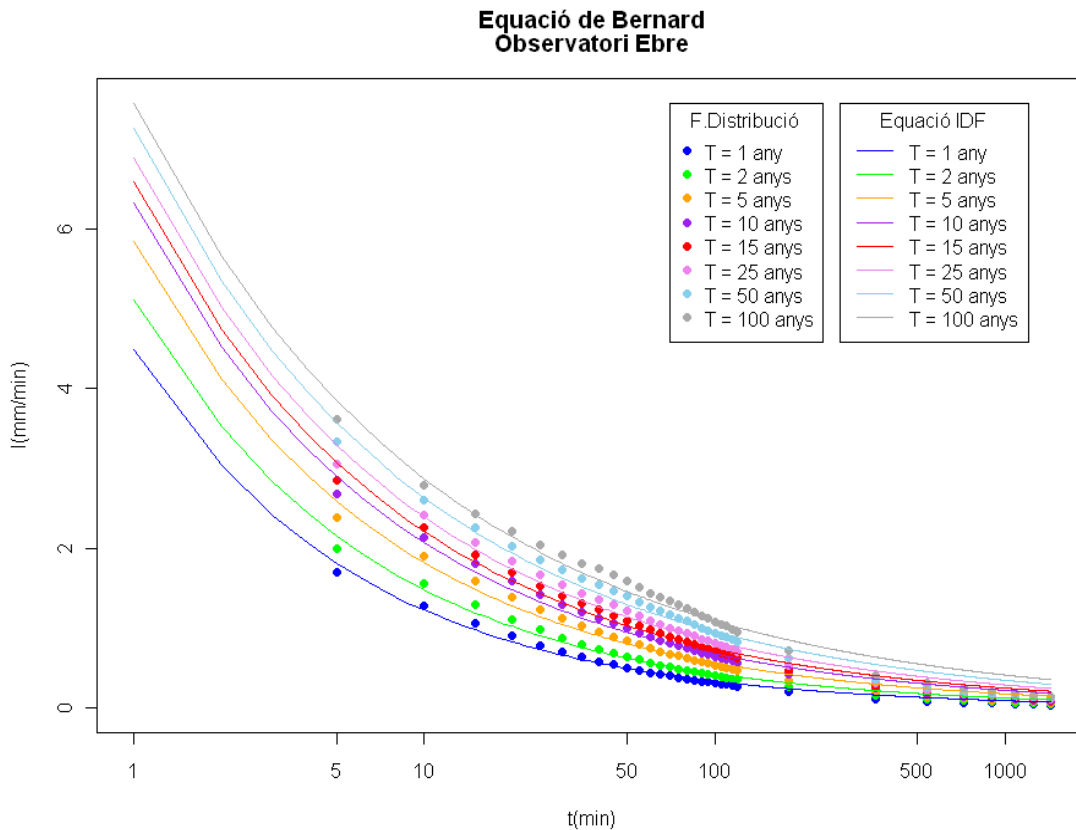


Figura 22: Corbes IDF a partir del model de Bernard (23) (línies) i observacions teòriques segons la funció de distribució generalitzada de Pareto (punts) per a cada període de retorn a l'Observatori de l'Ebre.

### 3.4.3 Ajust a l'Equació de Sherman

Les corbes IDF de l'Observatori Ebre són les determinades per la equació de Sherman (24) (taula 16).

T (anys)	a (mm)	$\epsilon_a$ (mm)	b (min)	$\epsilon_b$ (mim)	c	$\epsilon_c$
1	10.9	0.2	6.4	0.1	0.762	0.004
2	13.8	0.2	7.9	0.1	0.757	0.003
5	16.3	0.6	8.9	0.3	0.729	0.008
10	17.4	1.0	9.5	0.6	0.703	0.012
15	17.9	1.3	9.8	0.8	0.688	0.016
25	18.4	1.8	10.2	1.1	0.669	0.021
50	19.3	2.6	11.0	1.6	0.646	0.028
100	20.6	3.6	12.3	2.3	0.629	0.036

Taula 16: Paràmetres de l'ajust a l'equació de Sherman (24) per a cada període de retorn de la sèrie de dades de l'Ebre.

A continuació es representa la intensitat de precipitació en funció de la durada considerada per a cada període de retorn donada pel model IDF i per la sèrie de dades ajustades a partir de la funció de distribució generalitzada de Pareto (figura 23).

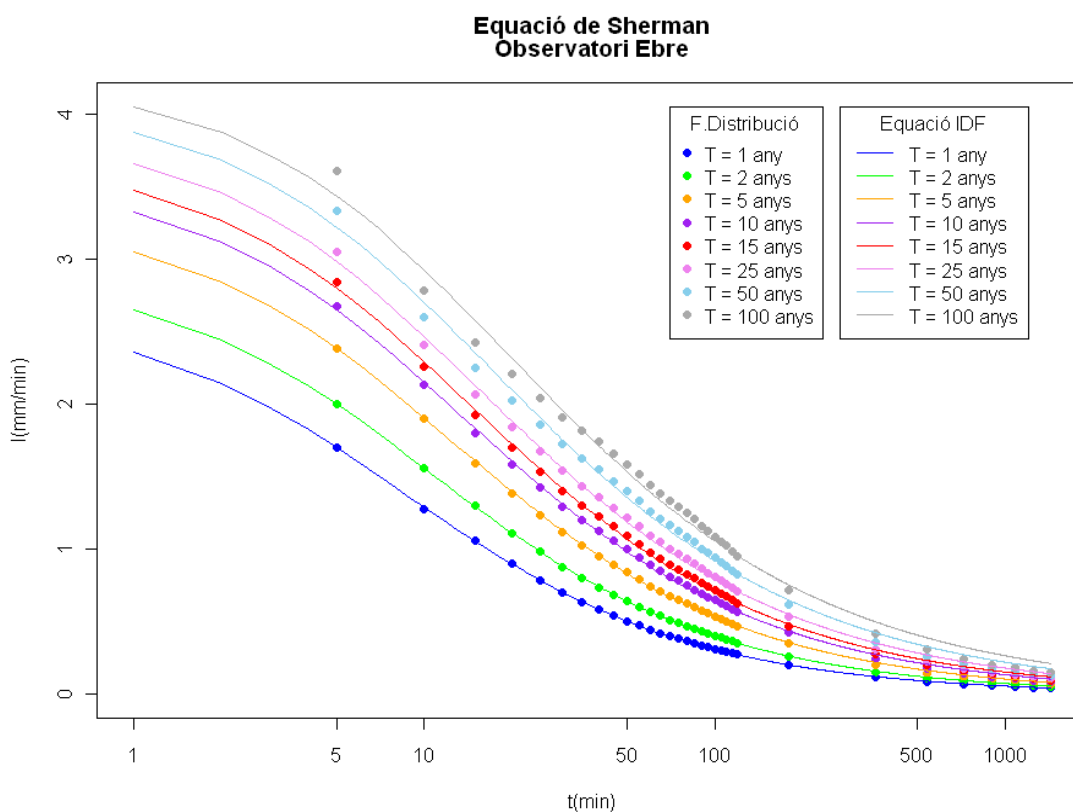


Figura 23: Corbes IDF a partir de l'equació de Sherman (24) (línies) i observacions teòriques segons la funció de distribució generalitzada de Pareto (punts) per a cada període de retorn a l'Observatori de l'Ebre.

Podem notar la diferència entre ajustar a una equació amb 2 paràmetres (figura 22) i fer-ho a una amb 3 paràmetres (figura 23), ja que l'equació de Sherman s'ajusta millor en ser més flexible per a durades petites. La representació de l'equació de Bernard mostra la falta d'un paràmetre que limiti els valors de la intensitat per a durades petites, mentre que per a durades grans coincideix fortament amb els valors que s'obtenen per a l'equació de Sherman (figura 23).

### 3.4.4 Generalització de les Corbes IDF

#### 3.4.4.1 Generalització a un Paràmetre

Per tal de generalitzar les corbes IDF prenem el valor mitjà dels paràmetres  $b$  i  $c$  que es mostren a la *taula 16* i es torna a ajustar aquest model amb un únic paràmetre a ajustar ( $a$ ) (*taula 17*).

Ajust equació Sherman amb $b = 9.5$ i $c = 0.698$			
T(anys)	a (mm)	$\epsilon_a$ (mm)	$r^2$
1	9.6	0.2	0.995
2	11.8	0.1	0.998
5	14.8	0.1	0.9997
10	17.1	0.1	0.9997
15	18.4	0.1	0.9992
25	20.1	0.1	0.998
50	22.5	0.3	0.995
100	24.9	0.4	0.990

Taula 17: Resultat de l'ajust a l'equació de Sherman (24) amb  $b$  i  $c$  constants en funció del període de retorn.

Ja que l'ajust és lineal en ser  $a$  una constant de proporcionalitat, es pot valorar l'acord de l'ajust amb el coeficient de correlació de Pearson.

A continuació es mostren les representacions de les relacions logarítmica i potencial del paràmetre  $a$  amb el període de retorn (*figura 24*).



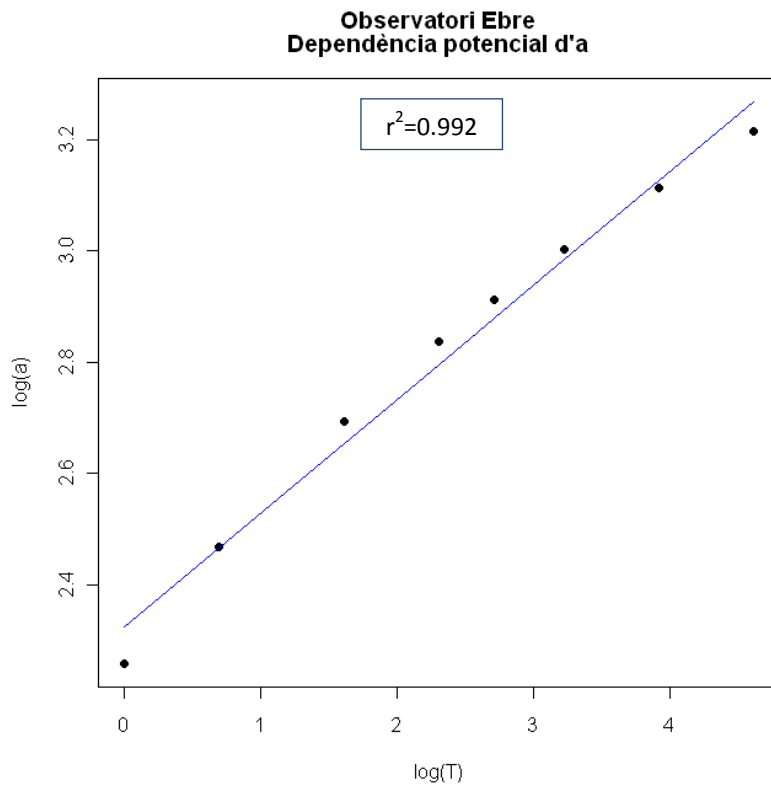
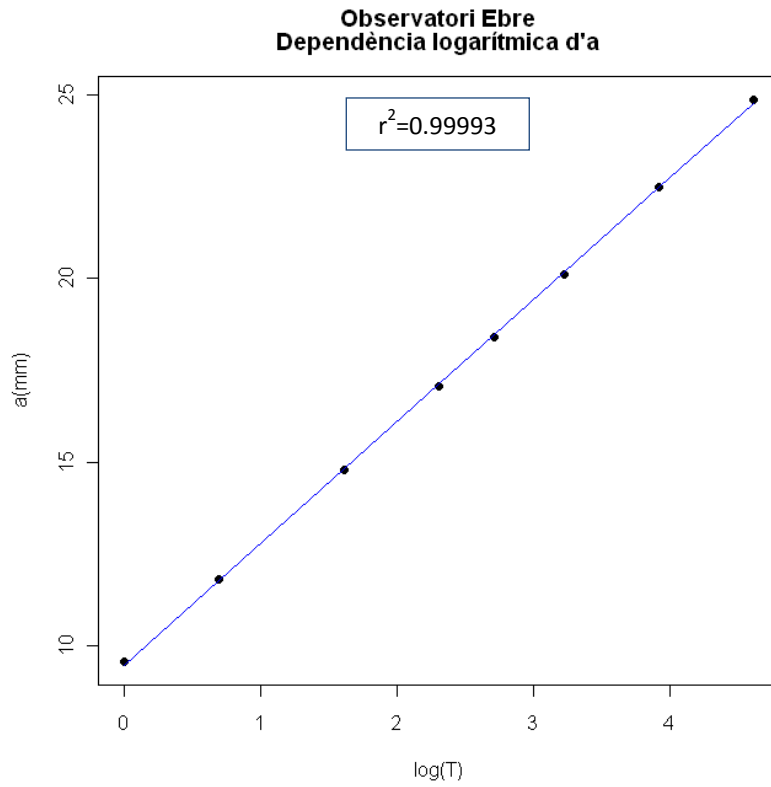


Figura 24: Ajust logarítmic (a dalt) i ajust potencial (a baix) del paràmetre  $a$  amb el període de retorn.

A la figura 24 es pot veure com l'ajust logarítmic del paràmetre  $a$  és millor que no pas l'ajust potencial, tal i com corrobora el coeficient de correlació. Per tant s'escull realitzar la generalització mitjançant l'ajust logarítmic, que resulta:

$$a = (9.48 \pm 0.5) + (3.32 \pm 0.02) \cdot \ln T \quad (33)$$

I l'equació de la generalització de les corbes IDF és

$$I = \frac{3.32 \ln T + 9.48}{(9.5 + t)^{0.698}} \quad (34)$$

### Generalització Logarítmica - Corbes IDF Observatori Ebre

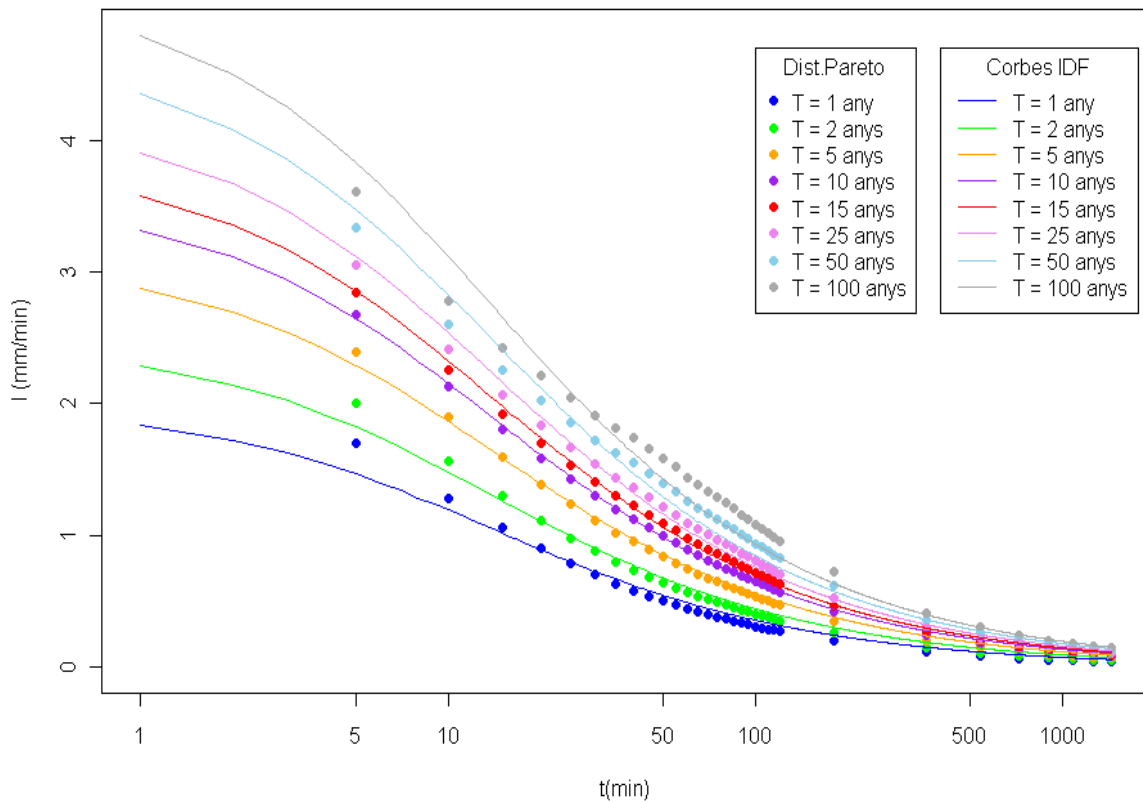


Figura 25: Corbes IDF generalitzades segons l'equació 34 (ínies) i observacions esperades segons la funció de distribució generalitzada de Pareto (punts) a l'Observatori de l'Ebre.

La figura 25, presenta les corbes IDF generalitzades segons l'equació 34.

T(anys)	$r^2$	RMSE
1	0.995	0.058
2	0.998	0.049
5	0.9997	0.029
10	0.9997	0.017
15	0.9992	0.026
25	0.998	0.050
50	0.995	0.091
100	0.990	0.142

Taula 18: Coeficient de correlació i RMSE entre la sèrie de dades obtinguda de l'ajust a la funció de distribució generalitzada de Pareto i el resultat de l'ajust a l'equació de les corbes IDF generalitzada (equació 34).

A la *taula 18* es presenta el coeficient de correlació i el RMSE per tal de donar una idea de l'acord que hi ha entre les estimacions de la funció de distribució generalitzada de Pareto i l'expressió de les corbes IDF generalitzades.

### 3.4.4.2 Generalització a dos Paràmetres

Els valors de l'ajust l'equació de Sherman (24) mostren un augmenten del paràmetre  $b$  amb període de retorn (*taula 16*), com s'observa a la *figura 26*.

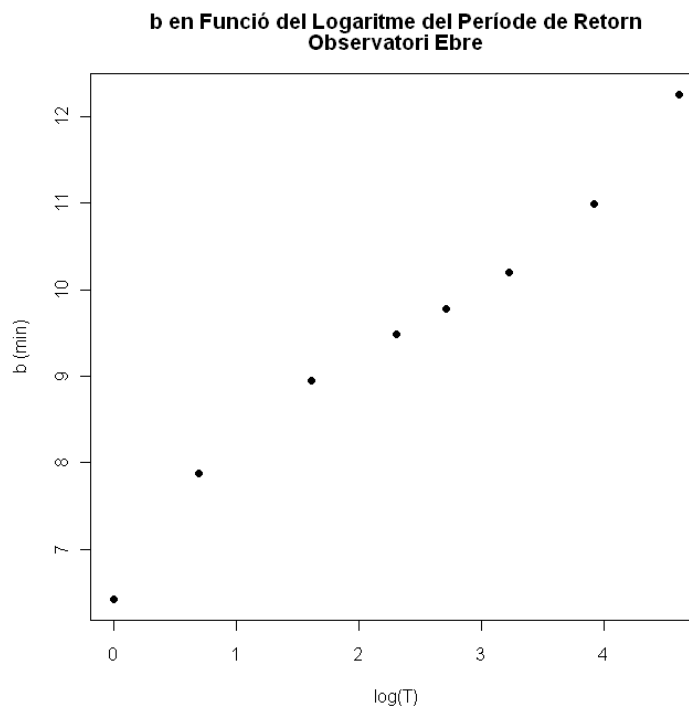


Figura 26: Paràmetre  $b$  (*taula 16*) en funció del logaritme del període de retorn.

Per tant, no sembla correcte suposar que aquest no varia i fer l'ajust amb el període de retorn exclusivament pel paràmetre  $a$ . Tractem, doncs, de fer la generalització de les corbes IDF considerant la dependència d' $a$  i  $b$  amb el període de retorn.

Com s'ha d'escrit a la metodologia, fem l'ajust de la sèrie de dades obtinguda de la funció de distribució generalitzada de Pareto per a cada període de retorn a l'equació de Sherman (24) prenent el paràmetre  $c$  constant (taula 19).

<b>Ajust equació de Sherman amb <math>c=0.698</math></b>						
<b>T(anys)</b>	<b>a (mm)</b>	<b><math>\epsilon_a</math> (mm)</b>	<b>b (min)</b>	<b><math>\epsilon_b</math> (mm)</b>	<b>r<sup>2</sup></b>	<b>RMSE</b>
1	8.20	0.05	4.4	0.1	0.9998	0.0102
2	10.61	0.06	5.8	0.1	0.9998	0.0111
5	14.08	0.06	7.7	0.1	0.9999	0.0109
10	16.96	0.10	9.2	0.2	0.9997	0.0165
15	18.77	0.14	10.3	0.3	0.9994	0.0232
25	21.22	0.22	11.7	0.4	0.9987	0.0341
50	24.89	0.37	14.0	0.7	0.997	0.0527
100	29.05	0.57	16.8	1.0	0.996	0.0747

Taula 19: Resultat de l'ajust de la sèrie de dades a l'equació de Sherman (24) amb  $c$  constant per a cada període de retorn.

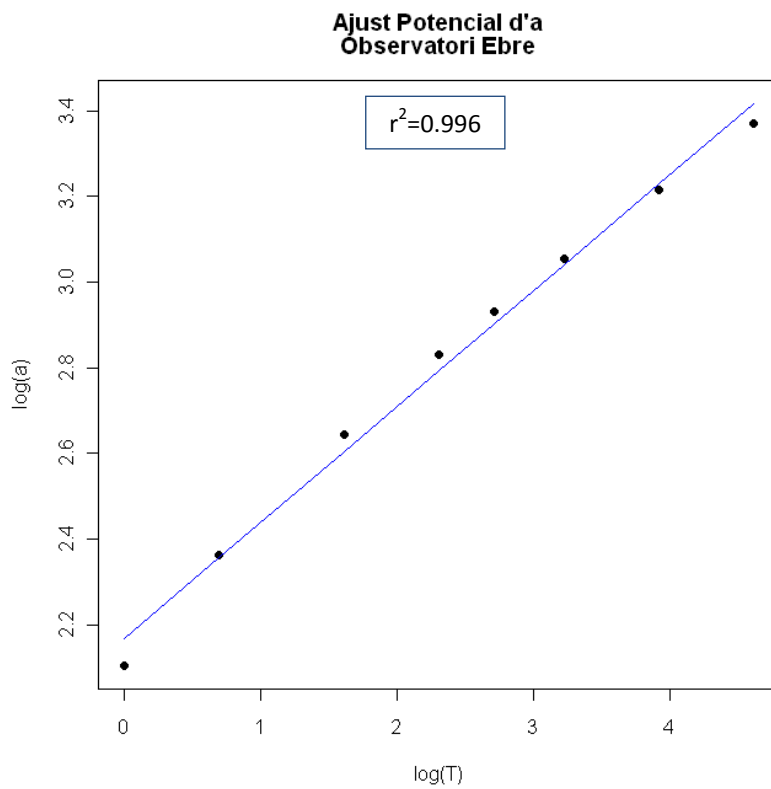
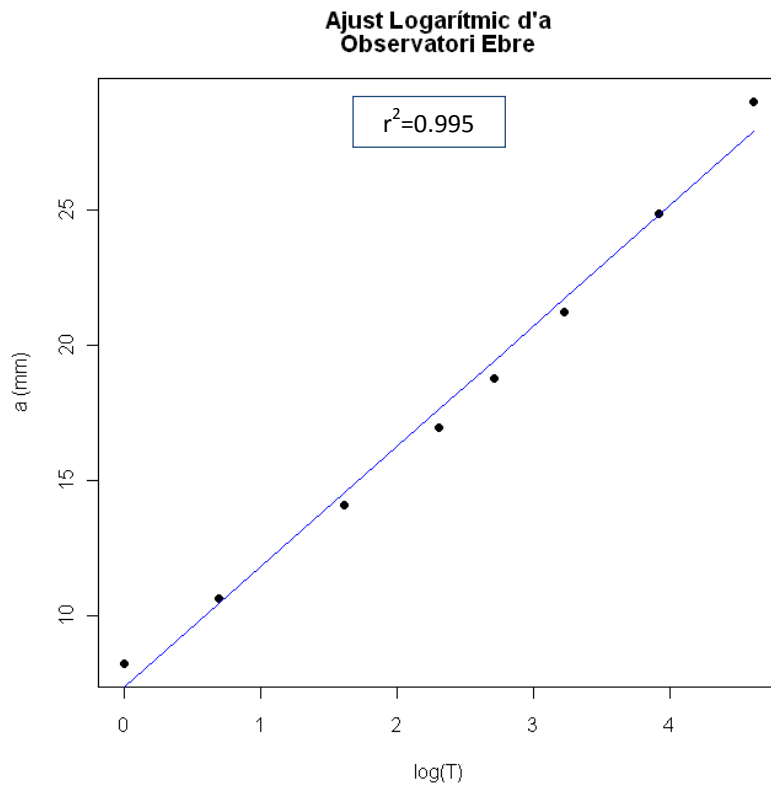
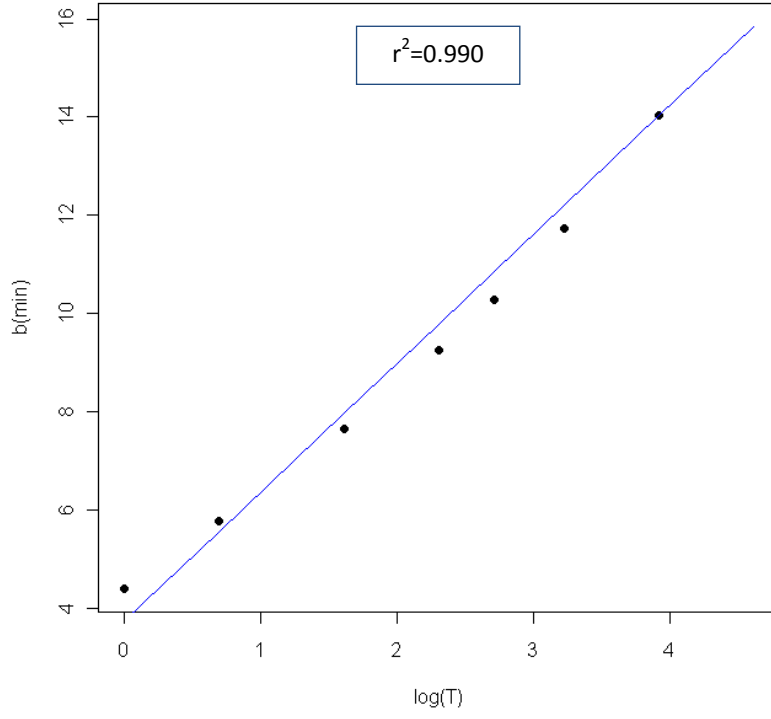


Figura 27: Ajust logarítmic del paràmetre a (a dalt) i potencial (a baix).

**Ajust Logarítmic de b  
Observatori Ebre**



**Ajust Potencial de b  
Observatori Ebre**

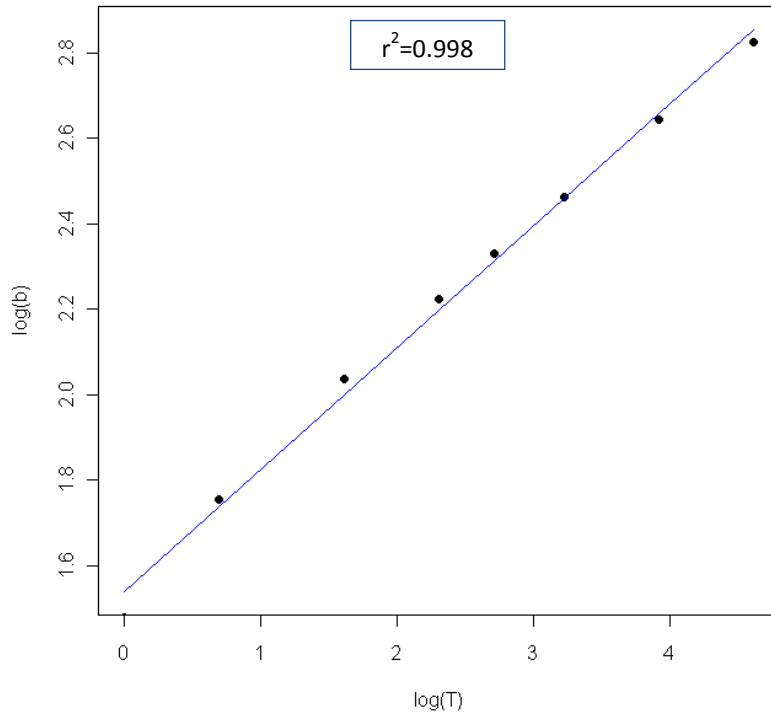


Figura 28: Ajust exponencial del paràmetre  $b$  (a dalt) i del ajust potencial (a baix).

Segons els valors del coeficient de correlació (*figures 27 i 28*), el millor ajust és el potencial per ambdues variables.

$$a = (8.7 \pm 0.3) \cdot T^{(0.271 \pm 0.010)} \quad (35)$$

$$b = (4.65 \pm 0.11) \cdot T^{(0.286 \pm 0.009)} \quad (36)$$

Amb aquestes parametritzacions es calculen el coeficient de correlació i el valor del RMSE a partir de l'equació 37 (*taula 20*), i es representen les intensitats esperades per aquesta generalització (*figura 29*).

T(anys)	r <sup>2</sup>	RMSE
1	0.99988	0.034
2	0.9998	0.011
5	0.9998	0.030
10	0.9996	0.036
15	0.9993	0.036
25	0.9987	0.037
50	0.997	0.055
100	0.996	0.096

Taula 20: Coeficient de correlació entre la sèrie de dades obtinguda de l'ajust a la funció de distribució generalitzada de Pareto i el resultat de l'ajust a l'equació de les corbes IDF generalitzada per dos paràmetres.

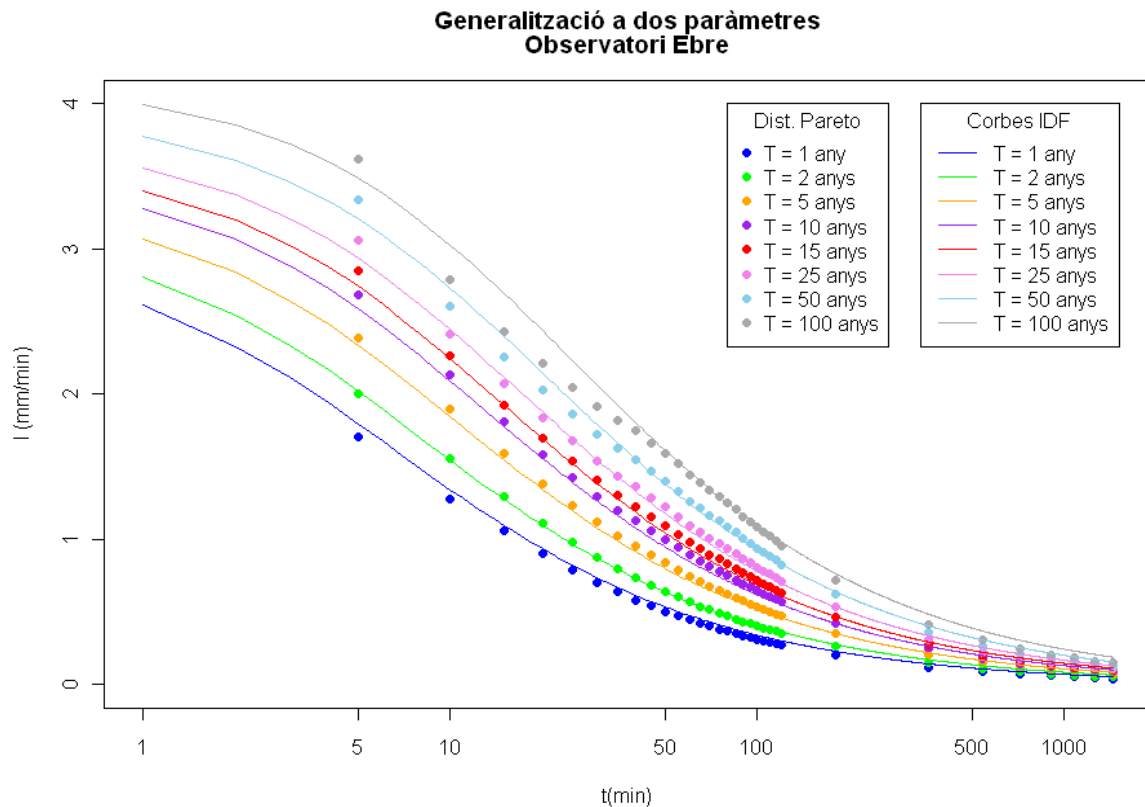


Figura 29: Corbes IDF generalitzades a dos paràmetres segons l'equació 37 (línies) i funció de distribució generalitzada de Pareto (punts) per a l'Observatori de l'Ebre.

$$I = \frac{8.7 T^{0.271}}{(4.65 T^{0.286} + t)^{0.698}} \quad (37)$$

Per fer ús d'aquesta equació s'haurà de substituir el valor del període de retorn i la durada per als qual es vol conèixer la intensitat, tenint en compte que la dependència amb el període de retorn apareix tant al numerador com al denominador.

A la generalització a un paràmetre, es considera que les corbes IDF mantenen la seva forma, ja que els paràmetres del denominador romanen constants, i les intensitats assolides per a cada durada varien amb el període de retorn degut a la dependència del numerador amb aquest. Per tant, aquesta generalització ens indica que les corbes IDF no modifiquen la seva forma si no que varien proporcionalment a una funció del període de retorn.

Amb la generalització a dos paràmetres es pot entendre que la forma d'aquestes corbes també dependrà del període de retorn. Per exemple, suposem que la durada considerada tendeixi a zero, en aquest cas el paràmetre  $b$  ens dona un límit per les intensitats que podran ser assolides a durades baixes. A l'altre cantó, com més alta sigui la durada considerada, menys pes tindrà el valor que prengui  $b$  per determinar la intensitat. Aleshores, segons la nova generalització podem interpretar que aquest límit, i per tant la forma de la corba, també venen donats per el període de retorn considerat.

D'altre banda, comparant les *taules 18 i 20*, podem veure que es millora l'ajust de les corbes IDF generalitzades fent servir l'equació 37 en comptes de l'equació 34, que generalitza només un paràmetre.

Finalment, cal notar que la diferència entre prendre una o altre parametrització d' $a$  i  $b$  amb el període de retorn, no presenta grans diferències en quant als valors del coeficient de correlació i del RMSE. Per donar una idea, es mostren els valors (*taula 21*), al cas de fer l'ajust exponencial dels paràmetre, d'aquests coeficients, què es poden comparar amb els de la *taula 20*. Es pot veure que la millora dependrà del període de retorn que es compari.

T(anys)	$r^2$	RMSE
1	0.9992	0.050
2	0.9997	0.014
5	0.99993	0.023
10	0.9997	0.032
15	0.9994	0.034
25	0.9987	0.038
50	0.997	0.053
100	0.995	0.083

Taula 21: Coeficient de correlació i valor del RMSE segons el període de retorn al cas de l'ajust exponencial dels paràmetres  $a$  i  $b$  a la generalització de les corbes IDF.



### 3.5 Anàlisi dels episodis extrems

El màxim absolut de precipitació per a cada durada (*taula 6*) mostra una tendència general que no és seguida pel valor de 6 hores de durada (*figura 30*). A més, les dates en què es va registrar cada valor màxim ens recorden les escales meteorològiques, ja que 5 esdeveniments van donar lloc a aquests 32 valors màxims: Microescala, Mesoescala (Meso- $\alpha$  i Meso- $\beta$ ) i escala sinòptica. Aquestes observacions ens porten a questionar-nos quina és la relació entre les precipitacions màximes amb diferents durades.

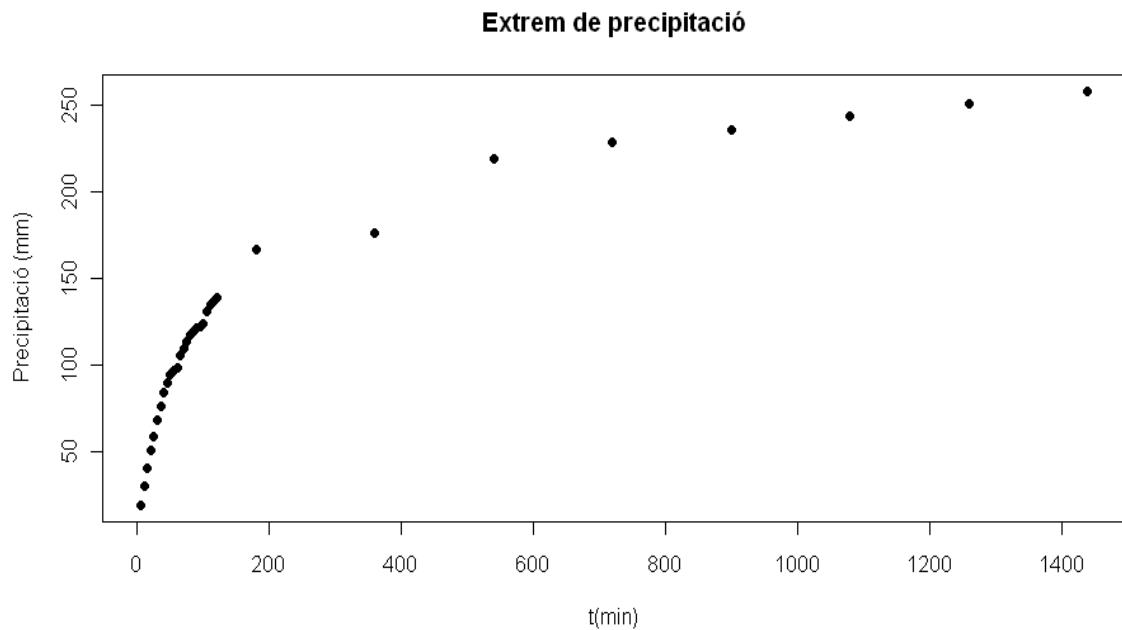


Figura 30: Màxim absolut de precipitació observat per a cada durada.

Amb aquesta finalitat seleccionem les pluges extraordinàriament intenses: del conjunt d'episodis registrats al pluviògraf de l'Observatori de l'Ebre entre 1905 i 2003, s'han seleccionat els 20 episodis de més intensitat per a cada durada, que corresponen, aproximadament, a un període de retorn de 5 anys o superior, segons l'equació 3. En total són 78 esdeveniments els que produeixen aquestes intensitats de precipitació, de manera que un mateix episodi pot superar aquest llindar a diferents durades, com vam veure que pasava amb el valor màxim absolut.

La freqüència anual d'aquest esdeveniments augmenta lleugerament els darrers anys, amb 15 episodis, la dècada 1984 – 1993 va ser la més activa, mentre que als primers 30 anys de la sèrie de dades només trobem 10 episodis d'aquest tipus (*figura 31*).

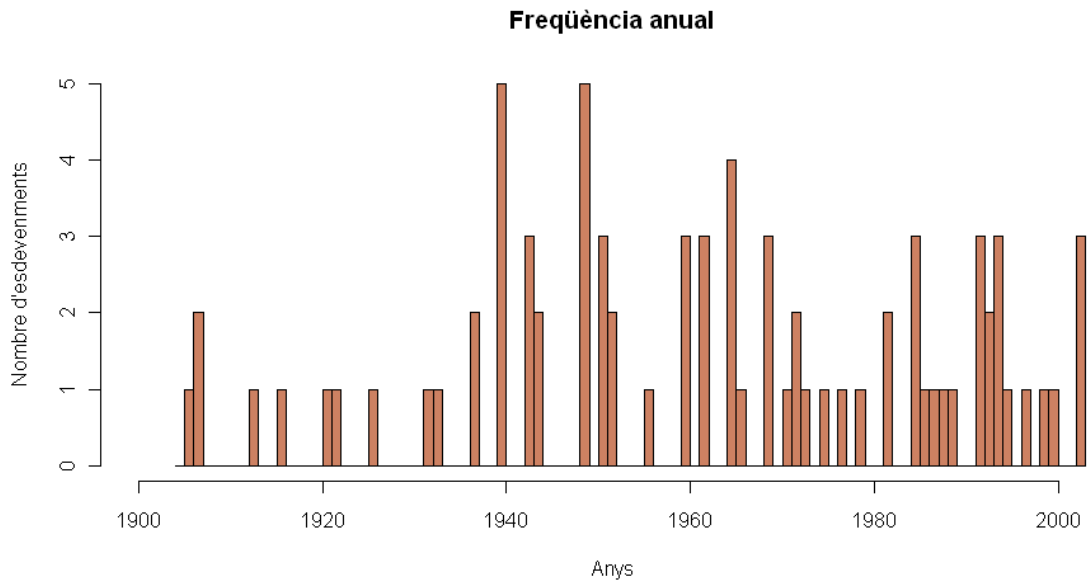


Figura 31: Esdeveniments extrems observats ( $T \geq 5$  anys) cada any.

Podem considerar quina pot ser la distribució estacional dels 78 episodis, la qual indica la prevalença de la tardor al registre d'esdeveniments extraordinaris de precipitació (figura 32).

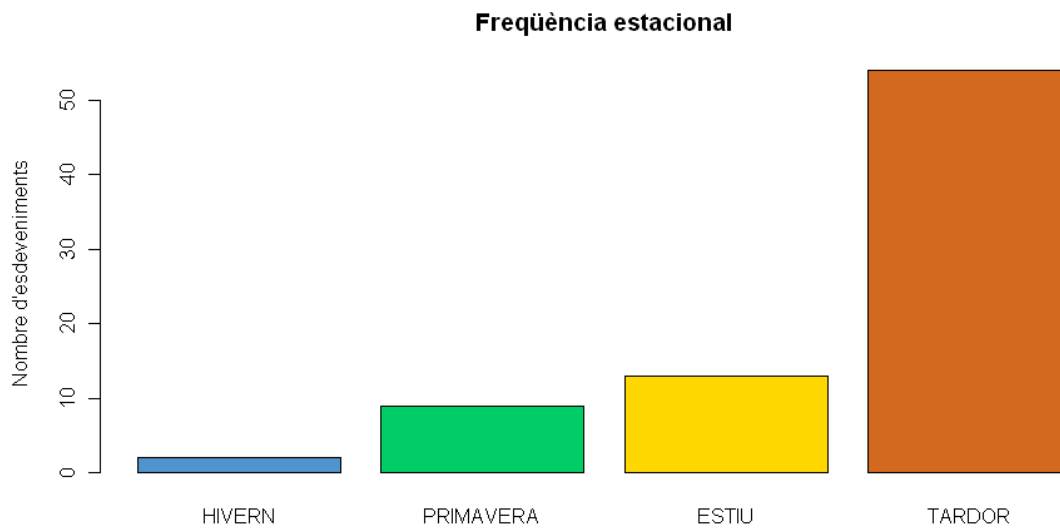


Figura 32: Esdeveniments extrems observats ( $T \geq 5$  anys) en cada estació de l'any.

També s'han calculat el nombre d'esdeveniments registrats a cada estació de l'any per a cada durada (figura 33).

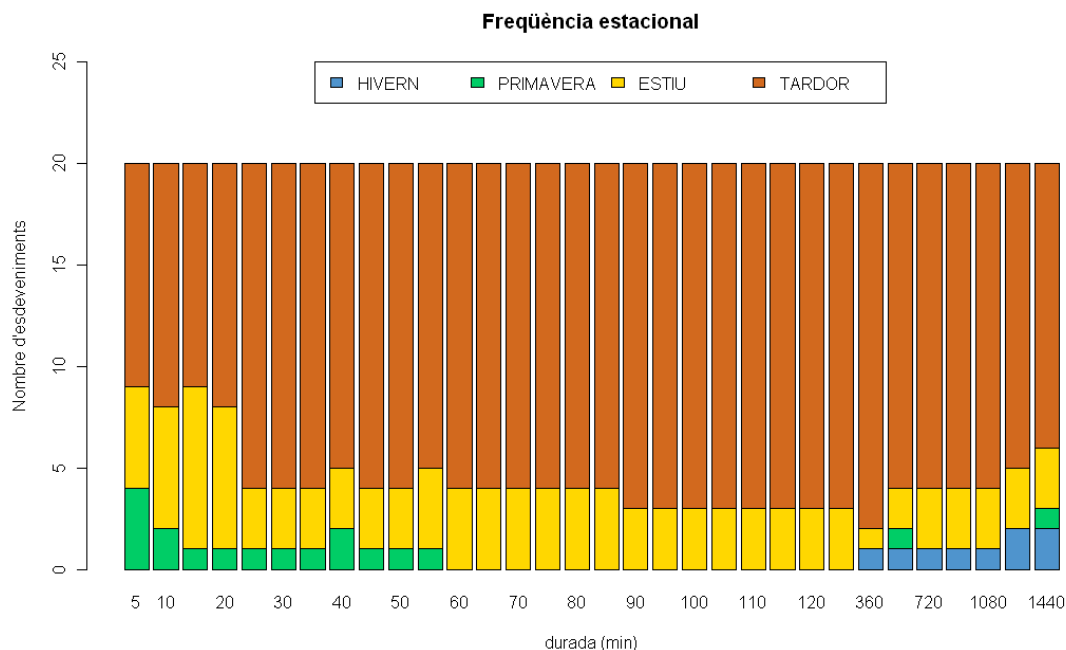


Figura 33: Esdeveniments extrems observats ( $T \geq 5$  anys) per a cada durada i estació de l'any.

Les pluges més intenses es produeixen típicament a finals de l'estiu i durant la tardor, les quals produeixen precipitacions extraordinàries a totes les durades. Les precipitacions primaverals són de tipus convectiu, donant altes intensitats de precipitació per a durades curtes ( $t < 1$  hora), mentre que les hivernals són intenses per a durades llargues ( $t \geq 6$  hores), fet que mostra un origen de les precipitacions de gran escala.

Durada (min)	Precipitació (mm)	Durada (min)	Precipitació (mm)
5	12.57	85	61.70
10	20.96	90	63.00
15	27.20	95	64.25
20	32.15	100	65.44
25	36.23	105	66.58
30	39.72	110	67.68
35	42.76	115	68.73
40	45.45	120	69.75
45	47.87	180	79.82
50	50.08	360	98.93
55	52.10	540	111.52
60	53.97	720	121.20
65	55.71	900	129.19
70	57.34	1080	136.06
75	58.88	1260	142.12
80	60.32	1440	147.57

Taula 22: Llíndar de precipitació de període de retorn de 5 anys calculat mitjançant les corbes IDF generalitzades de l'Observatori de l'Ebre per a cada durada.

