

- CAPÍTOL 3 -

- LES CONDICIONS CLIMATOLÒGIQUES II-

1. LIMITACIÓ PER LES TEMPERATURES EXTREMES

1.1. Els efectes de les temperatures mínimes

La temperatura és la variable climàtica la influència de la qual sobre les plantes cultivades és més complexa i difícil de modificar.

Mentre que l'aspecte perjudicial de la sequera pot ésser totalment eliminat pels oportuns regs, les temperatures extremes són pràcticament impossibles de combatre d'una forma rendible i efectiva. Per tant, és de gran importància econòmica estudiar, amb el major detall possible, els efectes previsibles de la temperatura ambiental sobre les plantes cultivades.

En general, es diu que es produeix **gelada** quan el termòmetre descendeix a zero graus o menys. Per regla general, si durant la nit la velocitat del vent fou nul·la o escassa, si el cel va estar clar i si la humitat de l'aire fou suficient, es produeix en aquest cas sobre la gespa i altres objectes de la superfície del sòl un dipòsit de gel blanc, que s'anomena **gebre** (gebrada) o **gelada blanca**. Quan manca alguna de les tres condicions anomenades, no té lloc el dipòsit de gel, no hi ha gebre. Amb tot això, l'agricultor s'adona més tard que el termòmetre baixà més enllà de zero graus, que hi hagué realment gelada, perquè els òrgans tendres de les plantes, en morir per efecte de la baixa temperatura, agafen una coloració enfosquida¹. Per a la producció de gebre, no és necessari que el termòmetre baixi a zero graus, sinó que només cal que baixi a aquesta temperatura la superfície dels objectes o de les plantes del sòl, encara que la temperatura de l'aire a certa alçada permaneixi marcadament sobre aquest límit. Segons això, de no ser que l'aire estigui molt sec o molt agitat, sempre que s'enregistri una gelada, es produirà gebre; però no sempre que es registri gebre s'haurà produït gelada.

¹Això explica per què, en aquest cas, la gelada es designa amb el nom de **gelada negra**.

Essent els sucus vegetals solucions típicament aquoses, el seu punt de congelació està situat per sota de zero graus i, conseqüentment, es necessita una temperatura inferior a aquest punt de congelació perquè es produeixi gel a l'interior de les plantes. Però el dany que en les plantes conreuades pot produir una gelada varia segons tres condicions principals: 1a, segons sigui l'espècie i la varietat considerada; 2a, segons l'estat de la vegetació; repòs, brotació, floració, etc.; 3a, segons els òrgans vegetals considerats: fulles, flors, fruits, etc.

Les gelades poden ser de tardor, d'hivern o de primavera. Les de tardor o hivern, si bé poden perjudicar alguns conreus de collita tardana, com la vinya, la canya de sucre i determinats fruiters com els cítrics entre d'altres, no són tan temibles com les de la primavera, per tenir lloc en l'època en què els vegetals inicien la seva activitat fisiològica. A l'hivern sols són de témer les gelades excepcionalment intenses, ja que si arriben a un cert límit provoquen la mort de tota la planta².

Considerant el que passa al món, respecte al conreu dels cereals, lli, tubercles, fruiters i vid, es comprova que les gelades més perjudicials per a l'agricultura són les que es produeixen a la primavera, raó per la qual, se les anomena "tardanes". I és que en aquesta època, les plantes surten del terra o broten, floreixen o bé comencen el desenvolupament dels seus fruits, i precisament els brots tendres, les flors i els fruits són els òrgans vegetals més sensibles al fred. Les gelades, doncs, són tant més danyoses quan més tardana és l'època en la qual es produeixen.

Examinem ara, amb cert deteniment, els danys de les gelades, particularment en els arbres fruiters, per ésser els vegetals més exposats a aquest assot tradicional de l'home del camp. En primer lloc, aquests danys difereixen notòriament segons l'època en què es produeixen i l'estat de vegetació en el qual es troben les plantes. Així, a ple hivern i a finals d'aquest, quan comencen a inflar-se les gemes, poden aquestes suportar 10, 15 i encara 20 gelades consecutives sense que els vegetals experimenten cap dany. Sols quan les gemes, després d'inflar-se, comencen a mostrar els seus pètals rosats, si la temperatura arriba a $-3,8^{\circ}\text{C}$, poden destruir-se aquests en major o menor nombre, i, com a conseqüència d'això, afectar la collita en la proporció corresponent.

Avançada l'època i ja a la primavera, té lloc la floració. Com que les flors són més delicades que les gemes, solen quedar destruïdes amb les gelades de $-2,2^{\circ}\text{C}$, en proporció a la intensitat del descens de la temperatura. Amb tot, no falten flors, con les de la noguera, vinya i olivera, que resulten ja afectades en baixar les temperatura a $-0,6^{\circ}\text{C}$.

²Així, per exemple, la figuera mor quan la temperatura de l'aire descendeix fins a 14° o 15° sota zero (94-PUIG, 1941).

Parlant en general, vegem que els danys de les gelades durant aquest període no revesteixen molta gravetat, ja que, trobant-se les flors en diferents estats de la seva evolució, unes tancades, altres obertes, altres ja fecundades i amb el petit fruit quallat, només una part d'elles es destrueix, i com, per regla general, el nombre de flors sol ésser excessiu amb relació als fruits que la planta pot sustentar, es produeix la pèrdua d'aquestes flors, la qual cosa determina un aclariment "natural" de fruits, sense majors conseqüències per a la collita (94-PUIG, 1941).

En el període de creixement dels fruits, els efectes de les gelades solen ésser greus, ja que per a l'ametller, cirerer, prunera i perera, només calen temperatures de $-1,1^{\circ}\text{C}$; per al presseguer i pomera $-1,6^{\circ}\text{C}$ i, per a l'albercoquer $-0,6^{\circ}\text{C}$. Aquí tenim la llista de les temperatures crítiques que, pel fred, afecten als diferents ordres de plantes segons les dades del "FRUIT FROST SERVICE" dels Estats Units. A saber:

QUADRE Núm.: 3.1.
TEMPERATURES CRÍTiques PER ALS DIFERENTS ORDRES DE PLANTES, SEGONS LES DADES DEL "FRUIT FROST SERVICE".

| FRUITER | Gemes tancades | En flor | Fruits petits |
|-------------|----------------|----------------|----------------|
| Ametller | $-3,3^{\circ}$ | $-2,7^{\circ}$ | $-1,1^{\circ}$ |
| Presseguer | $-3,8^{\circ}$ | $-3,3^{\circ}$ | $-1,6^{\circ}$ |
| Albercoquer | $-3,8^{\circ}$ | $-2,2^{\circ}$ | $-0,6^{\circ}$ |
| Cirerer | $-3,8^{\circ}$ | $-2,2^{\circ}$ | $-1,1^{\circ}$ |
| Prunera | $-3,8^{\circ}$ | $-2,2^{\circ}$ | $-1,1^{\circ}$ |
| Perera | $-3,8^{\circ}$ | $-2,2^{\circ}$ | $-1,1^{\circ}$ |
| Pomera | $-3,8^{\circ}$ | $-2,2^{\circ}$ | $-1,6^{\circ}$ |
| Noguera | ---- | $-0,5^{\circ}$ | ---- |
| Olivera | ---- | $-0,5^{\circ}$ | ---- |
| Vinya | $-1,1^{\circ}$ | $-0,6^{\circ}$ | ---- |

FONT: Fruit Frost Service.

No es cregui, tanmateix, que el fred sigui sempre perjudicial per a les plantes conreuades. Recents estudis han demostrat el efectes de vegades beneficiosos. Vegem ara com i fins a quin punt. Segons creença generalment acceptada, els arbres i arbusts dels països d'hiverns rigorosos amb gelades duraderes o repetides, es dormen, sota la influència del fred, i en temps primaveral desperten i creixen. Però, les experiències del nord-americà COVILLE³, donen a entendre que ambdues idees són errònies.

³Extret de la publicació de Ignacio Puig *El problema de las Heladas*, 19.

En efecte, està actualment comprovat que els arbres i els arbusts es dormen abans de l'arribada de l'hivern. Segons això, el fred no es necessari per a produir en els vegetals una letargia completa. Després d'haver començat aquest "somni", no és suficient amb exposar les plantes a una temperatura suau per tal de fer-les créixer de nou. Per últim, les plantes no recobren els seu creixement natural, si no han estat abans exposades al fred.

Els arbres i els arbusts hivernants, que han estat durant dos o tres mesos subjectes al fred, ja a l'exterior, ja en un recinte refredat artificialment, recobren el seu creixement normal a la primavera. Però, si s'han mantingut en el seu lloc calent durant tot l'hivern, continuen dormint durant setmanes, mesos i fins i tot un any, i quan tornen a créixer, el seu creixement és anormal. Una d'aquestes plantes de llarg somni pot, tanmateix, recobrar els seu creixement, encara que passat un any, si se la sotmet a un període variable de fred. La temperatura més favorable per a dur a terme aquesta operació és la de 0° a 5°C, ja estiguin les plantes exposades a la llum, ja a la foscor (94-PUIG, 1941).

Durant el refredament, s'observen en la planta canvis importants. El midó de les cèl.lules es transforma en sucre, i sols en aquest moment la planta pot utilitzar les seves reserves i tornar a créixer regularment; a més, aquesta transformació del midó en sucre crea una elevada pressió osmòtica. Certes glàndules de secrecions ensucrades, anomenades "nectaris extraflorals", són considerades com a vàlvules de seguretat, en cas d'excessiva pressió interna, que podria arribar a trencar les cèl.lules.

Aquesta influència del fred en el creixement dels arbres i arbusts de les comarques de latitud més elevada constitueix un mitjà de protecció de la major importància per aquestes plantes. En efecte: si únicament la calor provoqués el creixement, es posarien les plantes a créixer a la tardor, i en el moment en que una ona de calor succeeix els primers freds de la tardor, les reserves acumulades durant l'estiu -necessàries per tal d'assegurar a la primavera següent un vigorós creixement- es gastarien prematurament, i la planta correria greu perill durant l'hivern de migrar-se i fins i tot, de morir.

Després d'aquestes consideracions es desprèn quant interessant és per a tots els que es preocupen del millorament de les pràctiques agrícoles en general, i hortofrutícoles en particular, el fet que s'ampliïn aquestes investigacions sobre els efectes beneficiosos del fred sobre les plantes. En especial, és important determinar les temperatures òptimes per a la conservació de les diverses classes de llavors, bulbs i empelts, i les temperatures més convenientes per al tractament de les plantes en conreus forçats amb objecte d'obtenir el seu desenvolupament fora de temps (94-PUIG, 1941).