D'aquest 78 dies s'han escollit aquells que superen el període de retorn de 5 anys calculat amb les corbes IDF generalitzades (*taula 22*). A més, pels 23 esdeveniments obtinguts, s'han buscat les precipitacions màximes registrades per a totes les durades per tal d'obtenir una matriu quadrada amb la que poder treballar (*taula 23*), i a la que només s'han considerat algunes de les durades, suficients com per reconèixer les diferents escales meteorològiques diàries.

Data	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	120	360	720	1440
10/10/1906	<b>19.65</b>	<b>24.53</b>	<b>27.02</b>	<b>27.52</b>	27.84	28.49	29.16	29.70	30.13	30.33	30.77	30.98	31.82	32.22	33.76	33.76
05/11/1907	9.46	15.32	20.66	24.75	<b>32.36</b>	<b>37.86</b>	<b>42.04</b>	<b>46.95</b>	<b>50.25</b>	<b>52.88</b>	<b>56.08</b>	<b>59.09</b>	<b>72.64</b>	<b>74.77</b>	79.23	84.24
08/05/1921	<b>14.74</b>	<b>23.69</b>	<b>27.12</b>	<b>30.79</b>	<b>31.59</b>	32.03	32.24	32.24	32.24	32.34	32.34	32.34	43.81	55.16	59.97	60.27
05/10/1933	<b>12.05</b>	<b>23.57</b>	<b>29.87</b>	<b>37.58</b>	<b>42.63</b>	<b>44.08</b>	<b>44.41</b>	<b>44.53</b>	<b>44.73</b>	<b>44.95</b>	<b>45.06</b>	<b>45.17</b>	45.99	45.99	45.99	45.99
07/11/1937	<b>12.85</b>	<b>19.57</b>	21.70	22.37	23.28	23.62	25.87	26.86	27.38	28.27	28.87	29.39	36.07	44.25	44.46	45.80
18/10/1940	<b>12.02</b>	<b>22.20</b>	<b>29.76</b>	<b>39.60</b>	<b>47.00</b>	<b>54.77</b>	<b>62.83</b>	<b>70.76</b>	<b>78.86</b>	<b>86.87</b>	<b>93.20</b>	<b>98.21</b>	<b>124.4</b>	<b>126.78</b>	<b>162.62</b>	<b>238.82</b>
15/09/1943	10.53	18.66	20.78	<b>28.99</b>	<b>30.27</b>	<b>35.86</b>	<b>39.15</b>	<b>41.26</b>	<b>42.80</b>	<b>44.54</b>	<b>46.71</b>	<b>50.12</b>	<b>86.15</b>	<b>165.77</b>	<b>228.54</b>	<b>257.65</b>
31/10/1944	6.70	9.52	14.06	17.85	20.65	25.67	28.91	31.73	36.34	39.51	42.37	<b>46.44</b>	<b>72.45</b>	<b>76.44</b>	<b>85.22</b>	87.20
17/07/1949	<b>11.80</b>	<b>21.44</b>	<b>32.15</b>	<b>34.75</b>	<b>44.08</b>	<b>47.29</b>	<b>51.24</b>	<b>55.95</b>	<b>57.77</b>	<b>59.79</b>	<b>60.28</b>	<b>60.59</b>	<b>63.23</b>	63.43	63.43	63.53
29/09/1949	11.29	16.25	21.37	26.70	<b>31.05</b>	<b>37.67</b>	<b>41.09</b>	<b>47.38</b>	<b>48.41</b>	<b>48.77</b>	<b>49.76</b>	<b>50.47</b>	<b>54.73</b>	<b>84.44</b>	<b>85.88</b>	<b>97.65</b>
05/08/1956	<b>12.12</b>	<b>21.84</b>	<b>27.65</b>	<b>28.94</b>	29.40	29.05	29.50	29.60	29.60	29.60	29.60	29.60	29.60	31.93	33.61	36.78
05/06/1960	11.10	<b>21.96</b>	<b>27.98</b>	<b>33.98</b>	<b>41.31</b>	<b>44.89</b>	<b>46.23</b>	<b>48.14</b>	<b>49.15</b>	<b>50.64</b>	<b>51.53</b>	<b>52.18</b>	<b>69.67</b>	<b>111.31</b>	<b>120.2</b>	<b>122.27</b>
16/08/1965	10.48	17.73	<b>24.34</b>	<b>29.84</b>	<b>34.01</b>	<b>37.34</b>	<b>40.73</b>	<b>43.58</b>	<b>48.13</b>	<b>50.06</b>	<b>50.67</b>	<b>50.9</b>	52.89	59.11	65.16	67.36
19/10/1965	<b>17.37</b>	<b>22.45</b>	<b>31.84</b>	<b>34.08</b>	<b>40.39</b>	<b>44.38</b>	<b>49.92</b>	<b>56.32</b>	<b>62.20</b>	<b>67.32</b>	<b>76.71</b>	<b>79.34</b>	<b>138.67</b>	<b>176.48</b>	<b>178.63</b>	<b>178.93</b>
19/10/1969	7.41	11.44	14.88	18.87	22.77	26.44	29.57	32.64	35.03	37.14	40.21	41.86	<b>67.32</b>	<b>69.52</b>	<b>83.55</b>	93.38
06/09/1979	10.45	<b>20.47</b>	<b>28.15</b>	<b>33.98</b>	<b>38.77</b>	<b>40.03</b>	<b>40.88</b>	<b>41.30</b>	<b>41.41</b>	<b>41.51</b>	41.53	41.90	42.93	43.35	43.45	43.55
12/11/1985	<b>11.96</b>	<b>22.01</b>	<b>26.85</b>	<b>31.00</b>	<b>32.87</b>	<b>33.82</b>	<b>34.65</b>	35.00	35.00	35.15	35.70	35.90	36.00	47.18	53.37	55.18
12/10/1986	<b>14.90</b>	<b>20.77</b>	<b>23.18</b>	24.47	25.78	27.57	28.97	30.72	32.33	33.50	35.01	35.93	47.91	<b>73.32</b>	73.52	74.23
07/11/1987	<b>18.86</b>	<b>19.65</b>	20.29	21.02	21.96	22.78	23.52	24.20	24.76	25.22	25.76	26.36	33.92	56.87	<b>84.78</b>	<b>100.04</b>
26/09/1992	<b>16.60</b>	<b>30.54</b>	<b>40.52</b>	<b>50.66</b>	<b>59.28</b>	<b>68.34</b>	<b>76.74</b>	<b>84.48</b>	<b>89.81</b>	<b>94.52</b>	<b>97.34</b>	<b>98.92</b>	<b>106.3</b>	<b>110.78</b>	<b>125.31</b>	<b>130.16</b>
10/10/1994	9.92	16.22	22.06	26.14	27.91	28.87	30.64	31.88	34.28	37.72	39.50	41.02	<b>74.84</b>	<b>102.45</b>	<b>113.03</b>	<b>183.18</b>
10/11/2003	<b>15.07</b>	<b>27.42</b>	<b>35.08</b>	<b>41.96</b>	<b>42.71</b>	<b>44.37</b>	<b>46.45</b>	<b>47.61</b>	<b>48.91</b>	<b>49.71</b>	<b>50.36</b>	<b>51.54</b>	<b>54.01</b>	65.56	66.78	66.98
15/11/2003	10.60	16.43	22.02	26.35	<b>32.45</b>	<b>37.62</b>	<b>43.12</b>	<b>47.44</b>	<b>51.28</b>	<b>53.41</b>	<b>55.61</b>	<b>60.14</b>	<b>80.40</b>	<b>120.51</b>	<b>124.53</b>	<b>124.53</b>

Taula 23: Precipitació màxima per a cada durada dels esdeveniments que superen el període de retorn de 5 anys segons les corbes IDF generalitzades (en negreta els valors que han superat el període de retorn).

Per estudiar el comportament de la intensitat màxima de precipitació en funció del temps al que es refereix a pluges excepcionalment intenses, s'ha calculat la matriu de correlació de les intensitats màximes als 16 intervals de temps considerats, i la corresponent matriu de significança (*taula 24*).

Aquells valors que presenten una significança inferior al nivell de 0.005 estan assenyalats en negreta, i les zones acolorides remarquen els possibles grups en que es relacionen les diferents durades.

	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	120	360	720	1440
5																
10	0															
15	0.01	0														
20	0.123	0	0													
25	0.346	0	0	0												
30	0.57	0.003	0	0	0											
35	0.663	0.012	0	0	0	0										
40	0.736	0.035	0	0	0	0	0									
45	0.818	0.071	0.002	0	0	0	0	0								
50	0.868	0.104	0.003	0	0	0	0	0	0							
55	0.861	0.15	0.007	0	0	0	0	0	0	0						
60	0.958	0.216	0.014	0.001	0	0	0	0	0	0	0					
120	0.796	0.919	0.279	0.085	0.017	0.002	0	0	0	0	0	0				
360	0.853	0.869	0.719	0.328	0.168	0.052	0.021	0.011	0.006	0.003	0.001	0.001	0			
720	0.809	0.803	0.965	0.425	0.276	0.095	0.044	0.027	0.016	0.01	0.005	0.003	0	0		
1440	0.654	0.688	0.909	0.481	0.349	0.14	0.07	0.043	0.025	0.013	0.007	0.004	0	0	0	

Taula 24: Significança del coeficient de correlació entre les durades considerades.

Durades fins a 30 minuts corresponen als processos meteorològics d'escala local que originen precipitacions intenses a l'Observatori de l'Ebre, principalment tempestes aïllades o cèl·lules convectives molt actives. Les durades entre 35 minuts i 6 hores corresponen a les típiques situacions de mesoescala productores de pluges torrencials com fronts actius o sistemes convectius de mesoescala. Finalment, les precipitacions amb durades a partir de 6 hores són representatives de les pluges abundants de naturalesa sinòptica, generalment associades a moviments ascendants a gran escala produïts per l'acció de sistemes frontals o convergència horitzontal a àrees extenses. El resultat és molt semblant a l'obtingut per Casas (2005), per a l'Observatori Fabra, amb la diferència que les pluges convectives, d'escala local, el llindar era de 45 minuts.

#### 4 Aplicació a l'Estació de l'Estartit

El Sr. Josep Pascual és l'observador encarregat de l'estació manual ubicada a l'Estartit (figures 35 i 36) al municipi de Torroella de Montgrí (lat: 42.054N, long: 3.202E, alt: 2m). Les seves aportacions són de gran rellevància per la cura i l'interès amb què ha pres mesures de les variables meteorològiques i oceanogràfiques, durant el seu temps lliure.

Una de les seves tasques més significatives és la mesura de la temperatura del mar a diferents fondàries en front a la costa de l'Estartit. A l'actualitat, aquestes dades es presenten com indicadors climàtics als *Butlletins Climàtics Anuals del Servei Meteorològic de Catalunya*. Ell mateix explica l'inici de la seva afició a la meteorologia a un document escrit per un projecte del mateix Servei Meteorològic de Catalunya.

*“El fet de néixer en una família de pescadors, de petit, el meu pare i el meu avi ja me portaven a pescar amb ells. Pel pescador, i en especial en la pesca del tresmall o del palangre, pesques artesanals, és molt important conèixer el temps; és un tipus de pesca en que primer s'ha d'anar a “calar” (deixar la xarxa al mar) i, generalment, l'endemà al matí s'ha d'anar a “llevar” o treure la xarxa. Com és lògic, no té sentit anar a “calar” si no s'està segur de que l'endemà el temps serà prou bo per anar a “llevar”. És per això que, quan sortíem amb la barca del port per anar a “calar”, jo sentia els comentaris que feien el meu pare i avi, comentant si anirien en un lloc o altre de la costa. En aquell temps encara no existia la Reserva Marina de les Medes i, aquestes illes sempre servien de comodí, en el sentit que en funció del temps previst sempre hi havia allà un lloc arrecerat del vent o del tràngol per anar a pescar. Però calia saber prèviament quin seria aquest vent o aquest tipus de mar” (Pascual, 2010) (figura 34).*



Figura 34: El meu pare i meu avi a la pesca del tresmall, cap a l'any 1970; per cert, amb la mateixa barca que sempre he fet les observacions de temperatura de l'aigua (Pascual, 2010).

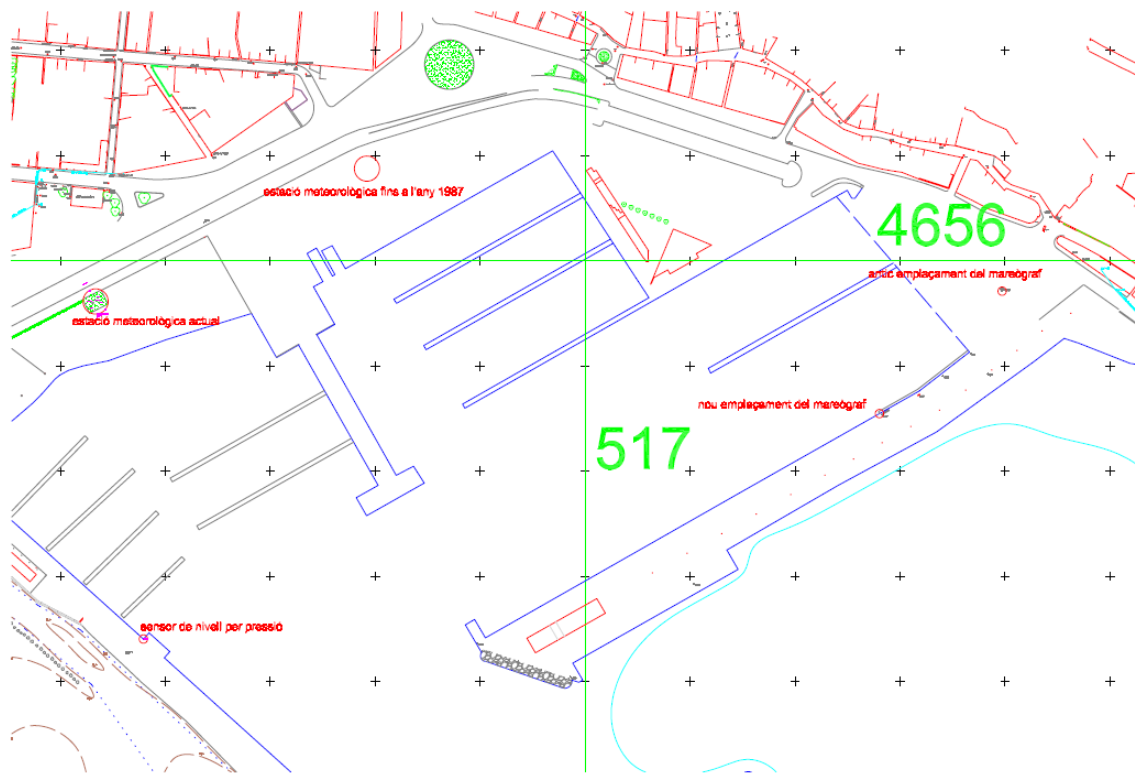


Figura 35: Ubicació dels diferents sistemes de mesura i amb antics i nous emplaçaments a l'Estartit ([www.icc.cat](http://www.icc.cat)).



Figura 36: Estació meteorològica de l'Estartit (Pascual, 2010).

## 4.1 Dades Disponibles

A l'estació de l'Estartit es troba en funcionament un pluviògraf de sífó de banda diària de la marca Thies (*figura 37*) des de desembre de 1985, amb un total de 1672 bandes diàries digitalitzades fins a desembre de 2006. La digitalització va estar duta a terme per l'Observatori de l'Ebre.



Figura 37: Fotografia del pluviògraf Thies de l'estació de l'Estartit.

## 4.2 Tractament de Dades

### 4.2.1 Validació Programari

Es construeix el registre minutal de les dades de l'estació d'Estartit mitjançant el programa *registre\_nomestació.bas*.

Es repeteix l'exercici de comparació entre la precipitació calculada com la diferència entre la precipitació acumulada al final de cada banda i la precipitació inicial ( $P_{dif}$ ) de la banda donades



per l'arxiu *bddmmaaa.dat*, i l'obtinguda per la mateixa banda com a suma de la precipitació del registre minutal ( $P_{sum}$ ), segons l'equació 31.

Segons aquest procediment, només hi ha dos casos en que la precipitació difereixi més d'1 mm, i sembla ser degut a la tinta pintada a l'hora d'extreure la banda, que també es va digitalitzar. 1688 bandes de 1718 tenen una diferència de precipitació acumulada diària menor a 0.1 mm en la comparació segons el format del registre (*figura 38*).

Per tant podem concloure que el registre de precipitació minutal esta generat correctament.

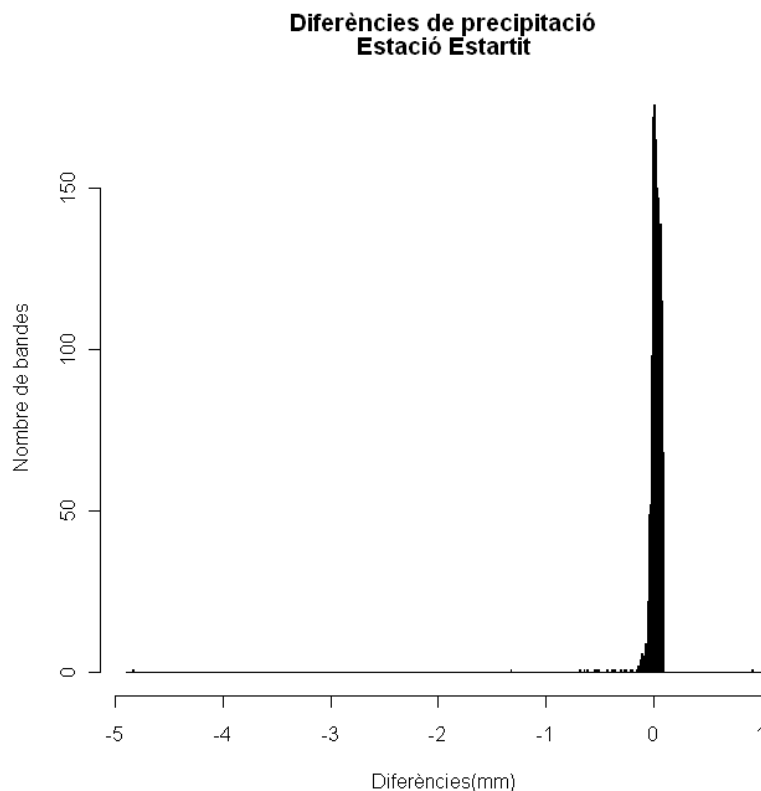


Figura 38: Diferència de precipitació segons el mètode de càlcul a l'estació d'Estartit (amplada barra 0.01 mm).

#### 4.2.2 Control de Qualitat de la Sèrie

L'observador de la localitat d'Estartit disposa d'un pluviòmetre totalitzador Hellman ubicat al mateix emplaçament i amb sèries simultànies, de manera que es repeteix el procediment de validació emprat per la sèrie de dades de l'Observatori Ebre.

#### 4.2.2.1 Validació de la Precipitació Acumulada Diària pel Pluviògraf

Es quantifiquen les diferències de precipitació degudes al registre minutal per a les bandes del pluviògraf ( $P_{\text{pluviògraf}}$ ) respecte la precipitació diària del pluviòmetre ( $P_{\text{pluviòmetre}}$ ) del registre de l'estació d'Estartit, segons l'equació 32, i es construeix l'histograma de freqüències (figura 39). A la taula 25 s'indiquen els valors assolits per aquestes freqüències segons l'interval de diferències de precipitació considerat.

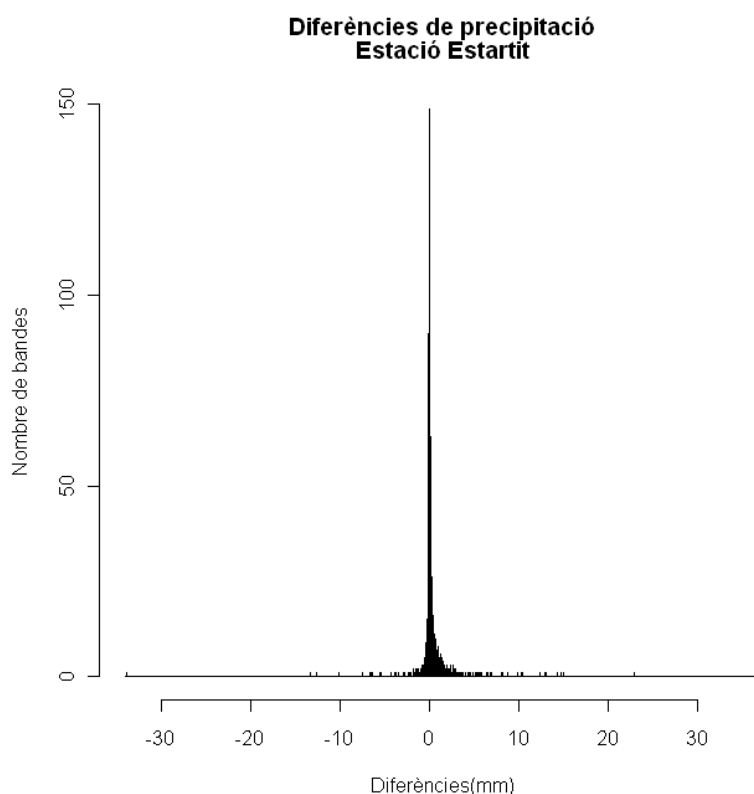


Figura 39: Histograma de diferències de precipitació diària entre el pluviòmetre i el pluviògraf instal·lats a l'estació de l'Estartit (amplada de la barra 0.01 mm).

<i>Classe(mm)</i>	<i>Freqüència</i>
$\leq -30$	1
$(-30, -10]$	3
$(-10, -5]$	7
$(-5, 0]$	325
$(0, 5]$	1353
$(5, 10]$	18
$(10, 30]$	10
$>30$	1

Taula 25: Freqüències observades de les diferències de precipitació segons l'aparell de mesura.

Menys de l'1% de les bandes han registrat diferències de precipitació superiors a 10 mm – en valor absolut. També notem que la diferència de precipitació augmenta en augmentar la quantitat de precipitació diària registrada.

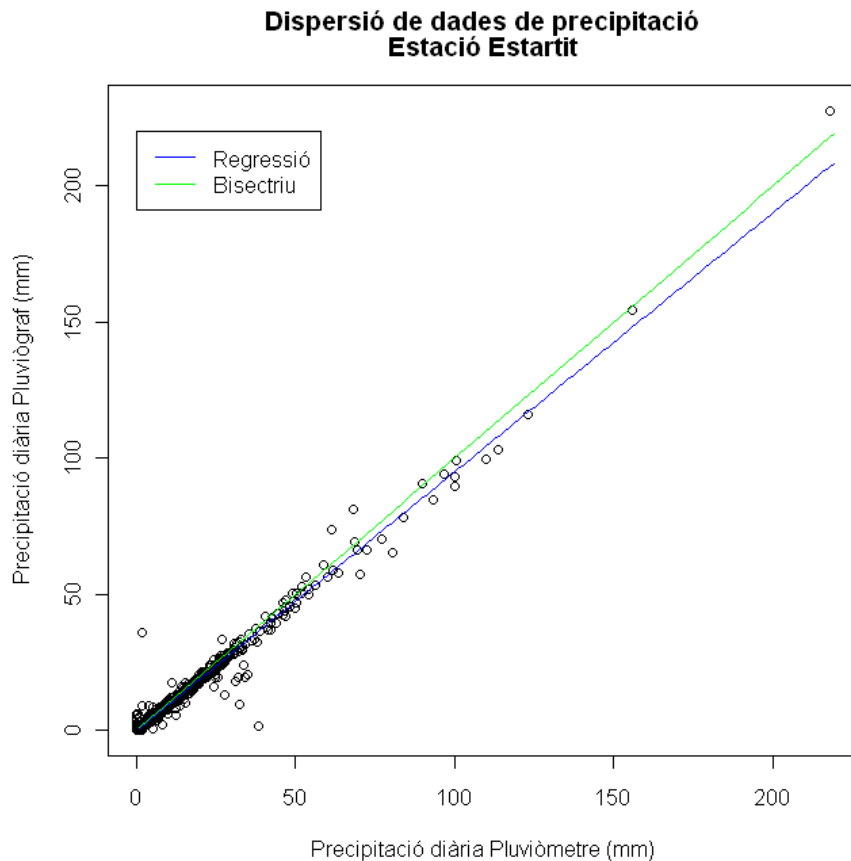


Figura 40: Dispersió de les dades de precipitació diària del pluviògraf i del pluviòmetre, i recta de regressió.

A la figura 40, podem veure dos punts més distants a la línia de regressió de forma simètrica, aquests corresponen al cas de datació incorrecta al qual ens referirem més amunt. Ja que per l'anàlisi de les intensitats extremes no ens és essencial la datació del esdeveniment podem mantenir-los a la sèrie.

S'ha decidit treballar doncs, amb tots els arxius encara que la diferència de precipitació sigui elevada, ja que es considera més adient tenir tots els esdeveniments possibles en compte, i que això no tindrà rellevància al resultat final del present treball.

#### 4.2.2.2 Completesa del Registre Minutal

Al recopilar els arxius de dades provinent de la digitalització realitzada a l'Observatori Ebre, es va perdre part de la informació emmagatzemada en un dels dispositius que ja s'ha pogut recuperar.

Aquest fet va donar lloc a qüestionar-ne el nombre dies que no van ser registrats pel pluviògraf i que pot ser va haver registre de precipitació del pluviòmetre. Sense tenir en compte el registre de precipitació inapreciable senyalat per l'observador en la mesura del pluviòmetre, s'han trobat 83 dies mancants al registre del pluviògraf, on només 2 presenten una precipitació diària superior a 10 mm segons el pluviòmetre, en concret de 18.7 mm i 78.8 mm (figura 41).

**Precipitació diària de les bandes mancants  
Estació Estartit**

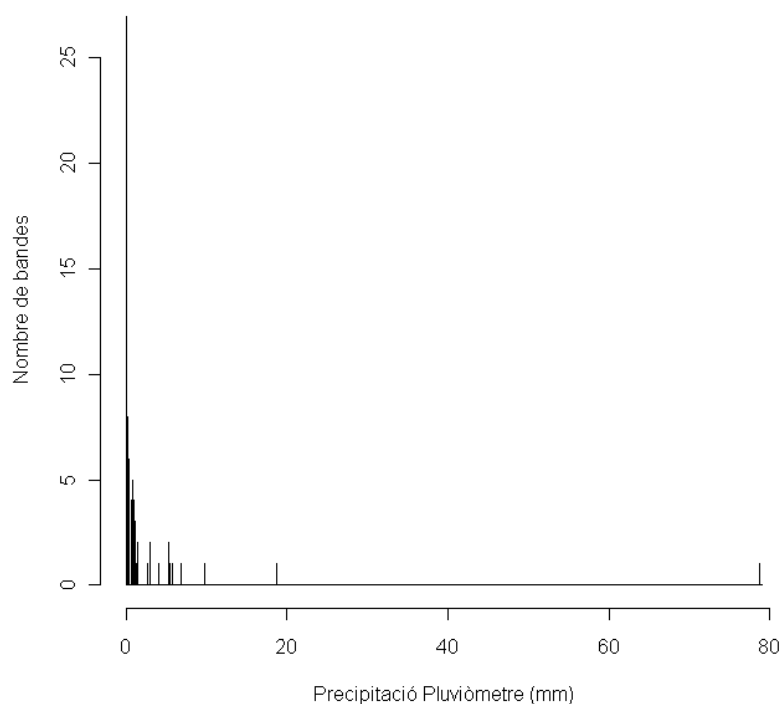


Figura 41: Histograma de precipitació de les bandes mancants segons el registre del pluviòmetre de l'estació de l'Estartit (amplada de la barra 0.01 mm).

<i>Classe (mm)</i>	<i>Freqüència</i>
(0, 0.5]	44
(0.5, 1]	19
(1, 2]	7
(2, 5]	5
(5, 10]	6
>10	2

Taula 26: Nombre de bandes mancants segons la precipitació registrada pel pluviòmetre.

A la vista d'aquests resultats (taula 26), desitjariem conèixer la distribució temporal de l'esdeveniment que supera els 50 mm i del qual no disposem de la banda del pluviògraf. Degut a aquesta impossibilitat, es continua l'estudi tenint en compte que el registre del pluviògraf sembla prou complet en quant als episodis més importants es referix, ja que la majoria de bandes mancants no arriba als 10 mm en 24 hores.

### 4.3 Generació de la Sèrie de Dades Intensitat – Durada – Freqüència

#### 4.3.1 Generació de la Sèrie de Dades per a cada Durada

Mitjançant el programari descrit, s'obté la sèrie de dades de precipitacions màximes per a cada durada de l'estació de l'Estartit. A continuació es mostra el diagrama de caixa per a cada durada, que permet conèixer la distribució de les precipitacions màximes observades (*figura 42a i 42b*).

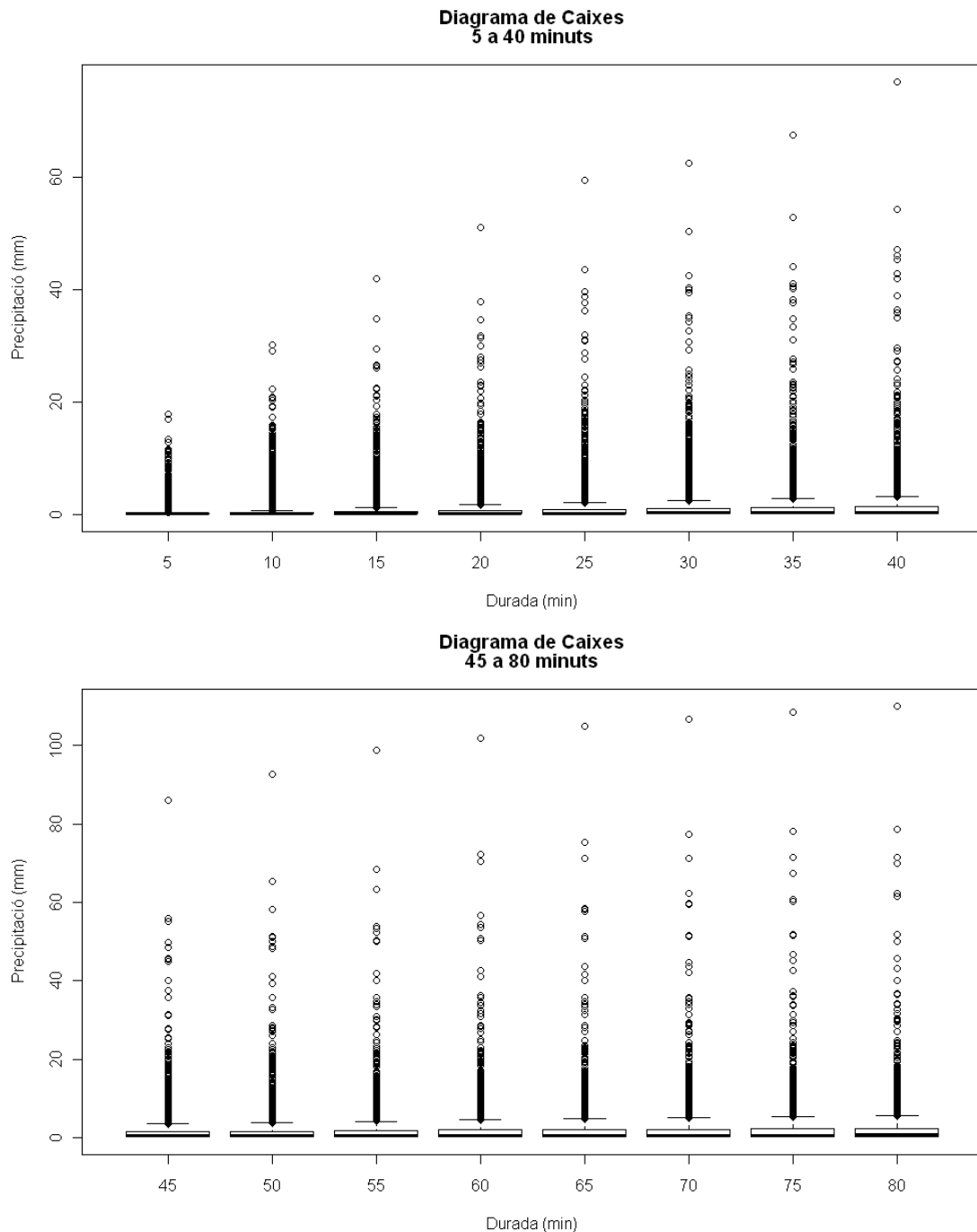
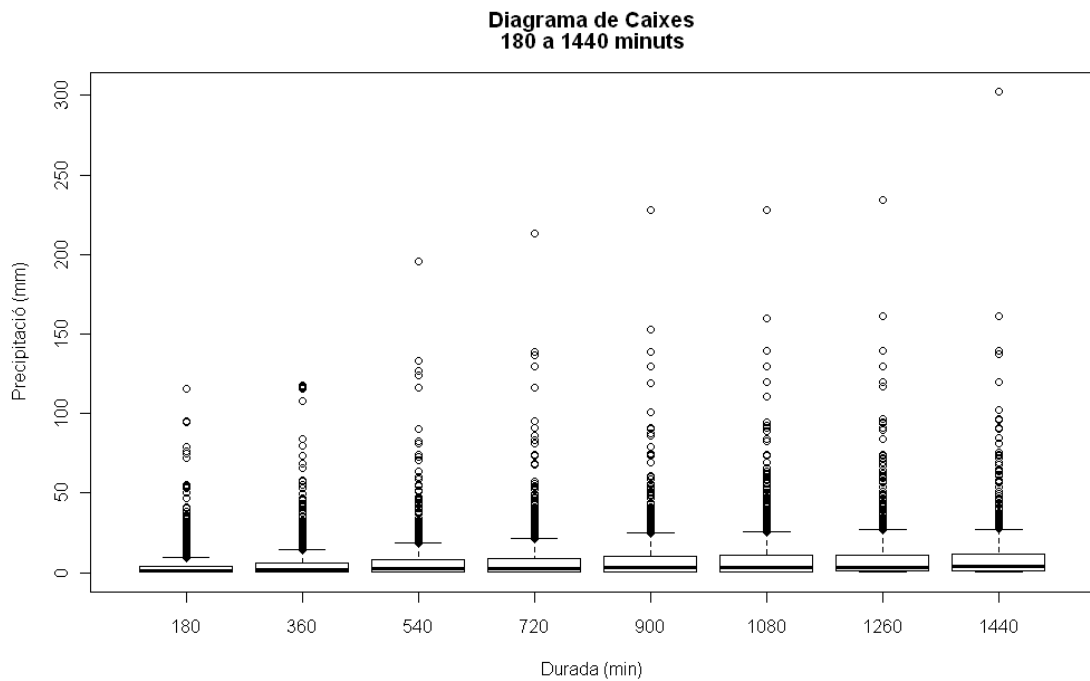
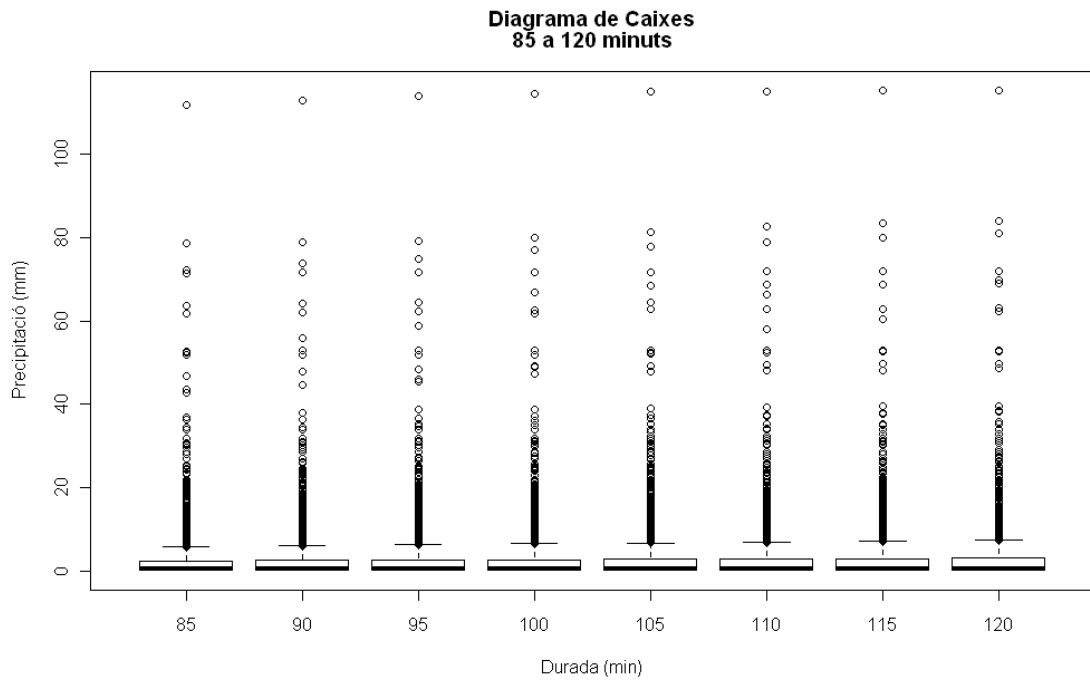


Figura 42a: Diagrama de caixes de la sèrie de dades de l'estació de l'Estartit per a durades de 5 a 40 minuts (a dalt) i de 45 a 80 minuts (a baix).



**Figura 42b:** Diagrama de caixes de la sèrie de dades de l'estació de l'Estartit per a durades de 85 a 120 minuts (a dalt) i de 180 a 1440 minuts (a baix).

<b>Valor extrem de precipitació</b>		
<b>Durada (min)</b>	<b>Extrem (mm)</b>	<b>Data d'inici de l'esdeveniment</b>
5	17.80	26/10/1991
10	30.18	10/10/1994
15	41.90	26/10/1991
20	51.07	26/10/1991
25	59.38	26/10/1991
30	62.42	26/10/1991
35	67.52	26/10/1991
40	76.88	26/10/1991
45	86.08	26/10/1991
50	92.60	26/10/1991
55	98.94	26/10/1991
60	102.01	26/10/1991
65	105.00	26/10/1991
70	106.85	26/10/1991
75	108.63	26/10/1991
80	109.98	26/10/1991
85	111.78	26/10/1991
90	112.97	26/10/1991
95	114.10	26/10/1991
100	114.57	26/10/1991
105	114.99	26/10/1991
110	115.10	26/10/1991
115	115.20	26/10/1991
120	115.20	26/10/1991
180	115.70	26/10/1991
360	117.73	05/01/2003
540	195.89	09/10/1994
720	213.01	09/10/1994
900	227.73	09/10/1994
1080	227.83	09/10/1994
1260	234.38	09/10/1994
1440	302.03	09/10/1994

Taula 27: Màxim de precipitació de la sèrie i data en la que es va iniciar l'esdeveniment per a cada durada.

La *taula 27* mostra el valor màxim obtingut per a cada durada i la data d'inici de l'esdeveniment, segons el nom de la banda.

### 4.3.2 Selecció del Llindar de Precipitació

Es calcula la precipitació màxima esperada per a un període de retorn de 0.5 anys per a cada durada. Per exemple, a la sèrie de 5 minuts, tenim 16320 successos, que donen una probabilitat d'excedència pel període de retorn de 0.5 anys de 0.00257353. Aquest valor no el trobem exacte als calculats per la probabilitat d'excedència de Weibull, per tant, prenem els dos més pròxims que es troben a les posicions de  $m=42$  i  $m=43$ . En aquestes posicions tenim doncs, dues parelles de valors precipitació – probabilitat d'excedència, que podem interpolar linealment per determinar la precipitació llindar que correspon a un període de retorn de 0.5 anys. Segons aquest procediment s'han calculat els valors que es mostren a la *taula 28*.

Durada (min)	N	$P(x > x_0)$	Llindar(mm)
5	16320	0.0025735	6.69
10	9460	0.0044397	10.40
15	7228	0.0058107	13.07
20	6070	0.0069193	14.48
25	5382	0.0078038	14.93
30	4924	0.0085297	15.56
35	4558	0.0092146	16.07
40	4270	0.0098361	16.34
45	4049	0.0103729	17.17
50	3868	0.0108583	18.08
55	3706	0.0113330	18.95
60	3549	0.0118343	19.45
65	3428	0.0122520	19.97
70	3326	0.0126278	20.32
75	3217	0.0130556	19.41
80	3128	0.0134271	20.32
85	3039	0.0138203	20.43
90	2965	0.0141653	20.43
95	2903	0.0144678	20.43
100	2840	0.0147887	20.90
105	2793	0.0150376	21.44
110	2746	0.0152950	21.77
115	2706	0.0155211	22.27
120	2661	0.0157835	22.68
180	2295	0.0183007	27.01
360	1781	0.0235823	31.93
540	1498	0.0280374	32.99
720	1341	0.0313199	37.40
900	1227	0.0342298	40.14
1080	1144	0.0367133	41.21
1260	1076	0.0390335	43.09
1440	1034	0.0406190	44.02

Taula 28: Nombre d'esdeveniments, probabilitat d'excedència del període de retorn de 0.5 anys i llindar de precipitació establert per a cada durada.



Finalment, busquem el nombre d'esdeveniments que superen el llindar de precipitació que es mostra a la *taula 25* per a cada durada, què, com era d'esperar, resulta ser 42, ja que en una sèrie de 21 anys, el període de retorn de 0.5 anys, 2 esdeveniments cada any, i per tant 42 esdeveniments a estudiar per a tota la sèrie.

Les sèries de dades per als valors que superen el llindar establert per a cada durada es presenten en diagrames de caixes a la *figura 43a i 43b*, un per a cada durada.

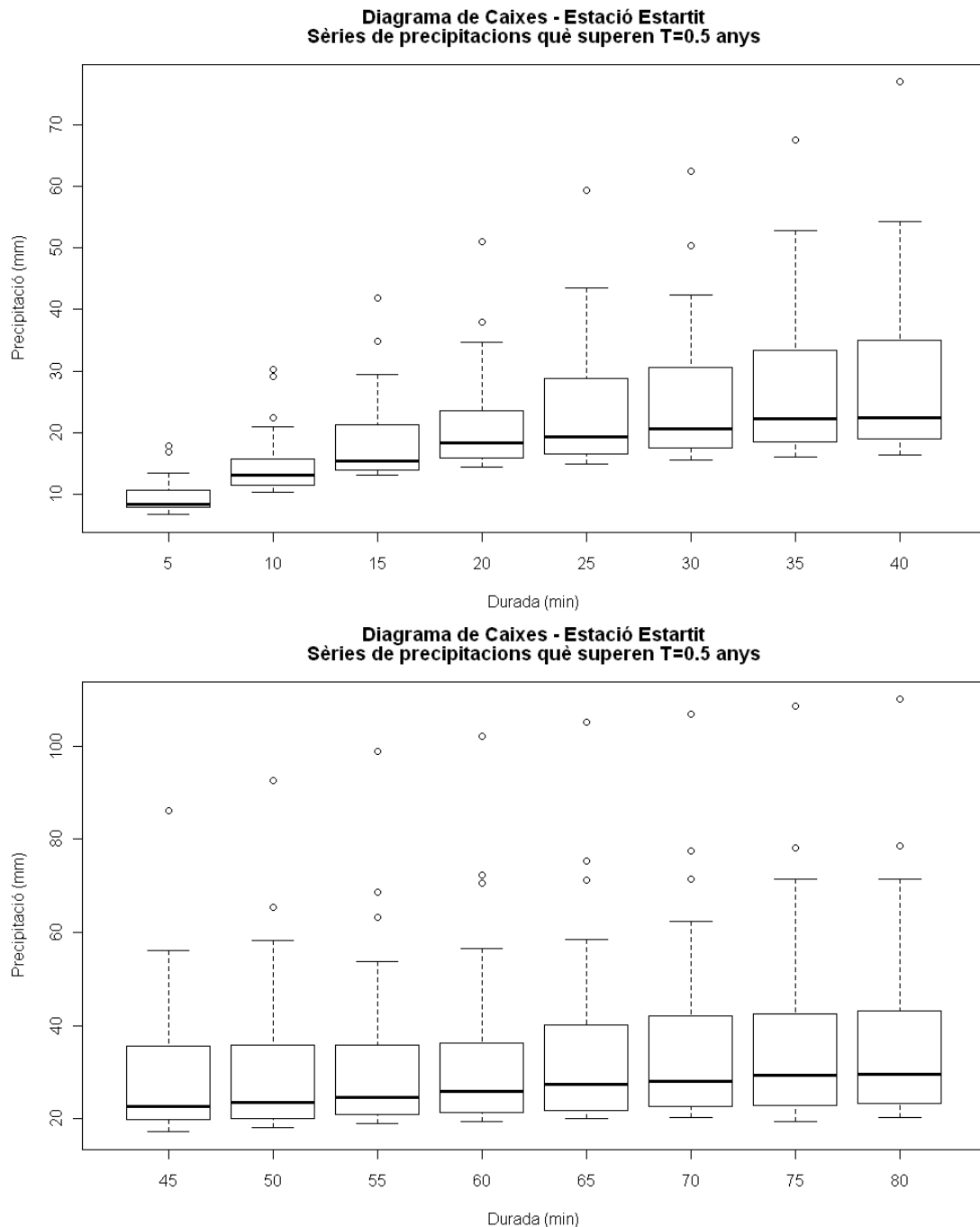


Figura 43a: Diagrama de caixes de les sèries de precipitacions màximes de l'Estartit per a durades de 5 a 40 minuts (a dalt) i de 45 a 80 minuts (a baix).