Les baixes temperatures hivernals produeixen efectes molt diferents segons l'espècie vegetal de la qual es tracti i també segons l'estat fisiològic de la planta. Les temperatures inferiors a 0°C produeixen danys als agris, més intensos quant major sigui la seva persistència, però es considera que són necessàries temperatures inferiors a -2°C perquè aquests perjudicis siguin sensibles. Als fruiters de fulla caduca, la resistència al fred es troba estretament relacionada amb els processos de maduració i enduriment, però es pot generalitzar que a l'hivern els pomers i guinders poden suportar temperatures fins -34°C sense grans perjudicis, les pereres, els cirerers i les pruneres fins -29°C, i els presseguers i els albercoquers suporten, també sense grans deficiències, temperatures mínimes fins a -26°C.

Endemés les temperatures altes hivernals poden causar danys econòmics a les plantacions fruiteres ja que, perquè es produeixi una floració normal, no n'hi ha prou amb l'arribada de les temperatures primaverals, sinó que cal que la planta hagi estat prou sotmesa a l'acció del fred. Abans d'establir una plantació fruitera, doncs, cal conèixer amb la major precisió possible si l'acció del fred hivernal serà suficient o no per a garantir una producció normal.

Els òrgans florals i els brots joves són molt sensibles a les temperatures baixes, d'aquí que les gelades primaverals siguin generalment nefandes per a les plantes cultivades. Temperatures entre 0°C i -3°C durant mitja hora, en període de plena floració, poden produir deficiències sensibles. Així, els òrgans joves de la vinya resisteixen durant mitja hora -0'5°C, l'ametller -2'7°C, el presseguer -2'5°C i l'albercoquer -2'8°C. Els fruiters joves no solen resistir temperatures inferiors a -2°C durant més de mitja hora.

Nogensmenys, quan les plantes ja han satisfet les seves exigències en fred, és precís que es cobreixin certes necessitats de calor per tal que arribin a florir normalment, existint una estreta relació entre la temperatura mitjana diària en el període immediatament anterior a la floració i la seva data. L'estudi de les temperatures primaverals és imprescindible per a determinar les dates de plena floració i, així, per tal de seleccionar les varietats fruiteres que han d'efectuar la polinització creuada (fecundació alògama) en els casos en què aquesta és de menester.

Les pèrdues d'aigua, directament del sòl per evaporació i indirectament mitjançant les plantes per transpiració, estan estretament relacionades amb la temperatura. D'aquí que sigui important, per als cultius de secà, l'estudi de les temperatures, amb la finalitat de determinar les disponibilitats hídriques de les plantes. De totes les

qüestions fins aquí exposades, es desprèn la necessitat peremptòria de l'estudi de les condicions tèrmiques de la zona sota els següents aspectes:

- a) Temperatures mínimes hivernals.
- b) Fred hivernal.
- c) Temperatures primaverals.
- d) Freqüència de les gelades primaverals.
- e) Evapotranspiració potencial i real.
- f) Temperatures màximes estiuenques.

Per a la realització d'aquests estudis, disposem de les temperatures màxima, mínima i mitjana diàries enregistrades durant 24 anys a l'Observatori de l'Ebre (Roquetes), des de l'any 1959 al 1982, ambdós inclosos, com tindrem ocasió de comprovar a l'epígraf següent 1.3.

1.2. Temperatures mínimes hivernals. Períodes de retorn

A la regió de l'Ebre, concretament a les comarques del Baix Ebre i Montsià, té un especial interès el conreu dels cítrics de diferents varietats, com es pot observar en els darrers anys. Ara bé, el risc de danys per acció del fred als agres és bastant elevat i, per tal de quantificar aquest risc de la forma més acurada possible, hem estudiat els períodes de retorn o recurrència de les temperatures mínimes absolutes de la zona.

S'anomena *període de retorn* d'una determinada temperatura mínima, el nombre mitjà d'anys que han de transcórrer perquè es produeixi una sola vegada una temperatura mínima anyal igual o inferior a la dita. És a dir, si t_p és la temperatura mínima anyal corresponent a un període de retorn de n anys, significarà que, per terme mitjà, es dona una temperatura inferior o igual a t_p una vegada cada n anys. La funció de distribució teòrica de probabilitat més utilitzada, per la bonesa dels seus resultats, per estudiar els valors extrems de les variables meteorològiques, és la funció de Gumbel, que es detalla a continuació.

Al Quadre Núm.: 3.2. es recullen resumidament els resultats dels càlculs corresponents, a saber:

QUADRE Núm.: 3.2.
PERÍODES DE RETORN PER A LES TEMPERATURES MÍNIMES

| Període de retorn (anys) | Temperatures mínimes (t_p) (Observatori de l'Ebre) | Probabilitats |
|-----------------------------|---|---------------|
| 3 | -1'85°C | 0'67 |
| 4 | -2'42°C | 0'75 |
| 5 | -2'75°C | 0'80 |
| 10 | -3'67°C | 0'90 |
| 15 | -4'11°C | 0'93 |

FONT: Observatori de l'Ebre i elaboració pròpia.

Si tenim en compte que temperatures de -2°C durant algunes hores poden produir danys sensibles a les collites d'agris, amb les conseqüents disminucions de producció, i que fins i tot a -6°C comencen a gelar-se els brots, podem afirmar que, en termes probabilístics, es poden produir danys econòmics apreciables a les plantacions d'agres en un de cada quatre anys, mentre que s'haurà d'esperar més de 15 anys per a la producció de deficiències considerables als arbres (21-CAROT, 1971).

1.3. Càlcul dels períodes de retorn

1.3.1. METODOLOGIA

La funció teòrica de distribució de Gumbel ve donada per la formulació:

$$p = e^{-e^y} \quad (1)$$

Expressa una relació de quantia-freqüència, en la qual p és la probabilitat que la temperatura mínima anual sigui superior a un cert valor t_p . Per tant, $1-p$ serà la probabilitat del succés contrari o complementari, o sigui, que la temperatura mínima anual sigui menor o igual a t_p . La variable y és una variable intermitja, i e és la base dels logaritmes neperians o naturals ($e = 2'7182818284\dots$).

De fet, pot succeir que només es disposi dels registres de temperatura corresponents a una curta sèrie cronològica d'anys, la qual cosa no permet de conèixer, per altres procediments iteratius, les temperatures mínimes corresponents a períodes de retorn superiors al nombre d'anys coneguts de la sèrie històrica. Per això pot ésser d'interès recórrer a mètodes com el que es desenvolupa a continuació.

Si a un nombre suficientment gran d'anys N s'han donat V vegades una temperatura mínima absoluta anyal inferior o igual a t_p , es complirà que:

$$1-p \approx V/N$$

i com el període de retorn corresponent a t_p és:

$$n = N/V$$

es compleix que: $1-p \approx 1/n$, d'on:

$$n \approx 1/(1-p)$$

Per tant, de fixar el període de retorn n , podem deduir p mitjançant l'expressió aproximada:

$$1-p = 1/n \quad ; \quad p = 1 - 1/n = (n-1)/n .$$

Prenent logaritmes naturals a l'equació inicial (1), obtindrem:

$$\begin{aligned} \ln p &= -e^{-y} = -\frac{1}{e^y} \quad ; \quad e^y = -\frac{1}{\ln p} \quad ; \\ y &= \ln\left(\frac{-1}{\ln p}\right) = \ln\left(\frac{1}{-\ln p}\right) = -\ln(-\ln p) = -\ln\left(\ln\frac{1}{p}\right) = \operatorname{coln}(\operatorname{coln} p) \end{aligned} \quad (2)$$

El valor t_p es calcula mitjançant la següent fórmula:

$$t_p = \bar{t} - S_t K$$

essent:

\bar{t} = valor mitjà de les temperatures mínimes anyals.

S_t = desviació típica o "standard" mostral de les temperatures mínimes anyals.

$K = \frac{|\bar{y} - y|}{S_y}$ a la qual:

y ve donada per l'equació (2)

y és la mitjana dels valors: $y_i = -\ln\left(\ln\frac{n+1}{i}\right)$, $\forall i = \{ 1, 2, \dots, n \}$

S_y és la desviació típica dels valors anteriors y_i (desviació quadràtica mitjana, típica o "standard" de la mostra).

1.3.2. CÀLCUL DELS PERÍODES DE RETORN PER A LES TEMPERATURES MÍNIMES ANYALS

1.3.2.1. Període d'estudi de les dades meteorològiques

Quan es disposa de les observacions corresponents a una llarga sèrie d'anys, es planteja sovint el problema de seleccionar-ne un període determinat per a l'estudi de les dades meteorològiques que es pretenen.

Existeixen nombrosos estudis sobre la periodicitat del clima, sense que s'hagi arribat a un acord definitiu sobre el tema, que ha estat objecte de moltes teories, de vegades, i fins i tot, discrepants.

Una d'aquelles teories estableix que el clima presenta una pseudo-periodicitat amb cicles d'onze anys de durada, que és, així mateix, el període de les taques solars, les quals, pel que sembla, exerceixen una forta influència vers el clima del nostre planeta. Cal, però, estudiar el tema més acuradament.

Fa alguns anys el meteoròleg anglès C. EASTON⁴ va cridar l'atenció sobre alguns resultats obtinguts per ell en un estudi estadístic de les temperatures d'hivern a l'Europa occidental. Valent-se de les dades recollides per la història va fer remuntar les seves investigacions fins a l'any 760 de l'era cristiana, i en aquesta sèrie de 1.157 hiverns (760-1916) va trobar molt evident una periodicitat de 44,5 i 89 anys, que en alguna circumstància va ésser força notable⁵.

Dividint, doncs, cadascun dels 13 períodes de 89 anys en quatre parts de poc més de 22 anys, i anotant el nombre d'hiverns freds i rigorosos de cadascuna d'aquestes parts, s'obtingueren els resultats agrupats en un quadre de les característiques del QUADRE Núm.: 3.3. I així, resulta una gran escassetat del fred en l'últim subperíode considerat (68-89), ja que solament ascendeixen a 11 els hiverns freds i a 2 els rigorosos entre 286 hiverns analitzats. Els dos hiverns rigorosos d'aquest quart subperíode pertanyen als segles XIV i XV, respectivament (94-PUIG, 1941).

En els segons subperíodes, corresponents als anys 23-45 del període general, hi ha 22 hiverns freds i 7 rigorosos; en els primers subperíodes dels anys 1-22 del període general, s'enregistraren 30 hiverns freds i 12 rigorosos; i en els tercers subperíodes dels anys 46-67

⁴Extret de la publicació de Ignacio Puig *El problema de las Heladas*, 19.