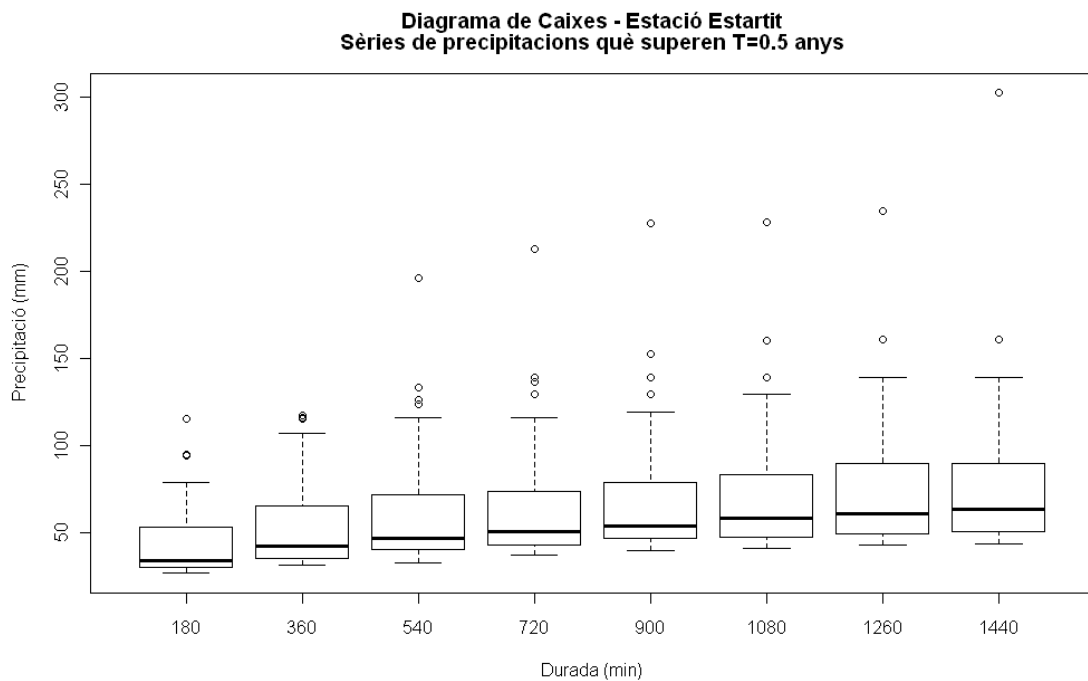
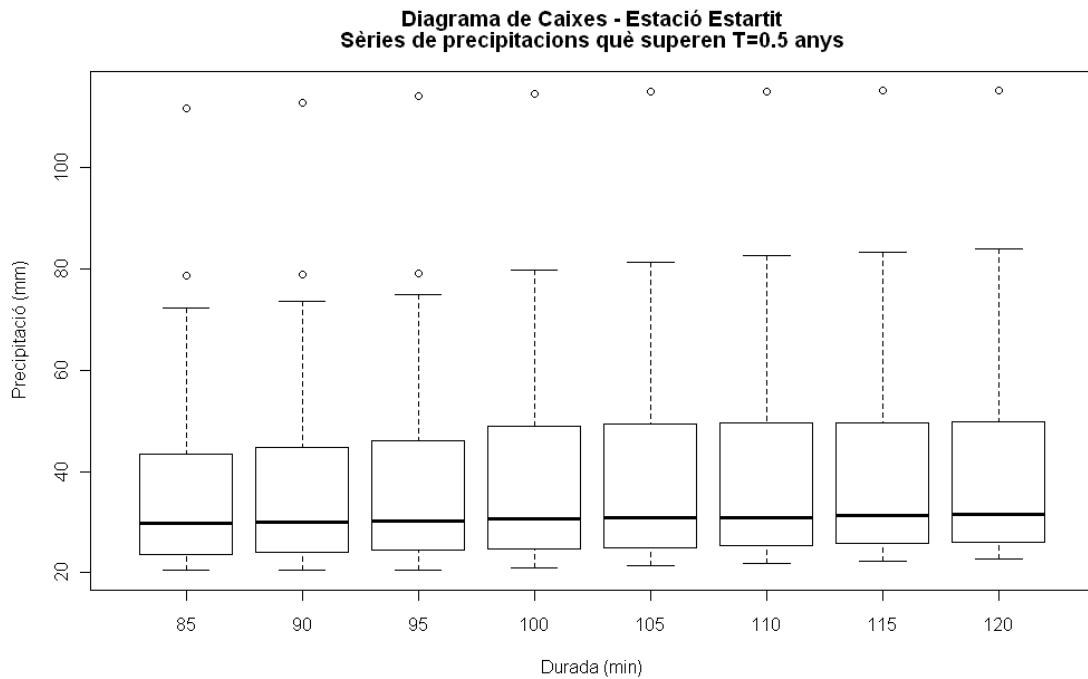


Figura 43b: Diagrama de caixes de les sèries de precipitacions màximes de l'Estartit per a durades de 85 a 120 minuts (a dalt) i de 180 a 1440 minuts (a baix).

La figura 44, s'ha construït anàlogament a la descrita a l'apartat 3.3.2 per l'Observatori Ebre. Novament, per a la durada de 360 minuts es produeix una singularitat en l'evolució dels extrems de les sèries segons la durada. S'observa que la precipitació màxima d'aquella durada té una magnitud similar al màxim assolit per a la durada de 180 minuts. Aquesta, doncs, pot

ser una peculiaritat del règim pluviomètric de Catalunya, en que, per les seves característiques geogràfiques i orogràfiques, no és igualment probable l'observació d'esdeveniments d'escales diferents, sent menys probables els esdeveniments extrems de mesoescala. Sobre els esdeveniments màxims de 6 hores de durada, s'ha trobat a la bibliografia que la data en què es produeixen no té correlació amb la de la resta de durades (Casas, 2005).

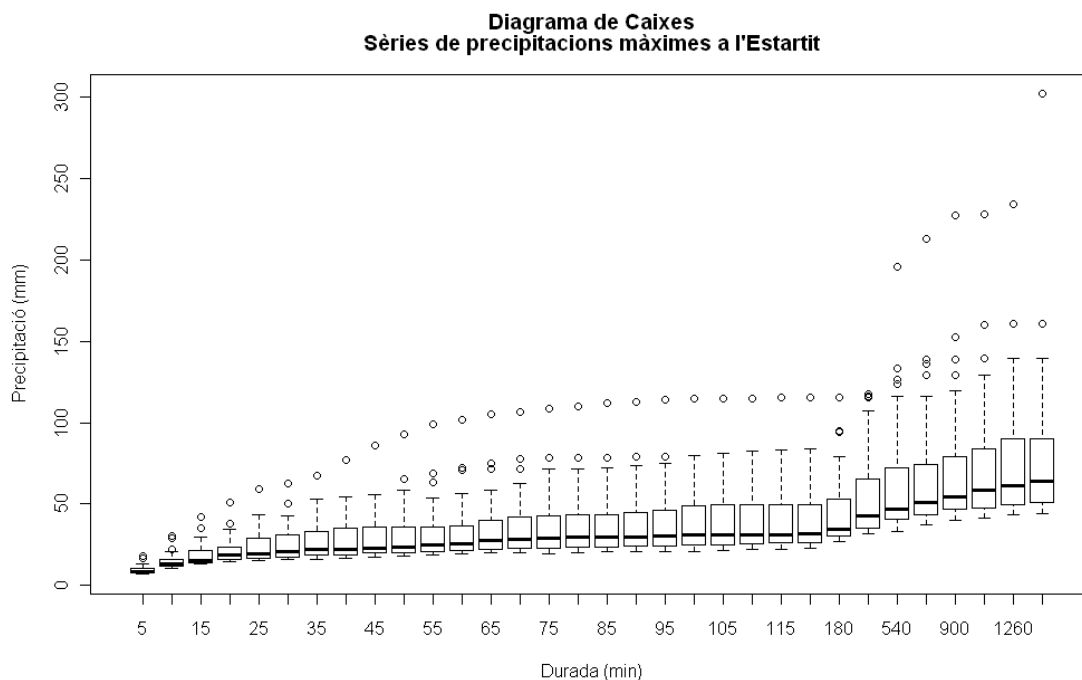


Figura 44: Diagrama de caixes de les sèries de dades de cada durada de l'estació d'Estartit.

<b>Durada(min)</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>35</b>	<b>40</b>
<b>Mitjana (mm)</b>	9.36	14.61	18.39	21.30	23.44	24.97	26.60	27.54
<b>desviació (mm)</b>	2.51	4.69	6.40	7.69	9.71	10.68	11.53	12.76
<b>Durada(min)</b>	<b>45</b>	<b>50</b>	<b>55</b>	<b>60</b>	<b>65</b>	<b>70</b>	<b>75</b>	<b>80</b>
<b>mitjana (mm)</b>	29.31	30.87	32.08	33.14	34.11	35.00	35.68	36.37
<b>desviació (mm)</b>	14.41	15.84	16.93	17.74	18.35	18.70	19.13	19.38
<b>Durada(min)</b>	<b>85</b>	<b>90</b>	<b>95</b>	<b>100</b>	<b>105</b>	<b>110</b>	<b>115</b>	<b>120</b>
<b>mitjana (mm)</b>	36.94	37.43	37.87	38.47	39.02	39.52	39.94	40.28
<b>desviació (mm)</b>	19.67	19.89	20.07	20.33	20.53	20.70	20.81	20.86
<b>Durada(min)</b>	<b>180</b>	<b>360</b>	<b>540</b>	<b>720</b>	<b>900</b>	<b>1080</b>	<b>1260</b>	<b>1440</b>
<b>mitjana (mm)</b>	44.22	54.42	61.39	65.95	69.34	72.11	74.63	78.20
<b>desviació (mm)</b>	21.65	26.47	33.77	35.86	37.61	37.65	37.90	45.40

Taula 29: Mitjana i desviació típica de la mostra de dades per a cada durada.

A la taula 29, es presenten la mitjana i la desviació típica de la sèrie de dades obtinguda per a cada durada.

### 4.3.3 Ajust a una Funció de Distribució

Cadascuna de les sèries és ajustada a les quatre funcions de distribucions descrites a l'apartat 2.3.4, aconseguint els paràmetres per a cada funció de distribució. Comparant les freqüències acumulades ajustades i empíriques es construeix la *taula 30* on es presenta el valor del test de Kolmogorov – Smirnov.

Kolmogorov - Smirnov				
Durada	D.Gamma	D.Log-normal	D.Pearson	D.G.Pareto
5	0.15	0.15	0.10	0.12
10	0.19	0.14	0.12	0.10
15	0.21	0.19	0.17	0.17
20	0.19	0.18	0.14	0.14
25	0.19	0.17	0.14	0.14
30	0.19	0.18	0.14	0.14
35	0.18	0.17	0.14	0.12
40	0.19	0.15	0.12	0.12
45	0.20	0.17	0.14	0.14
50	0.22	0.18	0.17	0.17
55	0.23	0.18	0.19	0.19
60	0.23	0.19	0.19	0.19
65	0.23	0.19	0.19	0.19
70	0.23	0.16	0.19	0.19
75	0.20	0.16	0.14	0.14
80	0.21	0.14	0.17	0.17
85	0.20	0.15	0.14	0.14
90	0.20	0.15	0.14	0.14
95	0.19	0.16	0.14	0.12
100	0.19	0.17	0.14	0.14
105	0.20	0.15	0.14	0.14
110	0.20	0.16	0.14	0.14
115	0.20	0.16	0.17	0.17
120	0.20	0.17	0.17	0.17
180	0.22	0.18	0.19	0.19
360	0.20	0.18	0.19	0.19
540	0.21	0.19	0.17	0.17
720	0.22	0.18	0.14	0.14
900	0.23	0.18	0.12	0.17
1080	0.21	0.15	0.10	0.12
1260	0.21	0.14	0.07	0.12
1440	0.24	0.13	0.26	0.12

Taula 30: Estadístic D del test de Kolmogorov – Smirnov per a cada durada i funció de distribució calculat amb la comanda `ks.test` de R.

Mitjançant l'equació 21, obtenim un valor crític del test de Kolmogorov – Smirnov de  $d=0.21$ . Notem, doncs, que les funcions de distribució log-normal i generalitzada de Pareto s'ajusten a

la mostra per a totes les durades (*taula 30*). En canvi, la distribució de Pearson no s'ajusta per a 24 hores de durada. La distribució gamma és descartada com a descriptora de les sèries de dades.

Es comparen les precipitacions observades amb les estimades per a cada funció de distribució mitjançant el valor del RMSE (*taula 31*). Comparant, per a cada durada, el valor obtingut del RMSE per a cada funció de distribució, veiem que la distribució gamma i la log-normal, són les que presenten el valor més alt, i per tant són que pitjor ajust presenten a les observacions.

Durada	RMSE			
	D.Gamma	D.Log-normal	D.Pearson	D.G.Pareto
5	0.82	0.81	0.52	0.49
10	1.71	1.72	1.01	0.94
15	2.38	2.41	1.39	1.29
20	2.69	2.74	1.58	1.50
25	3.19	3.30	2.10	1.91
30	3.27	3.40	2.23	1.94
35	3.44	3.57	2.44	2.14
40	4.11	4.36	2.77	2.64
45	4.83	5.15	3.35	3.24
50	5.35	5.78	3.62	3.51
55	5.82	6.33	3.88	3.82
60	6.08	6.67	4.00	3.93
65	6.25	6.87	4.12	4.03
70	6.27	6.92	4.11	3.99
75	6.13	6.78	4.08	3.92
80	6.12	6.75	4.12	3.92
85	6.21	6.83	4.23	4.02
90	6.20	6.81	4.25	4.01
95	6.22	6.83	4.29	4.04
100	6.28	6.86	4.43	4.13
105	6.30	6.87	4.49	4.14
110	6.35	6.92	4.57	4.15
115	6.45	7.00	4.69	4.23
120	6.50	7.04	4.74	4.26
180	7.43	7.95	5.35	4.80
360	8.68	9.17	7.54	6.49
540	12.17	13.54	8.04	8.19
720	12.96	14.35	8.43	8.67
900	14.04	15.56	8.83	9.29
1080	13.45	14.82	8.38	8.67
1260	13.76	15.00	8.68	8.99
1440	20.78	22.80	14.68	15.47

Taula 31: RMSE per a cada funció de distribució a l'estació de l'Estartit.

Per tal d'escollir la funció de distribució que millor ajust presenta, es revisen les representacions dels valors observats de precipitació i les precipitacions esperades segons aquestes funcions de distribució. A la *figura 45*, es mostren aquestes gràfiques per a les durades de 5 minuts i 24 hores per a les distribucions de Pearson i generalitzada de Pareto.

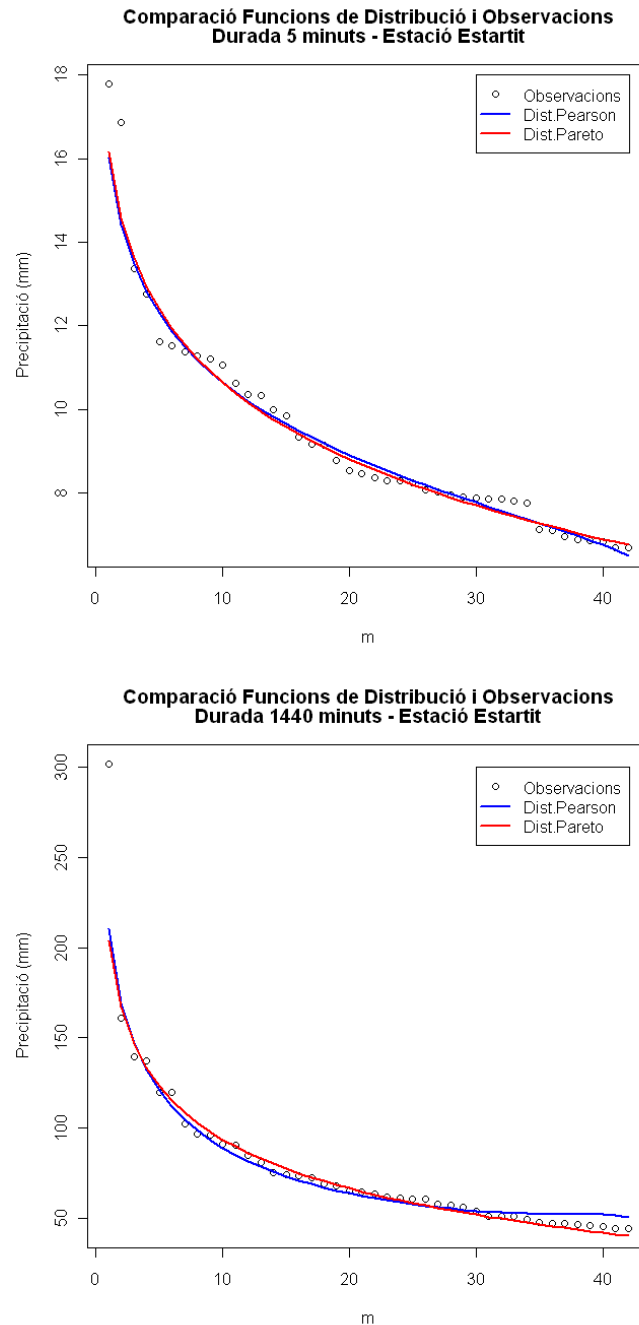


Figura 45: Precipitacions observades en 5 minuts (a dalt) i en 24 hores (a baix) i l'ajust de les funcions de distribucions de Pearson i generalitzada de Pareto corresponent a cada durada.

Segons les consideracions anteriors es considera que la distribució generalitzada de Pareto és la que millor ajust presenta, i es determinen els seus paràmetres per a cada durada (*taula 32*).

PARÀMETRES DE LA FUNCIÓ DE DISTRIBUCIÓ GENERALITZADA DE PARETO								
<b>Durada (min)</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>35</b>	<b>40</b>
<b>P. Forma</b>	0.064	0.030	0.023	0.018	0.047	0.070	0.077	0.020
<b>P. Escala</b>	2.83	4.97	6.69	7.97	10.63	12.20	13.35	13.28
<b>P. Localització</b>	6.70	9.79	11.85	13.47	13.29	13.57	14.21	14.52
<b>Durada (min)</b>	<b>45</b>	<b>50</b>	<b>55</b>	<b>60</b>	<b>65</b>	<b>70</b>	<b>75</b>	<b>80</b>
<b>P. Forma</b>	0.009	0.003	-0.008	-0.008	-0.005	-0.003	0.005	0.011
<b>P. Escala</b>	14.674	15.940	16.663	17.451	18.159	18.610	19.336	19.828
<b>P. Localització</b>	14.769	14.979	15.283	15.541	15.850	16.345	16.448	16.768
<b>Durada (min)</b>	<b>85</b>	<b>90</b>	<b>95</b>	<b>100</b>	<b>105</b>	<b>110</b>	<b>115</b>	<b>120</b>
<b>P. Forma</b>	0.013	0.017	0.019	0.028	0.035	0.042	0.046	0.049
<b>P. Escala</b>	20.19	20.56	20.82	21.48	21.98	22.47	22.75	22.93
<b>P. Localització</b>	17.01	17.21	17.43	17.58	17.79	17.96	18.19	18.42
<b>Durada (min)</b>	<b>180</b>	<b>360</b>	<b>540</b>	<b>720</b>	<b>900</b>	<b>1080</b>	<b>1260</b>	<b>1440</b>
<b>P. Forma</b>	0.050	0.123	-0.031	-0.040	-0.057	-0.046	-0.052	-0.136
<b>P. Escala</b>	23.82	33.18	31.66	33.01	33.39	34.25	34.02	33.48
<b>P. Localització</b>	21.52	24.88	28.70	31.56	33.94	36.23	38.75	39.45

Taula 32: Paràmetres d'ajust de la Funció de Distribució Generalitzada de Pareto per a cada durada.

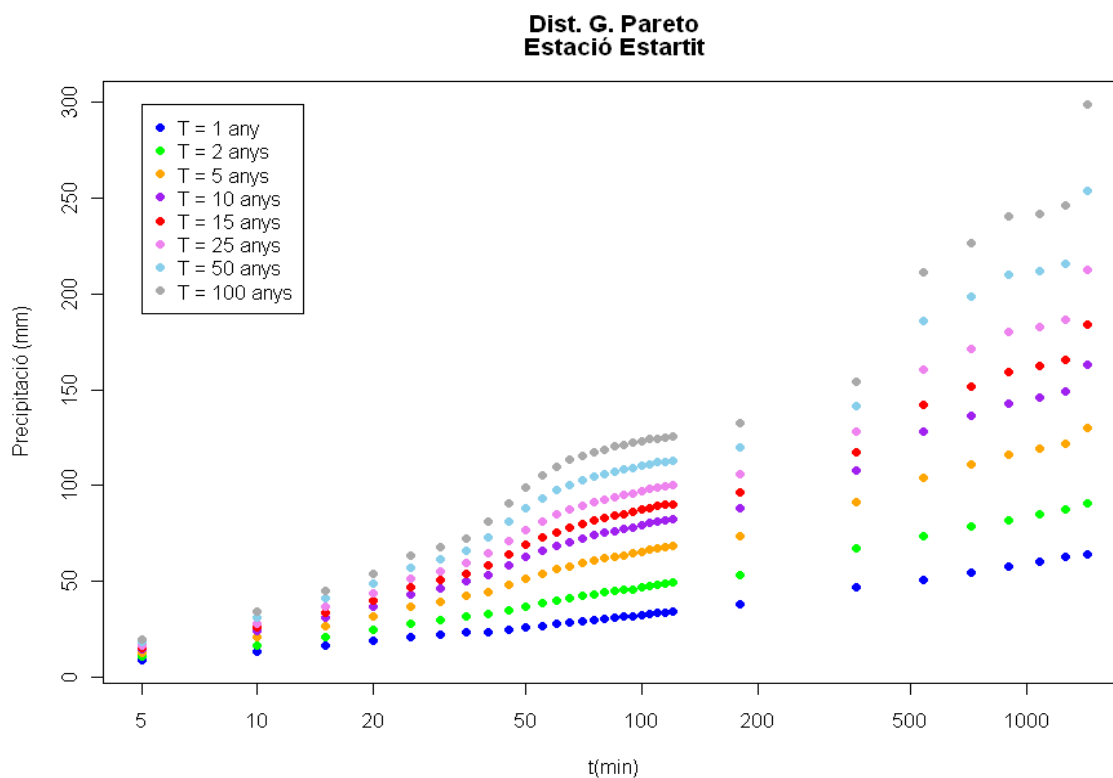


Figura 46: Sèries de dades de precipitació per a cada durada i període de retorn de l'Estartit.

Calculem les precipitacions màximes esperades per a cada durada i cada període de retorn (taula 33), que apareixen representades a la figura 46.

FUNCIÓ DE DISTRIBUCIÓ GENERALITZADA DE PARETO								
Durada(min)	T (anys)							
	1	2	5	10	15	25	50	100
5	8.62	10.46	12.76	14.42	15.36	16.50	18.00	19.43
10	13.19	16.53	20.84	24.02	25.85	28.13	31.16	34.14
15	16.45	20.98	26.86	31.23	33.75	36.90	41.11	45.26
20	18.96	24.38	31.44	36.70	39.75	43.55	48.66	53.71
25	20.54	27.55	36.49	43.00	46.71	51.29	57.32	63.17
30	21.83	29.69	39.52	46.55	50.50	55.33	61.61	67.60
35	23.22	31.76	42.37	49.91	54.14	59.29	65.95	72.26
40	23.66	32.68	44.40	53.12	58.17	64.47	72.92	81.25
45	24.91	34.99	48.21	58.14	63.93	71.18	80.97	90.70
50	26.02	37.03	51.55	62.50	68.89	76.94	87.84	98.71
55	26.86	38.51	54.00	65.79	72.72	81.48	93.42	105.42
60	27.67	39.87	56.10	68.47	75.73	84.91	97.44	110.03
65	28.46	41.12	57.92	70.69	78.18	87.63	100.51	113.43
70	29.26	42.19	59.32	72.31	79.91	89.51	102.54	115.61
75	29.83	43.15	60.69	73.90	81.60	91.29	104.38	117.42
80	30.46	44.04	61.83	75.16	82.91	92.62	105.71	118.69
85	30.94	44.74	62.80	76.32	84.17	94.00	107.24	120.36
90	31.37	45.38	63.64	77.27	85.17	95.05	108.31	121.42
95	31.77	45.93	64.36	78.10	86.05	95.99	109.32	122.48
100	32.32	46.78	65.47	79.29	87.25	97.16	110.37	123.33
105	32.84	47.53	66.41	80.30	88.27	98.15	111.28	124.10
110	33.31	48.22	67.27	81.19	89.15	98.99	112.00	124.64
115	33.71	48.74	67.89	81.84	89.80	99.61	112.57	125.11
120	34.05	49.16	68.35	82.31	90.26	100.05	112.95	125.42
180	37.75	53.44	73.36	87.84	96.09	106.24	119.61	132.53
360	46.92	67.16	91.41	108.01	117.09	127.90	141.53	154.04
540	50.89	73.57	104.31	128.17	142.36	160.51	185.60	211.25
720	54.76	78.62	111.20	136.65	151.87	171.40	198.55	226.47
900	57.54	82.10	116.09	143.00	159.24	180.25	209.75	240.44
1080	60.34	85.24	119.38	146.18	162.25	182.93	211.78	241.55
1260	62.76	87.65	121.95	149.00	165.28	186.29	215.70	246.18
1440	63.79	90.53	129.97	163.24	184.21	212.32	253.72	299.21

Taula 33: Precipitació esperada per la funció de distribució generalitzada de Pareto per a cada durada i període de retorn considerat.

Dividint els valors de precipitació per la corresponent durada, s'obté la sèrie de dades d'Intensitat – Durada – Freqüència.



## 4.4 Càlcul de les Corbes IDF

### 4.4.1 Selecció de l'Equació IDF

A partir de les dades d'Intensitat – Durada – Freqüència obtingudes, s'ajusten els quatre corbes IDF descrits a l'apartat 2.4.1, i es calcula el coeficient de correlació per a cada model i cada període de retorn (*taula 34*).

COEFICIENT DE CORRELACIÓ				
T (anys)	Talbot	Bernard	Sherman	Chow
1	0.9986	0.994	0.99990	0.99986
2	0.998	0.992	0.9998	0.99990
5	0.997	0.9887	0.9994	0.9996
10	0.997	0.986	0.9989	0.9992
15	0.997	0.98	0.9987	0.99893
25	0.997	0.98	0.998	0.998
50	0.997	0.98	0.998	0.998
100	0.996	0.98	0.997	0.997

Taula 34: Coeficient de correlació per l'ajust de la sèrie de dades a les quatre corbes IDF a cada període de retorn.

També s'ha calculat el valor del RMSE en cada cas segons l'equació 27 (*taula 35*).

RMSE				
T (anys)	Talbot	Bernard	Sherman	Chow
1	0.025	0.044	0.005	0.007
2	0.037	0.063	0.009	0.007
5	0.047	0.093	0.021	0.017
10	0.054	0.118	0.031	0.027
15	0.059	0.134	0.037	0.033
25	0.065	0.154	0.046	0.042
50	0.075	0.182	0.060	0.056
100	0.088	0.212	0.076	0.073

Taula 35: RMSE per l'ajust de la sèrie de dades a les quatre corbes IDF per a cada període de retorn.

Novament s'escull presentar l'ajust per a l'equació de Bernard (23) i de Sherman (24) a la vista dels valors del coeficient de correlació i del RMSE presentats a les *taules 34 i 35* i les consideracions descrites a l'apartat 2.4.2.

#### 4.4.2 Ajust a l'Equació de Bernard

Els paràmetres de l'ajust resultant l'equació de Bernard (23) es presenten a la *taula 36*. A la *figura 47* podem es mostren les corbes IDF segons aquest model.

T (anys)	a (mm)	$\epsilon_a$ (mm)	b	$\epsilon_b$
1	4.5	0.2	0.555	0.012
2	5.1	0.2	0.504	0.013
5	5.9	0.3	0.466	0.015
10	6.6	0.3	0.447	0.016
15	6.9	0.4	0.438	0.016
25	7.4	0.4	0.428	0.017
50	8.0	0.5	0.417	0.018
100	8.6	0.6	0.408	0.019

Taula 36: Paràmetres de l'ajust l'equació IDF de Bernard (23) per a cada període de retorn de la sèrie de dades de l'Estartit.

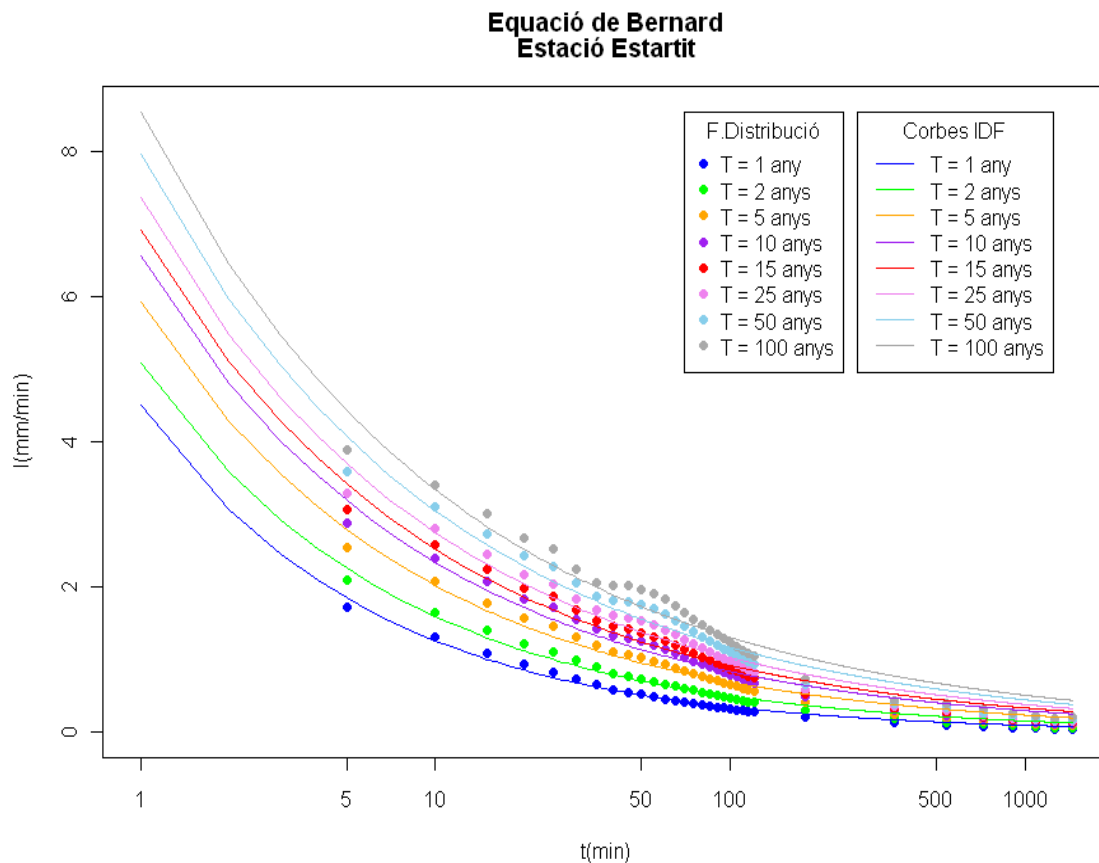


Figura 47: Corbes IDF a partir del model de Bernard (23) (línies) i observacions teòriques segons la funció de distribució generalitzada de Pareto (punts) per a cada període de retorn a l'estació de l'Estartit.

### 4.4.3 Ajust a l'Equació de Sherman

De l'anàlisi fet a l'apartat 4.4.1, podem concloure que les corbes IDF per a l'Estació de l'Estartit estan definides mitjançant l'equació de Sherman (24) amb els paràmetres que es presenten a la taula 37.

T (anys)	a (mm)	$\epsilon_a$ (mm)	b (min)	$\epsilon_b$ (min)	c	$\epsilon_c$
1	12.0	0.4	7.3	0.3	0.774	0.007
2	14.6	0.6	9.3	0.4	0.733	0.009
5	20.4	1.8	12.7	1.0	0.728	0.018
10	26.4	3.2	15.6	1.5	0.737	0.024
15	30.5	4.3	17.3	1.8	0.744	0.028
25	36.3	6.2	19.5	2.3	0.755	0.034
50	45.5	9.7	22.5	3.0	0.771	0.042
100	56.1	14.8	25.5	3.9	0.787	0.051

Taula 37: Paràmetres de l'ajust a la corba IDF de Sherman (24) per a cada període de retorn de la sèrie de dades de l'Estartit.

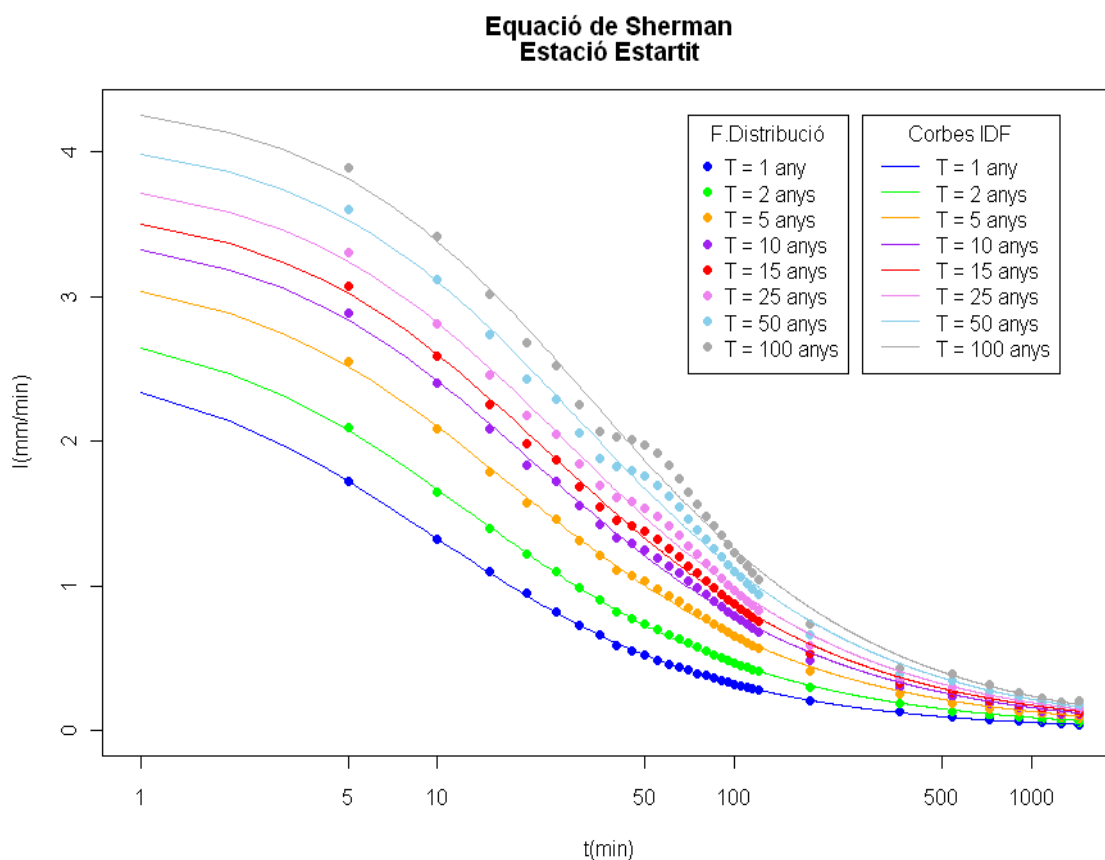


Figura 48: Corbes IDF a partir de l'equació de Sherman (24) (línies) i observacions teòriques segons la funció de distribució generalitzada de Pareto (punts) per a cada període de retorn a l'Estació de l'Estartit.

A la *figura 48* s'ha representat la intensitat de precipitació en funció de la durada considerada per a cada període de retorn, calculada a partir de la corba IDF i també utilitzant la funció de distribució generalitzada de Pareto ajustada a la sèrie de dades. Com es pot veure, la inferència estadística resulta prou bona fins a un període de retorn del ordre de la longitud de la sèrie, en aquest cas, fins a 25 anys. Per a períodes de retron superiors les intensitats de precipitació màximes teòriques mostren una anomalia per a durades pròximes a 50 minuts.

#### 4.4.4 Generalització de les Corbes IDF

##### 4.4.4.1 Generalització a un Paràmetre

Per tal de generalitzar les corbes IDF prenem el valor mig dels paràmetres  $b$  i  $c$  que es mostren a la *taula 37* i es torna a ajustar aquest model amb un únic paràmetre d'ajust,  $a$  (*taula 38*).

<b>Ajust equació de Sherman amb <math>b = 16.2</math> i <math>c = 0.753</math></b>			
<b>T(anys)</b>	<b>a (mm)</b>	<b><math>\epsilon_a</math> (mm)</b>	<b><math>r^2</math></b>
1	13.9	0.3	0.986
2	18.4	0.2	0.995
5	24.1	0.1	0.9989
10	28.4	0.1	0.9989
15	30.8	0.2	0.998
25	33.8	0.3	0.997
50	37.9	0.4	0.996
100	41.8	0.5	0.993

Taula 38: Resultat de l'ajust de la equació de Sherman amb  $b$  i  $c$  constants en funció del període de retorn.

Ja que l'ajust és lineal en ser  $a$  una constant de proporcionalitat, es mostra el bon acord de l'ajust amb el coeficient de correlació de Pearson.

A continuació es mostren les representacions de les relacions logarítmica i potencial del paràmetre  $a$  amb el període de retorn.

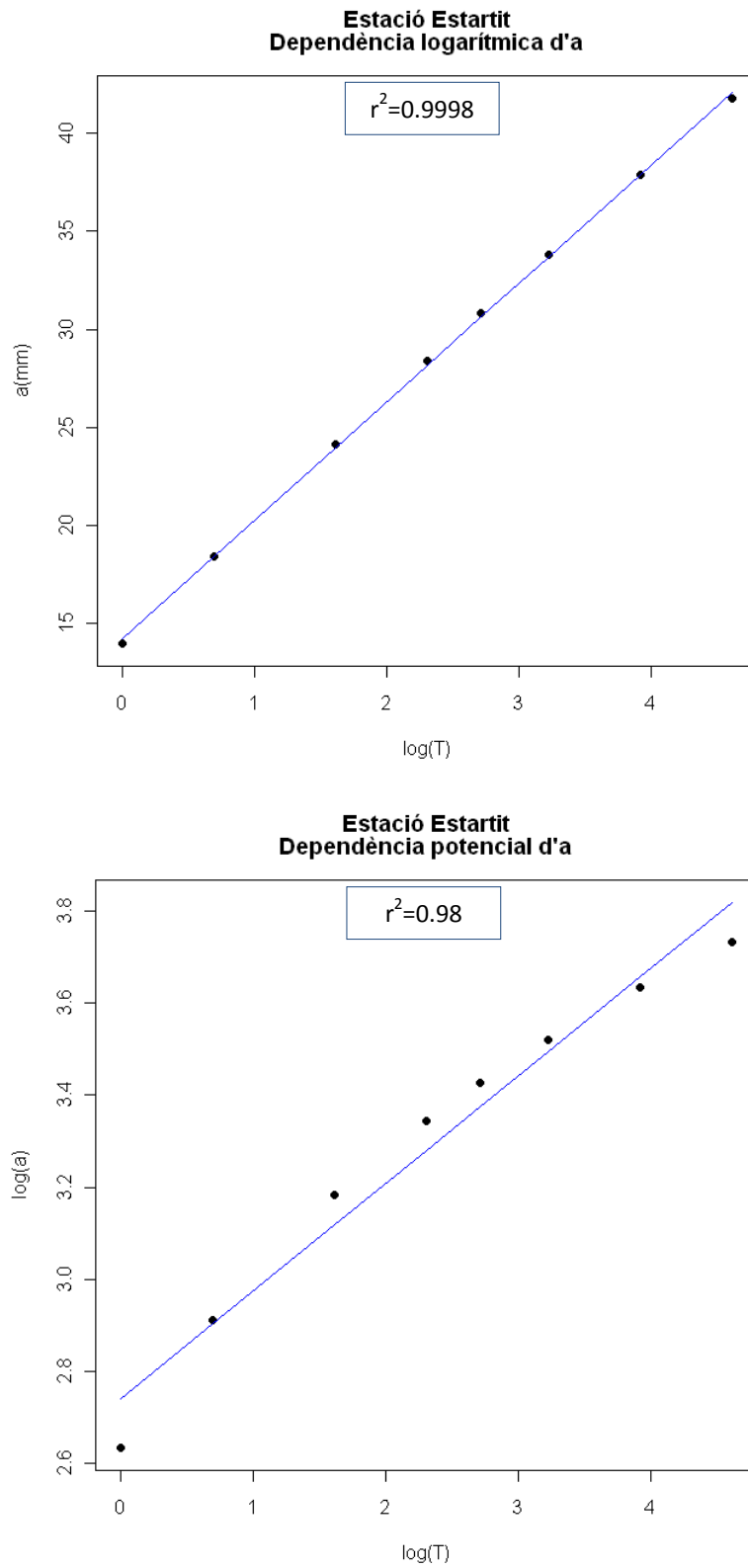


Figura 49: Ajust logarítmic (a dalt) i potencial (a baix) del paràmetre  $a$  amb el període de retorn.

A la *figura 49* es pot veure com l'ajust logarítmic del paràmetre  $a$  és millor que no pas l'ajust potencial, tal i com corrobora el coeficient de correlació. Per tant s'escull realitzar la generalització mitjançant l'ajust logarítmic, que resulta:

$$a = (14.2 \pm 0.1) + (6.06 \pm 0.05) \cdot \ln T \quad (38)$$

I l'equació de la generalització de les corbes IDF per a l'estació de l'Estartit és

$$I = \frac{6.06 \ln T + 14.2}{(16.2 + t)^{0.753}} \quad (39)$$

A la *taula 39* es presenta el coeficient de correlació i el RMSE per tal de donar una idea de l'acord que hi ha entre les estimacions de la funció de distribució generalitzada de Pareto i l'expressió de les corbes IDF generalitzades. Com es d'esperar, el valor del RMSE augmenta amb el període de retorn, ja que augmenta la incertesa associada a la capacitat predictora de la funció de distribució, i el coeficient de correlació de Pearson ens indica que l'acord entre les intensitats esperades per la funció de distribució generalitzada de Pareto i les obtingudes per les corbes IDF generalitzades és força bo (*figura 50*).

**Generalització Logarítmica - Corbes IDF Estació Estartit**

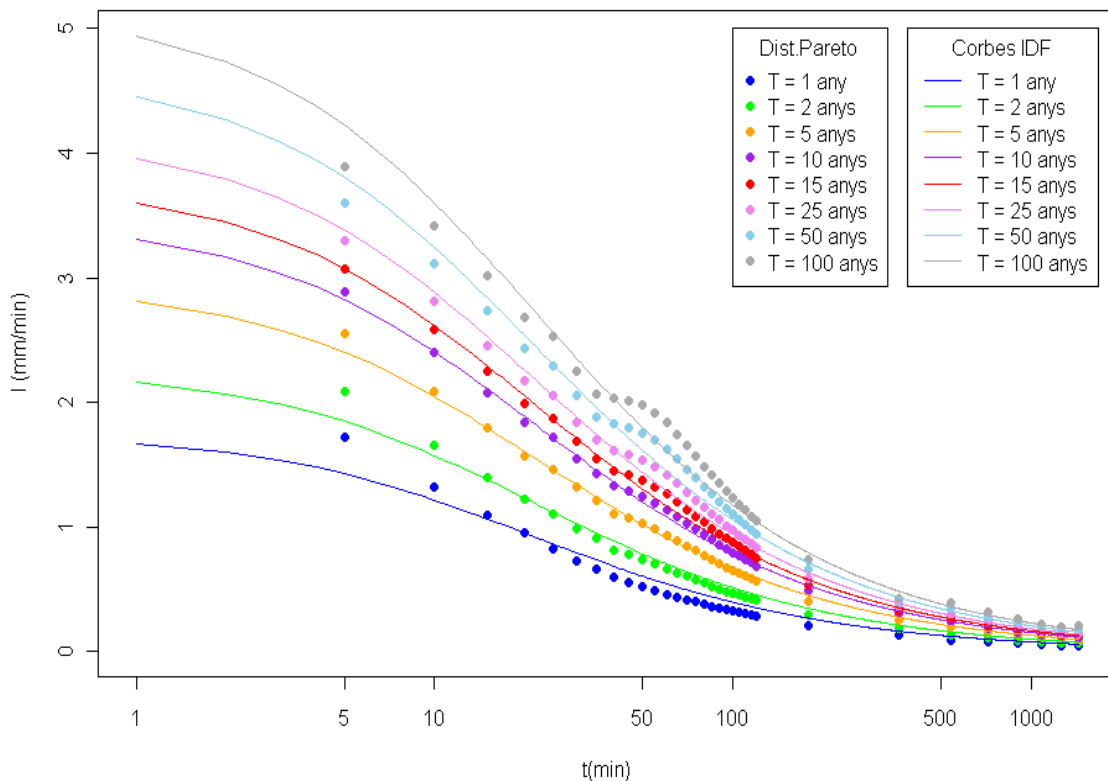


Figura 50: Corbes IDF generalitzades segons l'equació 39 (línia) i valors esperats segons la funció de distribució generalitzada de Pareto (punts) per a l'estació de l'Estartit.

T(anys)	$r^2$	RMSE
1	0.986	0.083
2	0.995	0.059
5	0.9989	0.033
10	0.9989	0.032
15	0.998	0.043
25	0.997	0.062
50	0.995	0.093
100	0.993	0.127

Taula 39: Coeficient de correlació entre la sèrie de dades obtinguda de l'ajust a la funció de distribució generalitzada de Pareto i el resultat de l'ajust a l'equació de les corbes IDF generalitzada (equació 39).

#### 4.4.4.2 Generalització a dos Paràmetres

Com succeïa amb les corbes IDF de l'Observatori del Ebre, el paràmetre  $b$  obtingut del ajust a l'equació de Sherman (24) (taula 37) pel cas de l'estació de l'Estartit varia amb el període de retorn (figura 51).

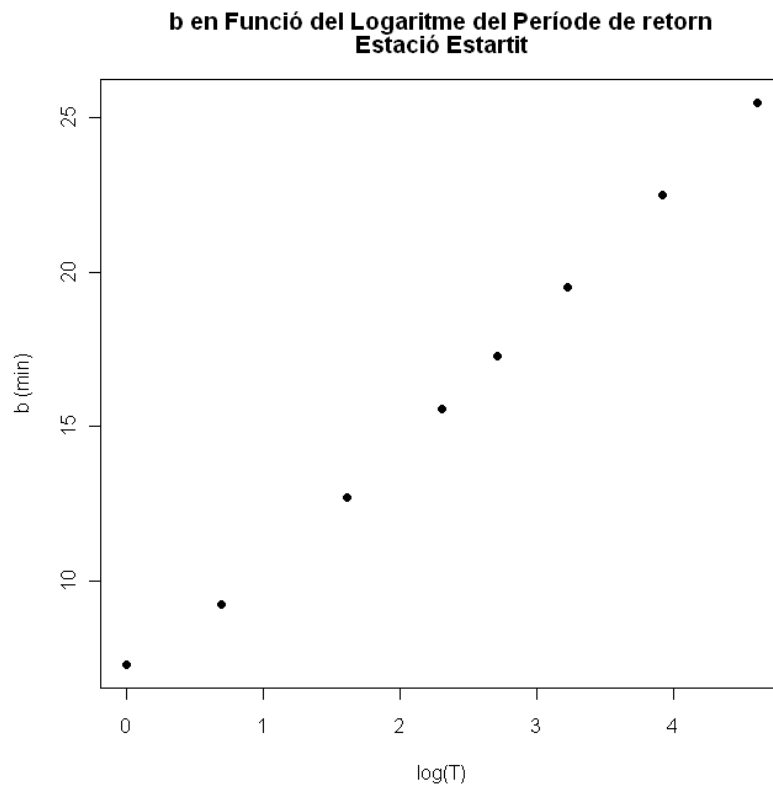


Figura 51: Paràmetre  $b$  (taula 34) en funció del logaritme del període de retorn.

Ajustem la sèrie de dades obtinguda de la funció de distribució generalitzada de Pareto per a cada període de retorn a l'equació de Sherman (24) prenent el paràmetre  $c$  constant (taula 40).

Ajust equació de Sherman amb $c= 0.753$						
T(anys)	a (mm)	$\epsilon_a$ (mm)	b (min)	$\epsilon_b$ (min)	r2	RMSE
1	10.96	0.04	6.60	0.09	0.99988	0.006
2	16.02	0.07	10.13	0.15	0.9998	0.010
5	23.07	0.19	14.03	0.33	0.9993	0.021
10	28.54	0.30	16.52	0.48	0.9989	0.031
15	31.78	0.37	17.83	0.57	0.9986	0.037
25	35.89	0.48	19.36	0.69	0.998	0.046
50	41.50	0.66	21.25	0.88	0.998	0.060
100	47.15	0.88	22.99	1.10	0.997	0.076

Taula 40: Resultat de l'ajust de la sèrie de dades a l'equació de Sherman (24) amb  $c$  constant per a cada període de retorn.



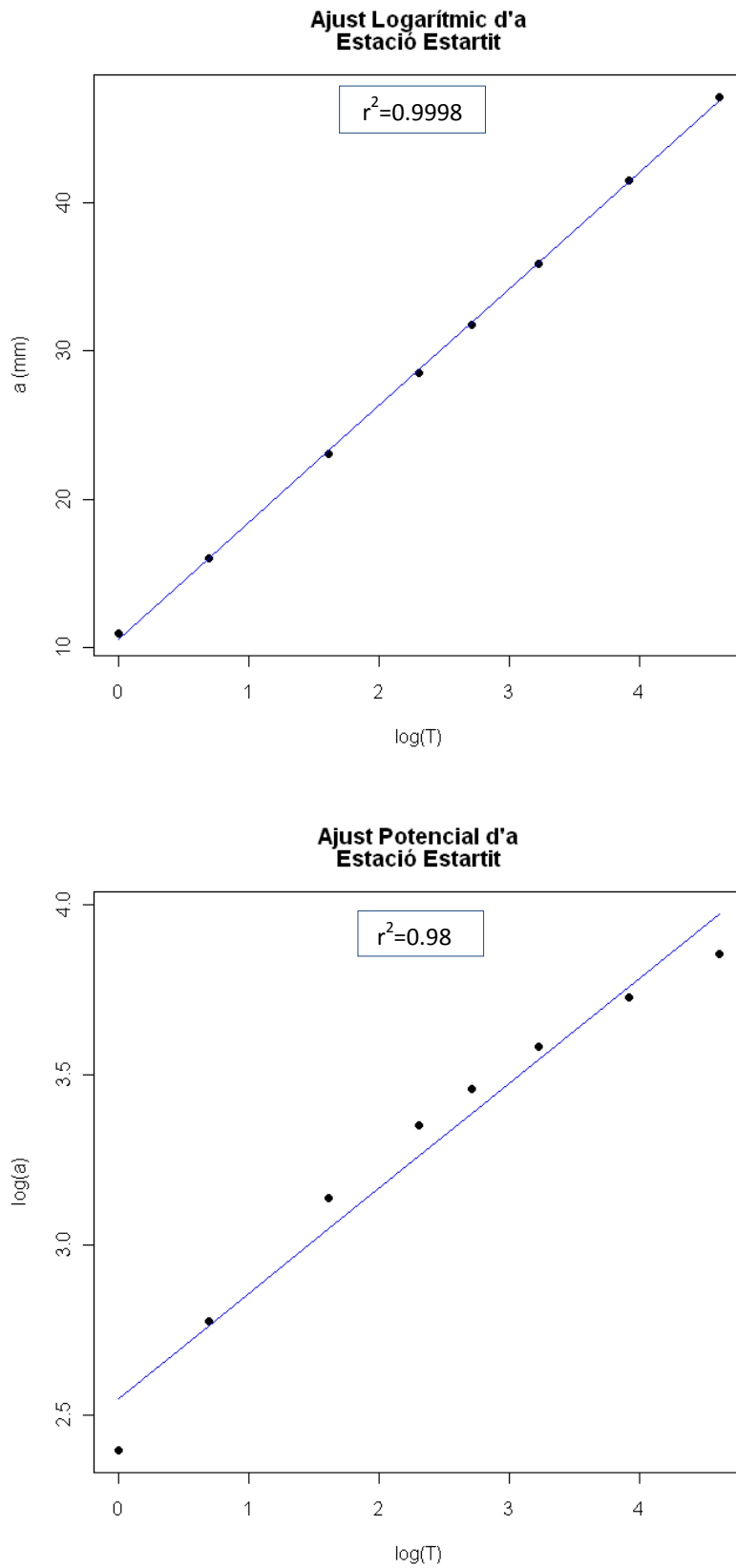


Figura 52: Ajust logarímic del paràmetre  $a$  (a dalt) i l'ajust potencial (a baix).

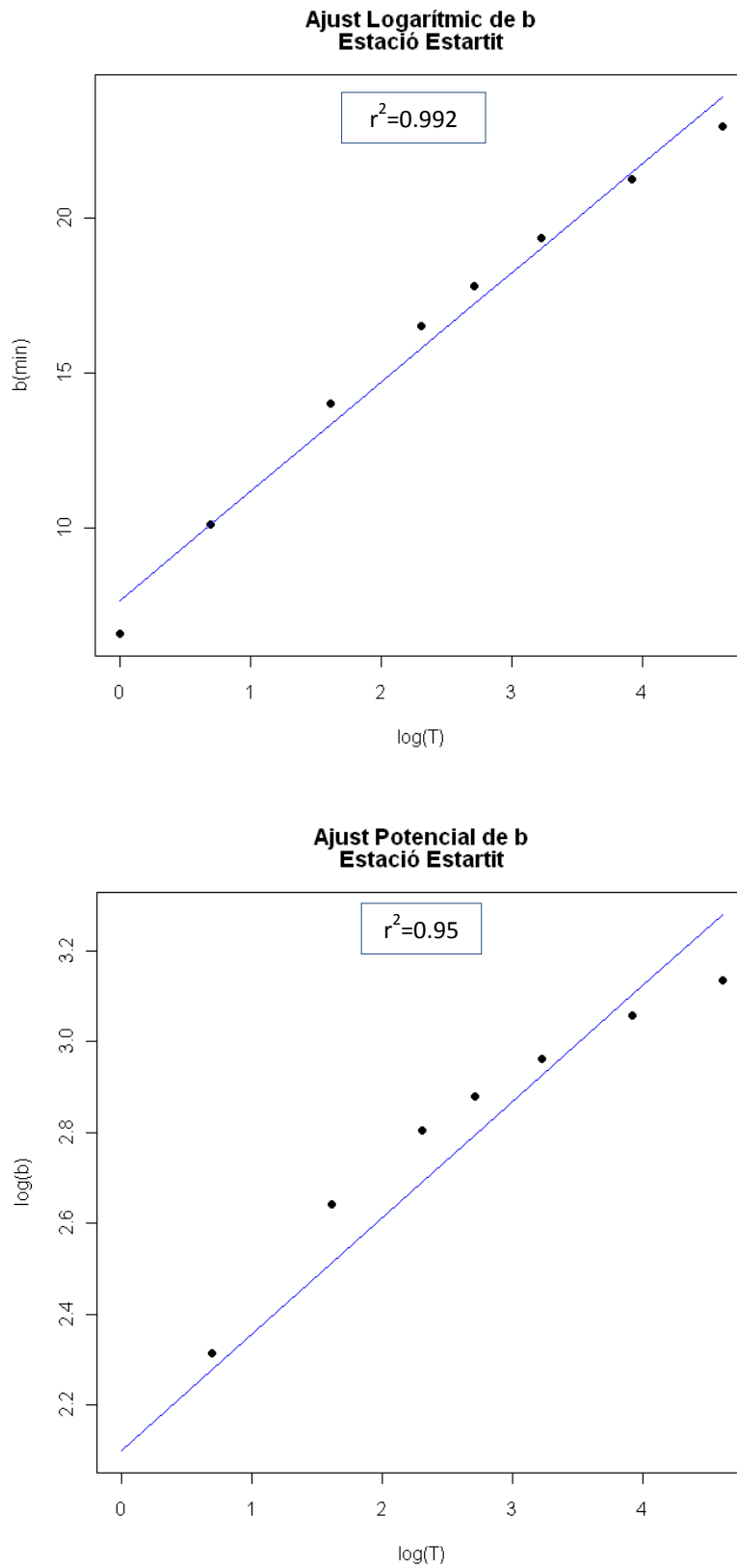


Figura 53: Ajust logarítmic del paràmetre  $b$  (a dalt) i l'ajust potencial (a baix).

A l'estació de l'Estartit trobem que el millor ajust, segons el coeficient de correlació (figures 52 i 53), és el logarítmic per a tots dos paràmetres:

$$a = (10.6 \pm 0.2) + (7.88 \pm 0.06) \cdot \ln T \quad (40)$$

$$b = (7.7 \pm 0.5) + (3.5 \pm 0.2) \cdot \ln T \quad (41)$$

### Generalització a dos paràmetres Estació Estarrit

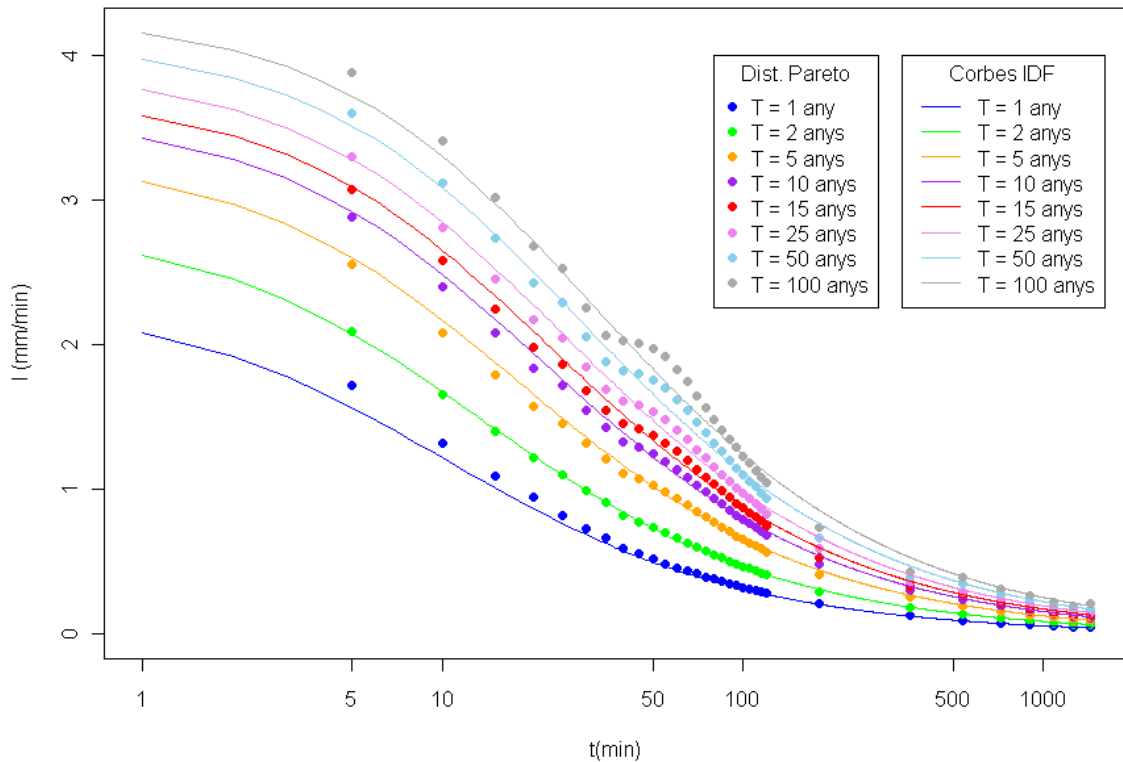


Figura 54: Corbes IDF generalitzades a dos paràmetres i sèrie de dades obtingudes de la funció de distribució generalitzada de Pareto.

L'equació de les corbes IDF per a l'estació de l'Estartit generalitzada a dos paràmetres és

$$I = \frac{10.6 + 7.88 \cdot \ln T}{(7.7 + 3.5 \cdot \ln T + t)^{0.753}} \quad (42)$$

Que apareix representada a la figura 54 per a diferents períodes de retorn.

En aquest cas la generalització dels paràmetres és del tipus logarítmic, però la interpretació de l'equació és equivalent a la feta per la resultant a l'Observatori Ebre. Igualment, es millora l'ajust de les corbes IDF generalitzades fent servir l'equació 42 en comptes de l'equació 39, que generalitza només un paràmetre, com mostren els valors obtinguts del RMSE i el coeficient de correlació de la taula 41 en vers la taula 39.

T(anys)	$r^2$	RMSE
1	0.9996	0.043
2	0.9998	0.010
5	0.9993	0.034
10	0.9989	0.041
15	0.9986	0.043
25	0.998	0.048
50	0.998	0.061
100	0.997	0.085

Taula 41: Coeficient de correlació entre la sèrie de dades obtinguda de l'ajust a la funció de distribució generalitzada de Pareto i el resultat de l'ajust a l'equació de les corbes IDF generalitzada per dos paràmetres.

#### 4.5 Anàlisi dels episodis extrems

Als valors màxims absoluts de cada durada de l'estació de l'Estartit (*figura 55*), s'ha trobat que la tendència varia segons el rang de temps: entre 5 minuts i 6 hores, i entre 9 hores i 21 hores. Aquests valors es van registrar a tres únics esdeveniments (*taula 27*), un d'ells només va produir el màxim de 6 hores i un altre tots els màxims superiors. Aquesta distribució ens recorda que la sèrie de dades de l'Estartit té 21 anys i que en aquest període es poden haver registrat esdeveniments de diferents períodes de retorn produint aquestes diferències segons la durada, què esperariem no trobar amb una sèrie més llarga. Busquem, doncs, la relació entre les diferents durades pels esdeveniments més intensos.

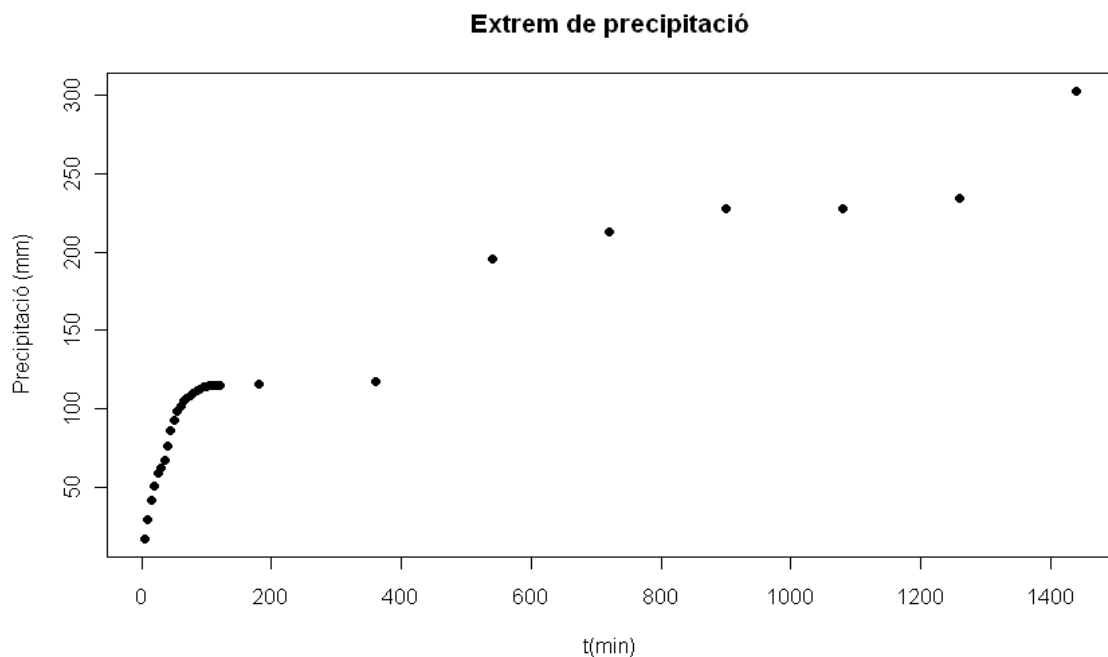


Figura 55: Màxim absolut de precipitació observat per a cada durada.

Com s'ha fet amb l'Observatori de l'Ebre, per a l'anàlisi dels episodis extrems de l'estació de l'Estartit es seleccionen els 20 esdeveniments més intensos de cada durada, a aquest cas amb un període de retorn empíric superior a 1 any. Del 1995 al 1998 només es va registrar un esdeveniment, mentre que el 2005 es van produir 6 (figura 56).

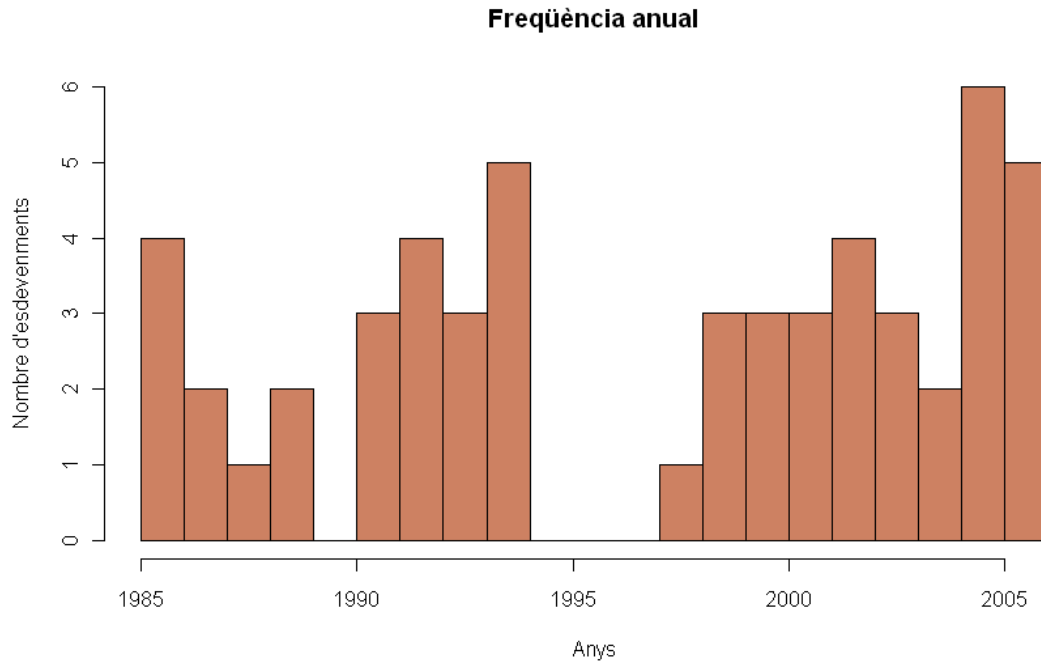


Figura 56: Esdeveniments extrems observats ( $T \geq 1$  anys) cada any.

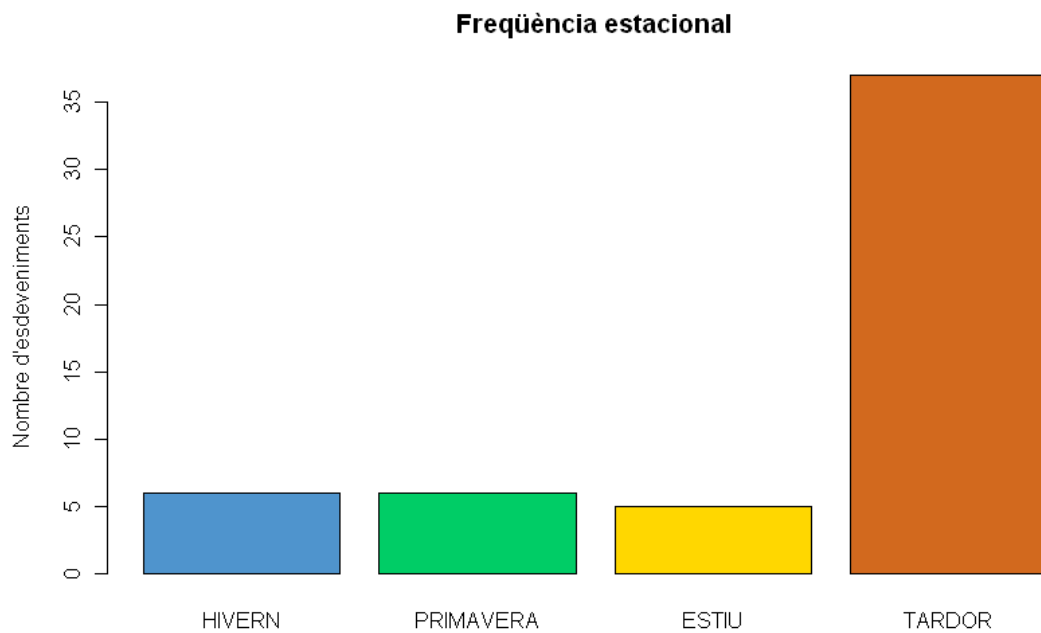
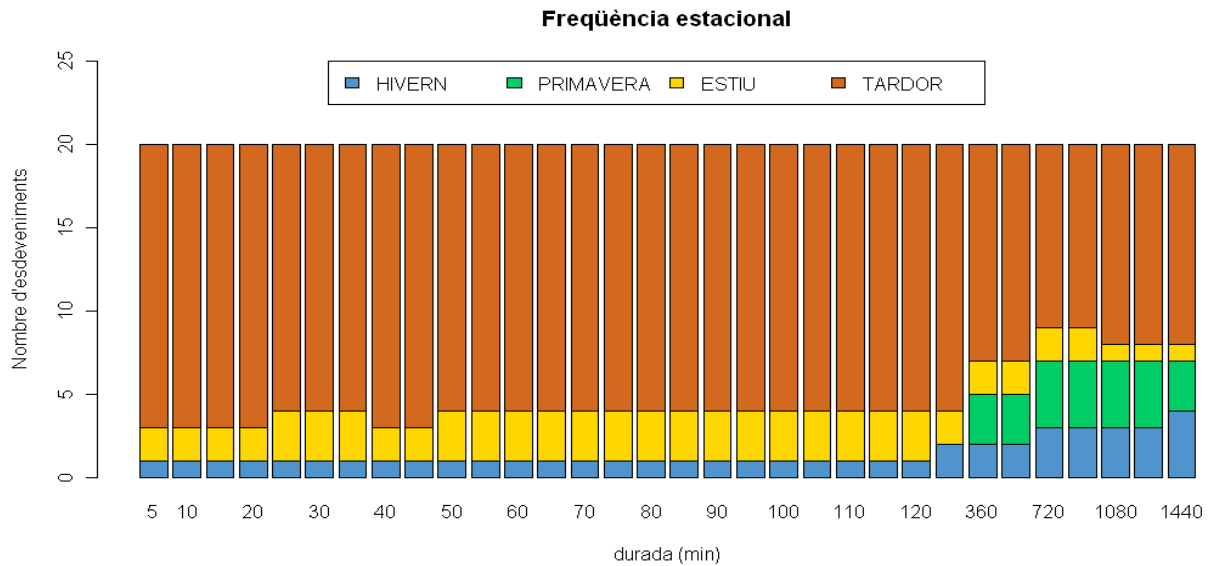


Figura 57: Esdeveniments extrems observats ( $T \geq 1$  anys) en cada estació de l'any.

La tardor resulta ser l'estació de l'any en què més esdeveniments extraordinaris de precipitació tenen lloc a l'Estartit, mentre que la resta d'estacions registren un nombre similar d'episodis (*figura 57*).



**Figura 58:** Esdeveniments extrems observats ( $T \geq 1$  anys) per a cada durada i estació de l'any.

Durant la tardor, l'estiu i l'hivern es produeixen esdeveniments extraordinaris per a totes les durades, amb predomini de la tardor. A la primavera, en canvi, tenen lloc esdeveniments molt intensos només per a durades llargues. També cal notar que el nombre d'esdeveniments produïts a l'hivern augmenten per a durades llargues (*figura 58*). Per tant, tenint en compte a la distribució observada per l'observatori de l'Ebre, les precipitacions extraordinàries al litoral català són més freqüents a la tardor i a l'estiu, i durant l'hivern es poden produir precipitacions molt intenses per a durades grans ( $t \geq 6$  hores). La primavera, en canvi, té comportament diferent als dos extrems del litoral del país, ja que al sud dona lloc a esdeveniments extraordinaris per durades curtes, mentre que al nord es registren per a durades llargues.

Per fer l'estudi de correlacions entre les durades s'ha escollit els esdeveniments que igualen o superen el període de retorn de 2 anys mitjançant les corbes IDF generalitzades (42) (*taula 42*) per tal de tenir una mostra suficient de 18 episodis. Amb aquest s'ha construït una matriu quadrada amb la precipitació màxima per a cada durada (*taula 43*).

Durada (min)	Precipitació (mm)	Durada (min)	Precipitació (mm)
5	10.39	85	44.21
10	16.75	90	45.04
15	21.26	95	45.83
20	24.73	100	46.59
25	27.53	105	47.31
30	29.89	110	48.00
35	31.92	115	48.66
40	33.71	120	49.30
45	35.30	180	55.58
50	36.74	360	67.32
55	38.05	540	74.92
60	39.26	720	80.72
65	40.39	900	85.47
70	41.43	1080	89.54
75	42.42	1260	93.11
80	43.34	1440	96.30

Taula 42: Llíndar de precipitació de període de retorn de 2 anys calculat mitjançant les corbes IDF generalitzades de l'estació de l'Estartit per a cada durada.

Data	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	120	360	720	1440
13/10/1986	11.63	20.63	29.46	31.83	37.65	39.95	40.44	42.84	45.33	51.03	53.75	56.61	68.97	117.22	136.38	160.92
04/10/1987	9.84	15.51	21.09	26.87	30.97	35.26	38.20	41.93	45.03	48.31	49.94	50.31	53.03	79.44	81.03	90.20
08/05/1991	3.28	5.03	6.06	7.18	8.77	9.98	11.51	13.05	14.27	15.06	15.70	16.38	22.68	53.27	68.04	102.00
26/10/1991	17.80	29.08	41.90	51.07	59.38	62.42	67.52	76.88	86.08	92.60	98.94	102.01	115.2	115.90	116.00	119.56
22/06/1992	9.18	15.33	21.27	27.55	31.94	34.95	37.75	38.90	40.10	41.15	41.91	42.71	49.74	65.41	73.55	73.66
27/10/1993	5.47	10.28	13.95	16.39	18.03	18.27	18.50	18.93	19.16	19.65	20.07	20.66	35.75	68.36	86.09	95.98
10/10/1994	16.87	30.18	34.79	37.90	39.70	40.43	41.13	45.33	55.02	65.39	68.54	72.30	83.95	115.40	213.01	302.03
18/10/1994	7.76	13.76	17.26	19.84	21.98	23.77	27.10	29.02	31.25	33.17	34.75	36.16	69.84	107.50	129.30	137.35
27/10/1994	11.29	20.32	26.68	31.36	38.69	42.42	44.08	46.04	48.39	50.05	53.28	54.38	63.00	84.03	90.96	90.96
27/06/1999	11.39	20.89	22.41	22.89	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.10	24.96	27.03	27.03	27.03	27.03
14/09/1999	11.06	17.39	21.26	23.05	24.49	25.77	26.78	27.35	27.83	28.16	28.37	28.57	28.68	29.62	32.83	33.66
10/07/2000	6.69	10.40	13.96	18.40	22.15	24.92	27.60	29.68	31.29	32.61	33.89	34.50	48.58	55.37	55.98	56.28
19/09/2000	11.22	15.22	16.44	16.44	16.44	16.44	16.44	16.44	16.44	16.44	16.44	16.54	16.54	16.54	23.26	27.05
14/11/2001	2.52	4.18	5.27	6.92	7.91	8.70	9.82	10.68	11.62	13.31	14.75	16.07	26.13	49.38	83.27	96.37
05/01/2003	11.53	19.28	26.34	30.05	36.26	39.37	44.07	47.12	49.76	51.41	52.38	53.73	80.95	117.73	138.9	139.22
13/10/2005	8.37	14.37	17.02	23.64	27.75	30.66	33.39	34.94	35.61	35.71	35.71	35.71	38.57	79.59	95.16	119.51
14/09/2006	13.38	22.38	26.00	28.03	28.76	29.22	31.12	36.43	45.73	48.85	50.36	50.80	52.74	57.98	68.31	69.17
18/10/2006	12.76	19.01	26.43	34.69	43.55	50.40	52.81	54.30	56.01	58.21	63.31	70.54	71.93	73.55	73.86	74.06

Taula 43: Precipitació màxima per a cada durada dels esdeveniments que superen el període de retorn de 2 anys segons les corbes IDF generalitzades (en negreta els valors que han superat el període de retorn).

S'ha obtingut la matriu de significança del coeficient de correlació (taula 44) per aquests esdeveniments.

	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	120	360	720	1440
5																
10	0															
15	0	0														
20	0	0	0													
25	0	0	0	0												
30	0	0	0	0	0											
35	0	0	0	0	0	0										
40	0	0	0	0	0	0	0									
45	0	0	0	0	0	0	0	0								
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
120	0.002	0.001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
360	0.114	0.053	0.011	0.006	0.003	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0	0	0	0
720	0.16	0.066	0.045	0.05	0.054	0.068	0.066	0.054	0.032	0.014	0.015	0.015	0.001	0	0	0
1440	0.215	0.096	0.102	0.127	0.157	0.194	0.206	0.174	0.106	0.052	0.054	0.051	0.013	0	0	0

Taula 44: Significança del coeficient de correlació entre les durades considerades.

Aquells valors que presenten una significança inferior al nivell de 0.001 estan assenyalats en negreta, i les zones acolorides remarquen els possibles grups en que es relacionen les diferents durades. El nivell de significació és menor que l'escollit per l'Observatori de l'Ebre degut a que la sèrie de dades és més curta, d'aquesta manera som més exigents a l'hora d'extreure relacions entre les diferents durades.

Segons els resultats obtinguts, les escales meteorològiques a l'estació de l'Estartit mostren un comportament diferent que a l'Observatori de l'Ebre. En aquest cas, l'escala local produeix valors màxims de precipitació a les durades des de 5 minuts fins a 1 hora. La mesoescala correspondria a esdeveniments de 2 a 6 hores, i la escala sinòptica dona lloc als esdeveniments màxims de més de 9 hores de durada. Aquesta diferència entre la durada dels fenòmens d'escala local ha d'estar fortament relacionada amb la orografia abrupta que es troba a prop de l'Estartit i la posició més a prop del golf de Lleó i els Pirineus.



## 5 Aplicació a l'Observatori Fabra

L'Observatori Fabra es troba ubicat al terme municipal de Barcelona a la serra de Collserola a 7.5 km del mar (lat: 41.418 N, long: 2.125 E, alt: 410 m) (figures 59 i 60).



Figura 59: Vista aèria de l'Observatori Fabra ([www.fabra.cat](http://www.fabra.cat)).

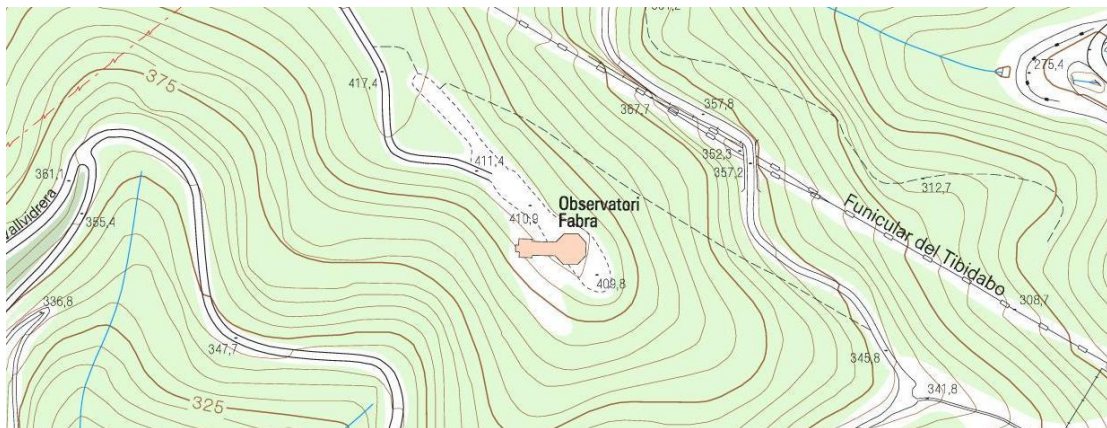


Figura 60: Topografia de la zona propera a l'Observatori Fabra ([www.icc.cat](http://www.icc.cat)).

*L'Observatori Fabra pertany a la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona (RACAB). Construït gràcies a un llegat del Sr. Camil Fabra i Fontanills, primer marquès d'Alella, va ser inaugurat l'any 1904 pel Rei Alfons XIII. El seu edifici és obra de l'arquitecte modernista Josep Domènech i Estapà.*

*Des dels seus primers temps, l'Observatori treballa en tres dominis: Astronomia, Meteorologia i Sismologia.*

*La Secció Meteorològica estudia detalladament la climatologia local. La Secció Sísmica intervé en la sismologia mundial, però s'ocupa sobre tot de la sismicitat regional. L'activitat de la*

Secció Astronòmica està dedicada a l'astrometria de petits planetes i cometes, en el marc de programes internacionals." ([www.fabra.cat](http://www.fabra.cat))

### 5.1 Dades disponibles

A l'Observatori Fabra (figura 62) es troba instal·lat el pluviògraf d'intensitats Jardí (figura 61) des de l'any 1927. Aquets pluviògraf va ser dissenyat pel doctor Ramon Jardí Borràs i el seu funcionament s'ha descrit en altres ocasions (Llasat, 2001 i referències citades: Jardí, 1921; Llasat and Puigcerver, 1985, 1997; Puigcerver et al., 1986; Burgueño et al., 1993).

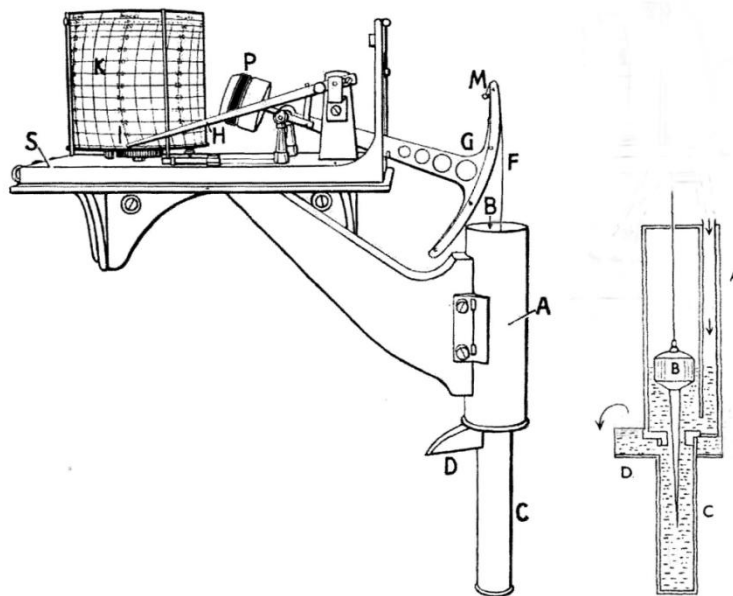


Figura 61: Esquema del pluviògraf d'intensitats Jardí.



Figura 62: Ubicació del pluviògraf Jardí a les instal·lacions del Observatori Fabra l'any 2004.

Les dades obtingudes del període 1927 - 1992 van ser tractades per l'empresa CLABSA donant lloc a un registre que indica l'instant en què es va recollir 0.1 mm de precipitació. Donada la diferència amb la resta de pluviògrafs que al present treball es tracten, s'ha obtingut el registre minutal amb un programa diferent què compta el nombre línies d'un mateix minut per obtenir les dècimes de mil·límetres de precipitació minutal. Per a la resta de l'anàlisi de precipitació s'ha procedit anàlogament als altres observatoris.

## 5.2 Tractament de Dades

### 5.2.1 Validació del Programari

Donada la senzillesa del programa emprat gràcies al registre ja tractat amb què es treballa no resulta necessari fer aquesta validació.

### 5.2.2 Control de Qualitat de la Sèrie

Al mateix observatori es disposa d'un pluviòmetre totalitzador Hellman amb sèrie simultània a la del pluviògraf. Seguidament es comprova que els valors del registre minutal de precipitació siguin coherents i es quantifica la possible mancança de dades.

#### 5.2.2.1 Validació de la Precipitació Acumulada Diària pel Pluviògraf

Es compara la precipitació diària (calculada de 7 a 7 h) del registre minutal per a les bandes del pluviògraf ( $P_{\text{pluviògraf}}$ ) amb la precipitació diària del pluviòmetre ( $P_{\text{pluviòmetre}}$ ) per a tots els dies en què el pluviògraf ha registrat precipitació (3995 dies) i tenint en compte que la mesura de la precipitació recollida pel pluviòmetre es fa a l'observació del matí (7 UTC). A la *figura 63* es mostra el histograma de freqüències d'aquestes diferències de precipitació (*equació 32*), i a la *taula 45* es troben numèricament.

Classes	Freqüències
(-100, -50]	5
(-50, -25]	22
(-25, -10]	164
(-10, -5]	317
(-5, 0]	537
(-2, 0]	1297
(0, 2]	823
(0, 5]	390
(5, 10]	229
(10, 25]	160
(25, 50]	40
(50, 100]	11

Taula 45: Freqüències observades de les diferències de precipitació diària segons l'aparell de mesura.

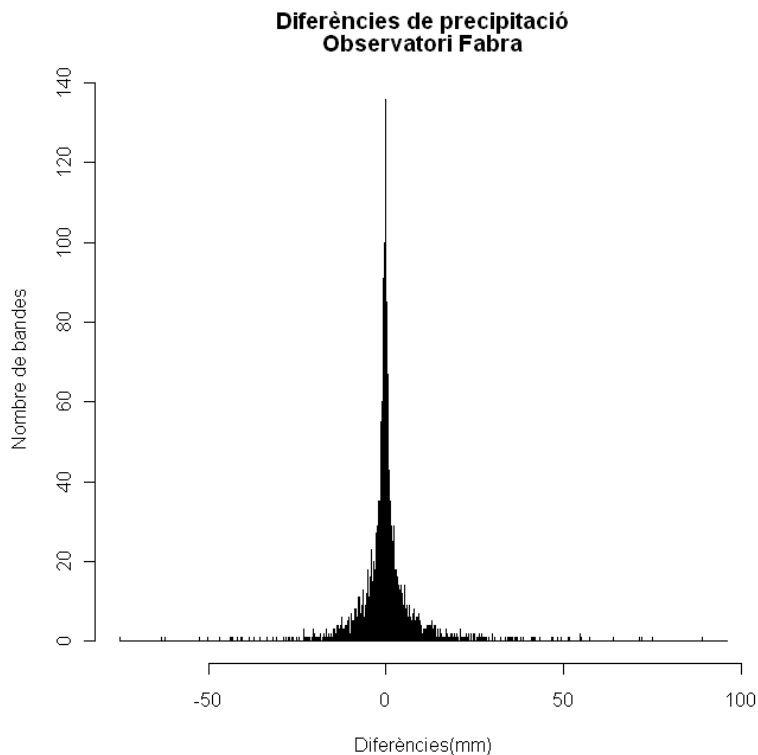


Figura 63: Histograma de diferències de precipitació diària entre el pluviòmetre i el pluviògraf (amplada barra 0.01 mm).

En aquest cas el 89.9 % dels dies amb precipitació han registrat una diferència de precipitació inferior a 10 mm, en valor absolut. I només 16 dies la diferència de precipitació diària entre el registre del pluviògraf i del pluviòmetre és, en valor absolut, més gran que 50 mm.

La gràfica de dispersió dels dies amb precipitació recollida pel pluviògraf Jardí mostra la subestima del pluviògraf en vers el pluviòmetre (*figura 64*). Per tant, podem pensar que el raonament de la datació incorrecte d'algunes bandes, com s'ha trobat a altres observatoris, pot ser vàlid. Per aquest motiu s'ha fet una representació de la evolució temporal de les diferències de precipitació diàries entre els dos mètodes de mesura (*figura 65*).

L'evolució temporal de les diferències de precipitació mostra certa simetria al voltant de l'eix X fins a meitat de la dècada de 1970: trobem valors positius i negatius consecutius que poden tenir a veure amb el mètode de datació de les bandes del pluviògraf. Els darrers anys de la sèrie trobem que la majoria de diferències són positives, és a dir, que la mesura del pluviòmetre és més gran que la del pluviògraf.

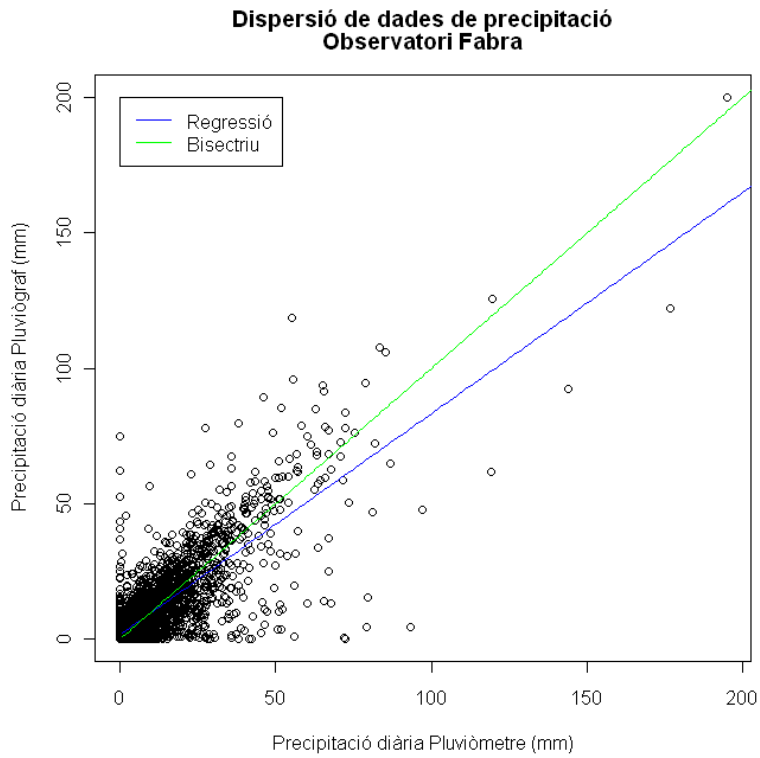


Figura 64: Precipitació diària del pluviòmetre respecte a la del pluviògraf, recta de regressió (verd) i cas ideal, bisectriu del primer quadrant (blau).

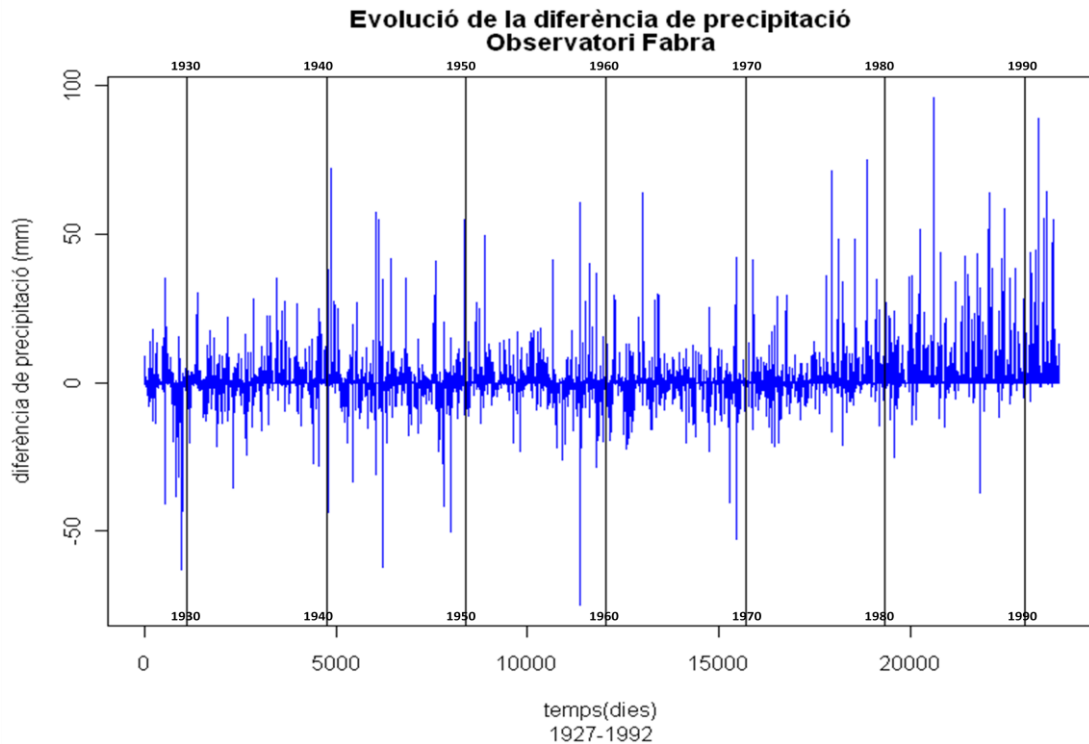


Figura 65: Evolució de les diferències de precipitació diàries entre el registre del pluviòmetre i del pluviògraf de l'Observatori Fabra.