⁵Per cert que després d'aquest descobriment, EASTON va voler comparar les dades històriques de l'últim període de 89 anys recollits per ell mateix, amb els enregistrats a la mateixa època pels Observatoris de París (França) i d'Utrecht (Holanda); la seva concordança va ésser perfecta i, va donar fonament científic a tota la sèrie històrica o cronològica.

s'enregistrà el nombre màxim d'hiverns freds i d'hiverns rigorosos, 31 i 17 respectivament. De tot això resulta que, per terme mitjà, hi ha un sol hivern molt fred o rigorós durant els darrers 22 anys de cada període de 89 anys; mentre que poden esperar-se 3 o 4 hiverns semblants a cadascun dels primers i tercers intervals de 22 anys, i 2 en el segon. Així doncs, la probabilitat que l'últim quart període dels 89 anys, contingui menor nombre d'hiverns freds que els intervals dels 22 anys precedents i següents és de 0'88 (88%).

Aquí tenim la llista completa d'hiverns freds (F) i rigorosos (R), dels anys 760 a 1916, segons les investigacions realitzades per EASTON:

QUADRE Núm.: 3.3.

LLISTA D'HIVERNS FREDS I RIGOROSOS DES DE L'ANY 760 FINS A L'ANY 1916 .

| Períodes de 89 anys | Períodes de 22,25 anys | | | | | | | |
|---------------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1-22 | | 23-45 | | 46-67 | | 68-89 | |
| | F | R | F | R | F | R | F | R |
| 760-848 | 1 | (1) | 0 | (0) | 1 | (1) | 0 | (0) |
| 849-937 | 1 | (1) | 1 | (1) | 2 | (1) | 2 | (0) |
| 938-1026 | 2 | (1) | 1 | (0) | 3 | (1) | 1 | (0) |
| 1027-1115 | 3 | (1) | 2 | (0) | 2 | (2) | 1 | (0) |
| 1116-1204 | 3 | (1) | 2 | (1) | 2 | (1) | 0 | (0) |
| 1205-1293 | 5 | (2) | 1 | (1) | 3 | (1) | 1 | (0) |
| 1294-1382 | 2 | (1) | 3 | (1) | 2 | (0) | 1 | (1) |
| 1383-1471 | 3 | (0) | 2 | (1) | 3 | (2) | 2 | (1) |
| 1472-1560 | 1 | (0) | 2 | (1) | 2 | (0) | 1 | (0) |
| 1561-1649 | 2 | (1) | 2 | (0) | 2 | (2) | 0 | (0) |
| 1650-1738 | 4 | (1) | 1 | (1) | 3 | (1) | 0 | (0) |
| 1739-1827 | 1 | (1) | 3 | (0) | 4 | (3) | 1 | (0) |
| 1828-1916 | 2 | (1) | 2 | (0) | 2 | (2) | 1 | (0) |
| TOTAL | 30 | (12) | 22 | (7) | 31 | (17) | 11 | (2) |
| MITJANA | 2'3 | (0'9) | 1'7 | (0'5) | 2'4 | (1'3) | 0'8 | (0'2) |

FONT: Ignacio Puig. Observatorio de San Miguel. Argentina.

Ja a l'any 1905, EASTON havia manifestat que, conforme a les seves estadístiques, podia esperar-se una sèrie d'hiverns benignes en general fins a 1916, i que l'any 1917 marcaria el principi d'un nou període d'hiverns més freds. Pot considerar-se com una mera casualitat el fet que l'hivern de 1916-1917 hagués estat el primer vertaderament fred a quasibé tota l'Europa occidental; no obstant això, aquest canvi en el règim del temps fou en perfecta concordança amb les anteriors prediccions (94-PUIG,1941).

Per diferents camins va pretendre EASTON cercar la causa d'aquestes oscil·lacions periòdiques dels hiverns, encara que sense cap resultat satisfactori. El nombre 22, però, va fer-li sospitar la relació íntima existent amb anàlogues fluctuacions de l'activitat solar, que són d'uns 11 anys, com ja hem vist. Això creia EASTON quan va dir que l'increment d'aquesta activitat correspon, en general, amb fred d'hivern més dur i més freqüent a l'Europa occidental que d'ordinari; i, recíprocament, l'esmoreïment i retard de l'activitat solar solia coincidir amb el predomini d'hiverns més moderats. A partir de l'any 1828, els vuit subperíodes de 22 anys, fins a l'any 2005, es distribuïren de la manera següent (agrupant-los per parelles distanciades temporalment en 88 anys):

| | |
|-------------|-----------------------------|
| 1r.- | 1828-1850; 1917-1939 |
| 2n.- | 1851-1872; 1940-1961 |
| 3r.- | 1873-1894; 1962-1983 |
| 4t.- | 1895-1916; 1984-2005 |

En relació amb les Illes Orcadas, els grans freds dels anys 1912 i 1915 cauen dintre del 4t subperíode al qual, entre 286 hiverns, sols corresponen dos hiverns rigorosos; en canvi, els tres hiverns rigorosos dels anys 1928, 1929 i 1930 cauen dins del primer subperíode de 22 anys, que en l'hemisferi nord és de gran freqüència d'hiverns rigorosos. A Buenos Aires i a Córdoba (Argentina) foren excepcionalment freds els anys 1872, 1888-1892, 1908 i 1922: aquest anys queden inclosos en els subperíodes de 22 anys de la següent forma: l'any 1872 pertany al 2n subperíode, que és de pocs hiverns rigorosos; els anys 1888-1892 pertanyen al 3r subperíode, que és de molt hiverns rigorosos; l'any 1908 pertany al 4t subperíode, que és de pocs hiverns rigorosos; per últim, l'any 1922 pertany al 1r subperíode, que és de molts hiverns rigorosos. Per aquesta anàlisi dels hiverns argentins, difícilment es podria arribar a les conclusions d'EASTON: però això pot ésser degut al reduït nombre d'anys considerats a l'estudi.

El professor J. JAGSICH⁶, en un prolix estudi sobre la temperatura mitjana, la pressió i la humitat de Buenos Aires i de Córdoba, a partir de l'any 1856, conclou que les corbes representatives d'aquests fenòmens ens ensenyen que en cap element meteorològic es perfila l'existència d'un període d'onze anys manifest, com correspondria si l'activitat solar, per mitjà de les taques, fàcules, etc., exercís una influència decisiva sobre el temps a Argentina. A judici del professor JAGSICH, aquest país està situat ja fora dels límits de la regió tropical, dins de la qual pot ésser comprovada la influència solar amb suficient i expressiva claredat.

⁶Vegeu l'article titulat *Métodos sencillos para el propósito de la intensidad de las heladas*, aparegut al diari "La Prensa" de Buenos Aires el 6 de gener de 1935.

Però, si hem de creure el mateix autor, apareix en tots els elements meteorològics i, per tant, també a la temperatura, i en tots els llocs analitzats, amb una nitidesa admirable, un període de 15 anys poc més o menys. Aquest seria, en conseqüència, un període que, junt amb el període de 3,5 anys, determina els trets característics del clima de l'Argentina a través dels anys. La causa d'aquest període, ja descobert pel professor A. WAGNER⁷ de la Universitat d'Innsbruck, a Àustria, no residiria en el sol, si més no en les característiques geogràfiques del globus terrestre. El seu centre d'irradiació seria l'immens continent asiàtic, com també ho són els deserts del Sàhara i d'Australia, per al període de 3,5 anys.

Per tal de trobar els períodes majors que, segons tota probabilitat, afecten el temps a l'Argentina, i en particular la temperatura mitjana de l'aire, donant la sensació d'un creixement continuat de la mateixa, va continuar les seves investigacions el professor J.JAGSICH⁸ formant períodes de 20 anys. La representació gràfica dels valors obtinguts li va fer sospitar de l'existència d'una gran ona o cicle, d'uns 90 anys de durada (període d'Easton), com també s'adonà de la presència d'una altra ona més curta i menys pronunciada, amb una duració mitjana d'uns 35 anys (període de Brücker)⁹.

És curiós, al respecte, observar els anells concèntrics de creixement anyal dels troncs dels arbres centenaris: els més gruixosos corresponen als anys més plujosos, i els especialistes en Dendrocronologia poden estudiar la climatologia d'una determinada regió, fins i tot d'èpoques prehistòriques, ajudats en la seva tasca pels troncs trobats a les ruïnes de ciutats ja desaparegudes. Als anells sembla trobar-se, efectivament, una periodicitat en els seus gruixos de creixença, que podrien coincidir amb els períodes d'onze anys de la freqüència de les taques solars, als quals ens hem referit abans.

Fonamentat en aquesta teoria, un criteri molt utilitzat és el de considerar períodes mínims d'11 anys per a l'estudi de les dades meteorològiques, encara que és preferible estudiar períodes múltiples d'11, com ara 22, 33, 44 anys, etc.¹⁰

En el nostre cas, hem estudiat un període de 24 anys, (2×12), compresos entre l'any 1959 i el 1982, puix que disposàvem d'aquestes dades de gran fiabilitat, tot sense perjudici d'altres consideracions operatives que se'n puguin fer al respecte.

⁷Extret de la publicació de Ignacio Puig *El problema de las Heladas*, 19.

⁸Vegeu l'article titulat *Factores que determinan la intensidad de las heladas*, publicat al diari "La Prensa" de Buenos Aires, el 18 de novembre de 1934.

⁹Es pot veure el llibre *El problema de las heladas* 19, del Director de l'Observatori de San Miguel de l'Argentina D. IGNACIO S.J. PUIG.

¹⁰Es pot veure el llibre *Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos*, de D. F. PIZARRO.