En representar l'evolució de la precipitació anual mesurada pels dos instruments (*figura 66*), veiem que la precipitació anual mesurada pel pluviògraf a partir de finals de la dècada dels 70 és inferior a la del pluviòmetre.

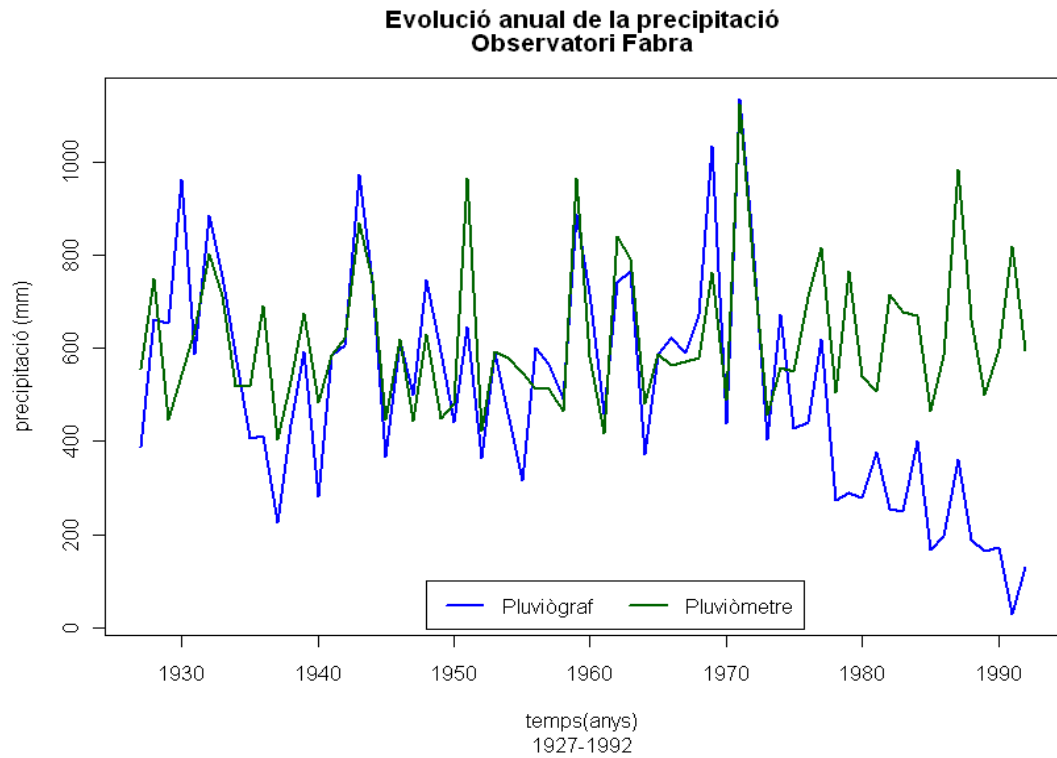


Figura 66: Evolució de la precipitació anual del pluviòmetre i del pluviògraf de l'Observatori Fabra.

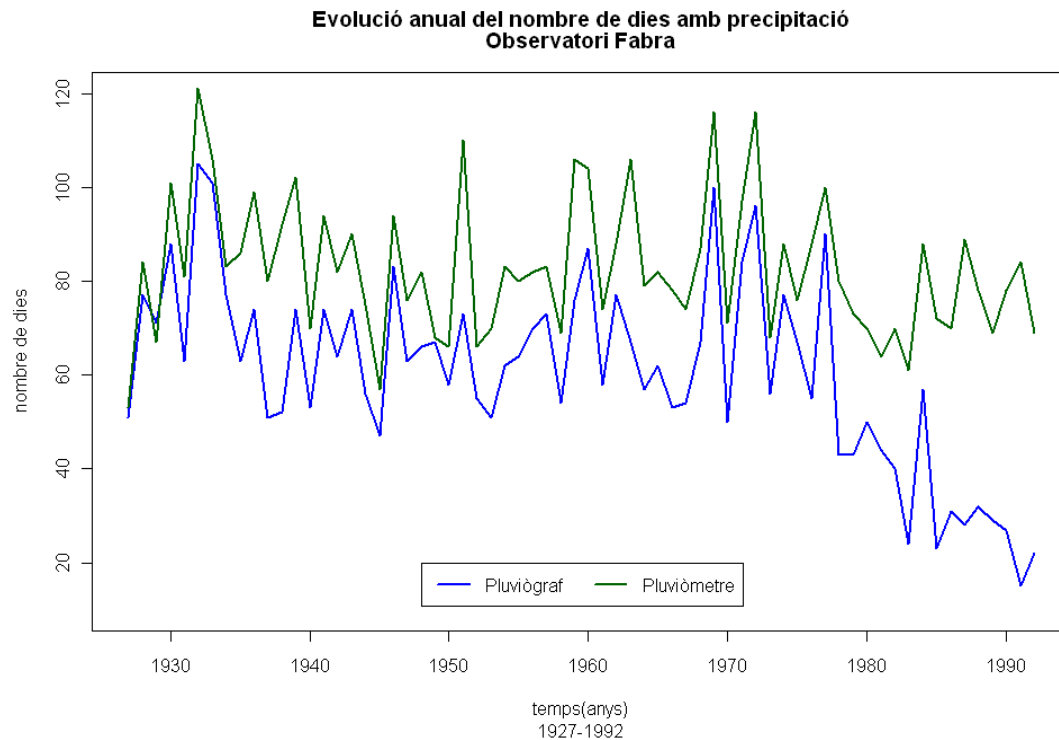


Figura 67: Evolució anual del nombre de dies amb precipitació del pluviòmetre i del pluviògraf de l'Observatori Fabra.

Segons la *figura 67*, el nombre de dies amb precipitació durant la primera dècada de funcionament del pluviògraf Jardí coincideix força bé amb els registrats pel pluviòmetre. A partir de llavors, el pluviògraf ha registrat precipitació menys dies que no pas el pluviòmetre, mantenint la forma de les anomalies fins els anys 80, a partir de llavors el nombre de dies amb mesura feta pel pluviògraf disminueix fortament.

Totes aquestes consideracions ens porten a fer un petit estudi sobre la completesa del registre.

### 5.2.2.2 Completesa del Registre

Recordem que el nombre total de dies amb precipitació mesurada de 7 a 7 h amb el pluviògraf Jardí és de 3995, en canvi el pluviòmetre va mesurar 5465 dies durant tota la sèrie. Volem veure, doncs, com van ser els 1930 dies en què no va haver registre per part del pluviògraf (taula 46).

Clase	Frecuencia
(0,2]	1256
(2,5]	299
(5,10]	197
(10,25]	129
(25,50]	43
(50,100]	6

Taula 46: Nombre de bandes mancants segons la precipitació registrada pel pluviòmetre.

Els dies en què la precipitació al pluviòmetre va ser superior a 50 mm (taula 47) són aquells que més ens interessaria conèixer, però 4 d'aquest 6 es van produir quan el pluviògraf Jardí va entrar en desús.

Data	Precipitació diària (mm)
15/07/1958	60.5
25/12/1962	64.0
06/11/1983	96.0
12/11/1988	58.7
05/10/1991	55.1
11/12/1991	64.4

Taula 47: Dies mancants al pluviògraf amb precipitació superior a 50 mm al pluviòmetre.

## 5.3 Generació de la Sèrie de Dades Intensitat – Durada – Freqüència

### 5.3.1 Generació de la Sèrie de Dades per a cada Durada

S'ha obtingut la sèrie de dades de precipitacions màximes per a cada durada de l'Observatori Fabra mitjançant el programa en Visual Basic. A les *figures 68a i 68b* es mostren els diagrames

de caixa per a cada durada, que permet conèixer la distribució de les precipitacions màximes observades. A la *taula 48*, s'indica la precipitació màxima registrada a la sèrie construïda per a cada durada, i la data en què es va iniciar l'esdeveniment de precipitació.

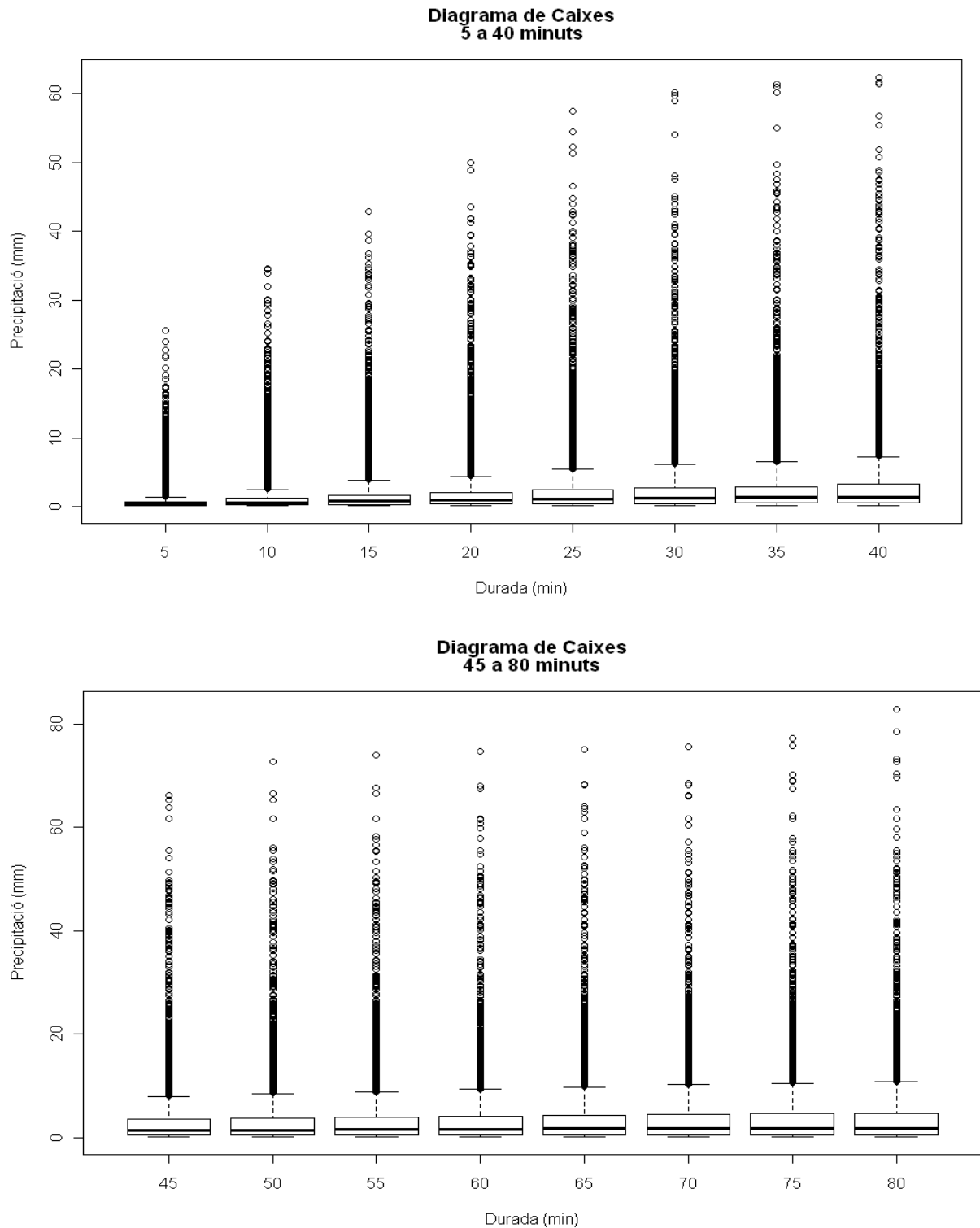


Figura 68a: Diagrama de caixes de la sèrie de dades de l'Observatori Fabra per a durades de 5 a 40 minuts (a dalt) i de 45 a 80 minuts (a baix).



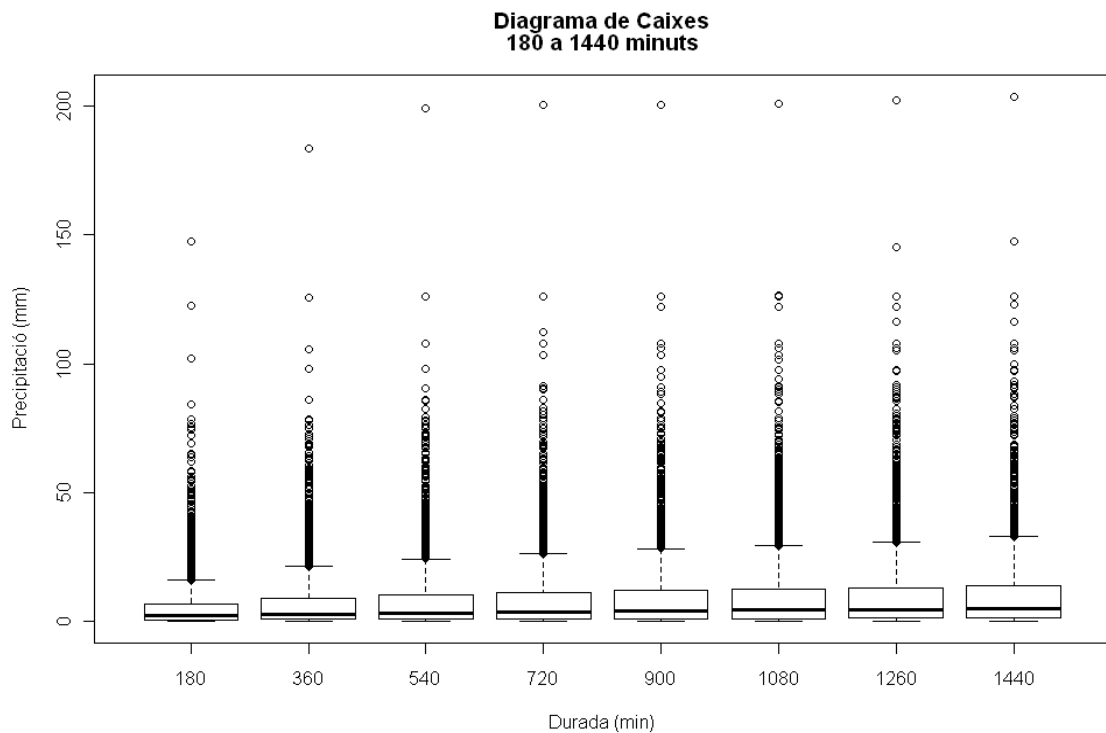
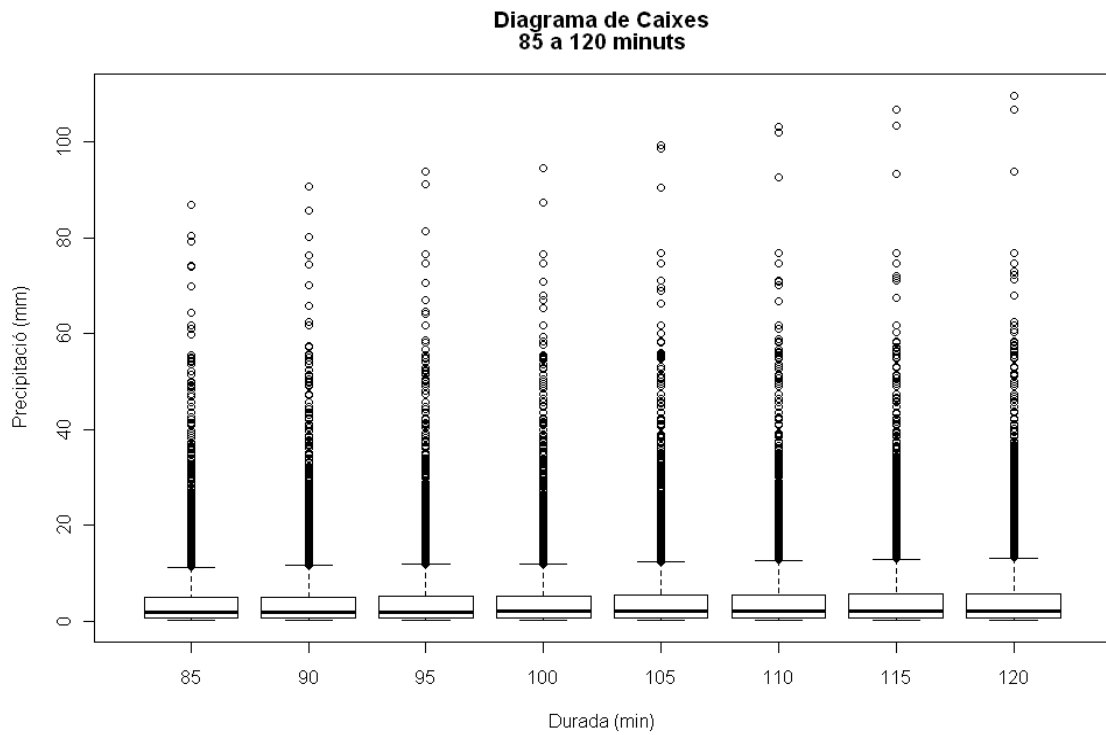


Figura 68b: Diagrama de caixes de la sèrie de dades de l'Observatori Fabra per a durades de 85 a 120 minuts (a dalt) i de 180 a 1440 minuts (a baix).

<b>Valor extrems de precipitació</b>		
<b>Durada (min)</b>	<b>Extrem (mm)</b>	<b>Data d'inici del esdeveniment</b>
5	25.6	01/10/1935
10	34.6	09/08/1931
15	42.9	09/08/1931
20	50	13/09/1952
25	57.4	13/09/1952
30	60.1	13/09/1952
35	61.4	09/08/1931
40	62.4	13/09/1952
45	66.1	14/09/1934
50	72.6	14/09/1934
55	74	14/09/1934
60	74.6	14/09/1934
65	75.1	14/09/1934
70	75.6	14/09/1934
75	77.2	14/09/1934
80	82.9	26/10/1928
85	87	26/10/1928
90	90.8	26/10/1928
95	93.8	26/10/1928
100	94.7	26/10/1928
105	99.5	05/12/1971
110	103.1	05/12/1971
115	106.7	05/12/1971
120	109.8	05/12/1971
180	147.4	05/12/1971
360	183.3	05/12/1971
540	199	05/12/1971
720	200.2	05/12/1971
900	200.2	05/12/1971
1080	201	05/12/1971
1260	202.3	05/12/1971
1440	203.7	03/12/1971

Taula 48: Màxim de precipitació de la sèrie i data en la que es va iniciar l'esdeveniment per a cada durada.

### 5.3.2 Selecció del Llindar de Precipitació

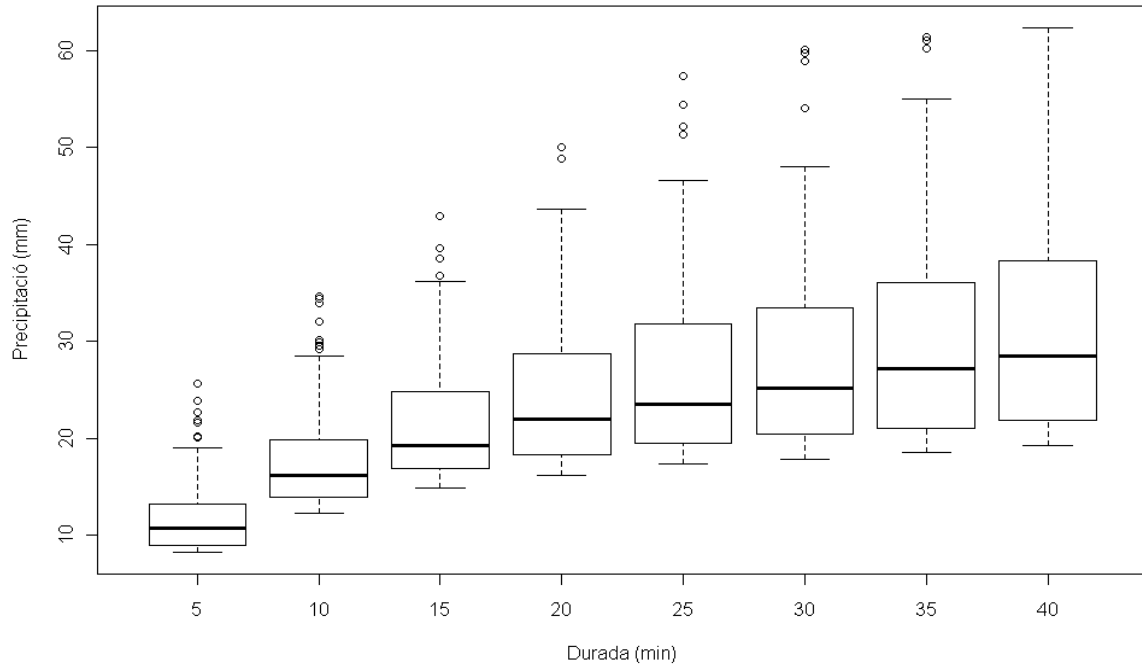
A la taula 49 es mostra la precipitació màxima esperada per a un període de retorn de 0.5 anys i per a cada durada.

Durada (min)	N	$P(x > x_0)$	Llindar (mm)
5	14279	0.00924434	8.2
10	11458	0.01152034	12.3
15	10239	0.01289188	14.9
20	9387	0.014062	16.2
25	8730	0.01512027	17.4
30	8195	0.01610738	17.8
35	7835	0.01684748	18.5
40	7485	0.01763527	19.2
45	7227	0.01826484	19.5
50	7018	0.01880878	20.2
55	6830	0.0193265	20.8
60	6653	0.01984067	21.5
65	6507	0.02028585	21.9
70	6367	0.0207319	22.3
75	6231	0.0211844	22.6
80	6114	0.02158979	23.1
85	6001	0.02199633	23.5
90	5897	0.02238426	24.1
95	5821	0.02267652	24.6
100	5737	0.02300854	25.1
105	5653	0.02335043	25.6
110	5569	0.02370264	25.8
115	5501	0.02399564	26
120	5435	0.02428703	26.3
180	4839	0.02727836	28.8
360	4014	0.0328849	34.7
540	3612	0.03654485	38.6
720	3369	0.03918077	39.7
900	3156	0.0418251	40.6
1080	2988	0.04417671	42.5
1260	2845	0.04639719	43.1
1440	2722	0.04849375	43.4

Taula 49: Nombre de dades, probabilitat d'excedència per a  $T=0.5$  anys i llindar de precipitació per a cada durada a l'Observatori Fabra.

Presentem els diagrames de caixes per a cada durada per a les sèries de precipitacions màximes que han superat el llindar establert, és a dir, els 132 valors més alts per a cada durada, com correspon al període de retorn de 0.5 anys (*figura 69a i 69b*).

**Diagrama de Caixes - Observatori Fabra**  
**Sèries de precipitacions que superen T=0.5 anys**



**Diagrama de Caixes - Observatori Fabra**  
**Sèries de precipitacions que superen T=0.5 anys**

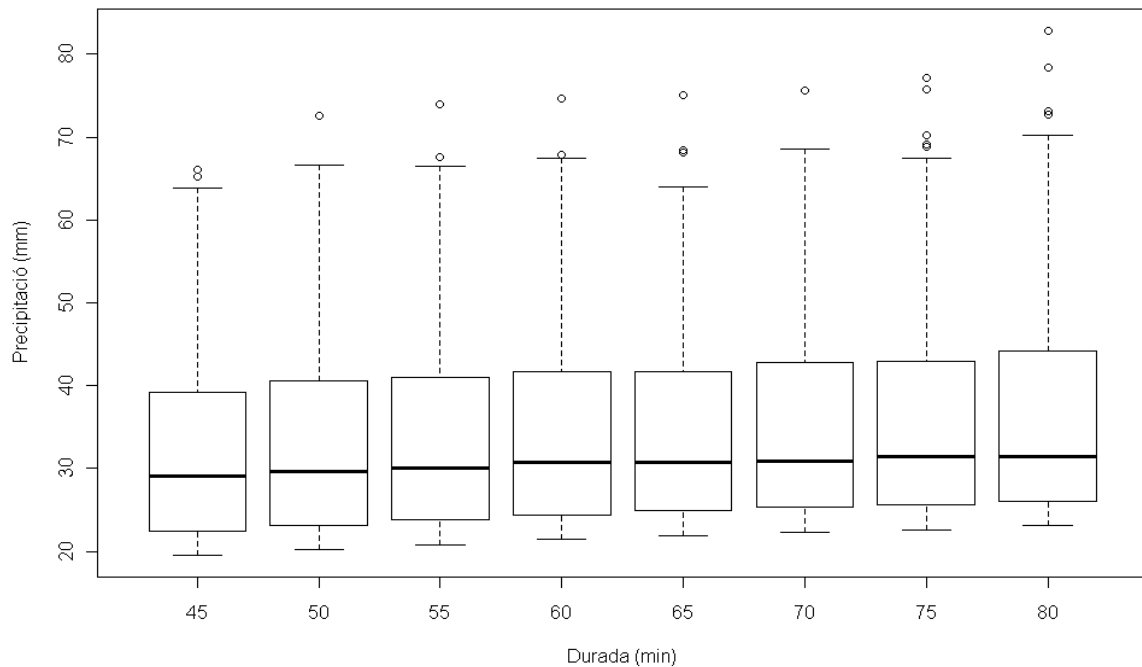


Figura 69a: Sèries de dades de precipitacions màximes de l'Observatori Fabra per a durades de 5 a 40 minuts (a dalt) i de 45 a 80 minuts (a baix).

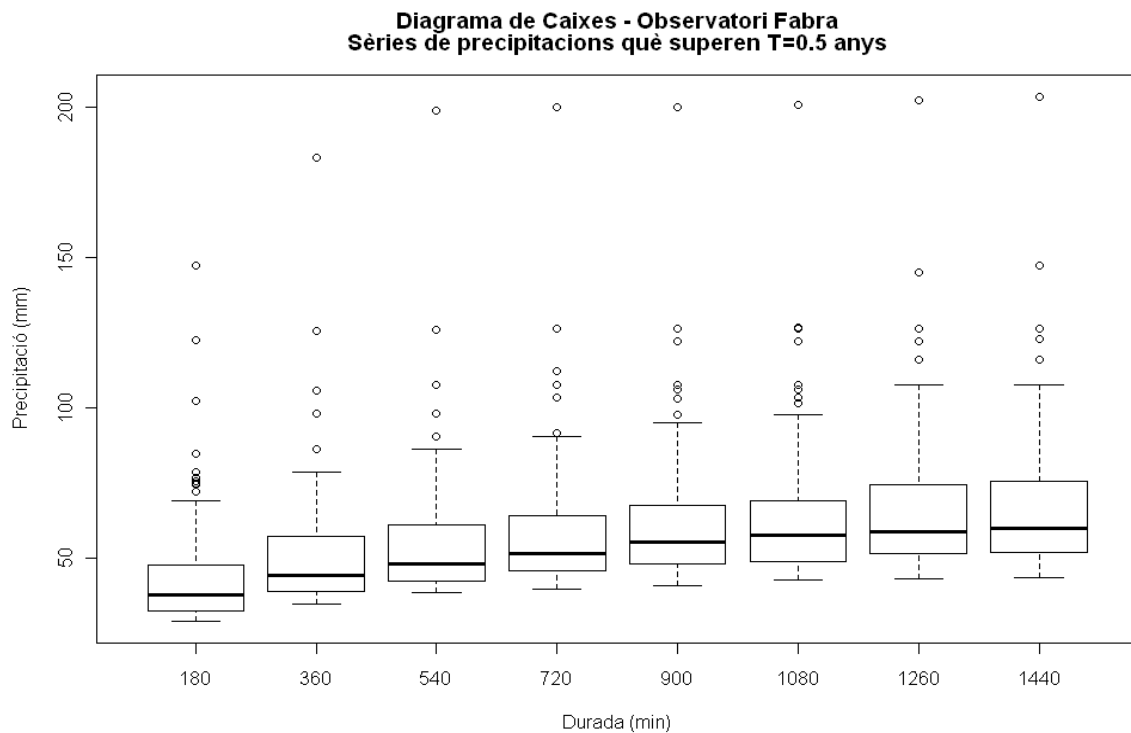
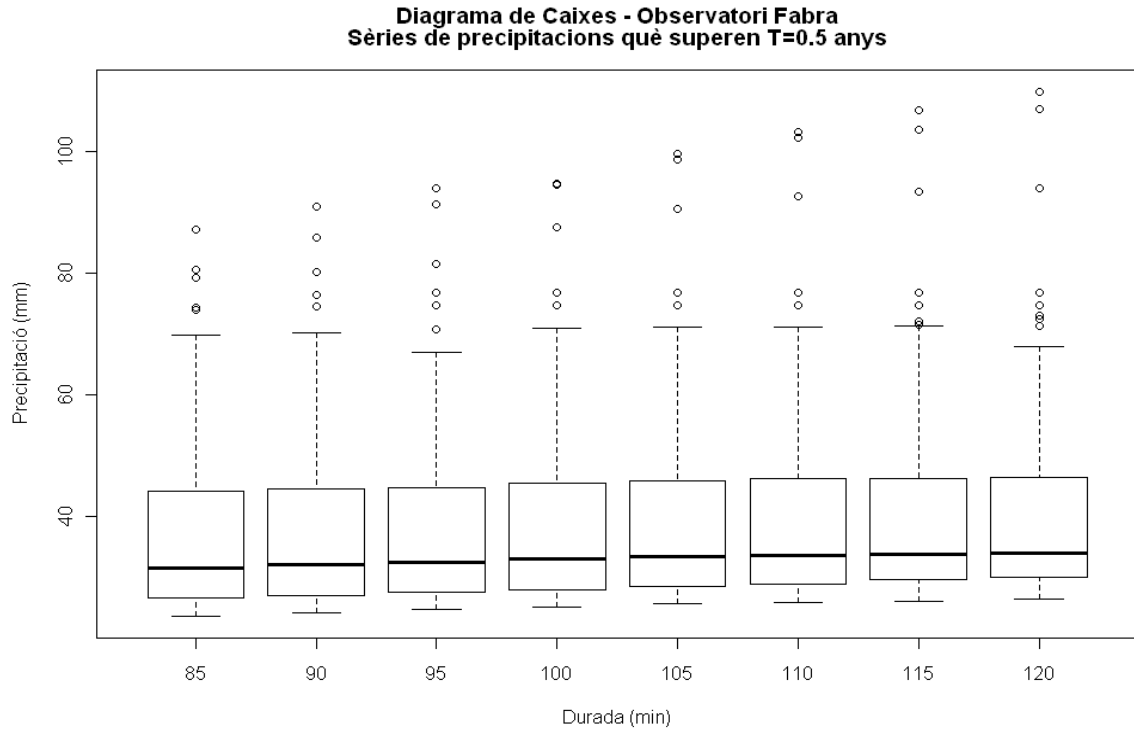


Figura 69b: Sèries de dades de precipitacions màximes de l'Observatori Fabra per a durades de 85 a 120 minuts (a dalt) i de 180 a 1440 minuts (a baix).

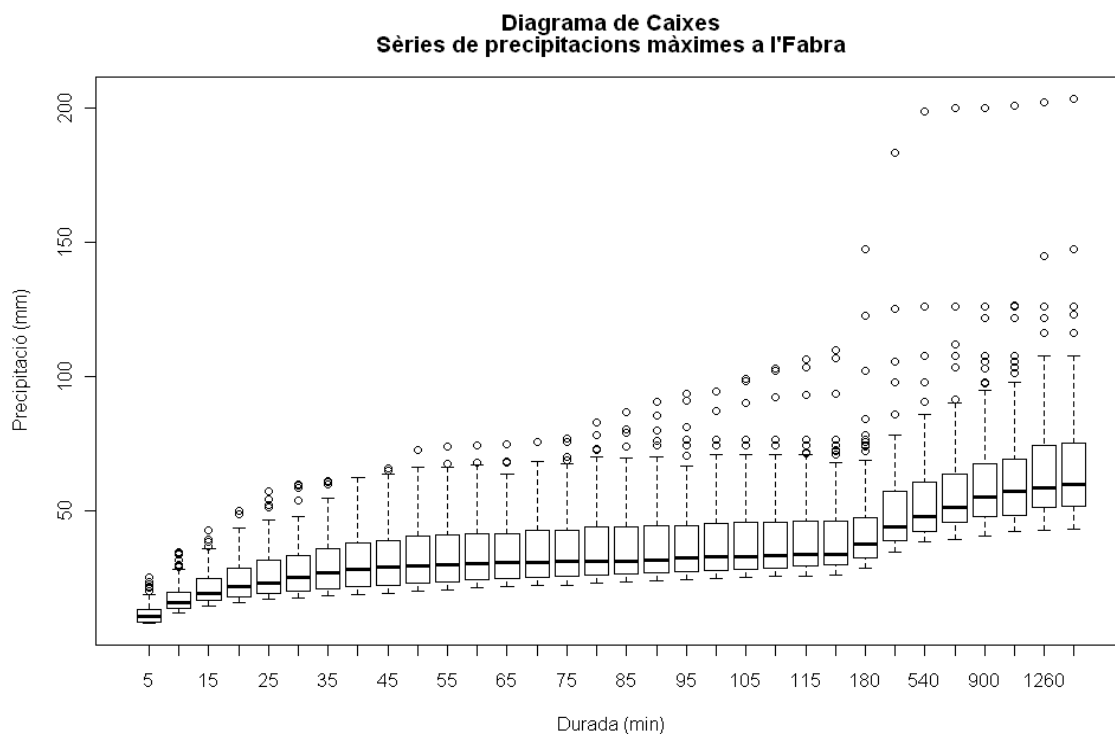


Figura 70: Sèries de dades de precipitacions màximes de l'Observatori Fabra per a totes les durades.

A la *taula 50*, es presenten la mitjana i la desviació típica de la sèrie de dades obtinguda per a cada durada (figura 70).

<b>Durada(min)</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>35</b>	<b>40</b>
<b>mitjana (mm)</b>	11.76	17.74	21.53	24.54	26.76	28.41	29.69	30.86
<b>desviació(mm)</b>	3.59	5.16	6.32	7.68	8.95	9.79	10.17	10.6
<b>Durada(min)</b>	<b>45</b>	<b>50</b>	<b>55</b>	<b>60</b>	<b>65</b>	<b>70</b>	<b>75</b>	<b>80</b>
<b>mitjana (mm)</b>	31.85	32.72	33.4	34.12	34.68	35.21	35.74	36.29
<b>desviació(mm)</b>	11.14	11.49	11.72	11.94	12.17	12.41	12.72	13.19
<b>Durada(min)</b>	<b>85</b>	<b>90</b>	<b>95</b>	<b>100</b>	<b>105</b>	<b>110</b>	<b>115</b>	<b>120</b>
<b>mitjana (mm)</b>	36.89	37.5	38.08	38.59	39.07	39.5	39.85	40.17
<b>desviació(mm)</b>	13.66	13.97	14.28	14.56	14.91	15.2	15.4	15.6
<b>Durada(min)</b>	<b>180</b>	<b>360</b>	<b>540</b>	<b>720</b>	<b>900</b>	<b>1080</b>	<b>1260</b>	<b>1440</b>
<b>mitjana (mm)</b>	43.59	50.51	54.76	57.75	60.71	63.23	65.34	66.85
<b>desviació(mm)</b>	17.91	19.02	19.8	20.47	21.08	21.52	22.16	22.72

Taula 50: Mitjana i desviació típica per a cada sèrie de dades de l'Observatori Fabra.

### 5.3.3 Ajust a una Funció de Distribució

Cadascuna de les sèries és ajustada a les quatre funcions de distribucions emprades, aconseguint els paràmetres per a cada una d'elles. Comparant les freqüències acumulades

observades i empíriques es construeix la *taula 51* on es presenta el valor del test de Kolmogorov – Smirnov.

Kolmogorov - Smirnov				
Durada	D.Gamma	D.Log-normal	D.Pearson	D.G.Pareto
5	0.16	0.12	0.1	0.08
10	0.14	0.1	0.09	0.05
15	0.14	0.14	0.11	0.08
20	0.13	0.12	0.1	0.08
25	0.14	0.12	0.11	0.09
30	0.13	0.11	0.1	0.07
35	0.12	0.11	0.11	0.08
40	0.12	0.12	0.11	0.09
45	0.12	0.11	0.1	0.08
50	0.13	0.11	0.11	0.08
55	0.13	0.11	0.11	0.09
60	0.13	0.12	0.11	0.09
65	0.14	0.13	0.11	0.09
70	0.14	0.12	0.11	0.1
75	0.14	0.12	0.11	0.09
80	0.15	0.14	0.12	0.1
85	0.16	0.14	0.12	0.1
90	0.16	0.14	0.12	0.1
95	0.17	0.14	0.12	0.11
100	0.18	0.14	0.12	0.11
105	0.18	0.14	0.12	0.11
110	0.18	0.14	0.11	0.11
115	0.18	0.14	0.11	0.1
120	0.19	0.14	0.09	0.1
180	0.21	0.14	0.16	0.08
360	0.21	0.14	0.31	0.04
540	0.21	0.13	0.29	0.05
720	0.19	0.13	0.23	0.08
900	0.17	0.11	0.19	0.09
1080	0.16	0.11	0.22	0.08
1260	0.15	0.12	0.2	0.06
1440	0.14	0.11	0.17	0.07

Taula 51: Estadístic D del test de Kolmogorov – Smirnov per a cada durada i funció de distribució calculat amb la comanda `ks.test` de R.

Es determina el valor crític del test mitjançant l'equació 21, sabent que el nombre d'esdeveniments  $n$ , és 132 per a totes les durades, obtenim  $d = 0.12$ . Segons el resultat del test de Kolmogorov – Smirnov, la funció de distribució generalitzada de Pareto és acceptada com la funció de distribució que millor ajust presenta a les sèries de dades de totes les durades

El valor del RMSE (*taula 52*) mostra una bona estimació de la precipitació per a la funció de distribució generalitzada de Pareto.

Durada	RMSE			
	D.Gamma	D.Log-normal	D.Pearson	D.G.Pareto
5	1	1	0.4	0.3
10	1.4	1.4	0.7	0.5
15	1.7	1.6	1	0.7
20	1.8	1.7	1.1	0.6
25	2	1.8	1.3	0.7
30	2.1	1.9	1.4	0.9
35	2.1	1.9	1.6	1
40	2.1	1.9	1.7	0.9
45	2.3	2.1	1.8	1.1
50	2.4	2.2	1.7	1
55	2.5	2.3	1.7	0.9
60	2.6	2.4	1.8	1
65	2.7	2.5	1.9	1
70	2.9	2.7	2	1.2
75	3	2.8	1.9	1.1
80	3.2	3.1	1.9	1.3
85	3.5	3.4	1.9	1.4
90	3.7	3.6	1.9	1.4
95	4	3.8	1.9	1.5
100	4.2	4.1	2	1.6
105	4.6	4.5	2	1.8
110	4.8	4.8	2.1	2
115	5	5	2.1	2
120	5.2	5.2	2.2	2.2
180	7.3	7.4	3	3.3
360	9	9	5	4.8
540	9.6	9.5	5.8	5.4
720	9.2	9.1	5.3	5
900	8.7	8.6	4.8	4.5
1080	8.6	8.5	4.6	4.4
1260	8.6	8.5	4.3	4.1
1440	8.3	8.1	4.2	4.1

Taula 52: RMSE per a cada durada i funció de distribució assajada per a les dades de l'Observatori Fabra.

La distribució que millor s'ajusta a la mostra és la distribució generalitzada de Pareto (*figura 71*) per la qual s'han determinat els paràmetres de cada mostra (*taula 53*).



PARÀMETRES DE LA FUNCIÓ DE DISTRIBUCIÓ GENERALITZADA DE PARETO								
<b>Durada (min)</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>35</b>	<b>40</b>
P. Forma	0.084	0.119	0.167	0.2	0.201	0.216	0.263	0.285
P. Escala	4.21	6.43	8.52	10.9	12.73	14.23	15.86	17.07
P. Localització	7.87	12	14.23	15.46	16.17	16.7	17.13	17.57
<b>Durada (min)</b>	<b>45</b>	<b>50</b>	<b>55</b>	<b>60</b>	<b>65</b>	<b>70</b>	<b>75</b>	<b>80</b>
P. Forma	0.26	0.23	0.222	0.219	0.212	0.204	0.175	0.144
P. Escala	17.29	17.07	17.23	17.47	17.6	17.72	17.37	17.11
P. Localització	18.12	18.83	19.31	19.79	20.16	20.48	20.96	21.33
<b>Durada (min)</b>	<b>85</b>	<b>90</b>	<b>95</b>	<b>100</b>	<b>105</b>	<b>110</b>	<b>115</b>	<b>120</b>
P. Forma	0.116	0.092	0.074	0.058	0.034	0.017	0.007	-0.008
P. Escala	16.93	16.6	16.45	16.29	15.92	15.72	15.6	15.34
P. Localització	21.72	22.29	22.76	23.19	23.67	24.04	24.35	24.7
<b>Durada (min)</b>	<b>180</b>	<b>360</b>	<b>540</b>	<b>720</b>	<b>900</b>	<b>1080</b>	<b>1260</b>	<b>1440</b>
P. Forma	-0.098	-0.151	-0.161	-0.139	-0.114	-0.099	-0.089	-0.068
P. Escala	14.49	13.48	13.69	14.96	16.39	17.37	18.31	19.68
P. Localització	27.53	34.62	38.45	40.36	42.2	43.96	45.24	45.74

Taula 53: Paràmetres d'ajust de la funció de distribució generalitzada de Pareto per a cada durada.

### Distribució Generalitzada de Pareto Observatori Fabra

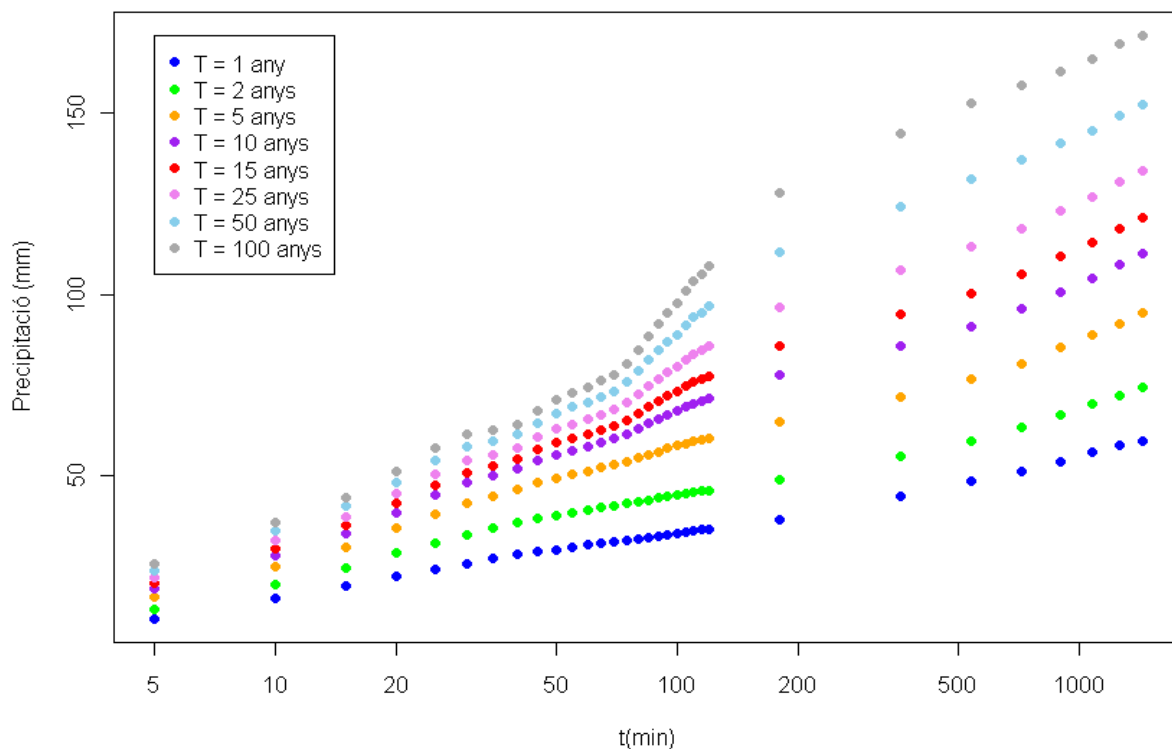


Figura 71: Sèries de dades de precipitació per a cada durada i període de retorn de l'Observatori Fabra obtinguda a partir de la funció de distribució generalitzada de Pareto.

FUNCIO DE DISTRIBUCIO GENERALITZADA DE PARETO								
Durada(min)	T (anys)							
	1	2	5	10	15	25	50	100
5	10.7	13.4	16.7	19.0	20.3	21.9	23.9	25.9
10	16.3	20.2	24.9	28.2	30.0	32.1	34.8	37.2
15	19.8	24.8	30.5	34.3	36.3	38.7	41.6	44.2
20	22.5	28.6	35.6	40.0	42.4	45.0	48.3	51.1
25	24.4	31.6	39.6	44.8	47.5	50.7	54.4	57.7
30	25.9	33.8	42.5	48.1	51.0	54.3	58.3	61.7
35	27.2	35.6	44.5	50.0	52.8	55.9	59.5	62.5
40	28.3	37.1	46.4	52.0	54.7	57.8	61.3	64.2
45	29.1	38.3	48.1	54.1	57.2	60.6	64.6	67.9
50	29.8	39.1	49.4	55.8	59.1	62.9	67.4	71.2
55	30.4	39.9	50.3	57.0	60.4	64.3	68.9	72.9
60	31.0	40.7	51.4	58.1	61.7	65.7	70.4	74.5
65	31.5	41.3	52.2	59.2	62.8	66.9	71.9	76.2
70	31.9	41.9	53.1	60.2	64.0	68.3	73.4	77.9
75	32.3	42.3	53.9	61.5	65.5	70.2	75.9	81.0
80	32.6	42.8	54.9	63.0	67.4	72.5	79.0	84.8
85	33.0	43.4	55.9	64.5	69.3	74.9	82.1	88.7
90	33.4	43.9	56.7	65.8	70.8	76.8	84.6	91.9
95	33.9	44.4	57.6	66.9	72.2	78.6	86.9	94.8
100	34.3	44.9	58.3	68.0	73.4	80.2	89.0	97.4
105	34.6	45.2	59.0	69.0	74.8	82.0	91.6	101.0
110	34.9	45.6	59.5	70.0	76.0	83.6	93.7	103.7
115	35.1	45.9	60.0	70.6	76.8	84.6	95.1	105.6
120	35.4	46.1	60.4	71.2	77.6	85.7	96.7	107.8
180	37.9	49.0	65.0	78.0	86.0	96.6	111.8	128.1
360	44.5	55.4	71.8	85.7	94.6	106.6	124.4	144.2
540	48.5	59.7	76.6	91.1	100.4	113.0	131.8	152.9
720	51.3	63.2	81.0	96.0	105.5	118.2	137.0	157.6
900	54.0	66.8	85.4	100.8	110.4	123.1	141.6	161.6
1080	56.4	69.8	88.9	104.5	114.2	126.9	145.3	164.9
1260	58.3	72.3	92.0	108.1	117.9	130.9	149.4	169.1
1440	59.7	74.3	94.8	111.1	121.1	133.9	152.2	171.3

Taula 54: Precipitació esperada per la funció de distribució generalitzada de Pareto per a cada durada i període de retorn considerat.

Recordem que per trobar la sèrie de dades d'Intensitat – Durada – Freqüència, cal dividir els valors de precipitació de la *taula 54* pel corresponent valor de durada.

## 5.4 Càlcul de les Corbes IDF

### 5.4.1 Selecció de l'Equació IDF

A partir de les dades d'Intensitat – Durada – Freqüència obtingudes, s'ajusten les quatre equacions de corbes IDF, i es calcula el coeficient de correlació de Pearson (26) (*taula 55*).

COEFICIENT DE CORRELACIÓ				
T (anys)	Talbot	Bernard	Sherman	Chow
1	0.9997	0.992	0.99996	0.99995
2	0.9995	0.992	0.9998	0.9998
5	0.999	0.993	0.9997	0.9998
10	0.998	0.994	0.9997	0.9998
15	0.998	0.995	0.9997	0.9997
25	0.997	0.996	0.9996	0.9997
50	0.996	0.997	0.9994	0.9994
100	0.994	0.998	0.9991	0.9991

Taula 55: Coeficient de correlació per l'ajust de les quatre corbes IDF a cada període de retorn.

Es calcula també RMSE (*taula 56*).

RMSE				
T (anys)	Talbot	Bernard	Sherman	Chow
1	0.015	0.062	0.005	0.005
2	0.022	0.08	0.012	0.011
5	0.038	0.093	0.018	0.016
10	0.054	0.095	0.021	0.018
15	0.065	0.094	0.023	0.02
25	0.081	0.09	0.027	0.025
50	0.107	0.084	0.035	0.034
100	0.136	0.079	0.047	0.046

Taula 56: RMSE per l'ajust de les quatre corbes IDF per a cada període de retorn.

Com a la resta d'observatoris es conclou determinar les corbes IDF mitjançant les equacions de Bernard (23) i de Sherman (24).

## 5.4.2 Ajust a l'Equació de Bernard

Els valors dels paràmetres de l'ajust al model de Bernard (23) es presenta a la *taula 57*.

T (anys)	a (mm)	$\epsilon_a$ (mm)	b	$\epsilon_b$
1	6	0.3	0.595	0.015
2	7.3	0.3	0.58	0.015
5	8.9	0.4	0.571	0.014
10	10.1	0.4	0.569	0.012
15	10.7	0.4	0.569	0.012
25	11.5	0.4	0.569	0.01
50	12.5	0.3	0.569	0.009
100	13.4	0.3	0.57	0.008

Taula 57: Paràmetres de l'ajust a l'equació de Bernard (23) per a cada període de retorn de la sèrie de dades del pluviògraf Jardí.

La representació de les corbes IDF segons aquest model es mostra a la *figura 72*.

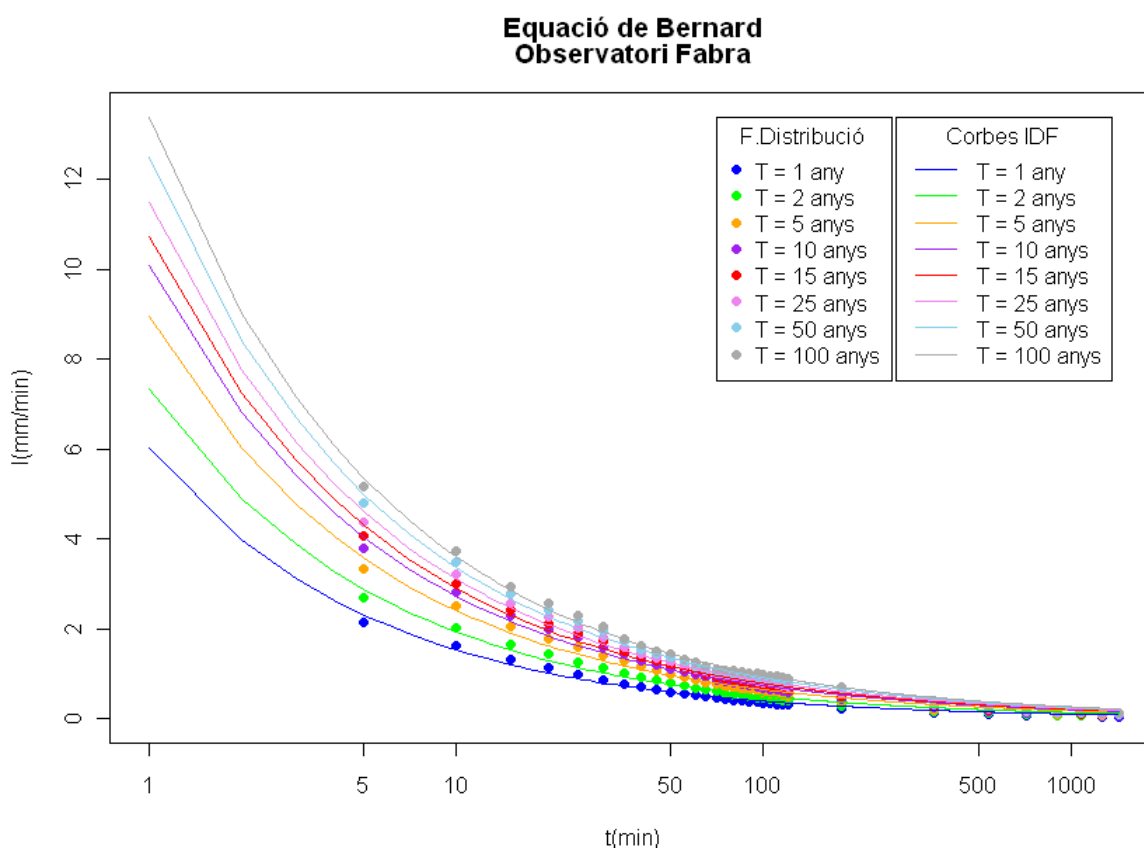


Figura 72: Corbes IDF a partir del model de Bernard (23) (línies) i observacions teòriques segons la funció de distribució generalitzada de Pareto (punts) per a cada període de retorn a l'Observatori Fabra.

### 5.4.3 Ajust a l'Equació de Sherman

Les corbes IDF de l'Observatori Fabra són les determinades per la equació de Sherman (24) (taula 58).

T (anys)	a (mm)	$\epsilon_a$ (mm)	b (min)	$\epsilon_b$ (mim)	c	$\epsilon_c$
1	22.1	0.6	8.9	0.2	0.887	0.006
2	27.8	1.6	9.6	0.4	0.876	0.012
5	28.7	1.8	8.5	0.5	0.831	0.014
10	26.9	1.6	7.1	0.5	0.789	0.013
15	25.6	1.5	6.2	0.4	0.764	0.013
25	24	1.4	5.2	0.4	0.734	0.013
50	21.9	1.3	3.9	0.4	0.697	0.014
100	20.2	1.4	2.8	0.5	0.663	0.016

Taula 58: Paràmetres de l'ajust a l'equació de Sherman (24) per a cada període de retorn de la sèrie de dades del pluviògraf Jardí.

A continuació es representa la intensitat de precipitació en funció de la durada considerada per a cada període de retorn donada pel model IDF i per la sèrie de dades ajustades a partir de la funció de distribució generalitzada de Pareto (figura 73).

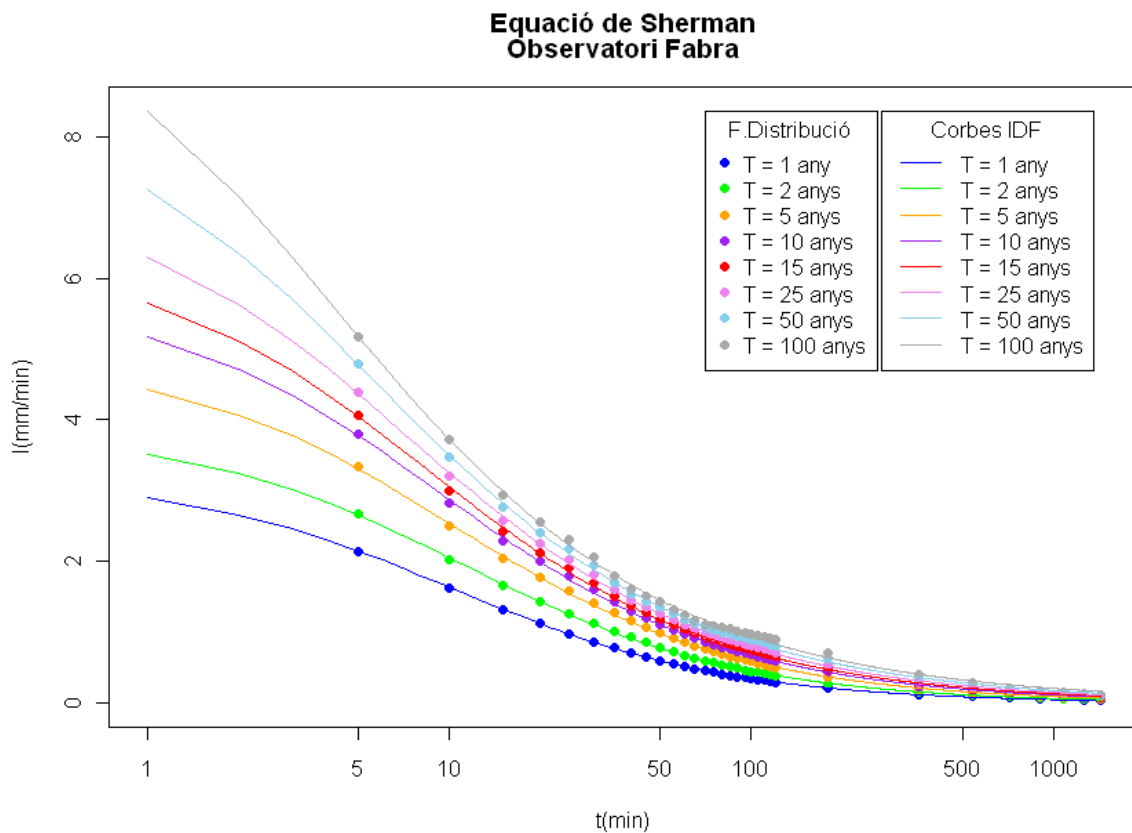


Figura 73: Corbes IDF a partir de l'equació de Sherman (24) (línies) i observacions teòriques segons la funció de distribució generalitzada de Pareto (punts) per a cada període de retorn a l'Observatori Fabra.

#### 5.4.4 Generalització de les Corbes IDF

##### 5.4.4.1 Generalització a un Paràmetre

El resultat de l'ajust del paràmetre  $a$  de l'equació de Sherman prenent els valors mitjans dels paràmetres  $b$  i  $c$  es presenten a la *taula 59*.

Ajust equació Sherman amb $b = 6.5$ i $c = 0.780$			
T(anys)	a (mm)	$\epsilon_a$ (mm)	$r^2$
1	14.2	0.1	0.9997
2	18.1	0.1	0.9996
5	22.6	0.1	0.9995
10	25.6	0.1	0.9996
15	27.3	0.1	0.9996
25	29.2	0.1	0.9995
50	31.6	0.2	0.9989
100	33.8	0.3	0.998

Taula 59: Resultat de l'ajust a l'equació de Sherman (24) amb  $b$  i  $c$  constants en funció del període de retorn.

A la *figura 74* es pot veure com l'ajust logarítmic del paràmetre  $a$  és millor que no pas l'ajust potencial, tal i com corrobora el coeficient de correlació. Per tant s'escull realitzar la generalització mitjançant l'ajust logarítmic, que resulta:

$$a = (15.2 \pm 0.5) + (4.26 \pm 0.17) \cdot \ln T \quad (43)$$

I l'equació de la generalització de les corbes IDF és

$$I = \frac{4.26 \ln T + 15.2}{(6.5 + t)^{0.780}} \quad (44)$$

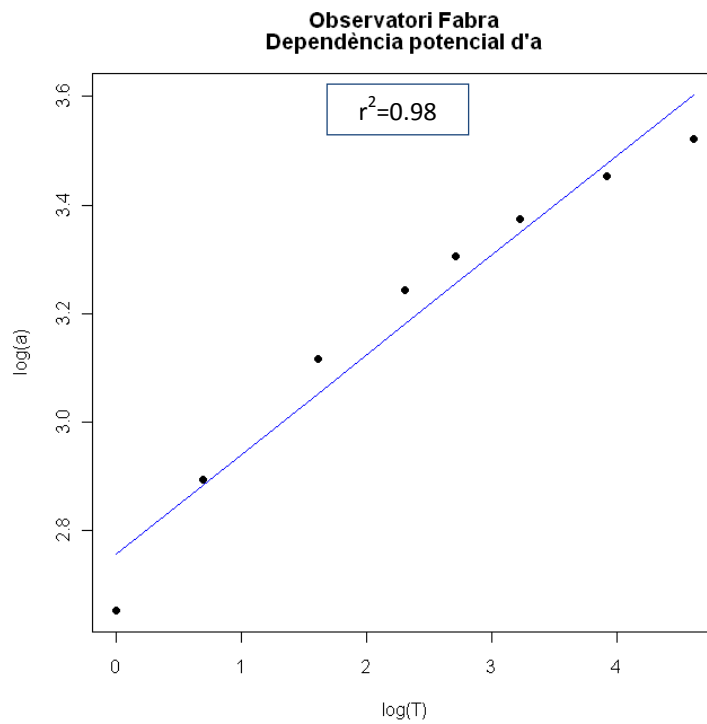
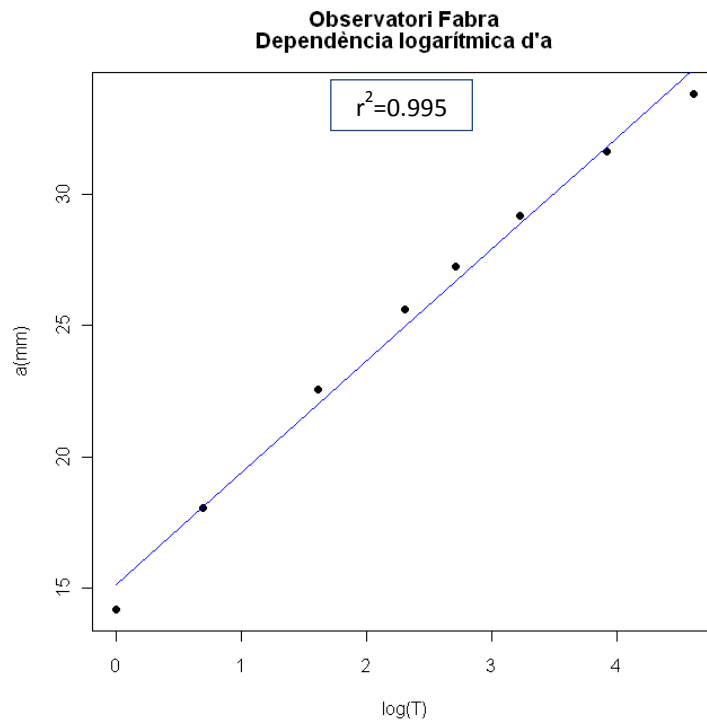


Figura 74: Ajust logarítmic (a dalt) i ajust potencial (a baix) del paràmetre  $a$  amb el període de retorn.

### Generalització Logarítmica - 1 Parametre Observatori Fabra

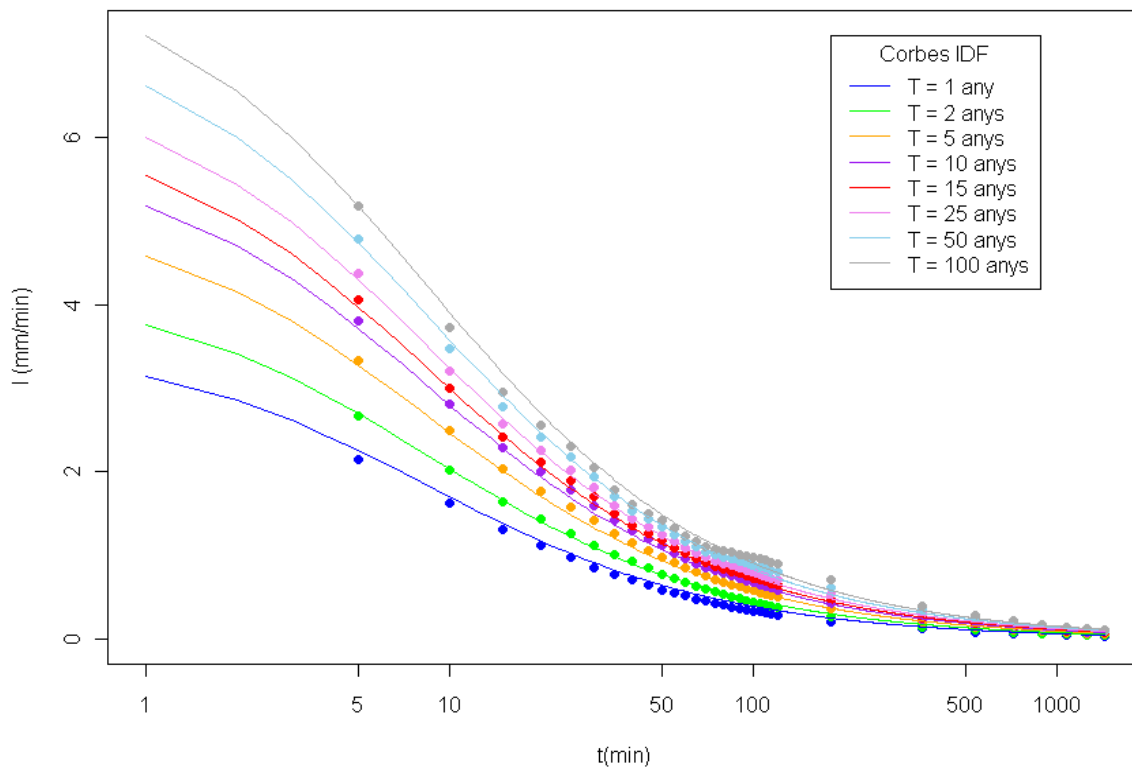


Figura 75: Corbes IDF generalitzades segons l'equació 44 (línies) i observacions esperades segons la funció de distribució generalitzada de Pareto (punts) a l'Observatori Fabra.

La figura 75, presenta les corbes IDF generalitzades segons l'equació 44.

T(anys)	$r^2$	RMSE
1	0.9997	0.05
2	0.9996	0.02
5	0.9995	0.04
10	0.9996	0.04
15	0.9996	0.04
25	0.9995	0.04
50	0.9989	0.05
100	0.998	0.09

Taula 60: Coeficient de correlació i RMSE entre la sèrie de dades obtinguda de l'ajust a la funció de distribució generalitzada de Pareto i el resultat de l'ajust a l'equació de les corbes IDF generalitzada (equació 44).

Segons els resultats mostrats a la taula 60, hi ha correlació entre les dades empíriques i les teòriques.



### 5.4.4.2 Generalització a dos Paràmetres

La figura 76 mostra el paràmetre  $b$  en front del període de retorn (taula 58).

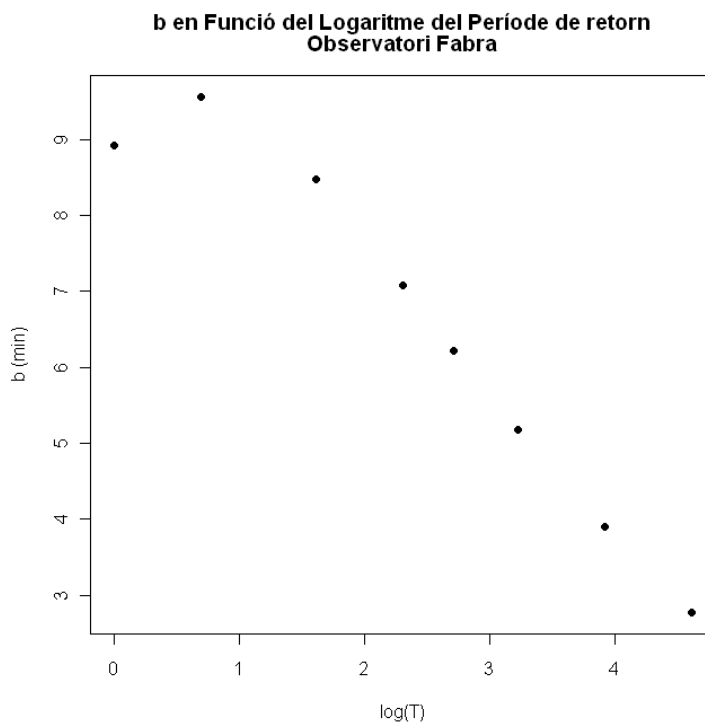


Figura 76: Paràmetre  $b$  (taula 58) en funció del logaritme del període de retorn.

Es fa l'ajust a l'equació de Sherman (24) prenent constant el paràmetre  $c$  (taula 61).

Ajust equació de Sherman amb $c = 0.780$						
T(anys)	a (mm)	$\epsilon_a$ (mm)	b (min)	$\epsilon_b$ (mm)	r2	RMSE
1	13.7	0.1	5.62	0.18	0.9995	0.017
2	18	0.2	6.42	0.2	0.9995	0.022
5	22.8	0.2	6.78	0.17	0.9996	0.022
10	25.9	0.2	6.8	0.14	0.9997	0.021
15	27.5	0.2	6.75	0.15	0.9996	0.024
25	29.4	0.2	6.65	0.18	0.9995	0.032
50	31.6	0.4	6.48	0.26	0.999	0.049
100	33.5	0.5	6.28	0.35	0.998	0.073

Taula 61: Resultat de l'ajust de la sèrie de dades a l'equació de Sherman (24) amb  $c$  constant per a cada període de retorn.

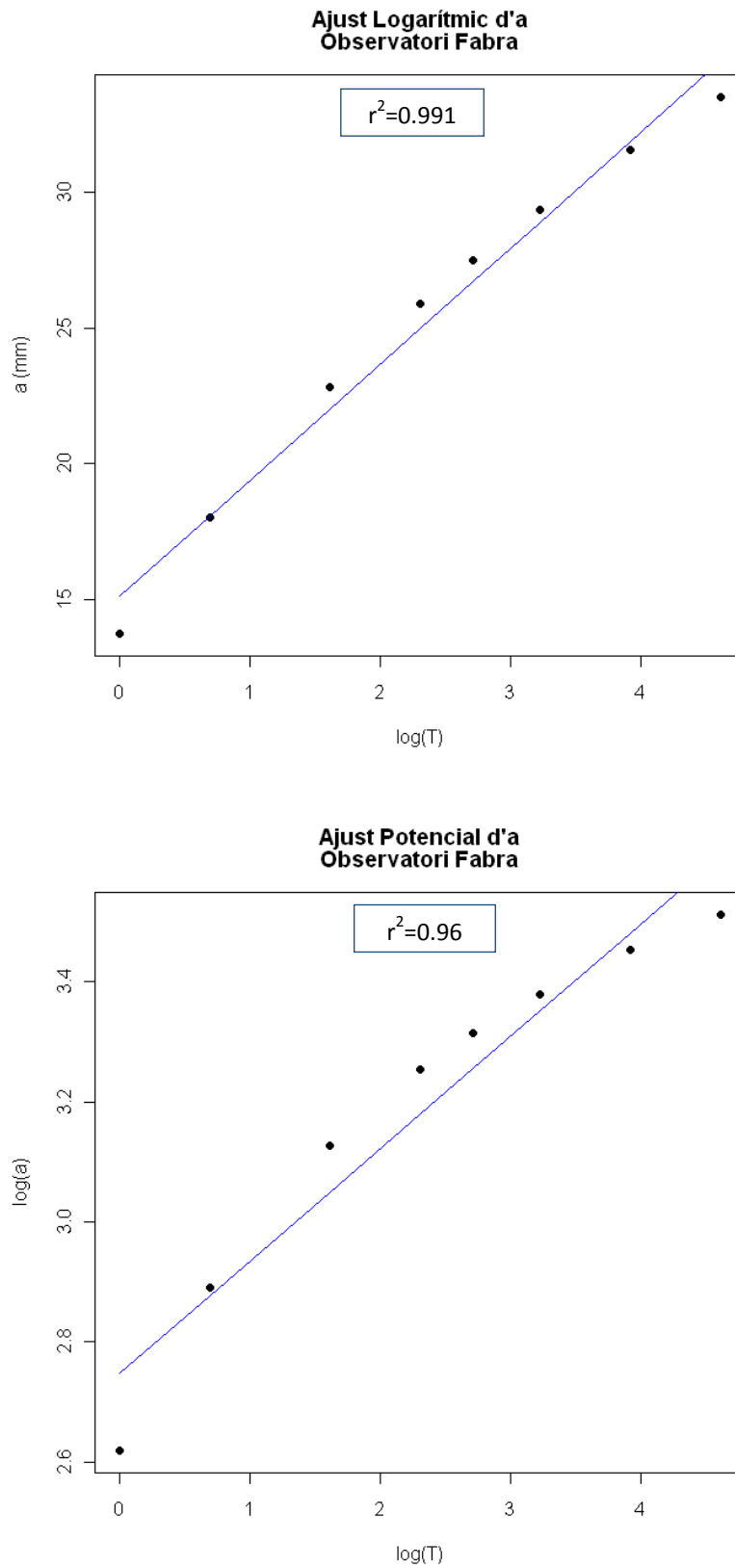


Figura 77: Ajust logarítmic del paràmetre a (a dalt) i potencial (a baix).

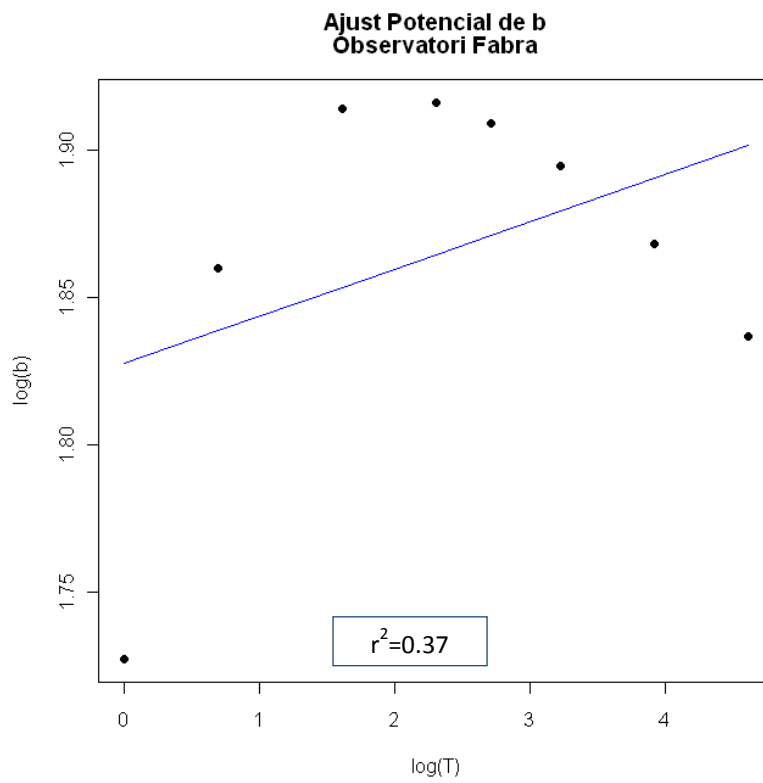
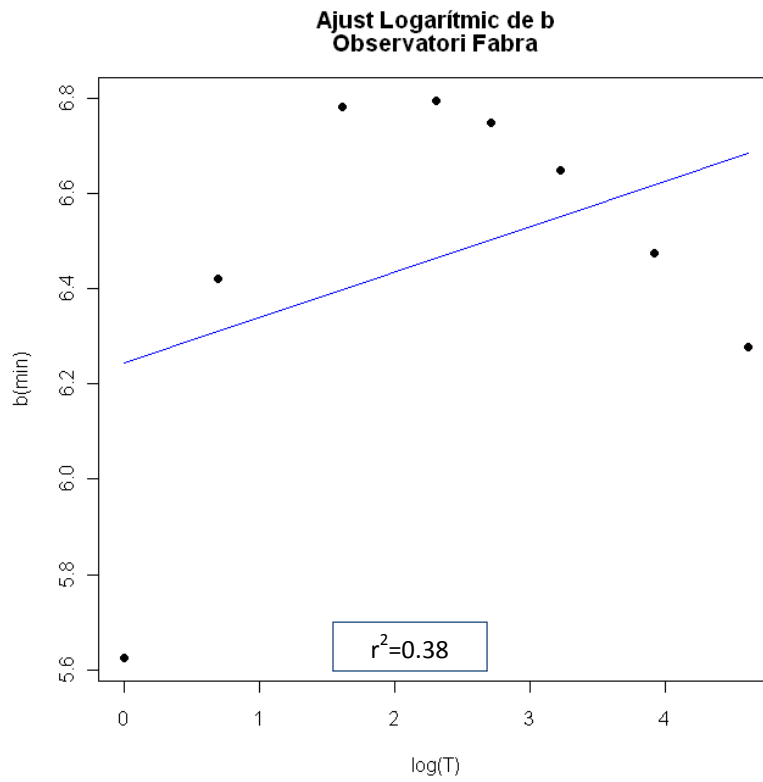


Figura 78: Ajust exponencial del paràmetre b (a dalt) i del ajust potencial (a baix).

A la figura 78 es veu que la dependència de  $b$  amb el període de retorn no és ni logarítmica, ni potencial, tot i així, finalitzem l'ajust per visualitzar el resultat i analitzar-lo. Segons els valors del coeficient de correlació (*figures 77 i 78*), el millor ajust és el logarítmic per ambdues variables.

$$a = (4.3 \pm 0.2) \cdot \ln T + (15.1 \pm 0.7) \quad (45)$$

$$b = (0.09 \pm 0.09) \cdot \ln T + (6.2 \pm 0.3) \quad (46)$$

Amb aquestes parametritzacions es calculen el coeficient de correlació i el valor del RMSE a partir de l'equació 37 (*taula 62*), i es representen les intensitats esperades per aquesta generalització (*figura 79*) segons l'equació 47.

$$I = \frac{15.1 + 4.3 \cdot \ln T}{(6.2 + 0.09 \cdot \ln T + t)^{0.780}} \quad (47)$$

T(anys)	$r^2$	RMSE
1	0.9997	0.06
2	0.9995	0.02
5	0.9995	0.03
10	0.9996	0.04
15	0.9996	0.04
25	0.9995	0.04
50	0.9989	0.05
100	0.998	0.08

Taula 62: Coeficient de correlació entre la sèrie de dades obtinguda de l'ajust a la funció de distribució generalitzada de Pareto i el resultat de l'ajust a l'equació de les corbes IDF generalitzada per dos paràmetres.

Segons els valors del coeficient de correlació i del RMSE mostrats a la taula 62, no s'aconsegueix cap millora del resultats en comparar-los amb els obtinguts per a la generalització a un paràmetre, però tampoc empitjora el resultat. Les corbes IDF generalitzades per a l'Observatori Fabra són les donades per l'equació 44, on només el paràmetre  $a$  mostra la dependència amb el període de retorn.

### Generalització a dos paràmetres - logarítmica Observatori Fabra

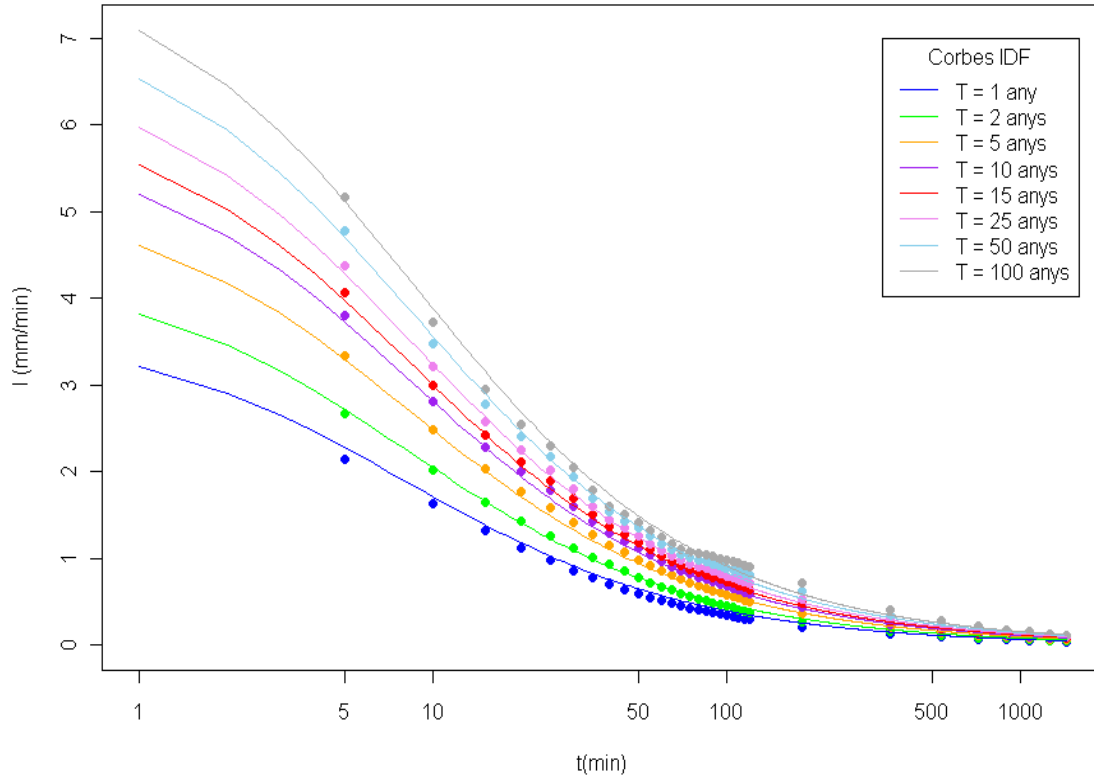


Figura 79: Corbes IDF generalitzades a dos paràmetres segons l'equació 47 (línies) i funció de distribució generalitzada de Pareto (punts) per a l'Observatori Fabra.

## 5.5 Anàlisi dels episodis extrems

Als valors màxims absoluts de cada durada del pluviògraf Jardí (*figura 80*), es troba una tendència clara amb petites variacions al voltant dels 25 i 60 minuts. Aquests valors màxims es van registrar en 6 episodis de precipitació diferents (taula 48) que indiquen la distribució de les diferents escales meteorològiques a l'observatori. Estudem doncs, la relació entre les intensitats màximes i les diferents durades.

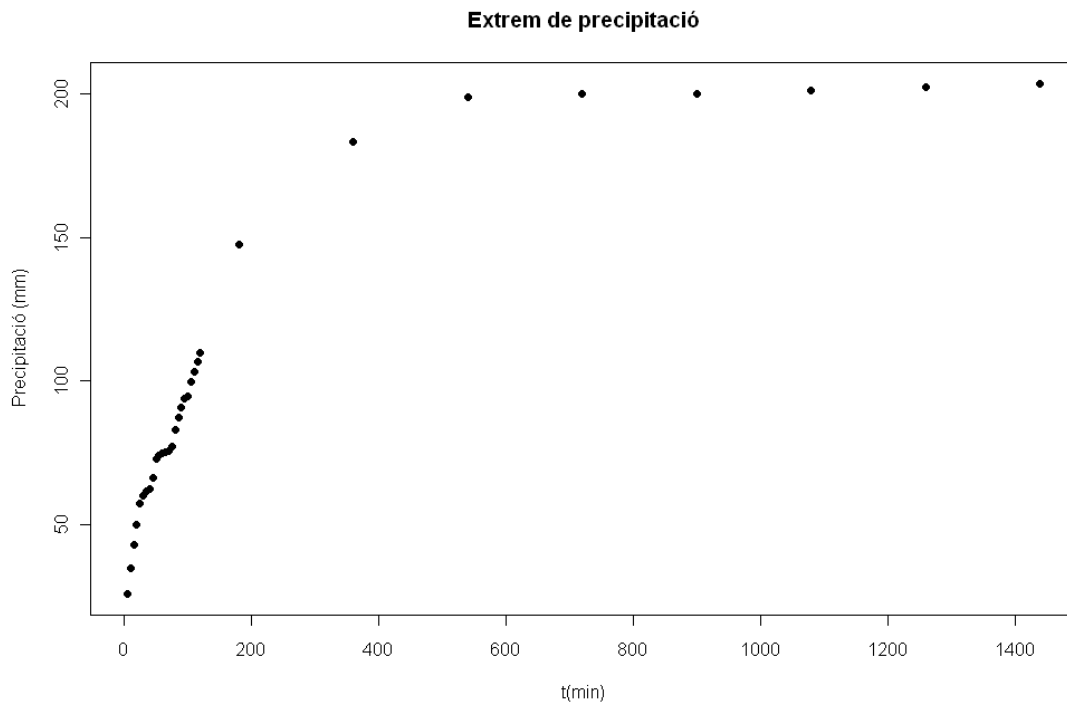


Figura 80: Màxim absolut de precipitació observat per a cada durada.

Els 20 esdeveniments més intensos seleccionats de cada durada, tenen un període de retorn empíric superior als 3 anys, i la distribució anual es presenta a la *figura 81*.

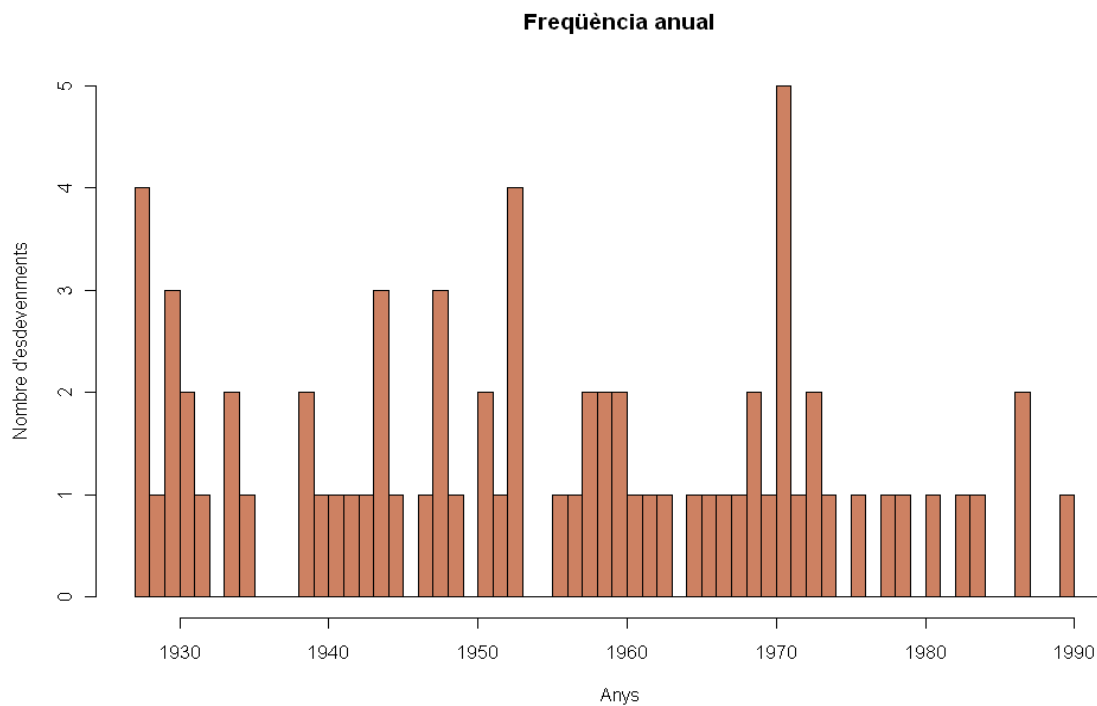


Figura 81: Esdeveniments extrems observats ( $T \geq 3$  anys) cada any.

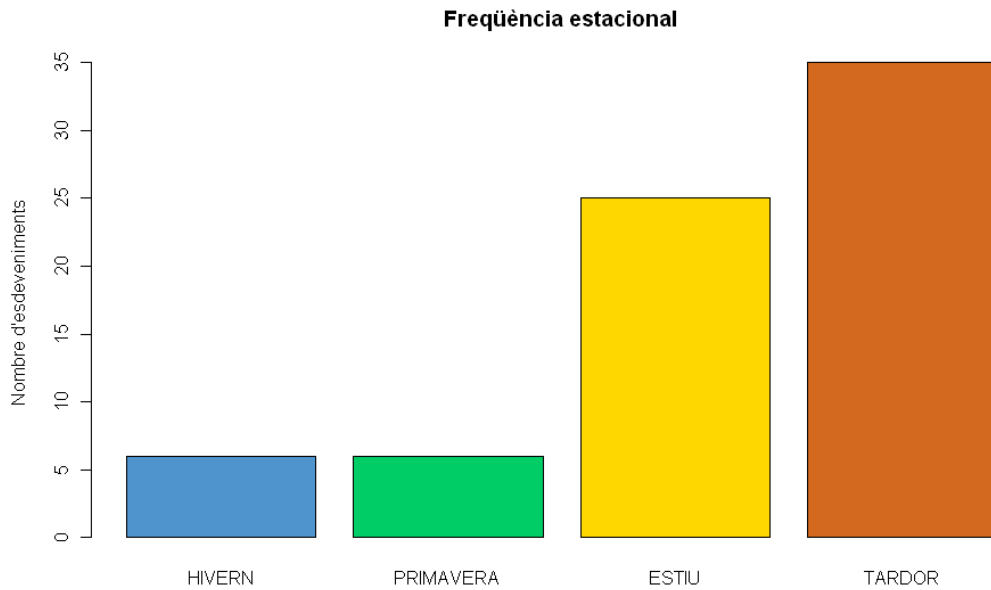


Figura 82: Esdeveniments extrems observats ( $T \geq 3$  anys) en cada estació de l'any.

Novament, la tardor resulta ser l'estació de l'any en què més esdeveniments extraordinaris de precipitació tenen lloc, seguida de l'estiu (figura 82).

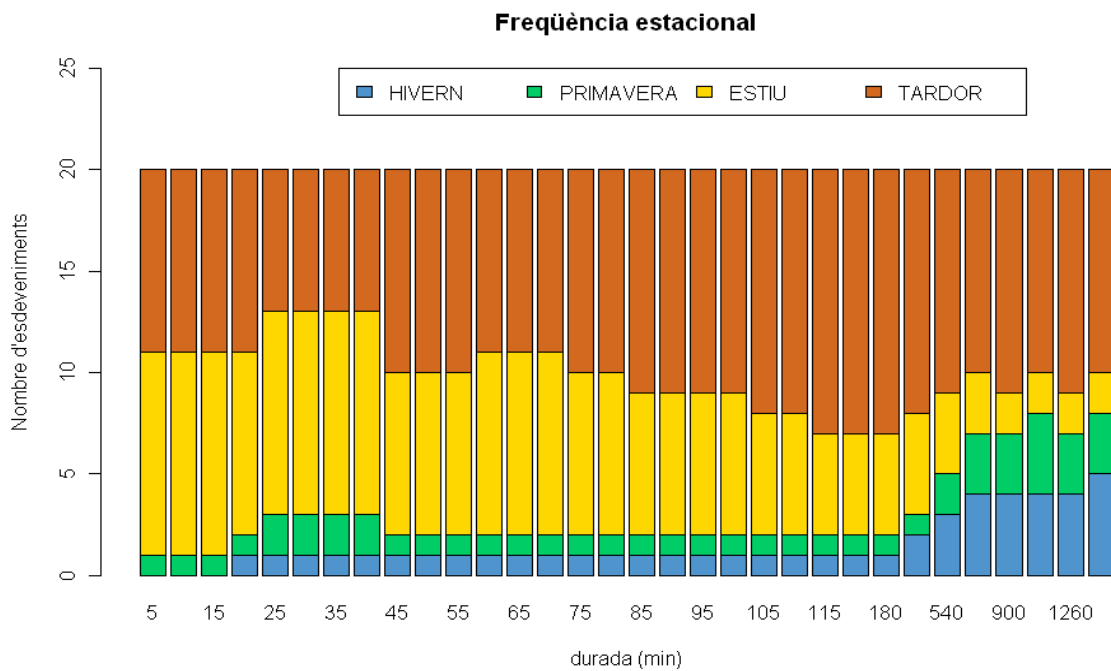


Figura 83: Esdeveniments extrems observats ( $T \geq 3$  anys) per a cada durada i estació de l'any.