1.3.2.2. Temperatures mínimes absolutes anyals (N=24 anys)

Hem elaborat el següent quadre o taula:

QUADRE Núm.: 3.4.
TEMPERATURES MÍNIMES ABSOLUTES ANYALS
(N=24 anys).

| ANY (1) | OBSERVATORI DE L'EBRE (2) | Dia (3) | Coefficient de ponderació (4) =(2)-2'8 | Núm.:Ordre (5) |
|------------|---------------------------------|-------------|--|-------------------|
| 1959 | -0'2 | 18-I | -3'0 | (59) |
| 1960 | -1'8 | 11-I | -4'6 | (52) |
| 1961 | -0'9 | 21-XII | -3'7 | (31) |
| 1962 | -3'5 | 25-XII | -6'3 | (35) |
| 1963 | -2'8 | 2-II/25-XII | -5'6 | (74,35) |
| 1964 | -1'4 | 9-III | -4'2 | (109) |
| 1965 | -0'9 | 25-XI | -3'7 | (5) |
| 1966 | 1'8 | 21-XI | -4'6 | (1) |
| 1967 | -1'4 | 11-I | -4'2 | (52) |
| 1968 | 1'7 | 31-I | -1'1 | (72) |
| 1969 | -1'9 | 2-I | -4'7 | (43) |
| 1970 | -3'7 | 25-XI | -6'5 | (35) |
| 1971 | -2'9 | 5-I | -5'7 | (46) |
| 1972 | -1'1 | 31-I | -3'9 | (72) |
| 1973 | -1'5 | 3-XII | -4'3 | (13) |
| 1974 | 0'1 | 8-III | -2'7 | (108) |
| 1975 | -0'8 | 24-XII | -3'6 | (34) |
| 1976 | -1'1 | 17-II | -3'9 | (89) |
| 1977 | -0'2 | 10-I | -3'0 | (51) |
| 1978 | -1'4 | 17-I | -4'2 | (58) |
| 1979 | 0'0 | 27-XII | -2'8 | (37) |
| 1980 | -0'6 | 11-XII | -3'4 | (21) |
| 1981 | -0'3 | 9-I | -3'1 | (50) |
| 1982 | 2'8 | 2-II/31-XII | 0'0 | (74,41) |

FONT: Observatori de l'Ebre i elaboració pròpia.

$$\bar{t} = -0'917^{\circ} \text{C} = \frac{\sum_{j=1}^{24} t_j}{N} \text{ (mitjana aritmètica, esperança matemàtica o valor mitjà teòric de la distribució de freqüències)}$$

$$S_t = 1'563^\circ \text{C} = \sqrt{\frac{\sum_1^{24} t_j^2 - \frac{\left(\sum_1^{24} t_j\right)^2}{N}}{N-1}} = \sqrt{\frac{\sum_1^{24} (t_j - \bar{t})^2}{N-1}}, \quad \forall j \in (1, 2, \dots, 24)$$

(desviació típica, estàndard o quadràtica mitjana)

CV = - 1'705 (170'5%), que és el coeficient de variació de Pearson (en el qual s'ha eliminat la influència de la unitat de mesura dels valors de la variable aleatòria estadística "*temperatura mínima absoluta anyal*").

A continuació es pot veure una figura basada en el quadre anterior on es pot veure gràficament l'evolució de les temperatures mínimes en el període 1959-1982:

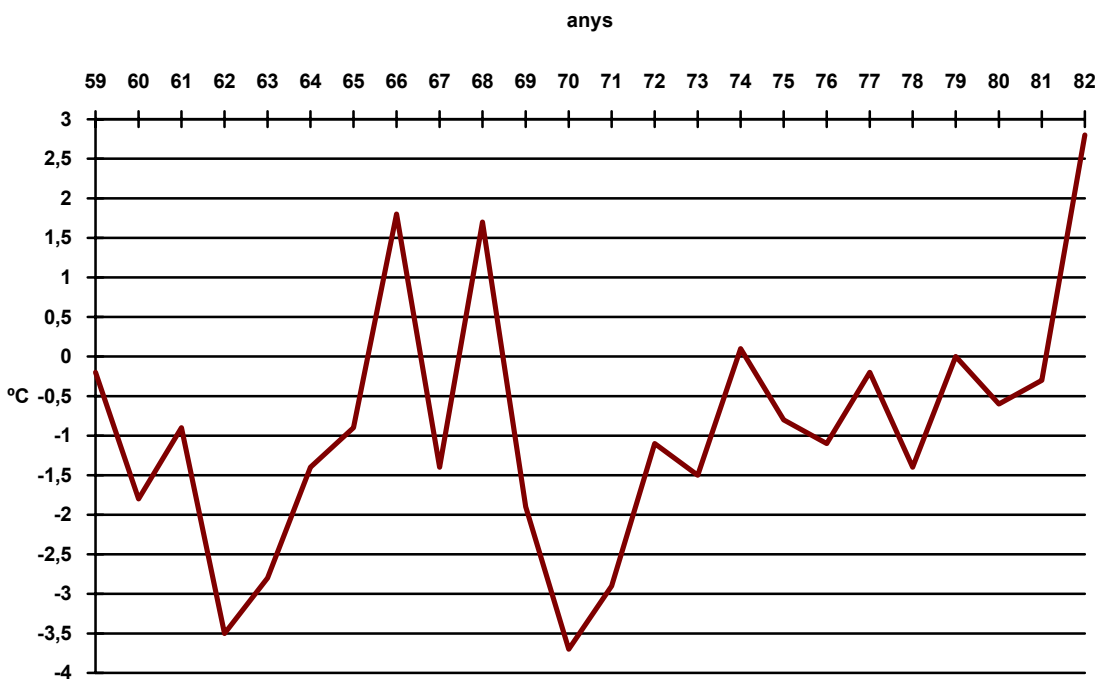


FIG. 3.1. Evolució de les temperatures mínimes en el període 1959-1982.

1.3.2.3. Període de retorn de 3 anys

$$p = (n-1)/n = 2/3 = 0'67$$

$$y = -\ln(-\ln p) = 0'90387$$

El quadre corresponent de càlcul dels diferents valors de la y_i , en funció dels anys, és el següent:

QUADRE Núm.: 3.5.
PERÍODE DE RETORN DE 3 ANYS.

| i | $y_i = -\ln [\ln(n+1)/i]$ |
|---|---------------------------|
| 1 | -0'32208 |
| 2 | 0'36673 |
| 3 | 1'25537 |

FONT: Elaboració pròpia.

$$\bar{y} = 0'43329$$

$$S_y = 0'79075$$

$$t_p = -0'917 - 0'5951059 \times 1'563 = -1'85^\circ\text{C}$$

$$K = \frac{|y - \bar{y}|}{S_y} = \frac{|0'90387 - 0'43329|}{0'79075} = 0'5951059$$

1.3.2.4. Període de retorn de 4 anys

Operant de la mateixa manera, s'obté:

$$p = (n-1)/n = 3/4 = 0'75$$

$$y = -\ln (\ln 1/p) = 1'25527$$

QUADRE Núm.: 3.6.
PERÍODE DE RETORN DE 4 ANYS.

| i | $y_i = -\ln [\ln(n+1)/i]$ |
|---|---------------------------|
| 1 | -0'47623 |
| 2 | 0'08774 |
| 3 | 0'66745 |
| 4 | 1'50058 |

FONT: Elaboració pròpia.

$$\bar{y} = 0'44489$$

$$S_y = 0'84459$$

$$t_p = -0'917 - 0'95949 \times 1'563 = -2'42^\circ\text{C}$$

$$K = \frac{|y - \bar{y}|}{S_y} = \frac{|1'25527 - 0'44489|}{0'84459} = 0'95949$$

1.3.2.5. Període de retorn de 5 anys

Operant de la mateixa manera, s'obté:

$$p = (n-1)/n = 4/5 = 0'80$$

$$y = -\ln (\ln 1/p) = 1'49994$$

QUADRE Núm.: 3.7.
PERÍODE DE RETORN DE 5 ANYS.

| i | $y_i = -\ln [\ln(n+1)/i]$ |
|---|---------------------------|
| 1 | -0'58222 |
| 2 | 0'08618 |
| 3 | 0'36673 |
| 4 | 0'90387 |
| 5 | 1'70375 |

FONT: Elaboració pròpia.

$$\bar{y} = 0'46119$$

$$S_y = 0'88559$$

$$t_p = -0'917 - 1'1732291 \times 1'563 = -2'75^\circ\text{C}$$

$$K = \frac{|y - \bar{y}|}{S_y} = \frac{|1'49994 - 0'461191|}{0'88559} = 1'1732291$$

1.3.2.6. Període de retorn de 10 anys

Operant de la mateixa manera, s'obté:

$$p = (n-1)/n = 9/10 = 0'90$$

$$y = -\ln (\ln 1/p) = 2'2634$$

El quadre corresponent de càlcul dels diferents valors de la y_i , en funció dels anys, és el següent:

QUADRE Núm.: 3.8.
PERÍODE DE RETORN DE 10 ANYS.

| i | $y_i = -\ln [\ln(n+1)/i]$ |
|----|---------------------------|
| 1 | -0'87547 |
| 2 | -0'55389 |
| 3 | -0'26236 |
| 4 | -0'00995 |
| 5 | 0'23826 |
| 6 | 0'50418 |
| 7 | 0'78307 |
| 8 | 1'15836 |
| 9 | 1'61445 |
| 10 | 2'35388 |

FONT: Elaboració pròpia.

$$\bar{y} = 0'49505$$

$$S_y = 1'00578$$

$$t_p = -0'917 - 1'7581877 \times 1'563 = -3'67^\circ\text{C}$$

$$K = \frac{|y - \bar{y}|}{S_y} = \frac{|2'2634 - 0'49505|}{1'00578} = 1'7581877$$

1.3.2.7. Període de retorn de 15 anys

Operant de la mateixa manera, s'obté:

$$p = (n-1)/n = 14/15 = 0'93$$

$$y = -\ln (\ln 1/p) = 2'688$$

El quadre corresponent de càlcul dels diferents valors de la y_i , en funció dels anys, és el següent:

QUADRE Núm.: 3.9.
PERÍODE DE RETORN DE 15 ANYS.

| i | $y_i = -\ln [\ln(n+1)/i]$ |
|----|---------------------------|
| 1 | -1'01885 |
| 2 | -0'73237 |
| 3 | -0'51282 |
| 4 | -0'32930 |
| 5 | -0'14842 |
| 6 | 0'01816 |
| 7 | 0'18754 |
| 8 | 1'36673 |
| 9 | 0'55165 |
| 10 | 0'75502 |
| 11 | 0'99155 |
| 12 | 1'25527 |
| 13 | 1'57504 |
| 14 | 1'91054 |
| 15 | 2'84731 |

FONT: Elaboració pròpia.

$$\bar{y} = 0'514$$

$$S_y = 1'063$$

$$t_p = -0'917 - 2'0451552 \times 1'563 = -4'11^\circ\text{C}$$

$$K = \frac{|y - \bar{y}|}{S_y} = \frac{|2'688 - 0'5141|}{1'063} = 2'0451552$$

La representació gràfica de la funció de retorn seria la següent:

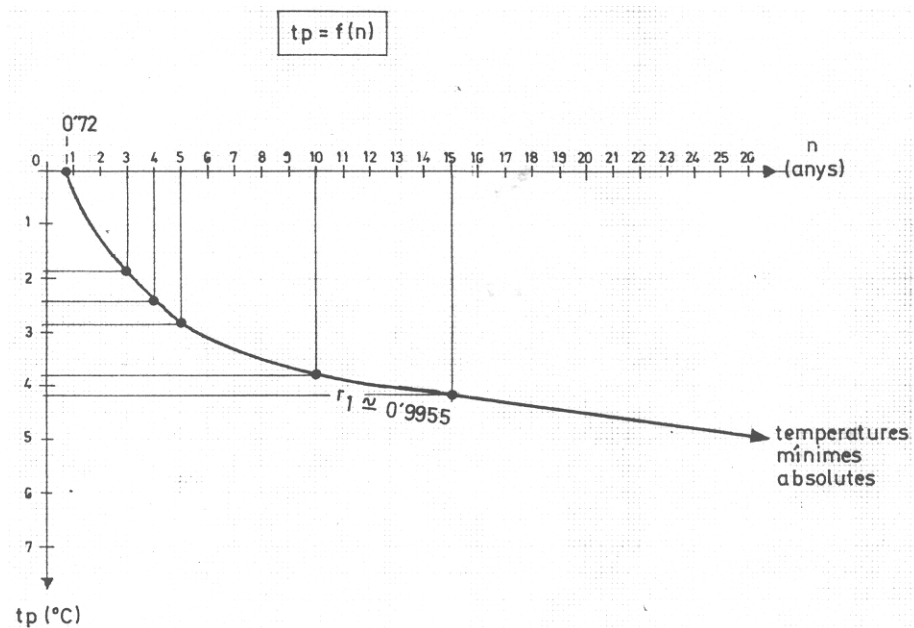


FIG.3.2. Funció de retorn de les temperatures absolutes mínimes anuals.

1.4. Ajust no lineal de la funció de retorn

Amb la finalitat de simplificar notòriament el procés anterior de càlcul, s'han portat a terme cinc regressions mínimo-quadràtiques no lineals de la funció real de variable real: $t_p = f(n)$, sobre la base dels 5 valors anteriorment calculats, amb l'objectiu de conèixer els corresponents valors de les temperatures mínimes t_p en funció dels diferents períodes de retorn n .

Per raons òbvies d'espai, ens limitarem ara a exposar breument els resultats obtinguts, tot tenint en compte que hem partit dels valors fornits pel quadre núm.: 3.2., com a resultat del càlcul portat a terme al punt anterior.

S'obtenen els següents valors:

a) Regressió potencial

En aquest cas, ajustarem el núvol de punts a l'equació de regressió:

$$t_p = -A \cdot n^B$$

S'ha obtingut el següent resultat:

$A = 1'203782748$ (terme constant)
 $B = 0'4719202465$ (coeficient de regressió)
 $r = -0'97851219$ (coeficient de correlació)
 $R = r^2 = 0'957486106$ (coeficient de determinació o crític)

que configuren l'equació: $t_p = -1'203782748 n^{0'4719202465}$

Per als períodes de retorn de 25 i 50 anys, es tindrà, respectivament:

$$t_p (n=25) = -5'50^{\circ}\text{C}$$

$$t_p (n=50) = -7'63^{\circ}\text{C}$$

b) *Regressió semi-logarítmica, natural o neperiana*

En aquest cas, ajustarem el núvol de punts a l'equació de regressió:

$$t_p = A + B \cdot \ln n$$

havent-se ajustat a la mateixa sèrie que en el cas anterior, amb els següents resultats:

$A = -0'45272722$ (terme constant)
 $B = -1'376868933$ (coeficient de regressió)
 $r = -0'9954769282$ (coeficient de correlació)
 $R = r^2 = 0'9909743146$ (coeficient de determinació o crític)

que configuren l'equació:

$$t_p = -0'45272722 - 1'376868933 \ln n$$

Per als períodes de retorn de 25, 50 i 100 anys, es tindrà, respectivament:

$$t_p (n=25) = -4'88^{\circ}\text{C}$$

$$t_p (n=50) = -5'84^{\circ}\text{C}$$

$$t_p (n=100) = -6'79^{\circ}\text{C}$$

Com es pot observar, es tracta d'una correlació pràcticament perfecta d'ambdues variables analitzades (t_p i n), raó per la qual serà l'escollida per a la realització de les prediccions que s'escaiguin.

c) *Regressió exponencial natural*

En aquest cas, ajustarem el núvol de punts a l'equació de regressió:

$$t_p = -A \cdot e^{B \cdot n}$$

per la mateixa sèrie que ens ve ocupant, i amb els següents coeficients:

$A = 1'835539406$ (terme constant)
 $B = 0'05912099508$ (coeficient de regressió)
 $r = -0'9257836663$ (coeficient de correlació)
 $R = r^2 = 0'8570753968$ (coeficient de determinació o crític)

que configuren l'equació:

$$t_p = -1'835539406 \cdot e^{0'05912099508 \cdot n}$$

Per als períodes de retorn de 25 i 50 anys, haurem, respectivament:

$$t_p (n=25) = -8'05^\circ\text{C}$$

$$t_p (n=50) = -35'28^\circ\text{C}$$

Com és immediat de comprovar, els resultats s'allunyen força de la realitat, raó per la qual prescindirem d'aquesta determinació mínimo-quadràtica.

d) Regressió semi-logarítmica decimal

Per tal de realitzar la conversió inter-logarítmica directa, tindrem en compte que:

$$10^{\log n} = e^{\ln n} ; \log n \cdot \log 10 = \ln n \cdot \log e ; \text{d'on:}$$

$$\log n = 0'4342944 \cdot \ln n ; \text{o bé: } \ln n = 2'3025851 \cdot \log n .$$

En el nostre cas, tindrem:

$$t_p = -0'45272722 - 3'1703578 \cdot \log n$$

Amb les mateixes especificacions que al cas b), el qual, per la seva bondat, es pot adoptar en qualsevol moment.

e) Regressió exponencial decimal

En aquest cas, ajustarem el núvol de punts a l'equació de regressió:

$$t_p = -A \cdot 10^{B \cdot n}$$

Així, s'obtenen els següents resultats:

A = 1'835539406 (terme constant)
 B = 0'02567592192 (coeficient de regressió)
 r = -0'9257836663 (coeficient de correlació)
 R = r² = 0'8570753968 (coeficient de determinació o crític)

que configuren l'equació:

$$t_p = -1'835539406 \cdot 10^{0'0257592192 \cdot n}$$

que rebutjarem per les raons de manca de correlació ja esmentades també en el punt anterior c).

f) *Resum*

Els ajusts estadístics realitzats fins ara per l'aplicació numèrica que venim desenvolupant (relativa a les temperatures mínimes absolutes anyals), ens han portat als següents resultats, que sintetitzarem conjuntament al següent quadre-resum:

QUADRE Núm.: 3.10.

QUADRE-RESUM DELS RESULTATS DELS AJUSTS ESTADÍSTICS

| Funció ajustada | Equació | R = r ² | Ordre bonesa |
|--|--|--------------------|----------------|
| Potencial | $t_p = -1'203782748 \cdot n^{0'4719202465}$ | 0'9574861061 | 2 ^a |
| Transformació semi-logarítmica natural | $t_p = -0'45272722 - 1'376868933 \cdot \ln n$ | 0'9909743146 | 1 ^a |
| Exponencial natural | $t_p = -1'83559406 \cdot e^{0'05912099508 \cdot n}$ | 0'8570753968 | 3 ^a |
| Transformació semi-logarítmica decimal | $t_p = -0'45272722 - 3'1703578 \cdot \log n$ | 0'9909743146 | 1 ^a |
| exponencial decimal | $t_p = -1'835539406 \cdot 10^{0'0257592192 \cdot n}$ | 0'8570753968 | 3 ^a |

FONT: Elaboració pròpia.

raó per la qual, si més no per al cas d'aquest tipus d'observacions meteorològiques, escollirem l'ajust a la funció semi-logarítmica que, com hem pogut comprovar, constitueix una correlació pràcticament perfecta (inversa) entre les dues variables del problema plantejat (t_p i n).

Endemés, hem de fer constància del fet que, tal com ja hem explicat abans, en funció dels períodes de retorn, les probabilitats escaients segueixen la relació:

$$p = (n-1)/n$$

amb la qual cosa, els tres períodes estudiats de 25, 50 i 100 anys, suposen unes probabilitats respectives, certament elevades, de:

| |
|--|
| $n = 25 \rightarrow p = 24/25 = 0'96 \text{ (96\%)}$ $n = 50 \rightarrow p = 49/50 = 0'98 \text{ (98\%)}$ $n = 100 \rightarrow p = 99/100 = 0'99 \text{ (99\%)}$ |
|--|

Vegem que la transformació semilogarítmica esmentada, adopta la configuració:

$$t_p = A + B \cdot \ln n ,$$

amb la qual cosa:

$$dt_p/dn = B/n$$

i, d'aquesta manera, la pendent de la corba decreix fermament a mesura que augmenta el període de retorn n .

D'altra banda, quan $t_p = 0^\circ\text{C}$ tindrem que: $\ln n = -A/B$, raó per la qual el punt d'intersecció amb l'eix d'abscisses es troba situat en el punt de coordenades cartesianes rectangulars: $(e^{-A/B}, 0)$. En el cas estudiat fins ara, a aquest punt li correspon, justament, un període de retorn de:

$$n = e^{-A/B} = \frac{1}{\frac{0'45272722}{e^{1'376868933}}} = 0'72 \text{ anys} \equiv 263 \text{ dies}$$

L'inversa d'aquesta funció és: $n = e^{-A/B} \cdot e^{t_p/B}$, que, de forma abreujada, vendria donada per l'expressió simplificada:

$$n = \alpha \times \beta^{t_p} , \text{ on:}$$

$$\alpha = e^{-A/B} \quad \text{i} \quad \beta = e^{1/B}$$

Altres consideracions conceptuals i metodològiques a fer deriven, precisament, de l'estudi d'aquesta funció explícita i real de variable real. Efectivament, hi ha una asímptota o branca hiperbòlica vertical coincident amb l'eix d'ordenades, ja que:

$$\lim_{n \rightarrow 0} \alpha + B \times \ln n = +\infty$$

Per un altre costat, quan $n \rightarrow \infty$ també la $t_p \rightarrow -\infty$, la qual cosa podria fer pensar en l'existència d'alguna asímptota obliqua, circumstància aquesta que caldria esbrinar. En efecte:

$$\begin{aligned}
m &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{t_p}{n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{A}{n} - \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{B \times \ln n}{n} = 0 - B \times \lim_{n \rightarrow \infty} \ln n^{1/n} = 0 - B \times \lim_{n \rightarrow \infty} \ln \sqrt[n]{n} = \\
&= (\text{criteri de STOLZ de l'arrel}) = 0 - B \times \ln \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n-(n-1)]{\frac{n}{n-1}} = 0 - B \times \ln \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n}{n-1} = \\
&= 0 - B \times \ln 1 = 0
\end{aligned}$$

raó per la qual existeix una branca parabòlica horitzontal (segons l'eix d'abscisses).