Durant la tardor es produeixen gran part dels esdeveniments màxims en qualsevol durada, en canvi a l'estiu, es registren força esdeveniments intensos per a durades curtes. És a la primavera i a l'hivern quan més esdeveniments extrems de durades llargues es registren (figura 83).

Durada (min)	Precipitació (mm)	Durada (min)	Precipitació (mm)
5	16.4	85	55.3
10	24.8	90	56.2
15	30.2	95	57
20	34.2	100	57.8
25	37.4	105	58.6
30	40	110	59.3
35	42.2	115	60
40	44.2	120	60.7
45	45.9	180	67.2
50	47.4	360	79.4
55	48.8	540	87.2
60	50.1	720	93.1
65	51.3	900	98
70	52.4	1080	102.1
75	53.4	1260	105.6
80	54.4	1440	108.9

Taula 63: Llindars de precipitació de període de retorn de 5 anys calculats mitjançant les corbes IDF generalitzades a un paràmetre (44) de l'Observatori Fabra per a cada durada.

D'aquests 72 dies s'han escollit aquells que superen el període de retorn de 5 anys calculat amb les corbes IDF generalitzades (taula 63). A més, pels 41 esdeveniments obtinguts, s'han buscat les precipitacions màximes registrades per a un conjunt de durades per tal d'obtenir una matriu quadrada amb la que poder treballar (taula 64).



Data	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	120	360	720	1440
06/09/1927	13.5	21.5	<b>32.9</b>	<b>41.9</b>	<b>46.6</b>	<b>47.5</b>	<b>48.3</b>	<b>48.8</b>	<b>49.3</b>	<b>49.8</b>	<b>50.2</b>	<b>50.7</b>	51.4	51.5	51.5	51.8
15/10/1927	10.5	16.4	21.9	26.6	29.1	30.4	35.5	42.9	<b>48.6</b>	<b>51.8</b>	<b>53.3</b>	<b>54.8</b>	<b>72.3</b>	<b>76.4</b>	<b>76.4</b>	76.4
25/10/1928	11.2	16	20.9	25.4	28.9	32.6	36.9	42.5	<b>49.8</b>	<b>53.9</b>	<b>56.5</b>	<b>59.9</b>	<b>106.8</b>	<b>125.5</b>	<b>126.3</b>	<b>126.3</b>
05/01/1930	4.8	7.7	10.1	13.8	16.8	17.9	18.3	18.4	18.4	18.4	20.4	24.4	31	63.1	<b>90.2</b>	<b>147.4</b>
13/08/1930	<b>17.1</b>	<b>28.5</b>	<b>34.7</b>	<b>39.5</b>	<b>44.8</b>	<b>48</b>	<b>49.7</b>	<b>50.7</b>	<b>51.4</b>	<b>51.6</b>	<b>51.6</b>	<b>51.6</b>	<b>56.3</b>	56.3	56.3	56.5
09/08/1931	<b>21.9</b>	<b>34.6</b>	<b>42.9</b>	<b>48.8</b>	<b>54.4</b>	<b>59.7</b>	<b>61.4</b>	<b>61.7</b>	<b>61.7</b>	<b>61.7</b>	<b>61.7</b>	<b>61.7</b>	<b>61.7</b>	<b>68.4</b>	68.6	68.6
11/10/1931	8	15	20.9	25.3	28	29.6	33.9	40.4	<b>46.8</b>	<b>51.5</b>	<b>55.3</b>	<b>57.9</b>	<b>73</b>	<b>78.5</b>	<b>90.3</b>	<b>91</b>
07/07/1932	11.2	21.1	<b>29.1</b>	<b>37</b>	<b>40</b>	<b>40.5</b>	40.8	41.4	42.1	42.2	42.2	42.2	42.2	42.2	48.3	57.3
14/09/1934	11.6	20.7	<b>29.5</b>	<b>36.8</b>	<b>42.3</b>	<b>45</b>	<b>47.5</b>	<b>56.7</b>	<b>66.1</b>	<b>72.6</b>	<b>74</b>	<b>74.6</b>	<b>93.9</b>	<b>105.8</b>	<b>107.8</b>	<b>107.8</b>
01/10/1935	<b>25.6</b>	<b>29.9</b>	<b>31.9</b>	32.8	33.1	33.4	33.6	33.8	34	34.2	34.4	34.6	34.8	38.6	38.6	38.6
05/06/1939	12.3	18.1	24.8	31.1	<b>39</b>	<b>44.6</b>	<b>46.8</b>	<b>47.5</b>	<b>47.7</b>	<b>48</b>	<b>48.1</b>	<b>48.1</b>	49.5	49.5	50.1	63
07/07/1940	14.6	<b>26.6</b>	<b>34.5</b>	<b>37.8</b>	<b>39.8</b>	<b>44</b>	<b>45.5</b>	<b>45.5</b>	<b>45.5</b>	45.5	45.5	45.5	45.7	45.8	45.8	45.8
25/07/1943	11.8	21.6	<b>29</b>	<b>33.1</b>	<b>38.2</b>	<b>42.4</b>	<b>43.4</b>	<b>43.8</b>	44.3	44.8	45.3	45.8	47.3	47.3	49	54.2
24/02/1944	6.1	8.1	10	11.8	14.1	15.8	16.7	17.7	18.8	19.8	20.5	21.3	34	<b>71</b>	<b>112.1</b>	<b>123</b>
18/08/1945	14.1	<b>23</b>	28.7	<b>35.1</b>	<b>41.2</b>	<b>44</b>	<b>44.2</b>	<b>44.6</b>	44.7	44.7	44.7	44.7	44.7	44.7	47.7	47.7
03/09/1948	<b>20.2</b>	<b>29.5</b>	<b>36.8</b>	<b>41.2</b>	<b>43.9</b>	<b>45.1</b>	<b>45.8</b>	<b>46.1</b>	<b>46.1</b>	<b>46.1</b>	<b>46.2</b>	46.5	51.2	<b>68.9</b>	<b>76.5</b>	76.5
15/07/1951	<b>16.5</b>	<b>25.2</b>	<b>30.8</b>	31.9	32.8	33.1	33.1	33.1	33.1	33.1	33.1	33.1	33.3	33.4	33.4	33.4
20/08/1951	12.5	22.1	27.7	31.6	33.6	38.2	<b>43.5</b>	<b>46.8</b>	<b>48.2</b>	<b>48.9</b>	<b>49.4</b>	<b>49.7</b>	49.9	49.9	52.1	54.5
13/09/1952	<b>15.8</b>	<b>29.2</b>	<b>38.6</b>	<b>50</b>	<b>57.4</b>	<b>60.1</b>	<b>61</b>	<b>62.4</b>	<b>63.9</b>	<b>65.2</b>	<b>66.5</b>	<b>67.4</b>	<b>71.3</b>	<b>72.6</b>	72.6	72.6
28/06/1953	8.4	15.4	17.7	20.4	25.1	31.4	36.7	37.9	39	41.3	42.8	<b>49</b>	<b>67.9</b>	<b>69.2</b>	69.5	74.6
26/09/1953	13.3	<b>24.1</b>	<b>33.8</b>	<b>35.3</b>	35.6	35.8	36	36	36	36.1	36.2	36.7	37.6	43	43	77.2
11/10/1953	7.4	14.3	19.4	26.5	31.4	34.2	36	37.5	38.3	40.9	42.1	42.6	<b>60.4</b>	<b>97.9</b>	<b>103.4</b>	<b>105.9</b>
16/07/1958	<b>18.5</b>	<b>26.2</b>	<b>35.3</b>	<b>43.5</b>	<b>52.2</b>	<b>58.9</b>	<b>60.2</b>	<b>61.4</b>	<b>65.3</b>	<b>66.6</b>	<b>67.6</b>	<b>67.9</b>	<b>74.7</b>	<b>74.9</b>	<b>74.9</b>	74.9
31/08/1958	<b>21.6</b>	<b>34.4</b>	<b>36.2</b>	<b>36.2</b>	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	39.1	39.1	39.1
30/05/1959	12	19.3	25.7	32.1	<b>36.8</b>	<b>40.9</b>	<b>45.9</b>	<b>51.9</b>	<b>54.1</b>	<b>56.1</b>	<b>58.2</b>	<b>60.8</b>	<b>76.8</b>	<b>78.1</b>	<b>78.1</b>	78.1
30/08/1960	<b>16.2</b>	<b>27.7</b>	<b>33.9</b>	<b>39.3</b>	<b>42.9</b>	<b>44.6</b>	<b>45.6</b>	<b>47.4</b>	<b>47.9</b>	<b>49.6</b>	<b>51.6</b>	<b>52.4</b>	55	<b>65.6</b>	67.3	68.8
04/09/1961	8.6	14.3	20.9	25.9	28.7	31.2	31.6	33.9	37.2	38.9	39.5	40.1	<b>60.9</b>	<b>71.7</b>	71.7	76.7
25/09/1962	13.9	20.8	27.5	<b>33.2</b>	<b>37.9</b>	<b>42.9</b>	<b>46.8</b>	<b>48.6</b>	<b>48.9</b>	<b>49.1</b>	<b>49.1</b>	<b>49.1</b>	<b>58.3</b>	64.2	65	<b>91.1</b>
01/09/1965	<b>19</b>	<b>30.1</b>	<b>33.6</b>	<b>36.4</b>	36.5	36.5	36.5	36.5	36.5	36.5	36.5	36.5	36.5	36.5	36.5	36.5
20/10/1969	11.4	18.7	22.5	28.5	36.3	<b>40.4</b>	<b>42.8</b>	<b>44.5</b>	<b>46.2</b>	<b>48.1</b>	<b>49.5</b>	<b>50.3</b>	53	55.2	57.4	62.9
29/10/1971	8.6	12	15.7	20.3	22.2	24.4	28.2	31.3	37.7	40.7	43.1	44.6	<b>62.4</b>	<b>67.9</b>	67.9	67.9
06/11/1971	13.2	<b>24</b>	<b>32.1</b>	<b>43.6</b>	<b>51.3</b>	<b>54.1</b>	<b>55</b>	<b>55.4</b>	<b>55.5</b>	<b>55.5</b>	<b>55.5</b>	<b>55.5</b>	<b>55.5</b>	57.9	61.4	64.7
05/12/1971	12.5	19	27	<b>34.9</b>	<b>37.4</b>	<b>41</b>	<b>42.8</b>	<b>43.3</b>	<b>49.1</b>	<b>53.3</b>	<b>57.7</b>	<b>61.5</b>	<b>109.8</b>	<b>183.3</b>	<b>200.2</b>	<b>203.7</b>
03/09/1972	<b>22.7</b>	<b>32</b>	<b>33.4</b>	<b>35</b>	<b>37.1</b>	38.1	38.5	38.8	38.8	38.8	38.8	38.8	42	43.8	47.2	48
26/08/1973	<b>20.1</b>	<b>27.8</b>	<b>29.4</b>	29.9	29.9	30.9	31.4	31.4	31.4	31.4	31.4	31.4	31.4	31.4	31.4	33.3
26/08/1974	8	13.6	19.5	25.8	31.3	37.4	<b>43.2</b>	<b>45.1</b>	<b>46.5</b>	<b>47.4</b>	<b>47.5</b>	<b>50.5</b>	54.9	54.9	54.9	54.9
02/08/1976	11.4	18.9	23.5	32.2	<b>38</b>	<b>39.6</b>	40	40.3	40.5	40.7	40.9	41.1	46.3	47.4	62.4	62.4
04/09/1978	<b>17.3</b>	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	22.3	22.9	23.4	31.5	57.7	57.7	57.7
14/10/1983	<b>17.4</b>	<b>22.7</b>	25.5	30.1	31.4	31.4	31.4	31.4	31.4	31.4	31.4	31.4	31.4	31.4	31.4	36.6
04/10/1987	9.5	18.5	25.5	28.1	34.8	39.5	41.8	42.7	43.2	43.9	44.8	45.3	51.6	<b>86.2</b>	<b>86.2</b>	<b>116.2</b>
22/05/1990	<b>23.9</b>	<b>33.9</b>	<b>39.6</b>	<b>41.8</b>	<b>42.5</b>	<b>43.2</b>	<b>43.4</b>	<b>43.6</b>	43.6	43.6	43.6	43.6	43.6	43.6	43.6	43.6

Taula 64: Precipitació màxima per a cada durada dels esdeveniments que superen el període de retorn de 5 anys segons les corbes IDF generalitzades (en negreta els valors que han superat el període de retorn).

Amb aquests esdeveniments es determina el nivell de significança del coeficient de correlació (taula 65). Aquells valors que presenten una significança inferior al nivell de 0.005 estan assenyalats en negreta, i les zones acolorides remarquen els possibles grups en que es relacionen les diferents durades.

	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	120	360	720	1440
5																
10	0															
15	0	0														
20	0	0	0													
25	<b>0.002</b>	0	0	0												
30	0.013	0	0	0	0											
35	0.058	<b>0.001</b>	0	0	0	0										
40	0.195	0.008	0	0	0	0	0									
45	0.486	0.062	<b>0.001</b>	0	0	0	0	0								
50	0.768	0.166	<b>0.004</b>	0	0	0	0	0	0							
55	0.978	0.284	0.011	0	0	0	0	0	0	0						
60	0.726	0.518	0.038	0	0	0	0	0	0	0	0					
120	0.073	0.161	0.741	0.449	0.179	0.060	0.010	0	0	0	0	0				
360	0.018	0.020	0.133	0.523	0.846	0.820	0.527	0.224	0.034	0.007	<b>0.002</b>	0	0			
720	0.004	0.003	0.024	0.175	0.374	0.613	0.860	0.734	0.240	0.087	0.033	0.011	0	0		
1440	0	0	0.005	0.043	0.137	0.277	0.418	0.688	0.767	0.454	0.255	0.125	0	0	0	

Taula 65: Significança del coeficient de correlació entre les durades considerades.

Comparant els resultats obtinguts al present treball, amb els que va obtenir la Dra. Casas (Casas, 2005), veiem que són força similars. Degut a la diferència de metodologia aplicada per a la determinació de les corbes IDF, el nombre de casos estudiats per a la construcció de la matriu de correlacions varia lleugerament, de 44 al seu cas a 41 al nostre. Tanmateix les precipitacions observades i les dates en què es varen registrar són gairebé iguals, amb petites diferències degut a què el registre amb que nosaltres treballem a estat prèviament tractar per l'empresa CLABSA, mentre que la Dra. Cases ho va obtenir de la digitalització directa de les bandes.

## 6 Conclusions

Han estat determinades les corbes IDF per a l'Observatori de l'Ebre, l'Observatori Fabra i l'estació de l'Estartit. El model que ha donat un millor ajust a les dades d'intensitat de pluja esperades ha estat l'equació de Sherman (24). En cada cas, els paràmetres obtinguts per a cada període de retorn són els que es recullen a les taules 16, 34 i 58. A les figures 84, 85 i 86 s'han presentat les corbes IDF per als tres observatoris.

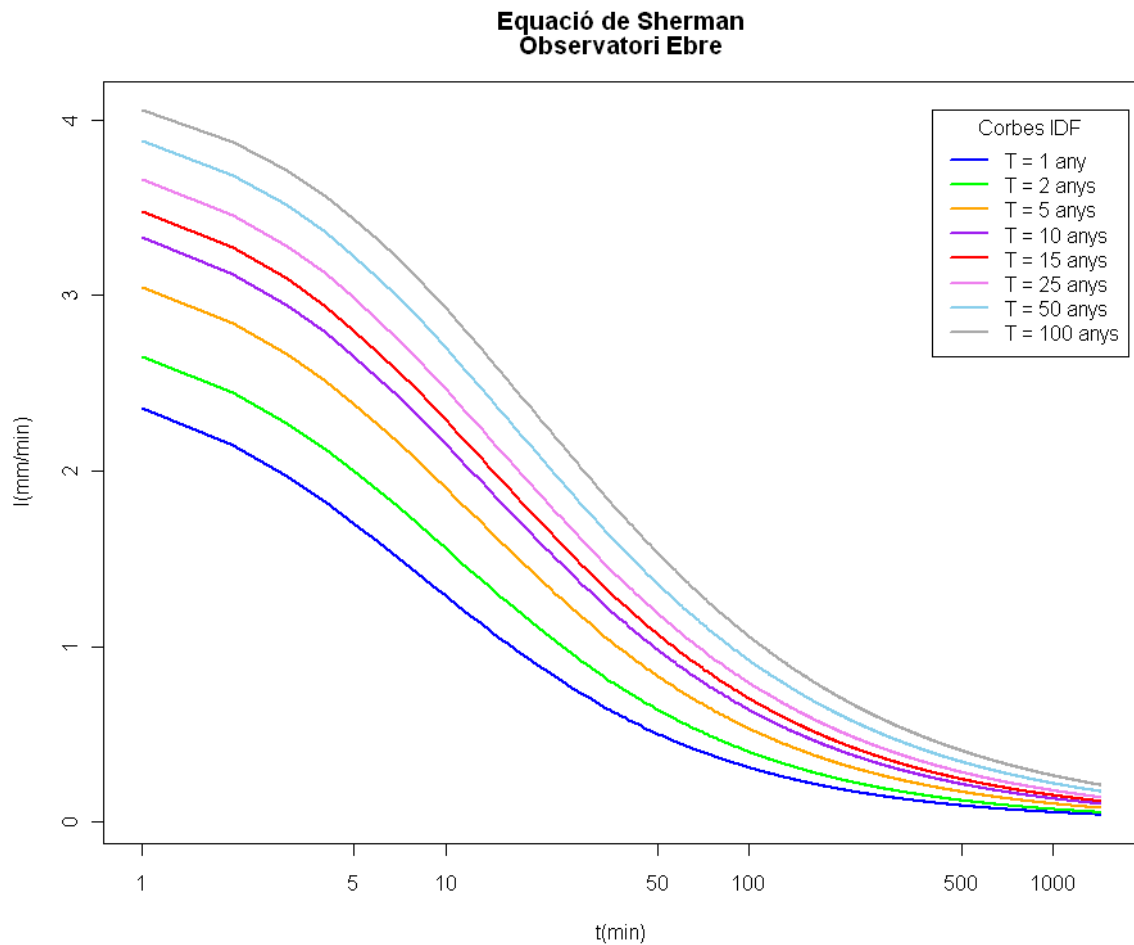


Figura 84: Corbes IDF del Observatori Ebre.

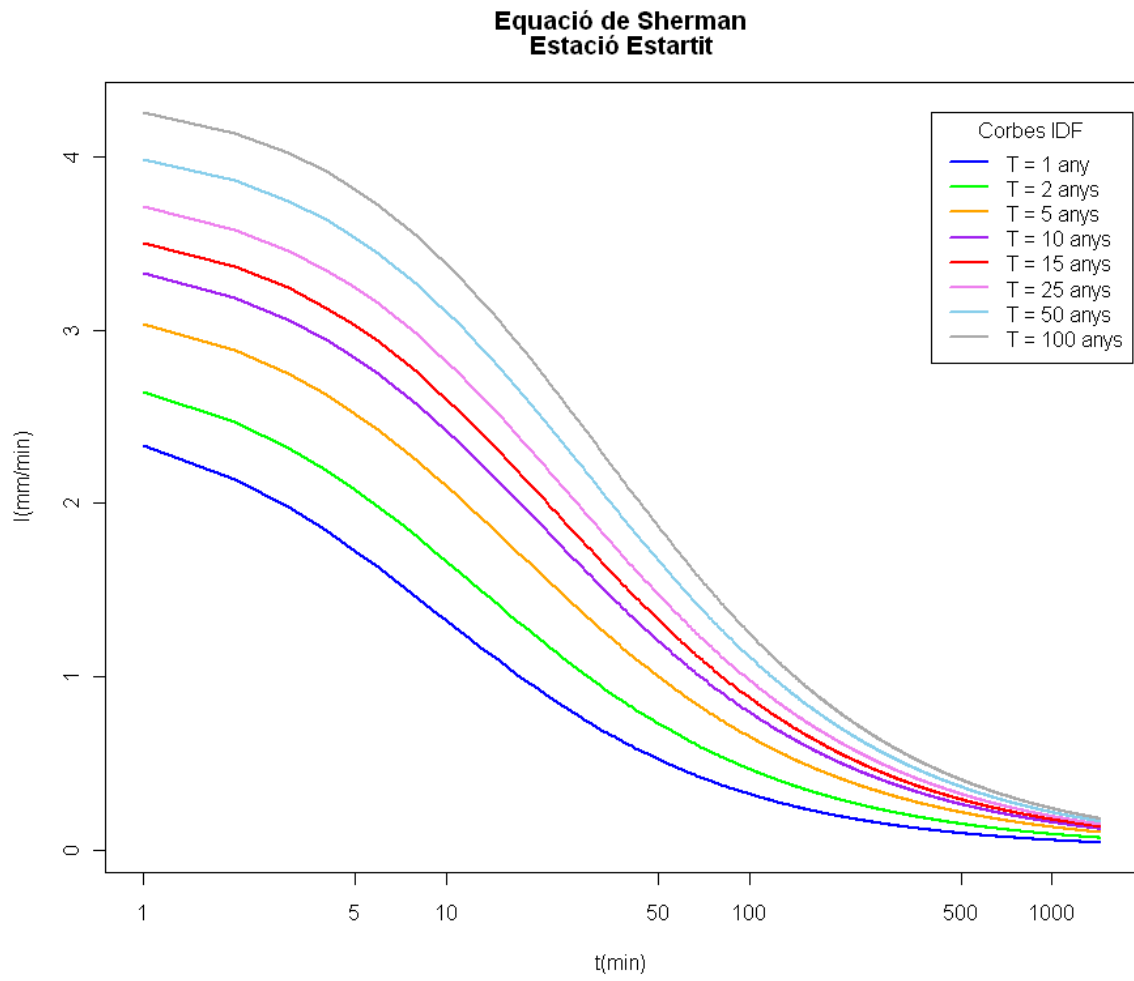


Figura 85: Corbes IDF de l'Estartit

### Equació de Sherman Observatori Fabra

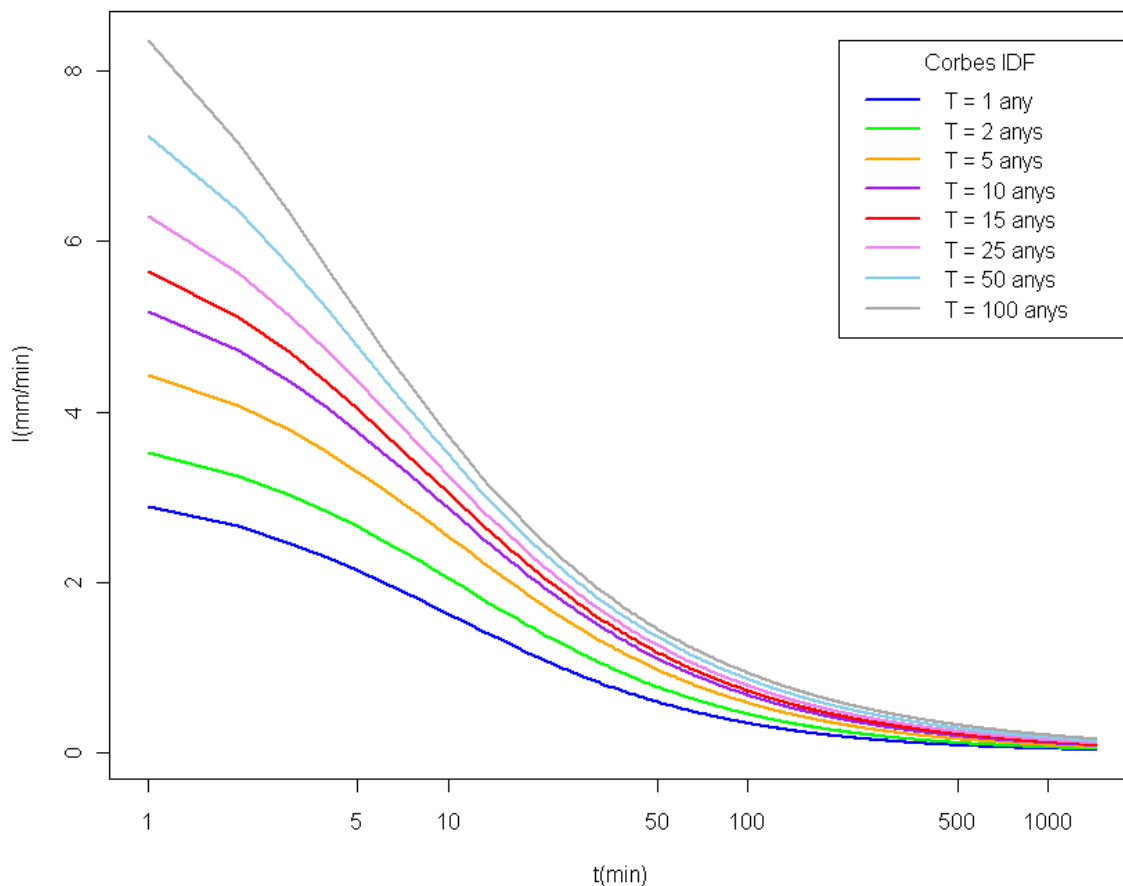


Figura 86: Corbes IDF de l'Observatori Fabra.

També s'han obtingut expressions generalitzades de les corbes IDF, de manera que una única equació ens proporciona els valors d'intensitat per a cada durada i període de retorn. Aquesta generalització s'ha dut a terme seguint els mètodes descrits per altres autors (Casas, 2005), que consideren només un únic paràmetre dependent del període de retorn, i també suposant la dependència de dos paràmetres. S'ha demostrat que en aquest segon cas s'aconsegueix un millor ajust entre les dades observades i les modelitzades als observatoris de l'Ebre i l'Estartit:

$$\text{Observatori Ebre} \quad I = \frac{8.7 T^{0.271}}{(4.65 T^{0.286} + t)^{0.698}} \quad (48)$$

$$\text{Estació Estartit} \quad I = \frac{10.6 + 7.88 \cdot \ln T}{(7.7 + 3.5 \cdot \ln T + t)^{0.753}} \quad (49)$$

Mentre que a l'Observatori Fabra la generalització a un paràmetre és la més adient:

$$\text{Observatori Fabra} \quad I = \frac{4.26 \ln T + 15.2}{(6.5 + t)^{0.780}} \quad (50)$$

Durant el procediment dut a terme per a la determinació de les corbes IDF, s'han trobat altres resultats a tenir en compte.

A partir del registre dels pluviògrafs de sífó instal·lats als Observatoris de l'Ebre (1905 – 2003) i l'Estartit (1986 – 2006), i del pluviògraf d'intensitats Jardí de l'Observatori Fabra (1927 – 1992), s'ha generat un registre de precipitació minutal per a cadascun, del qual s'ha obtingut la precipitació diària (de 7 a 7h) per tal de comparar-lo amb el registre simultani dels pluviògrafs totalitzadors instal·lats als mateixos observatoris. Per a l'Observatori del Ebre, s'han trobat diferències entre els dos registres que es poden atorgar a un error a la datació d'algunes bandes del pluviògraf, menys freqüent als darrers 10 anys de la sèrie, mentre que per a l'Estació de l'Estartit aquesta discrepància no s'aprecia. La sèrie de l'Observatori Fabra mostra un empitjorament els darrers anys. Segons les comprovacions exposades, les diferències observades no afecten a l'estudi dut a terme ja que la data en la que es produeixen els esdeveniments de precipitació no és una variable fonamental.

A més, s'han obtingut les sèries de precipitació màxima en intervals de temps mòbils amb durades entre 5 minuts i 24 hores. Aquestes sèries s'han fet servir per determinar la probabilitat i la precipitació acumulada de període de retorn de  $\frac{1}{2}$  any per a cada durada, que s'ha pres com a llindar per l'estudi de les precipitacions màximes. En l'anàlisi de freqüències, la funció de distribució generalitzada de Pareto ha resultat ser la que millor ajust presenta per ambdues estacions a l'ajust de les sèries de precipitacions màximes en front de les distribucions gamma, log-normal i Pearson tipus III.

També s'ha trobat que els valors extrems de les sèries de precipitació màxima es registren a diferents episodis segons la durada considerada. En general, les precipitacions extremes per a durades llargues ( $t \geq 9$  hores) són registrades a un mateix episodi, diferent del que dona lloc a les precipitacions extremes de durades curtes. A més, observant l'augment de la precipitació extrema registrada amb la durada, notem una **peculiaritat** per a la durada de 6 hores a les sèries d'ambdues estacions, ja que el valor extrem d'aquesta durada no segueix la tendència de la resta d'extrems. Aquesta observació pot atribuir-se a diversos motius, però cap la possibilitat de que es tracti d'una característica pròpia del règim pluviomètric de Catalunya, degut a la localització i l'orografia del país.

La peculiaritat de la intensitat màxima de precipitació en 6 hores trobada als observatoris de l'Ebre i Estartit, no ha trobat correspondència a l'Observatori Fabra. La distribució estacional dels esdeveniments extrems de precipitació indica que a la tardor és quan més es registren a totes les estacions d'estudi. En segon lloc es troba l'estiu als observatoris de l'Ebre i Fabra, mentre que a l'Estartit l'hivern i la primavera empaten en aquesta posició.

El comportament estacional en funció de la durada es mostra novament a les següents figures (figures 87, 88 i 89).

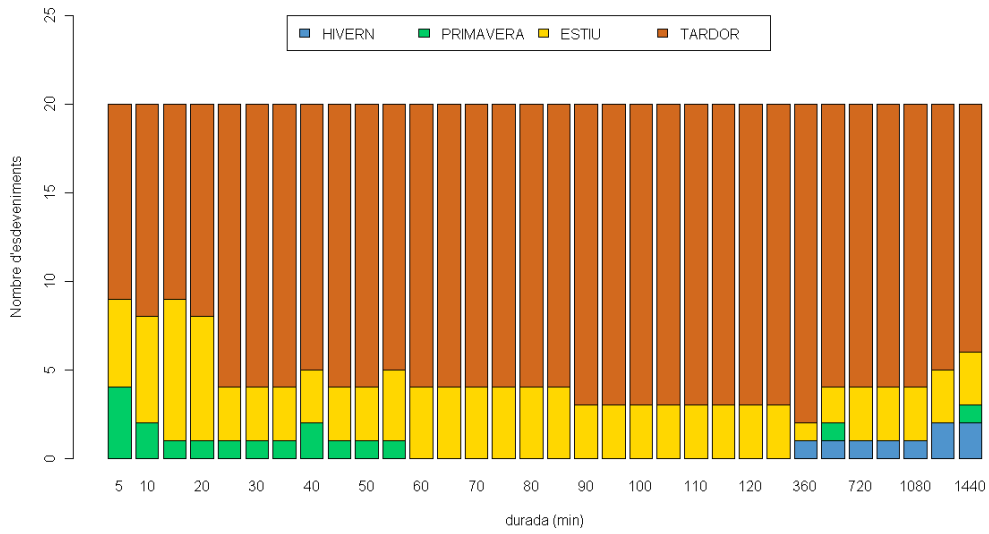


Figura 87: Distribució estacional dels esdeveniments extrems per a cada durada a l'Observatori Ebre.

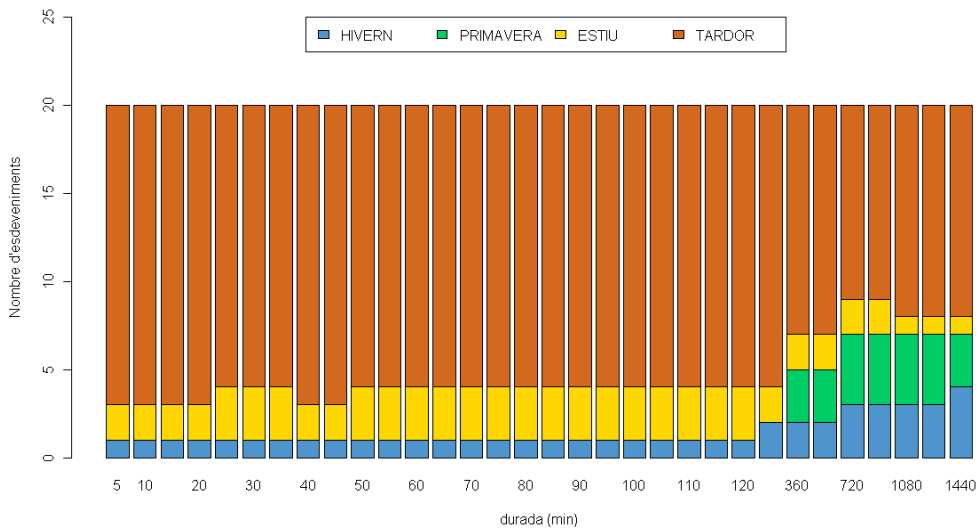


Figura 88: Distribució estacional dels esdeveniments extrems per a cada durada a Estació Estartit.

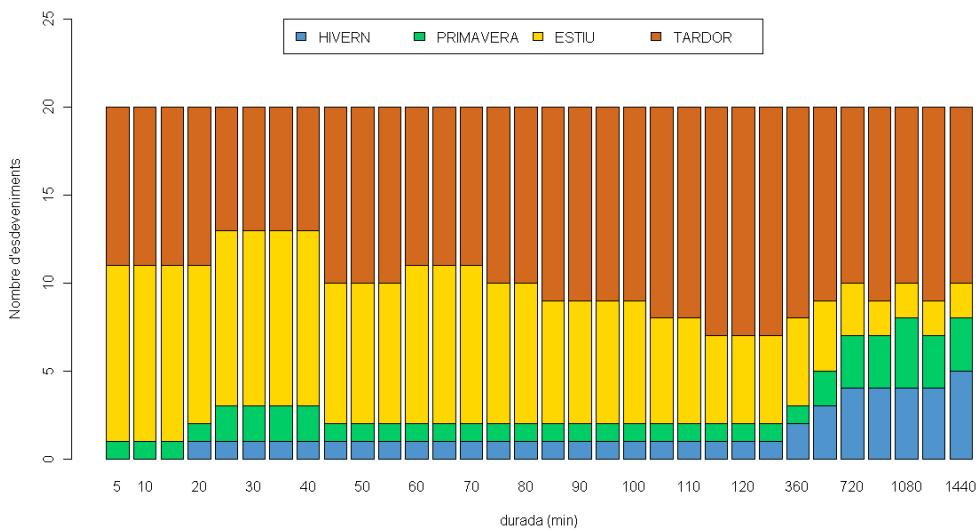


Figura 89: Distribució estacional dels esdeveniments extrems per a cada durada a Observatori Fabra.

La tardor és doncs, l'estació més productiva en esdeveniments extraordinaris de precipitació als tres observatoris i per a totes les durades. Durant l'estiu, es registren força esdeveniments d'aquesta magnitud, però per a durades entre 5 i 360 minuts. I a l'hivern i la primavera es manifesten de diferent forma segons l'observatori. A l'Observatori Ebre, la primavera i l'hivern donen lloc a esdeveniments extrems de llargades oposades: la primavera per a durades curtes ( $t < 1$  hora) i l'hivern per a durades llargues ( $t \geq 6$  hores). A l'estació de l'Estartit, no s'ha enregistrat cap esdeveniment extraordinari per a durades inferiors a 6 hores a la primavera, i l'hivern, que participa a totes les durades també pren més pes a les durades llargues ( $t \geq 6$  hores). Finalment, l'Observatori Fabra, mostra un comportament similar a l'estació de l'Estartit, quan la primavera i l'hivern es fan notar amb més força a les durades llargues, encara que en aquest cas la primavera va donar lloc a algun esdeveniment en totes les durades i en canvi l'hivern no participa a les durades entre 5 i 15 minuts.

Resulta interessant doncs, veure com les diferents escales meteorològiques es manifesten a les durades considerades segons l'estació de l'any, i com a diferents punts del territori s'asimilen o es diferencien les distribucions estacionals de precipitació.



## 7 Bibliografia

- AGUILERA NAVARRO, M. A. (2007): Estimación de funciones de distribución de probabilidad, para caudales màximos, en la región del Maule. Tesis doctoral. Universidad de Talca - Chile. pp 154.
- ASHAKAR, F., OUARDA, T.B.M.J., ROY, R., BOBÉE, B. (1993): Robust estimators in hidrologic frequency analysis, in Engineering Hidrology. Edited by C.T., pp 347-352, Am. Soc. Civ. Eng.
- BEN-ZVI, A. (2008): Rainfall intensity – duration – frequency curves from large samples. *11<sup>th</sup> International Conference on Urban Drainage*, Edinburghm Scotland, UK, pp 10.
- BENDJOUDI, H., HUBERT, P. i SCHERTZER, D. (1997): Interprétation multifractale des courbes intensité-durée –fréquence des précipitations. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 325: 323-326.
- BEUSELINDK, L., STEEGEN, A., GOVERS, G., NACHTERGAELE, J., TAKKEN, I. i POESSEN, J. (2000): Characteristics of sediment deposits formed by intense rainfall events in small catchments in the Belgian Loam Belt. *Geomorphology*, 32 (1-2): 69-82.
- BILBAO, J., CASTILLA, G., DAVARA, F., FERNÁNDEZ-ARDAVÍN, A., GARCÍA, J.C., GARCÍA, J., MARTÍNEZ, I., NÁJERA, A., PÉREZ, M.J., SAN MILLÁN, D., SALES, M., SUÁREZ, L., VILAPLANA, J.M. i GONZÁLEZ, J.L. (2006): *Implicaciones económicas y sociales de los riesgos naturales*. CONAMA, Cumbre del desarrollo sostenible, Grupo de Trabajo 23, pp 83.
- BURGUEÑO, A., VILAR, E., PUIGSERVER, M. (1993): Estadístiques de la intensitat de pluja a Barcelona amb aplicació a les telecomunicacions. Llibre homenatge al Dr. Jardí; 41–61.
- CARDINALI, M., GALLI, M., GUZZETTI, F., ARDIZZONE, F., REICHENBACH, P. i BARTOCCINI, P. (2006): Rainfall induced landslides in December 2004 i south – western Umbria, central Italy: types, extent, damage and risk assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6: 237-260
- CASAS, M.C. (2005): *Análisis espacial y temporal de las lluvias extremas en Catalunya. Modelización y clasificación objetiva*. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona. pp 192.
- CASAS, M.C., HERRERO, M., NINYEROLA, M., PONS, X., RODRÍGUEZ, R., RIUS, A. i REDAÑO, A. (2007): Analysis and objective mapping of extreme daily rainfall in catalonia. *International Journal of Climatology*, 27: 399 – 407, DOI: 10.1002/joc.1402
- CASTRO, J., CÂRSTEANU, A. i FLORES, C. (2004): Intensity-duration-area-frequency Functions Precipitation in a Multifractal Framework. *Physica A*, 338 (1-2): 206-210.
- CHOW, V., MAIDMENT, D.R. i MAYS, L.W. (1994): *Hidrología aplicada*. McGRAW-HILL. Colombia. pp. 584
- EASTERLING, D.R., EVANS, J.L., GROISMAN, P., KARL, T.R., KUNKEL, K.E. i AMBENJE, P. (2000): Observed Variability and Trends in Extreme Climate Events: ABrief Review. *Bulletin of American Meteorological Society*, 81(3): 417-425.
- ELIAS, F. i RUÍZ BELTRAN, L. (1979): *Precipitaciones máximas en España. Estimaciones basadas en métodos estadísticos*. M. de Agricultura ICONA. Monografías. 21. Madrid, pp 545.
- FELIPE, O. i ORDOÑEZ, J.J. (2007): *Análisis hidrológico de la crecida extraordinaria del rio Tumbes del 27 de febrero del 2006*. Jornadas Internacionales sobre Gestión del Riesgo de Inundaciones y Deslizamientos de Laderas. Brasil. Mayo 2007, pp 16.

- FERRER, F. J. (1993): *Recomendaciones para el cálculo hidrometeorológico de crecidas*. Centro de Estudios Hidrográficos. Centro de Estudios y experimentación de Obras Públicas. pp. 76.
- FERRER POLO, F. J. i ARDILES, L. (1994): Anàlisi estadístic de las series anuales de máximas lluviarias diarias en España. *Ingeniería Civil*, 195: 87-100.
- FOX, J. (2002): *Nonlinear Regression and Nonlinear Least Squared*. Appendix to an R and S-Plus Companion to Applied Regression. Pp 20.
- GARCÍA MARÍN, A.P. (2007). *Análisis Multifractal de Series de Datos Pluviométricos en Andalucía*. Tesis Doctoral del Dept. De Ingeniería Rural. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Universidad de Córdoba, pp 183.
- GHAHRAMAN, B.M. i HOSSEINI, S.M. (2005): A new investigation on the performance of rainfall IDF models. *Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering*, 29 (B3)
- GOMEZ, C. (1988): Hacia el conocimiento de la intensidad máxima absoluta de las precipitaciones atmosféricas. Una deducción más de la curvas IDF Barcelona – Fabra. *Revista de Obras Pública*, 3269: 577 – 598
- HOSKING, J.R. i WALLIS, J.R. (1997): *Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-Moments*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 224 p.
- INSTITUT CARTOGRÀFIC DE CATALUNYA. [www.icc.cat](http://www.icc.cat)
- JARDI, M. i PEÑA RABADÁN, J.C. (1996): Ensayo del método de la intensidad instantánea para la caracterización y tipificación de las tormentas. En: *Modelos y sistemas de información geográfica*. pp. 59-68.
- JARDÍ, R. (1921): Un pluviògraf d'intensitas. Notes d'estudi, Servei Meteorològic de Catalunya I: 3 – 10.
- NATIONAL WILDLIFE FEDERATION (2008): *Heavy Rainfall and Increased Flooding Risk: Global Warming's Wake-up call for the central United States*. pp. 4
- KNAPP, A. K., BEIER, C., BRISKE, D.D., CLASSEN, A.T., LUO, Y., REICHSTEIN, M., SMITH, M.D., SMITH, S.D., BELL, J.E., FAY, P.A., HEISLER, J.L., LEAVITT, S.W., SHERRY, R., SMITH, B. i WENG, E. (2008): Consequences of More Extreme Precipitation Regimes for Terrestrial Ecosystems. *BioScience*, 58(9): 811-821
- LANA, X., SERRA, C. i BURGUEÑO, A. (2001): Patterns of Monthly rainfall shortage and excess in terms of the standardized precipitation index for Catalonia (NE Spain). *International Journal of Climatology*, 21: 1669 -1691. DOI: 10.1002/joc.697
- LLASAT, M.C., PUIGSERVER, M. (1985): Un intento de aplicación a la Península Ibérica de un modelo empírico de precipitación. *Revista de Geofísica* **41**: 135–144.
- LLASAT, M.C. i PUIGSERVER, M. (1997): Total Rainfall and Convective Rainfall in Catalonia, Spain. *International Journal of Climatology*, 17: 1683-1695
- LLASAT, M.C. (2001): An Objective Classification of Rainfall Events on the Basis of their convective features: Application to rainfall intensity in the northeast of Spain. *International journal of Climatology*, 21: 1385 – 1400. DOI: 10.1002/joc.692
- MARTÍNEZ GIL, F.J. (1971): Estudi hidrològic del Bajo Empurdán (Gerona-España). Contribución a la metodología de los estudios hídricos regionales. *Acta Geológica Hispánica*, VI (4): 109- 114.

- MARTIN-VIDE, J., BRUNET, M., PROHOM, M. i RIUS, A. (2010). Els climes de Catalunya. Present i tendències recents. En: Llebot, E. Ed.: *El canvi climàtic a Catalunya. Segon informe del Grup d'Experts en Canvi Climàtic de Catalunya*. Generalitat de Catalunya, Institut d'Estudis Catalans, Barcelona: 39-72.
- MINH NHAT, L., TACHIKAWA, Y. i TAKARA, K. (2006): Establishment of Intensity – Duration – Frequency Curves for Precipitation in the Monsoon Area of Vietnam. *Annuals of Disas. Prev. Res. Inst., Kyouto Univ.*, (49B), 2006, pp 11.
- MONCHO, R., BELDA, F. i CASSELLES, V. (2009): Estudi climàtic de l'exponent “n” de les corbes IDF: aplicació per a la Península Ibèrica. *Tethys*, 6: 3 – 14. DOI: 10.3369/tethys.2009.6.01
- OBSERVATORI FABRA: [www.fabra.cat](http://www.fabra.cat)
- PALMER, T. N. i RAÏSÄNEN, J. (2002). Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate. *Nature*, nº 415: 512.
- PASCUAL, J. i BUSTO, M., 2010. Observació de la Temperatura de l'aigua del mar a l'Estartit. Informe intern SMC, area climatologia.
- PUIGSERVER, M., ALONSO, S., LORENTE, J., LLASAT, M.C., REDAÑO, A., BURGUEÑO, A., VILAR, E. (1986): Preliminary aspects of rainfall rates in the north east of Spain. *Theoretical and Applied Climatology* **37**: 97–109.
- SANTAMARÍA, J., PARRILLA, A., MENÉNDEZ, M., TÉMEZ, J. R., ARDILES, L., ESTRELA, T., FERRER, M. i FERRER, J. (1999): *Máximas lluvias diarias en la España peninsular*. Ministerio de Fomento, Dirección General de Carreteras. pp. 55.
- SERVEI METEOROLÒGIC DE CATALUNYA (2012): *Butlletí Climàtic de l'Any 2011*. Dpt. De Territori i Sostenibilitat. Generalitat de Catalunya. On line: [http://www20.gencat.cat/docs/meteocat/Continguts/Climatologia/Butlletins%20i%20resums%20climatic%20anuals/2011/Butlleti\\_climatic%202011.pdf](http://www20.gencat.cat/docs/meteocat/Continguts/Climatologia/Butlletins%20i%20resums%20climatic%20anuals/2011/Butlleti_climatic%202011.pdf)
- SINGH, V.P. i GUO, H. (1995): Parameter estimation for 3-parameter generalized pareto distribution by the principle of maximum entropy (POME). *Hidrological Sciences –Journal-des Sciences Hydrologiques*, 40, pp 18.
- SOLAIMAN, T.A. i SIMONOVIC, S.P. (2011): *Development of Probability Based Intensity - Duration - Frequency Curves under Climate Change*. The University of Western Ontario, Dept. Of Civil and Environmental Engineering, London, Ontario, Canada. pp 94.
- STORCH, H. i ZWIERS, F. W. (1999): *Statistical Analysis in Climate Research*. Cambridge University Press, pp 484.
- TÉMEZ, J. (1978): *Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. Dirección General de Carreteras. Madrid. España. pp. 111.
- TORAN, J. i ALBERTO HERRERAS, J. (1977): Las Grandes Presas en el Desarrollo de los Recursos Hidráulicos. La Experiencia Española. *Revista de Obras Pública*, 124 (3144): 259-266.
- VÀZQUEZ, R., REDAÑO, A. i LORENTE, J. (1987): Curvas IDF. Barcelona-Fabra. *Revista de Obras Públicas*, 134, (3255): 91- 102.
- VICENTE-SERRANO, S.M., BEGUERÍA, S., LÓPEZ-MORENO, J.I., EL KENAWY, A.M. i ANGULO, M. (2008): Daily atmospheric circulation events and extreme precipitation risk in Northeast Spain: the role of the North Atlantic Oscillation, Western Mediterranean Oscillation, and

Mediterranean Oscillation. *J Geophys. Res.*, 194, vol. 14, D08106, pp 19, doi:  
10.1029/2008JDG11492

WILKS, D. S. (2006): *Statilcal Methods in the Atmospheric Sciences*. Second Edition.  
International Geophysics Series, 59. pp 627.