1.5. Data més probable

En base als càlculs efectuats i a les dades de les temperatures mínimes absolutes anyals, és possible la determinació probabilística de la data en què més probablement es produirà la temperatura mínima. Aquest càlcul es pot realitzar d'altres maneres, bé tenint en compte la mitjana aritmètica simple o bé la resultant de la ponderació de les dates amb la temperatura mínima¹¹.

Mitjana aritmètica ponderada:

$$4.656'5/92'8 = 50'11 \approx \mathbf{50} \rightarrow \text{que correspon al dia 9 de gener}$$

Mitjana aritmètica simple:

$$1.297/26 = 49'8 \approx \mathbf{50} \rightarrow \text{que correspon al dia 9 de gener}$$

que, com es veu, coincideixen ambdues determinacions de la data que més probablement enregistrarà la temperatura mínima anyal.

1.6. Les temperatures màximes estiuenques

Complementàriament, pot tenir interès l'estudi de les temperatures màximes que es poden donar a la zona. En aquest sentit, anomenarem "*període de retorn*" d'una determinada temperatura màxima, el nombre mitjà d'anys que ha de transcórrer fins que es produeixi -una sola vegada- una temperatura màxima igual o superior a aquella temperatura. És a dir, si t_p és la temperatura màxima anyal corresponent a un període de retorn de n anys, això significa que, aproximadament, es dona una temperatura superior o igual a t_p una vegada cada n anys.

¹¹Veure la columna número (4) del quadre 3.4.

Emprant una metodologia similar a l'anterior (per al cas de les temperatures mínimes), caldrà, en primer lloc, establir el quadre corresponent a la sèrie cronològica o històrica de les temperatures absolutes màximes anyals enregistrades a l'Observatori de l'Ebre (N= 24 anys). A saber:

QUADRE Núm.: 3.11.
TEMPERATURES MÀXIMES ABSOLUTES ANYALS
(N=24 anys).

| ANY (1) | OBSERVATORI DE L'EBRE (2) | Dia (3) | Núm.:Ordre (4) |
|------------|---------------------------------|----------------|-------------------|
| 1959 | 34'2 | 20-VII/10-VIII | (31, 52) |
| 1960 | 35'3 | 28-VIII | (70) |
| 1961 | 36'9 | 12-VII | (23) |
| 1962 | 36'4 | 7-IX | (80) |
| 1963 | 34'8 | 20-VI | (1) |
| 1964 | 37'6 | 3-VIII | (45) |
| 1965 | 34'3 | 3-VII | (14) |
| 1966 | 36'5 | 4-VIII | (46) |
| 1967 | 35'8 | 22-VII | (33) |
| 1968 | 38'9 | 23-VIII | (65) |
| 1969 | 35'5 | 15-VIII | (57) |
| 1970 | 35'7 | 8-VIII | (50) |
| 1971 | 36'2 | 5-VIII | (47) |
| 1972 | 33'0 | 24-VII | (35) |
| 1973 | 36'4 | 24-VII | (35) |
| 1974 | 35'7 | 4-VIII | (46) |
| 1975 | 37'2 | 8-VIII | (50) |
| 1976 | 36'0 | 24-VI | (5) |
| 1977 | 33'4 | 13-IX | (86) |
| 1978 | 36'4 | 16-VII | (27) |
| 1979 | 37'2 | 8-VII | (19) |
| 1980 | 36'8 | 21-VIII | (63) |
| 1981 | 37'4 | 13-VII | (24) |
| 1982 | 43'0 | 7-VII | (18) |

FONT: Observatori de l'Ebre i elaboració pròpia.

$$\bar{t} = 36' 275^{\circ}\text{C} \quad S_t = 1' 973^{\circ}\text{C} \quad \text{CV} = 0' 054 \text{ (5' 4\%)}$$

A continuació es pot veure una figura basada en el quadre anterior on es pot veure gràficament l'evolució de les temperatures màximes en el període 1959-1982:

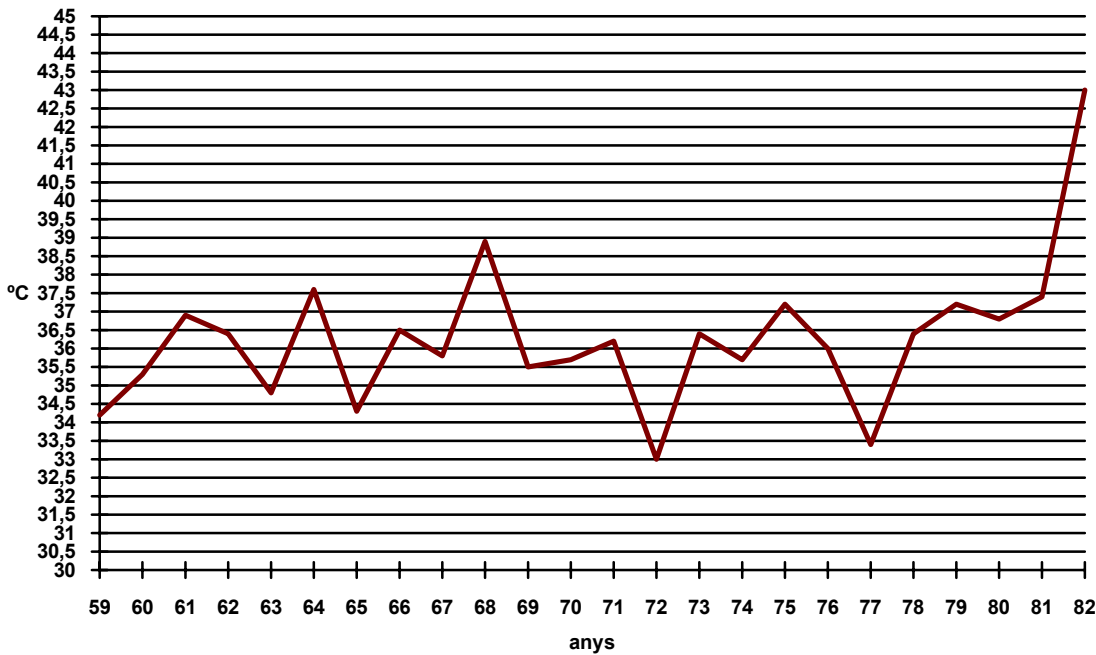


FIG. 3.3. Evolució de les temperatures màximes en el període 1959-1982.

Amb les mateixes consideracions metodològiques que les adoptades per a l'estudi ja realitzat, referent a les temperatures absolutes mínimes anuals, en aquest cas i per als diferents períodes de retorn, veurem:

a) Període de retorn de 3 anys

$$t_p = \bar{t} + S_t \times K = 36'275 + 1'973 \times 0'5951059 = 37'45^\circ\text{C}$$

b) Període de retorn de 4 anys

$$t_p = \bar{t} + S_t \times K = 36'275 + 1'973 \times 0'95949 = 38'17^\circ\text{C}$$

c) Període de retorn de 5 anys

$$t_p = \bar{t} + S_t \times K = 36'275 + 1'973 \times 1'1732291 = 38'59^\circ\text{C}$$

d) Període de retorn de 10 anys

$$t_p = \bar{t} + S_t \times K = 36'275 + 1'973 \times 1'7381877 = 39'74^\circ\text{C}$$

e) Període de retorn de 15 anys

$$t_p = \bar{t} + S_t \times K = 36'275 + 1'973 \times 2'0451552 = 40'31^\circ\text{C}$$

Endemés, procedirem a ajustar mínimo-quadràticament una funció no lineal semi-logarítmica (donats els bons resultats obtinguts per a

l'anterior determinació realitzada per a les temperatures mínimes) del tipus:

$$t_p = A + B \cdot \ln n$$

obtenint-se els següents valors dels paràmetres:

| |
|--|
| $A = 35'68523503$ (terme constant) $B = 1'739029093$ (coeficient de regressió) $r = 0'9955903181$ (coeficient de correlació) $R = r^2 = 0'9912000815$ (coeficient de determinació o crític) |
|--|

que configura l'equació:

$$t_p = 35'68523503 + 1'739029093 \cdot \ln n$$

amb una correlació pràcticament perfecta (aquesta vegada directa) entre ambdues variables del problema (n i t_p).

Per als períodes de retorn de 25, 50 i 100 anys, tindrem, respectivament, uns valors previsibles de les temperatures màximes anuals de:

| |
|---|
| $t_p (n = 25) \rightarrow 41'28^\circ\text{C}$ $t_p (n = 50) \rightarrow 42'49^\circ\text{C}$ $t_p (n = 100) \rightarrow 43'69^\circ\text{C}$ |
|---|

De l'estudi de la corba es dedueix, també, l'existència d'una branca parabòlica horitzontal (segons l'eix de les abscisses), circumstància aquesta de fàcil apreciació si observem el gràfic corresponent de la funció de retorn calculada (veure FIG. 3.4.). De la mateixa manera, el punt d'intersecció amb l'eix d'abscisses serà el de coordenades: $(e^{-A/B}, 0)$. En aquest cas, a aquest punt, just li correspon un període de retorn de:

$$n = e^{-A/B} = \frac{1}{\frac{35'68523503}{e^{1'739029093}}} \cong 0$$

pràcticament, ens trobaríem a l'origen de coordenades. Això és raonable, puix que la corba és asimptòtica en relació a l'eix de les ordenades, ja que:

$$\lim_{n \rightarrow 0} (A + B \times \ln n) = -\infty$$

Així doncs, i com a resum de totes les determinacions efectuades fins ara de les funcions de retorn de les temperatures mínimes i màximes absolutes anuals, podríem elaborar el següent quadre o taula, on també

s'especifica l'evolució del gradient tèrmic absolut o diferència entre ambdues determinacions. A saber:

QUADRE Núm.: 3.12.
PERÍODES DE RETORN DE LES TEMPERATURES
(Observatori de l'Ebre)

| Període de retorn (anys) | t_p ($^{\circ}\text{C}$) | | | PROBABILITATS |
|--------------------------|------------------------------|---------|----------|---------------|
| | Mínimes | Màximes | Δ | |
| 3 | -1'85 | 37'45 | 39'30 | 0'67 |
| 4 | -2'42 | 38'17 | 40'59 | 0'75 |
| 5 | -2'75 | 38'59 | 41'34 | 0'80 |
| 10 | -3'67 | 39'74 | 43'41 | 0'90 |
| 15 | -4'11 | 40'31 | 44'42 | 0'93 |
| 25* | -4'88 | 41'28 | 46'16 | 0'96 |
| 50* | -5'84 | 42'49 | 48'33 | 0'98 |
| 100* | -6'79 | 43'69 | 50'48 | 0'99 |

FONT: Observatori de l'Ebre i elaboració pròpia.