Web oficial de l'Observatori Ebre: <http://www.obsebre.es/php/noticia.php?idnoticia=23>.

[Pàgina](#)

## 8 Apèndix A: Programari Tractament de dades

### A.1 Registre Minutal

A continuació es presenta el codi generador del registre minutal dels observatoris de l'Ebre i l'Estartit. S'ha fet servir el mateix codi per ambdues estacions únicament modificant les comandes necessàries per al correcte funcionament, modificant el nom dels arxius de dades d'entrada i sortida.

El programa s'executa separatament per a cada estació. Llegeix els arxius de dades, guardats en un directori segons el format descrit al apartat 2.1. El programa descompon el nom del arxiu, amb el qual es determina la data del registre de precipitació que conté. Un cop conegudes totes les dates en que hi ha registre de precipitació, busca si hi ha dates consecutives, tant per dies anteriors com posteriors, delimitant l'esdeveniment de precipitació i sense repetir l'ús de cap arxiu. A continuació, i començant pel primer arxiu del esdeveniment, temporalment ordenats, pren com inicialització de les variables la primera línia del arxiu. A partir d'aquesta parella de valors, buscarà l'instant de temps en que s'ha acumulat 0.1mm respecte el valor inicial de precipitació, repetint el procés per a cada valor guardat fins al final del arxiu. Si hi ha més d'un valor de precipitació acumulada durant el mateix minut, s'eliminen els primers registres d'aquest minut, guardant només l'últim valor, d'aquesta manera s'obté el registre acumulat en increments minutals. Per tal d'evitar problemes derivats del registre de precipitació inicial s'han incorporat algunes modificacions que milloren el resultat – eliminació d'increments de temps negatius–. Finalment, es calcula i guarda la precipitació registrada en cada minut, restant els valors de precipitació acumulada coherentment. Aquest procés es repeteix per a cada banda digitalitzada del esdeveniment, i per a cada esdeveniment de la sèrie.

---

```
Attribute VB_Name = "Mòdul01"  
Sub minutal()  
Attribute minutal.VB_ProcData.VB_Invoke_Func = " \n14"  
,  
,  
' minutal Macro  
,  
  
' Definició de variables vectorials, dates y cadenes  
' '' Es defineixen com double per al correcte funcionament  
Dim tiempo(1 To 20000) As Double  
Dim precipitacion(1 To 20000) As Double  
Dim file As String  
Dim instante(1 To 2000) As Double  
Dim ppt(1 To 2000) As Double  
Dim t(1 To 2000) As Double  
Dim tt(1 To 2000) As Double  
Dim p(1 To 2000) As Double  
Dim archivos(1 To 10000) As Date
```

```
Dim fecha As Date
Dim fecha_nueva As Date
Dim evento(1 To 100) As Date
Dim dia As String
Dim mes As String
Dim ano As String
Dim an As String
Dim r As Double      ' Per evitar errors a les condicions if
Dim x As Double      ' definim el nombre amb les mateixes propietats
    x = 0.1
'''' Directoris, lectura del directori que conté les dades i
fitxer de sortida
directorio = "R:/npz/Registro_estartit/"
salida = directorio + "registro_estartit.txt"
Open salida For Append As #2
directorio_datos = "R:/npz/Registro_estartit/Datos Estartit/"
file = Dir("R:/npz/Registro_estartit/Datos Estartit/*.*",
vbReadOnly)
num_archivos = 0

'''''' Lectura de tots els arxiu del directori de dades
'''''' Guarda la data de cada arxiu a "ARCHIVOS"
num_archivos = 1
While file <> ""
dia = Mid(file, 2, 2)
mes = Mid(file, 4, 2)
an = Mid(file, 6, 3)
If Mid(an, 1, 1) = 9 Then
ano = "1" + an
Else
ano = "2" + an
End If
fecha = ano + "/" + mes + "/" + dia
archivos(num_archivos) = fecha
file = Dir
num_archivos = num_archivos + 1
Wend

'''''' BUCLE PER A TOTS ELS ARXIUS DEL DIRECTORI DE DADES
'''''' Primer busca les dates que són consecutives:
'''''' els valors de dates que són consecutius es canvien a 0,
'''''' d'aquesta manera no es tornarà a fer servir el mateix
arxiu
For jj = 1 To num_archivos - 1
If archivos(jj) <> 0 Then
sig = DateAdd("d", 1, archivos(jj))
ant = DateAdd("d", -1, archivos(jj))
num_sig = 0
num_ant = 0
    For k = jj + 1 To num_archivos
        If archivos(k) = sig Then
            sig = DateAdd("d", 1, sig)
            num_sig = num_sig + 1
            archivos(k) = 0
        ElseIf archivos(k) = ant Then
```

```
    ant = DateAdd("d", 1, ant)
    num_ant = num_ant + 1
    archivos(k) = 0
End If
Next

'''''''' es guarden totes les dates consecutives a "EVENTOS"
For k = 1 To num_sig + num_ant + 1
    If k <= num_ant Then
        evento(k) = DateAdd("d", -num_ant + k - 1, archivos(jj))
    ElseIf k = num_ant + 1 Then
        evento(k) = archivos(jj)
    ElseIf k > num_ant + 1 Then
        evento(k) = DateAdd("d", k - num_ant - 1, archivos(jj))
    End If
Next
long_evento = k
archivos(jj) = 0

'''' BUCLE PER A CADA DIA DEL ESDEVENIMENT
'''' Es crea el nom del arxiu a partir de la data
For l = 1 To long_evento - 1
    dia = Day(evento(l))
    mes = Month(evento(l))
    ano = Year(evento(l))
    an = ano - 1000
    If an >= 1000 Then
        an = an - 1000
        an = "00" + an
    End If
    If dia < 10 And mes < 10 Then
        file = "b0" + dia + "0" + mes + an + ".dat"
    ElseIf dia < 10 And mes >= 10 Then
        file = "b0" + dia + mes + an + ".dat"
    ElseIf dia >= 10 And mes < 10 Then
        file = "b" + dia + "0" + mes + an + ".dat"
    Else
        file = "b" + dia + mes + an + ".dat"
    End If

'''' Lectura del arxiu
archivo = directorio_datos + file
num_archivos = num_archivos + 1
If file = "b0101002.DAT" Then
    num_valores = 1
    num_lineas = 1
    Open archivo For Input As #1
        '''' BUCLE PARA CADA LINEA DEL ARXIU
        While Not EOF(1)
            Line Input #1, mivariable
            longitud = Len(mivariable)
            If longitud < 20 Then
                separo = Split(mivariable, vbTab) '' Separació tabuladors
                a = UBound(separo) '' longitud de la linea
                If a = 1 Then
```

```
tiempo(num_lineas) = separo(0)
precipitacion(num_lineas) = separo(1)
Else
ActiveCell.Value = "no funciona"
ActiveCell.Offset(0, 1).Activate
ActiveCell.Value = file
ActiveCell.Offset(1, -1).Activate
End If
Else
separo = Split(mivariable, vbTab)
a = UBound(separo)
If a = 0 Then ''' Separació espais
separo = Split(mivariable, " ")
a = UBound(separo)
If a = 2 Then
tiempo(num_lineas) = separo(1)
precipitacion(num_lineas) = separo(2)
ElseIf a = 3 Then
tiempo(num_lineas) = separo(2)
precipitacion(num_lineas) = separo(3)
ElseIf a = 1 Then
separo = Split(mivariable, " ")
a = UBound(separo)
tiempo(num_lineas) = separo(1)
precipitacion(num_lineas) = separo(2)
Else
ActiveCell.Value = "no funciona"
ActiveCell.Offset(0, 1).Activate
ActiveCell.Value = file
ActiveCell.Offset(1, -1).Activate
End If
End If
End If
num_lineas = num_lineas + 1
Wend
Close #1
''' GUARDEM ALGUNS VALORS DE CADA ARXIU
num_lineas = num_lineas - 1
ActiveCell.Value = evento(1)
ActiveCell.Offset(0, 1).Activate
ActiveCell.Value = tiempo(1)
ActiveCell.Offset(0, 1).Activate
ActiveCell.Value = precipitacion(1)
ActiveCell.Offset(0, 1).Activate
ActiveCell.Value = tiempo(num_lineas)
ActiveCell.Offset(0, 1).Activate
ActiveCell.Value = precipitacion(num_lineas)
ActiveCell.Offset(1, -4).Activate

k = 1
instante(k) = tiempo(1)
ppt(k) = precipitacion(1)
k = k + 1

'''' BUCLE PER A CADA LINIA DEL ARXIU
```



```

''' es busca quan el valor de precipitació ha augmentat 0.1mm o
més
''' sense que el temps vagi enrera

```

```

For i = 1 To num_lineas
r = Round(ppt(k - 1) + x, 2)
  If Round(precipitacion(i), 2) >= r Then
    If tiempo(i) > instante(k - 1) Then

      instante(k) = Round(tiempo(i), 4)
      ppt(k) = Round(precipitacion(i), 2)
      k = k + 1
    End If
  End If
Next

'''' BUCLE PER A CADA VALOR QUE HA AUGMENTAT 0.1mm O MAS
'''' Si els valor esta registrat al mateix minut es guarda el
darrer
'''' d'aquell minut
'''' recordar que es treballa amb precipitació acumulada
j = 1
For i = 2 To k - 1
  hora_1 = Int(instante(i))
  hora_2 = Int(instante(i - 1))
  minuto_1 = Int(((instante(i) - Instante(i)) * 60))
  minuto_2 = Int(((instante(i - 1) - Instante(i - 1)) *
60))
  If hora_1 = hora_2 And minuto_1 = minuto_2 Then
    If j > 1 Then
      j = j - 1
    End If
    t(j) = hora_1
    tt(j) = minuto_1
    p(j) = ppt(i)
    j = j + 1
  Else
    t(j) = hora_1
    tt(j) = minuto_1
    p(j) = ppt(i)
    j = j + 1
  End If
Next

'''' GUARDEM EL REGISTRE GENERAT
preci = ppt(1)
For i = 1 To j - 1
  x = Round(p(i) - preci, 2)
  Print #2, evento(1), t(i), tt(i), x
  preci = p(i)
Next

x = 0.1
Next

```

```
End If
Next
'
Close #2
End Sub
```

---

## A.2 Sèrie de Dades per a cada Durada

Un cop generat el registre minutal, es crea la sèrie de dades per a cada durada, segons les consideracions descrites a l'apartat 2.2. El programa s'executa, novament, de forma independent per a cada estació.

En primer lloc, llegeix l'arxiu creat amb el programa *registre\_nomestació.bas*, i per a cada durada repetirà el procés que es descriu a continuació. Es determina l'inici i el final d'un esdeveniment segons la durada considerada (apartat 2.2), dins d'aquest període de registre buscarà la precipitació màxima acumulada durant la durada considerada. Aquest valor màxim es guarda, indicant la durada considerada, la data i l'hora d'inici de l'esdeveniment.

A continuació es presenta el codi implementat en Visual Basic.

---

```
Attribute VB_Name = "Mòdul02"

Sub Macro3()
Attribute Macro3.VB_ProcData.VB_Invoke_Func = " \n14"
'
' Macro3 Macro
'
' '''' SÈRIE DE DADES
Dim dia(1 To 75812) As Date
Dim hora(1 To 75812) As Double
Dim minuto(1 To 75812) As Integer
Dim ppt(1 To 75812) As Double
Dim durada(1 To 32) As Integer
Dim posicion(1 To 30000) As Long
Dim x(1 To 5) As String

For i = 1 To 32
    If i <= 24 Then
        durada(i) = i * 5
    Else
        durada(i) = 180 * (i - 24)
    End If
Next

directorio = "R:/Registro_estartit/"
file = directorio + "registro_estartit.txt"
salida = directorio + "Serie_Datos_Estartit.txt"
Open salida For Append As #2
i = 1
```

```
Open file For Input As #1
While Not EOF(1)
  Line Input #1, mivariable
  separo = Split(mivariable, " ")
  a = UBound(separo)  ''' longitud de la línia
  If a >= 4 Then
    k = 1
    For j = 0 To a
      If separo(j) <> "" Then
        x(k) = separo(j)
        k = k + 1
      End If
    Next
    dia(i) = x(1)
    hora(i) = x(2)
    minuto(i) = x(3)
    ppt(i) = x(4)
    i = i + 1
  Else
    ActiveCell.Value = "no lee"
  End If
Wend
Close #1

num_lineas = i - 1
For j = 1 To 32
  posicion(1) = 0
  'posicion(1) = 13405  '''Per depurar
  num_episodios = 2
  For i = 1 To num_lineas - 1
    'If dia(i) = "05/01/2003" Or dia(i) = "06/01/2003" Then
    sig = DateAdd("d", 1, dia(i))
    If dia(i) = dia(i + 1) Then
      separacion = (hora(i + 1) - hora(i)) * 60 + (minuto(i + 1) -
minuto(i))
      If separacion > durada(j) Then
        posicion(num_episodios) = i
        num_episodios = num_episodios + 1
      End If

    ElseIf sig = dia(i + 1) Then
      separacion = (hora(i + 1) + 24 - hora(i)) * 60 + (minuto(i + 1)
- minuto(i))
      If separacion > durada(j) Then
        posicion(num_episodios) = i
        num_episodios = num_episodios + 1
      End If
    Else
      posicion(num_episodios) = i
      num_episodios = num_episodios + 1
    End If
  ' End If
  Next
  acum = 0
  acum_max = 0
```

```
posicion(num_episodios) = num_lineas
  For i = 1 To num_episodios - 1
    If dia(posicion(i) + 1) = dia(posicion(i + 1)) Then
      duracion = (hora(posicion(i + 1)) - hora(posicion(i) + 1)) * 60 +
        (minuto(posicion(i + 1)) - minuto(posicion(i) + 1))
      y = 0
    Else
      y = DateDiff("d", dia(posicion(i) + 1), dia(posicion(i + 1)))
      duracion = (hora(posicion(i + 1)) + 24 * y - hora(posicion(i) + 1))
        * 60 + (minuto(posicion(i + 1)) - minuto(posicion(i) + 1))
    End If

    If duracion >= durada(j) Then
      For k = posicion(i) + 1 To posicion(i + 1)
        acum = ppt(k)
        For l = k + 1 To posicion(i + 1)
          If dia(l) = dia(k) Then
            duracion_2 = (hora(l) - hora(k)) * 60 + (minuto(l)
- minuto(k))
          Else
            duracion_2 = (hora(l) + 24 - hora(k)) * 60 +
(minuto(l) - minuto(k))
          End If
          If duracion_2 <= durada(j) - 1 Then
            acum = acum + ppt(l)
          Else
            Exit For
          End If
        Next
        If acum > acum_max Then
          acum_max = acum
        End If
        acum = 0
      Next
      Print #2, durada(j), dia(posicion(i) + 1), hora(posicion(i)
+ 1), acum_max
      acum_max = 0
    Else
      For k = posicion(i) + 1 To posicion(i + 1)
        acum_max = acum_max + ppt(k)
      Next
      Print #2, durada(j), dia(posicion(i) + 1), hora(posicion(i)
+ 1), acum_max
      acum_max = 0
    End If
  Next
Next
'
Close #2
End Sub
```

---

## 9 Apèndix B: Programari Estadístic

### B.1 Selecció del Llindar de Precipitació

A continuació es mostra el conjunt de comandes usades a R per tal de determinar el llindar de precipitació per a cada durada (*Apartat 2.3.3*). Aquest mateix codi s'ha fet servir per ambdues estacions, modificant les dades necessàries, com el nom del arxiu d'entrada, el nombre d'anys de la sèrie, o el codi i el nom de l'estació.

El programa llegeix l'arxiu que conté la sèrie de dades de precipitació màxima. A continuació, selecciona les dades per una durada i les ordena convenientment per tal de calcular la probabilitat donada per la funció de Weibull. Segons el nombre de dades obtingudes per aquesta durada, es calcula la probabilitat corresponent a un període de retorn de 0.5 anys. Aquesta valor, es busca al vector que conté les probabilitats de Weibull, i si no es troba el valor exacte el programa interpola linealment amb els dos valors més propers. El valor obtingut, serà el llindar de precipitació de la durada considerada, a partir del qual els valors de la sèrie es faran servir per a la determinació de les corbes IDF.

Cal fer notar que les gràfiques i dades presentades s'han obtingut ampliant i manipulant aquest programa.

---

```
#####  
#### Busqueda del llindar per a periode de retorno de 0.5 anys  
  
##### DEFINICIÓN VARIABLES Y LECTURA DE ARCHIVOS  
setwd("R:/IDF_ebre/");  
getwd();  
datos <- read.table("Serie_Datos_Ebre.txt", header = F);  
#los lee bien? mostrar linea 1  
print(datos[1,])  
setwd("R:/IDF_Ebre/Umbral_Ebre/");  
getwd();  
directori<-getwd()  
  
name <- "Observatori Ebre"  
anos <- 98  
per <- 0.5  
duracion <- seq (5, 120, 5);  
for (i in 1:8){duracion[i+24]<-7.5*24*i};  
codigo <- "Ebre"  
  
##### VALORES PARA LA REPRESENTACIÓN  
n <- length (duracion);  
vec <- vector(length=n)  
num_filas <- dim(subset (datos, datos[,1] == 5))[1]  
data <- matrix(nrow=num_filas, ncol=32)  
intensi <- vector(length=num_filas)  
intensidades <- matrix(nrow=196, ncol=32)  
sortida <- matrix(nrow=33, ncol=6)  
sortida[1,]<-c("Durada", "Prob 0.5anys", "Llindar_PPT","Ordre p",  
"n_esdev", "n_serie")
```

```

for (i in 1:n) {
  #Selecció serie de dades de cada duració
  bloque <- subset (datos, datos[,1] == duracion[i])
  #S'ordena de major a menor
  bloqueordenado <- with (bloque, bloque[order(bloque[,4], decreasing
= T),] )
  #Es guarda la variable precipitació
  inten <- bloqueordenado[4]
  ni <- dim(inten)[1] # numero de eventos en duracion i

#####
uno <- 1:ni          ##Vector d'ordre
pweibul <- uno/(ni+1) ##Probabilitat Empirica
inten<-inten$V4      ##Vector de dades
p <- anos/(per*ni)   ##Probabilitat de T=0.5anys

##### #ES BUSCA LA POSICIÓ QUE OCUPA AQUESTA PROB. PER DONAR EL
LLINDAR
position <- which.min(abs(pweibul-p))
position2 <- position+1
pweibul[position:position2]
inten[position:position2]
pendiente <- (inten[position]-inten[position2])/(pweibul[position]-
pweibul[position2])
indep <- inten[position]-pendiente*pweibul[position]
umbral <- round(pendiente*p+indep,2)

serie <- subset(bloqueordenado, bloqueordenado[,4] >= umbral)
n_eventos <- dim(serie)[1]

sortida[i+1,] <- c(duracion[i], p, umbral, position, n_eventos, ni)
}
nom_arxiu <- paste(directori, "/llindar_05_", codigo, ".dat",
sep="")
write.table(sortida, file = nom_arxiu)

```

## B.2 Selecció de la Funció de Distribució

Tot seguit es presenta el codi utilitzat per a la selecció de la funció de distribució, emprat per a les dues estacions, novament, realitzant les modificacions necessàries pel correcte funcionament.

El programa busca els paràmetres per a cada distribució i calcula la precipitació esperada per a cada període de retorn. També determina la precipitació esperada per a la probabilitat de Weibull i així calcular els valors del test de Kolmogorov - Smirnov i del RMSE. Per tal de poder fer servir les dades resultants es salven aquelles que ens puguin interessar. Novament, s'han fet representacions gràfiques que no es mostren al codi, perquè s'han anat escollint durant l'execució.

```
##### Selecció de la funció de distribució
##### DEFINICIÓ VARIABLES Y LECTURA D'ARXIU
setwd("R:/IDF_Ebre");
getwd();
datos <- read.table("Serie_Datos_Ebre.txt", header = F, sep = "");
setwd("R:/IDF_Ebre/Ebre_curvas");
fil <- getwd()

per <- c(1, 2, 5, 10, 15, 25, 50, 100);
duracion <- seq(5, 120, 5);
for (i in 1:8){duracion[i+24]<-7.5*24*i};

# coeficiente de pearson a partir de asimetria
w <- seq(-0.2, 1.6, 0.00001)
g <- round(2*(1-w)*(1+2*w)^(1/2)/(1+3*w),4)

codigo <- "Ebre"
name <- "Observatori Ebre"
anos <- 96

RSME <- matrix(nrow=length(duracion),ncol=4)
kolmo <- matrix(ncol=4,nrow=32)
matrizlog <- matrix(nrow=length(duracion), ncol=8)
matrizgamma <- matrix(nrow=length(duracion), ncol=8)
pea <- matrix(nrow=length(duracion), ncol=8)
matrizpareto <- matrix(nrow=length(duracion), ncol=8)
parametros <- matrix(nrow=3, ncol=length(duracion)+1)
parametros[1,] <- c("Durada", duracion)
parametros[2:3,1] <- c("Mitjana", "Desviació Est.")
parametrosgama <- matrix(nrow=3,
ncol=length(duracion)+1)
parametrosgama[1,] <- c("Durada", duracion)
parametrosgama[2:3,1] <- c("alfa", "beta")
param <- matrix(nrow=4, ncol=length(duracion)+1)
param[1,] <- c("Durada", duracion)
param[2:4,1] <- c("Mitjana", "Desviació Est.",
"Asimetria")
parampareto <- matrix(nrow=4, ncol=length(duracion)+1)
parampareto[1,] <- c("Durada", duracion)
parampareto[2:4,1] <- c("shape", "scale", "location")

for (i in 1:n) {

    bloque <- subset (datos, datos[,1] == duracion[i])
    bloqueordenado <- with (bloque, bloque[order(bloque[,4],
decreasing = T),] )
    int <- bloqueordenado$V4[1:196]
    ni <- length(int)

##### MOMENTS DE LA SÈRIE: MITJANA, VARIANÇA, DESVIACIÓ,
ASIMETRIA
m <- mean(int)
```

```

v <- var(int)
d <- sqrt(v[1])
N <- ni/((ni-1)*(ni-2))
x <- ((int-m)/d)^3
asimetria <- round(N*sum(x), 4) # Descargar paquete e1017??

p <- anos/(per*ni)
f <- 1-p

##### # DISTRIBUCIÓ GAMMA
alfa <- m^2/v
beeta <- v/m
intgamma <- qgamma(f, alfa, 1/beeta)
# # GUARDAR PARAMETROS Y INTENSIDADES ESPERADAS GAMMA
arxiu <- paste(fil, "/intesidad_gamma_", codigo, ".dat",
sep="")
matrizgamma[i,] <- intgamma
write.table(matrizgamma, file = arxiu)
parametrosgama[2:3,i+1] <- c(alfa, beeta)
arxiu <- paste(fil, "/parametros_gamma_", codigo, ".dat",
sep="")
write.table(parametrosgama, file = arxiu)

##### # DISTRIBUCIÓ LOG-NORMAL
intlog <- log(int)
mlog <- mean(intlog)
dlogg <- var(intlog)
dlog <- sqrt(dlogg)
intlognorr <- qlnorm(f, mlog, dlog)

##### GUARDAR PARÁMETROS Y INTENSIDADES ESPERADAS LOG-NORMAL
arxiu <- paste(fil, "/intensidad_lognor_", codigo, ".dat",
sep="")
matrizlog[i,] <- intlognor
write.table(matrizlog, file = arxiu)
arxiu <- paste(fil, "/parametros_lognor_", codigo, ".dat",
sep="")
parametros[2:3,i+1] <-
c(round(mlog,3),round(dlog,3))
write.table(parametros, file = arxiu)

##### DISTRIBUCION PEARSON
z <- qnorm(f)
cs <- asimetria/6
des <- z+(z^2-1)*cs+1/3*(z^3-6*z)*cs^2-(z^2-1)*cs^3+z*cs^4+1/3*cs^5
intpearson <- des*d + m
# # GUARDAR PARAMETROS Y INTENSIDAD ESPERADA PEARSON
arxiu <- paste(fil, "/intensidad_pearson_", codigo, ".dat",
sep="")
pea[i,] <- intpearson
write.table(pea, file = arxiu)
arxiu <- paste(fil, "/parametros_pearson_", codigo, ".dat",
sep="")
param[2:4, i+1] <- c(m, d, asimetria)
write.table(param, file = arxiu)

```



```
##### DISTRIBUCIÓN GENERALIZADA DE PARETO
position <- (1:length(g))[g==asimetria]
if(length(position)==0)position <-
(1:length(g))[round(g,3)==round(asimetria,3)]
a <-mean(w[position])
b <- sqrt(v*(1+a)^2*(1+2*a))
cc <- m-b/(1+a)
intpareto <- cc+b/a*(1-(1-f)^a)
  # # GUARDARA PARAMETROS Y INTENSIDAD ESPERADA DE PARETO
  arxiu <- paste(fil,"/intensidad_pareto_", codigo, ".dat",
sep="")
      matrizpareto[i,] <- intpareto
      write.table(matrizpareto, file = arxiu)
  arxiu <- paste(fil,"/parametros_pareto_", codigo, ".dat",
sep="")
      parampareto[2:4, i+1] <- c(a, b, cc)
      write.table(parampareto, file = arxiu)

##### RMSE - KS-TEST
#####

##DISTRIBUCIÓ DE WEIBULL: calculem la probabilitat de la
distribució empírica
uno <- 1:ni
pweibul <- uno/(ni+1)

##### INTENSITAT ESPERADAD PER A CADA VALOR SEGONS LA DISTRIBUCIÓ
cgamma <- qgamma( (1-pweibul), alfa, 1/beeta)
clognor <- qlnorm( (1-pweibul), mlog, dlog)
cpareto <- cc+b/a*(1-(1-(1-pweibul))^a)

zz <- qnorm((1-pweibul))
dess <- zz+(zz^2-1)*cs+1/3*(zz^3-6*zz)*cs^2-(zz^2-
1)*cs^3+zz*cs^4+1/3*cs^5
cpearson <- dess*d + m

RSME[i,1] <- sqrt(1/ni*(sum((int-cgamma)^2)))
RSME[i,2] <- sqrt(1/ni*(sum((int-clognor)^2)))
RSME[i,3] <- sqrt(1/ni*(sum((int-cpearson)^2)))
RSME[i,4] <- sqrt(1/ni*(sum((int-cpareto)^2)))
arxiu <- paste(fill, "RMSE_dist", "_", codigo, ".dat", sep="")
write.table(RSME, file=arxiu)

k1<-ks.test(int, plnorm, mlog, dlog)
k2<-ks.test(int, pgamma, alfa, 1/beeta)
k3<-ks.test(int, cpearson)
k4<-ks.test(int, cpareto)
kolmo[i,]<-c(k2$statistic,k1$statistic,k3$statistic,k4$statistic)
arxiu <- paste(fil, "/D_kolmo",codigo,".dat", sep="")
write.table(kolmo, arxiu)
}
```

### B.3 Corbes IDF

Un cop seleccionada la funció de distribució a partir dels resultats obtinguts fins al moment, es pot continuar amb l'ajust de les corbes IDF.

El següent codi mostra l'ajust als quatre models IDF estudiats per a cada període de retorn (*apartat 2.4.1*). Segons la funció de distribució escollida haurem de modificar el codi convenientment, per tal que llegeixi les dades de precipitació del arxiu desitjat. El programa també calcula el coeficient de correlació i el valor del RMSE per a cada ajust (*apartat 2.4.2*). Finalment, es mostra el codi utilitzat per a la representació gràfica de les corbes IDF presentades.

---

```
### Definició de variables i lectura de dades
setwd("R:/IDF_Ebre/Ebre_curvas");
pareto <- read.table("intensidad_pareto_Ebre.dat", header = T)

per <- c(1, 2, 5, 10, 15, 25, 50, 100);
duracion <- seq (5, 120, 5);
for (i in 1:8){duracion[i+24]<-7.5*24*i};

codigo <- "Ebre"
name <- "Observatori Ebre"
anos <- 96
fil=getwd()
n=32
matriz <- pareto/duracion
colores <- c("blue","green","orange", "purple", "red", "violet",
"skyblue", "darkgrey")
periodo_retorno <- c("T = 1 any", "T = 2 anys", "T = 5 anys", "T =
10 anys", "T = 15 anys", "T = 25 anys", "T = 50 anys", "T = 100
anys")

mena <- c("1","1","1","1","1","1","1","1")

###----- CURVAS IDF -----
#####
####
# # # # AJUST A 4 MODELS:

trama <- c(1:1440)

# # MATRIUS DE SORTIDA:
salida <- matrix(nrow= 11, ncol=4)
salidos <- matrix(nrow= 11, ncol=n)
correla <- matrix(nrow=8, ncol=5)
modeloA<- matrix (nrow = length(trama), ncol = 8)
modeloB<- matrix (nrow = length(trama), ncol = 8)
modeloC<- matrix (nrow = length(trama), ncol = 8)
modeloD <- matrix(nrow=length(trama), ncol=8)
repres<- matrix(ncol=8, nrow=1440)
```

```

RMSE_idf <- matrix(ncol=5, nrow=8)

for (i in 1:length(per)){
##-----
### FUNCIO A: Talbot

inicial <- list(aa=1, bb=1)
ajuste <- nls(matriz[,i] ~ aa/(bb+duracion), start=inicial)
parametr <- round(coef(ajuste),3)
formul <- parametr[1]/(parametr[2]+trama)
          formul <- parametr[1]/(parametr[2]+duracion)
          sumariol <- summary(ajuste)
          paral <- sumariol[10]
modeloA[,i]<-formul

##-----
##### AJUST FUNCIO B: Bernard
inicial <- list(aa=10, dd=0.5)
ajuste <- nls(matriz[,i] ~ aa/(duracion)^dd, start=inicial)
parametr <- round(coef(ajuste),3)
formul <- parametr[1]/(trama)^parametr[2]
          formu2 <- parametr[1]/(duracion)^parametr[2]
          sumario2 <- summary(ajuste)
          para2 <- sumario2[10]
modeloB[,i]<-formul
##-----
##### AJUST FUNCIO C: Sherman
inicial <- c(aa=1, bb=10, dd=0.5)
fallo <- tryCatch(ajuste<- nls(matriz[,i] ~ aa/(bb+duracion)^dd,
start=inicial), error=function(err) return(1))

if (is.numeric(fallo) == T) inicial<-c(aa=10, bb=10, dd=0.5)
fallo <- tryCatch(ajuste <- nls(matriz[,i] ~ aa/(bb+duracion)^dd,
start=inicial), error=function(err) return(1))

if (is.numeric(fallo) == T) inicial<-c(aa=20, bb=10, dd=0.5)

ajuste <- nls(matriz[,i] ~ aa/(bb+duracion)^dd, start=inicial)
parametr <- round(coef(ajuste),3)
formul <- parametr[1]/(parametr[2]+trama)^parametr[3]
modeloC[,i]<- formul
          formu3 <- parametr[1]/(parametr[2]+duracion)^parametr[3]
          sumario3 <- summary(ajuste)
          para3 <- sumario3[10]

##-----
##### AJUST FUNCIO D: Chow
inicial <- list(aa=1, bb=1, dd=0.5)
fallo <- tryCatch(ajuste<- nls(matriz[,i] ~ aa/(bb+duracion^dd),
start=inicial), error=function(err) return(1))

if (is.numeric(fallo) == T) inicial<-c(aa=10, bb=10, dd=0.5)
ajuste <- nls(matriz[,i] ~ aa/(bb+duracion^dd), start=inicial)
parametr <- round(coef(ajuste),3)

```

```

formul <- parametr[1]/(parametr[2]+trama^parametr[3])
formu4 <- parametr[1]/(parametr[2]+duracion^parametr[3])
sumario4 <- summary(ajuste)
para4 <- sumario4[10]
modeloD[,i] <- formul
##-----

# # GUARDA ELS PARÀMETRES DELS AJUSTOS
# # Cada quatre columnas és un període de retorn diferent:
# # estimació del paràmetre//error estàndard//valor de t//P(t>T)
# # Per filas s'han escrit cadascun dels ajustos:
# # 2 files per Talbot, 2 files per Bernard
# # 3 files per Sherman i 3 files per Chow
salida <- rbind(per[i], para1$coefficients, para2$coefficients,
para3$coefficients, para4$coefficients)
salidos[1:11,((i-1)*4+1):(i*4)] <- salida
arxiu <- paste(fil, "/parametros_IDF_", codigo, ".dat", sep="")
write.table(salidos, file=arxiu)

# # CÀLCUL DEL COEFICIENT DE CORRELACIÓ

r1 <- round(cor(formul, matriz[,i], method="pearson"),5)
r2 <- round(cor(formu2, matriz[,i], method="pearson"),5)
r3 <- round(cor(formu3, matriz[,i], method="pearson"),5)
r4 <- round(cor(formu4, matriz[,i], method="pearson"),5)

# Guardem el coeficient de correlació
# A cada fila hi ha un període de retorn, a cada columna cadascun
dels métodos
correla[i,] = c(per[i], r1, r2, r3, r4)
arxiu <- paste(fil, "/coef_correlacion_idf_", codigo, ".dat",
sep="")
write.table (correla, file = arxiu)

RMSE_idf[i,1] <- sqrt(1/32*(sum((formul-matriz[,i])^2)))
RMSE_idf[i,2] <- sqrt(1/32*(sum((formu2-matriz[,i])^2)))
RMSE_idf[i,3] <- sqrt(1/32*(sum((formu3-matriz[,i])^2)))
RMSE_idf[i,4] <- sqrt(1/32*(sum((formu4-matriz[,i])^2)))
arxiu <- paste(fil, "RMSE_IDF_", codigo, ".dat", sep="")
write.table(RMSE_idf, file=arxiu)
next
}
# REPRESENTACIÓ LOGARÍTMICA
## model Sherman:

matplot(duracion, matriz, log="x", pch=1, col=colores, xlab="Durada
(min)", ylab="Intensitat (mm/min)", xlim=c(1,1440),
ylim=c(0,max(modeloC)))
matlines(trama, modeloC, log="x", col=colores, lty=rep(1,8))
legend (60, modeloC[1,8], periodo_retorno, pch=rep(16,8),
col=colores, title="F.Distribució")
legend (280, modeloC[1,8], periodo_retorno, lty=rep(1,8),
col=colores, title="Model IDF")
title(main= c("Model IDF Sherman", "Observatori Ebre"))

```

```
## model de Bernard
matplot(duracion, matriz, log="x", pch=1, col=colores, xlab="Durada
(min)", ylab="Intensitat (mm/min)", xlim=c(1,1440),
ylim=c(0,max(modeloB)))
matlines(trama, modeloB, log="x", col=colores, lty=rep(1,8))
legend(60, modeloB[1,8], periodo_retorno, pch=rep(16,8),
col=colores, title="F.Distribució")
legend(280, modeloB[1,8], periodo_retorno, lty=rep(1,8),
col=colores, title="Model IDF")
title(main= c("Model IDF Bernard", "Observatori Ebre"))

## model de Sherman sense observacions
matplot(trama, modeloC, log="x", col=colores, type="l", lty=1,
xlab="Durada (min)", ylab="Intensitat (mm/min)")
legend(280, modeloC[1,8], periodo_retorno, lty=rep(1,8),
col=colores, title="Model IDF")
title(main=c("Model IDF Sherman", "Observatori Ebre"))
```

---

#### B.4 Generalització de les Corbes IDF

Finalment, es presenten les comandes emprades per a la generalització de les corbes IDF.

En aquest cas s'haurà de llegir l'arxiu que conté les dades de precipitació de la funció de distribució escollida i l'arxiu amb els paràmetres obtinguts per l'ajust al models IDF. Del darrer arxiu calculem el valor promig dels paràmetres  $b$  i  $c$  de l'equació de Sherman, per tal de realitzar l'ajust a aquest model IDF mantenint-los constants, i trobar el paràmetre  $a$  en funció del període de retorn (*apartat 2.4.3.1*). Amb aquests valors d' $a$  es practiquen els ajustos potencial i exponencial, calculant el coeficient de correlació i fent la representació en cada cas.

La generalització a dos paràmetres esta al mateix codi. Ara es manté el paràmetre  $c$  constant i es fa l'ajust al model de Sherman dels paràmetres  $a$  i  $b$  (*apartat 2.4.3.2*). Es mostra el codi per practicar l'ajust exponencial dels paràmetres i la seva representació amb el càlcul del coeficient de correlació.

Per a les dues generalitzacions s'ha calculat el coeficient de correlació i el RMSE per a cada període de retorn de les corbes IDF generalitzades.

---

```
##### GENERALITZACIÓ DE LES CORBES IDF
#####

datos <- read.table
("R:/IDF_Ebre/Ebre_curvas/intensidad_pareto_Ebre.dat", header = T);
per <- c(1, 2, 5, 10, 15, 25, 50, 100);
duracion <- seq(5, 120, 5);
for (i in 1:8){duracion[i+24]<-7.5*24*i};
datos<-datos/duracion
```

```

####valors mitjans
parametros <-
read.table("R:/IDF_Ebre/Ebre_curvas/parametros_IDF_Ebre.dat",
header=T);
b <- vector(length=8)
c <- vector(length=8)
for (i in 1:8){
b[i]<-parametros[7, (i-1)*4+1]
c[i]<-parametros[8, (i-1)*4+1]
}
mediab<-round(mean(b),1)
mediac<-round(mean(c),3)
print(mediab)
print(mediac)
#####
####Ajust amb b i c mitjans per determinar a
ajustA<-matrix(ncol=4, nrow=8)
ajustA[,1]<-per
aa <-matrix(nrow=8, ncol=1)
erroraa <-matrix(nrow=8, ncol=1)
correlacion <-matrix(nrow=8, ncol=1)

for (i in 1:8)
{
inicial <- list(a=1)
ajuste <- nls(datos[,i] ~ a/(mediab+duracion)^mediac,
start=inicial)
aa[i]<-summary(ajuste)$coefficients[1]
erroraa[i]<-summary(ajuste)$coefficients[2]
formu<-aa[i]/(mediab+duracion)^mediac
correlacion[i]<-round(cor(formu, datos[,i], method="pearson"),4)
}
ajustA[,2]<-aa
ajustA[,3]<-erroraa
ajustA[,4]<-correlacion
write.table(ajustA,
file="R:/IDF_Ebre/Generalizacion_Ebre/Gen_ajusteA.dat")
#####

####Ajust logarítmic de a amb T
inicial <- list(x=1, y=1)
ajuste <- nls(aa ~ x*log(per)+y, start=inicial)
xx<-summary(ajuste)$coefficients[1]
yy<-summary(ajuste)$coefficients[2]
formu<-xx*log(per)+yy
correlacion<-round(cor(formu, aa, method="pearson"),6)
k1<-xx
k2<-yy

jpeg ("R:/IDF_Ebre/Generalizacion_Ebre/Log_a.jpg")
plot(log(per),aa, main=c("Observatori Ebre", "Dependència
logarítmica d'a"), ylab="a(mm)", xlab="log(T)")
lines(log(per), xx*log(per)+yy, col="blue")
dev.off()
trama<- (1:1440)

```

```

lineas<-matrix(ncol=8, nrow=32)
for (i in 1:8)
{
lineas[,i]<-formu[i]/(mediab+duracion)^mediac
}

###Ajust potencial de a amb T
loga <- log(aa)
inicial <- list(x=1, y=1)
ajuste <- nls(loga ~ x*log(per)+y, start=inicial)
xx<-summary(ajuste)$coefficients[1]
yy<-summary(ajuste)$coefficients[2]
formu<-xx*log(per)+yy
correlacion<-round(cor(formu, loga, method="pearson"),4)

jpeg ("R:/IDF_Ebre/Generalizacio_Ebre/Pot_a.jpg")
plot(log(per),loga, main=c("Observatori Ebre", "Dependència
potencial d'a"), ylab="log(a)", xlab="log(T)",
ylim=c(min(loga),max( xx*log(per)+yy)))
lines(log(per), xx*log(per)+yy, col="blue")
dev.off()

coef<-c(1,1,1,1,1,1,1,1)
for (i in 1:8){
coef[i]<-cor(lineas[,i],datos[,i],method="pearson")
}

RMSE_log=vector(length=8)
for(i in 1:8){
RMSE_log[i]<- sqrt(1/32*sum((lineas[,i]-datos[,i])^2))
}

#####Dependència dos paràmetres
plot(log(per),b, type="p",ylab=" b (min)", xlab="log(T)", main=c("b
en vers del Logaritme del Període de Retorn", "Observatori Ebre"))

#### Ajust d'a i b amc c constant
formu <- matrix(nrow=32, ncol=8)
A <- vector(length=8)
B <- vector(length=8)
erA <- vector(length=8)
erB <- vector(length=8)
RMSE_dos <- vector(length=8)
for(i in 1:8)
{
inicial <- list(AA=10, BB=1)
ajuste <- nls(datos[,i] ~ AA/(BB+duracion)^mediac, start=inicial)
A[i] <- summary(ajuste)$coefficients[1]
B[i] <- summary(ajuste)$coefficients[2]
formu[,i]<- A[i]/(B[i]+duracion)^mediac
erA[i] <- summary(ajuste)$coefficients[1,2]
erB[i] <- summary(ajuste)$coefficients[2,2]
correlacion[i]<-round(cor(formu[,i], datos[,i],
method="pearson"),4)
RMSE_dos[i]<-sqrt(1/32*sum((formu[,i]-datos[,i])^2))
}

```

```

}
plot(log(per),A, m="Parameter a")
plot(log(per),B, m="Parameter b")
#####Exonencial
inicial=list(a1=10, a2=1)
ajuste <- nls(A~a1*log(per)+a2, start=inicial)
a1<-summary(ajuste)$coefficients[1]
a2<-summary(ajuste)$coefficients[2]
formul <- a1*log(per)+a2
correl <- cor(formul, A, method="pearson")
print(correl)
plot(log(per),A, m="Ajust Exponencial d'a",xlab="log(T)", ylab="a
(mm)", ylim=c(min(formul), max(A)))
lines(log(per), formul, col="blue")
#####Potencial
inicial=list(a1=10, a2=1)
ajuste <- nls(log(A)~a1*log(per)+a2, start=inicial)
a1<-summary(ajuste)$coefficients[1]
a2<-summary(ajuste)$coefficients[2]
formul <- exp(a2)*per^a1
correl <- cor(formul, A, method="pearson")
print(correl)
plot(log(per), log(A), main="Ajust Potencial d'a", xlab="log(T)",
ylab="log(a)", ylim=c(min(log(A)),max(log(formul))))
lines(log(per), log(formul), col="blue")

#####Exponencial
inicial=list(b1=10, b2=1)
ajuste <- nls(B~b1*log(per)+b2, start=inicial)
b1<-summary(ajuste)$coefficients[1]
b2<-summary(ajuste)$coefficients[2]
formul <- b1*log(per)+b2
correl <- cor(formul, B, method="pearson")
print(correl)
plot(log(per),B, m="Ajust Exponencial de b", xlab="log(T)", ylab="b
(min)",ylim=c(min(formul),max(formul)))
lines(log(per), formul,col="blue")
#####Potencial
inicial=list(b1=10, b2=1)
ajuste <- nls(log(B)~b1*log(per)+b2, start=inicial)
b1<-summary(ajuste)$coefficients[1]
b2<-summary(ajuste)$coefficients[2]
formul <- exp(b2)*(per)^b1
correl <- cor(formul, B, method="pearson")
print(correl)
plot(log(per),B, m="Ajust Potencial de b",
ylim=c(min(formul),max(formul)), xlab="log(T)", ylab="log(b)")
lines(log(per), formul,col="blue")

formula<- matrix(nrow=32,ncol=8)
for (i in 1:8)
{
##formula[,i] <-
(a1*log(per[i])+a2)/(b1*log(per[i])+b2+duracion)^mediac

```



```
formula[,i] <-  
(exp(a2)*per[i]^a1)/(exp(b2)*per[i]^b1+duracion)^mediac  
}  
  
coef<-c(1,1,1,1,1,1,1,1)  
for (i in 1:8){  
coef[i]<-cor(formula[,i],datos[,i],method="pearson")  
}  
RMSE_gen_dos <-c(1,1,1,1,1,1,1,1)  
for (i in 1:8){  
RMSE_gen_dos[i]<-sqrt(1/32*sum((formula[,i]-datos[,i])^2))  
}
```

---