NOTA: * Es tracta de valors estimats per regressió no lineal mínimo-quadràtica.

1.7. Determinació de la bonesa dels ajustos mínimo-quadràtics

Cal contrastar, complementàriament a la determinació del coeficient de correlació no lineal entre ambdues variables del problema (t_p i n), la bonesa de les regressions semi-logarítmiques portades a terme mitjançant un contrast d'hipòtesi del tipus "txi-quadrat", emprant l'estadígraf χ^2 (*)¹² de Pearson amb $(n-1)$ graus de llibertat, a saber:

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^K \frac{(o_j - e_j)^2}{e_j}, \quad \text{amb } \sum_{j=1}^K o_j = \sum_{j=1}^K e_j$$

on les o_j són les temperatures realment observades i e_j les temperatures teòriques que es dedueixen de l'aplicació dels models de regressió no lineal esmentats, amb $K=5$.

D'altra banda, considerant que les temperatures mínimes teòriques tenen bastants valors $|e_j| < 5$, agafarem, per a la realització d'aquest estudi, la sèrie de les temperatures màximes estiuenques, o sigui:

¹²Aquest peu de plana referent a la Prova del Txi-quadrat, es podrà veure suficientment desenvolupat a l'epígraf III de l'annex núm.: 8.

QUADRE Núm.: 3.13.
TEST χ^2

| Període de retorn (anys) | t_p ($^{\circ}C$) | | | $\frac{(o_j - e_j)^2}{e_j}$ |
|--------------------------|-----------------------|--------|-------------|-----------------------------|
| | o_j | e_j | $o_j - e_j$ | |
| 3 | 37'45 | 37'60 | -0'15 | 0'0005984 |
| 4 | 38'17 | 38'10 | 0'07 | 0'0001286 |
| 5 | 38'59 | 38'48 | 0'11 | 0'0003144 |
| 10 | 39'74 | 39'69 | 0'05 | 0'0000629 |
| 15 | 40'31 | 40'39 | -0'08 | 0'0001584 |
| $\sum_{j=1}^k$ | 194'26 | 194'26 | $\pm 0'00$ | 0'0012627 |

FONT: Elaboració pròpia.

Efectivament, es tindrà:

$$\chi^2 = \frac{0'15^2}{37'60} + \frac{0'07^2}{38'10} + \frac{0'11^2}{38'48} + \frac{0'05^2}{39'69} + \frac{0'08^2}{40'39} = 0'0012627$$

que, òbviament, resulta prou baix.

El valor teòric de χ^2 amb $\nu = k-1 = 5-1 = 4$ graus de llibertat, per a una probabilitat del 5%, és de 9'49 \gg 0'0012627, i per a una probabilitat de l'1%, és de 13'28 \gg 0'0012627 (segons es dedueix dels valors del quadre o taula de percentils 3.14., que es pot veure a continuació).

QUADRE Núm.: 3.14.
PERCENTILS DE LA DISTRIBUCIÓ χ^2

| gl. | Per cent | | | | | | | | | |
|-----|----------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | .5 | 1 | 2.5 | 5 | 10 | 90 | 95 | 97.5 | 99 | 99.5 |
| 1 | .000039 | .00016 | .00098 | .0039 | .0158 | 2.71 | 3.84 | 5.02 | 6.63 | 7.88 |
| 2 | .0100 | .0201 | .0506 | .1026 | .2107 | 4.61 | 5.99 | 7.38 | 9.21 | 10.60 |
| 3 | .0717 | .115 | .216 | .352 | .584 | 6.25 | 7.81 | 9.35 | 11.34 | 12.84 |
| 4 | .207 | .297 | .484 | .711 | 1.064 | 7.78 | 9.49 | 11.14 | 13.28 | 14.86 |
| 5 | .412 | .554 | .831 | 1.15 | 1.61 | 9.24 | 11.07 | 12.83 | 15.09 | 16.75 |
| 6 | .676 | .872 | 1.24 | 1.64 | 2.20 | 10.64 | 12.59 | 14.45 | 16.81 | 18.55 |
| 7 | .989 | 1.24 | 1.69 | 2.17 | 2.83 | 12.02 | 14.07 | 16.01 | 18.48 | 20.28 |
| 8 | 1.34 | 1.65 | 2.18 | 2.73 | 3.49 | 13.36 | 15.51 | 17.53 | 20.09 | 21.96 |
| 9 | 1.73 | 2.09 | 2.70 | 3.33 | 4.17 | 14.68 | 16.92 | 19.02 | 21.67 | 23.59 |
| 10 | 2.16 | 2.56 | 3.25 | 3.94 | 4.87 | 15.99 | 18.31 | 20.48 | 23.21 | 25.19 |
| 11 | 2.60 | 3.05 | 3.82 | 4.57 | 5.58 | 17.28 | 19.68 | 21.92 | 24.73 | 26.76 |
| 12 | 3.07 | 3.57 | 4.40 | 5.23 | 6.30 | 18.55 | 21.03 | 23.34 | 26.22 | 28.30 |
| 13 | 3.57 | 4.11 | 5.01 | 5.89 | 7.04 | 19.81 | 22.36 | 24.74 | 27.69 | 29.82 |
| 14 | 4.07 | 4.66 | 5.63 | 6.57 | 7.79 | 21.06 | 23.68 | 26.12 | 29.14 | 31.32 |
| 15 | 4.60 | 5.23 | 6.26 | 7.26 | 8.55 | 22.31 | 25.00 | 27.49 | 30.58 | 32.80 |
| 16 | 5.14 | 5.81 | 6.91 | 7.96 | 9.31 | 23.54 | 26.30 | 28.85 | 32.00 | 34.27 |
| 18 | 6.26 | 7.01 | 8.23 | 9.39 | 10.86 | 25.99 | 28.87 | 31.53 | 34.81 | 37.16 |
| 20 | 7.43 | 8.26 | 9.59 | 10.85 | 12.44 | 28.41 | 31.41 | 34.17 | 37.57 | 40.00 |
| 24 | 9.89 | 10.86 | 12.40 | 13.85 | 15.66 | 33.20 | 36.42 | 39.36 | 42.98 | 45.56 |
| 30 | 13.79 | 14.95 | 16.79 | 18.49 | 20.60 | 40.26 | 43.77 | 46.98 | 50.89 | 53.67 |
| 40 | 20.71 | 22.16 | 24.43 | 26.51 | 29.05 | 51.81 | 55.76 | 59.34 | 63.69 | 66.77 |
| 60 | 35.53 | 37.48 | 40.48 | 43.19 | 46.46 | 74.40 | 79.08 | 83.30 | 88.38 | 91.95 |
| 120 | 83.85 | 86.92 | 91.58 | 95.70 | 100.62 | 140.23 | 146.57 | 152.21 | 158.95 | 163.64 |

NOTA: Per a valors grans dels graus de llibertat es pot utilitzar la fórmula aproximada:

$$\chi^2_{\alpha} = n \left(1 - \frac{2}{9n} + Z_{\alpha} \sqrt{\frac{2}{9n}} \right)^3$$

essent Z_{α} la desviació normal i n el nombre de graus de llibertat. Així, v.gr.:

$$\chi^2_{99} = 60 \left(1 - 0.00370 + 2.326 \cdot 0.06086 \right)^3 = 60(1.1379)^3 = 88.4$$

per al percentil 99 amb 60 graus de llibertat.

Així, doncs, es rebutja la hipòtesi nul·la i, com a conseqüència, l'ajust efectuat per regressió no lineal a una funció semilogarítmica és perfectament acceptable.

D'altra banda, ja que estem aplicant a dades discretes els resultats per a una distribució contínua, procedeix la realització de la correcció de YATES per a la continuïtat, comparant posteriorment els valors de l'estadístic χ^2 corregit i sense corregir. Si ambdós valors condueixen a la mateixa conclusió, per a un determinat nivell de significació, rarament es

presentaran dificultats; si porten a conclusions diferents, i tenint en compte la impossibilitat legal d'incrementar les mides de la mostra en el nostre cas, ens podríem veure obligats a usar mètodes de probabilitat exactes, d'acord amb la distribució multinomial. En qualsevol cas, per a mostres grans, els resultats que s'obtenen a partir de l'esmentada correcció són més dignes de confiança que els resultats no corregits (34-FRANQUET, 1991). En el nostre cas, curiosament, la correcció de YATES incrementa el resultat final donada l'escassíssima quantia de les discrepàncies existents entre les freqüències teòriques i les realment observades. Efectivament:

$$\chi^2(\text{corregit}) = \frac{(0'15 - 0'5)^2}{37'60} + \frac{(0'07 - 0'5)^2}{38'10} + \frac{(0'11 - 0'5)^2}{38'48} + \dots$$

$$\dots + \frac{(0'05 - 0'5)^2}{39'69} + \frac{(0'08 - 0'5)^2}{40'39} = 0'021533$$

, resultat que confirma l'anteriorment obtingut.

Altrament, es pot estudiar la relació de causalitat entre les dues variables del problema, t_p i n (que sembla prou evident) contrastant la hipòtesi nul·la d'absència de relació o dependència entre elles, tal com ho farem també, posteriorment, al Capítol 7 ("Anàlisi estadística"), raó per la qual ens hi referim per a la consecució de majors especificacions metodològiques.

En aquest cas, vegem que: $r_{0'025} = 0'878$ per a $n=5$, perquè el resultat fora significatiu al 5% de nivell. Com sigui que: $r = 0'996 > 0'878$, hauríem de descartar la hipòtesi d'independència, així com també els nivells de significació del 2% ($r_{0'010} = 0'934$) i del 1% ($r_{0'005} = 0'959$). Amb tota seguretat, doncs, podem tenir la certesa que aquestes dues variables estan relacionades entre si.

1.8. Fiabilitats dels coeficients de correlació no lineal

Els cinc parells de valors (n i t_p) de les dues variables del nostre problema poden ésser concebuts com una mostra de la població de tots els parells possibles. Com estan implicades les dues variables, direm que es tracta d'una població de doble variació.

Es pot pensar en un coeficient de correlació poblacional teòric que anomenarem ρ , estimat pel coeficient de correlació r de la mostra. Els assaigs de significació o contrast d'hipòtesi corresponents a diferents valors requereixen el coneixement de la distribució mostral de r . Per a ρ

=0, aquesta distribució és simètrica i es pot utilitzar un estadístic amb una distribució de Student (Gosset) amb (n-2) graus de llibertat, així:

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

Ara bé, per a $\rho \neq 0$ la distribució és biaixada i, aleshores, una certa transformació deguda a FISHER genera un estadístic que es distribueix de manera aproximadament normal.

D'altra banda, i per concloure les consideracions metodològiques aquí realitzades, hauríem d'estudiar la fiabilitat dels coeficients de correlació r trobats per a ambdós ajusts mínimo-quadràtics, corresponents, respectivament, a les temperatures mínimes i a les màximes absolutes anyals enregistrades a l'estació meteorològica que ens ocupa. Recordem que aquests valors, certament elevats, han estat els següents:

$$\begin{aligned} r_1 &\approx -0'9955 & (t_p \text{ mín.}) \\ r_2 &\approx +0'9956 & (t_p \text{ màx.}) \end{aligned}$$

Per això, definirem la variable aleatòria o estadígraf (anomenada "transformació de Fisher") següent:

$$z = 1'1513 \log [(1+r)/(1-r)] = 1/2 \ln [(1+r)/(1-r)] ; \quad \text{d'on:}$$

$e^{2z} = (1+r)/(1-r)$, que es distribueix de manera aproximadament normal amb:

$$\rho_1 = 0'9955 ; \quad \rho_2 = 0'9956 \quad \text{i} \quad n = 5.$$

Es tracta, aleshores, de determinar un interval de valors entre els que pugui, raonablement, esperar-se (amb una probabilitat del 95%) que es trobi r , amb una mitjana de:

$$\begin{aligned} \mu'_z &= \frac{1}{2} \ln \frac{1+\rho_1}{1-\rho_1} = \frac{1}{2} \ln \frac{1'9955}{0'0045} = 3'047 \\ \mu''_z &= \frac{1}{2} \ln \frac{1+\rho_2}{1-\rho_2} = \frac{1}{2} \ln \frac{1'9956}{0'0044} = 3'059 \end{aligned}$$

i una desviació típica o "standard" de:

$$\sigma'_z = \sigma''_z = \frac{1}{\sqrt{n-3}} = 0'707$$

L'interval serà, doncs:

$$z_1 = \mu'_z \pm 2\sigma'_z = 3'047 \pm 1'414 = 4'461 \text{ i } 1'633$$

que corresponen, respectivament, a: $r_1' = 0'9997$ i $r_2' = 0'9265$. D'aquesta manera, pot afirmar-se que la probabilitat que es compleixi la desigualtat:

$$0'9265 < r_1 < 0'9997, \text{ és del } 95\% .$$

Altrament, per a la segona regressió semi-logarítmica portada a terme, es tindrà que:

$$z_2 = \mu''_z \pm 2\sigma''_z = 3'059 \pm 1'414 = 4'473 \text{ i } 1'645$$

que corresponen, respectivament, a: $r_1'' = 0'9997$ i $r_2'' = 0'9282$, amb la qual cosa, la probabilitat que es compleixi la desigualtat:

$$0'9282 < r_2 < 0'9997, \text{ és del } 95\% .$$

Encara que les relacions precedents simplifiquin notòriament el problema de determinar l'exactitud de r com a estimador de ρ , tenen el desavantatge de no ésser fiables si les dues variables analitzades no posseeixen una distribució normal conjunta. Conseqüentment, llevat el cas d'estar prou segur que les esmentades variables gaudeixen de la dita distribució -si més no amb bona aproximació- hom no ha de confiar massa en els resultats obtinguts.

1.9. Altres consideracions en relació al gradient tèrmic absolut

Procedirem, per últim, a l'ajust de la funció de retorn corresponent al gradient tèrmic absolut (diferència entre ambdues temperatures anyals extremes: màxima i mínima, per a un període de retorn determinat), sobre la base dels vuit valors que es troben al quadre anterior 3.12.

En aquest cas, com sempre, donats els bons resultats obtinguts, l'ajust mínimo-quadràtic el farem a l'equació semi-logarítmica natural o neperiana:

$$\Delta t_p = A + B \cdot \ln n ,$$

i s'obtingran els següents valors dels paràmetres:

| |
|--|
| $A = 36'14017734$ (terme constant) $B = 3'114458474$ (coeficient de regressió) $r_3 = 0'9992715731$ (coeficient de correlació) $R = r_3^2 = 0'9985436768$ (coeficient de determinació o crític) |
|--|

que constitueix una correlació directa i pràcticament perfecta, amb una equació:

$$\Delta t_p = 36'14017734 + 3'11445874 \cdot \ln n$$

la qual representació gràfica es pot veure a la figura següent:

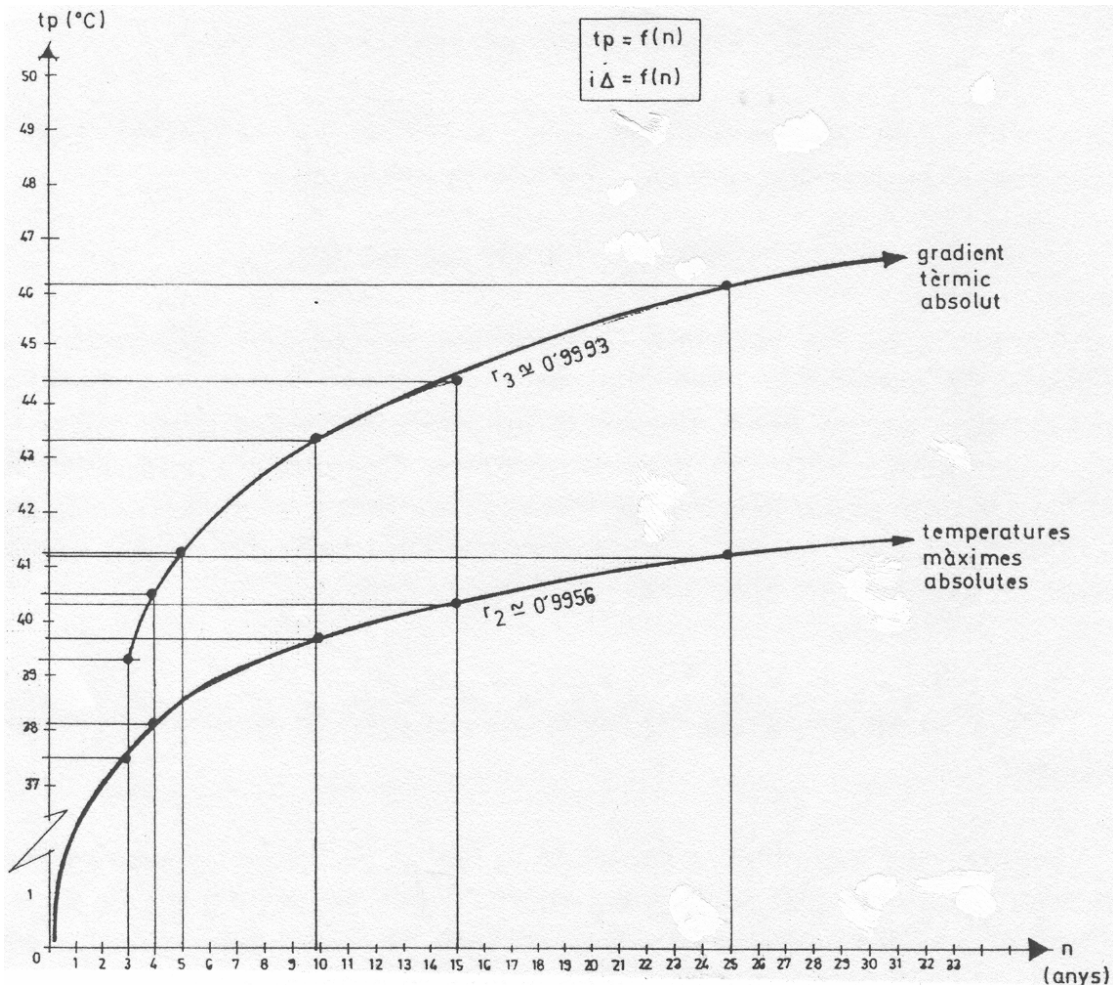


FIG. 3.4. Funcions de retorn de les temperatures absolutes màximes anuals i del gradient tèrmic absolut.

1.10. Data més probable

En base als càlculs efectuats i a les dades de les temperatures màximes absolutes anyals, és possible la determinació probabilística de la data en què més probablement es produirà la temperatura màxima. Aquest càlcul es pot realitzar d'altres maneres, ja sigui tenint en compte la mitjana aritmètica simple o bé la resultant de la ponderació de les dates amb la temperatura màxima .

Mitjana aritmètica ponderada:

$36.839'3/904'8 = 40'71 \equiv 41 \rightarrow$ que correspon al dia 30 de juliol.

Mitjana aritmètica simple:

$1.022/25 = 40'88 \equiv 41 \rightarrow$ que correspon al dia 30 de juliol

que, com es veu, coincideixen ambdues determinacions de la data més probable en la qual es pot produir la temperatura màxima anyal.

2. LIMITACIÓ PER L'EFECTE DEL VENT

2.1. Conceptes previs

De tots és coneguda la importància del vent com a factor limitant de certs conreus o bé de les pràctiques culturals a la Regió de l'Ebre. Per això, pot tenir interès l'estudi d'aquest meteor des del punt de vista de la seva freqüència i intensitat. En aquest sentit, anomenarem "període de retorn" d'una determinada velocitat del vent, al nombre mitjà d'anys que ha de transcórrer fins que es produeixi -una sola vegada- una ventada igual o superior a aquella velocitat. És a dir, si v és la velocitat màxima anyal corresponent a un període de retorn de n anys, expressada en Km./h., això significa que, aproximadament, es donarà una ventada superior o igual a v una vegada cada n anys.

2.2. Els vents i l'agricultura

Els vents, amb la seva diferent intensitat, grau d'humitat, temperatura, etc., exerceixen una influència directa sobre la vegetació i inclús sobre els sòls.

En general, s'ha de dir que tenen una influència benèfica ja que:

-Renoven l'aire que envolta la part aèria de les plantes, i, per tant, faciliten la descomposició del gas carbònic necessari per a l'assimilació del carboni.

-Faciliten la fecundació de les plantes, especialment d'ésser dioiques, és a dir, que tenen peus amb flors femenines i peus amb flors masculines.

-Provoquen moviments a les tiges joves, tot facilitant la circulació interior de la saba.

-Pareix que afavoreixen l'arrelament dels cereals; envigoreixen, als arbres, les fibres de fusta i el desenvolupament de les arrels.

-Eviten, o al menys dificulten, les temibles gelades d'irradiació.

-Faciliten l'oreig i l'assecat dels farratges recentment segats.

Però si els vents són molt forts poden causar destrosses greus com poden ésser:

-Arrabassament de fulles, trencament de branquetes i, alguns cops, inclús abatiment d'arbres.

-Transport d'insectes, espores i llavors d'herbes paràsites.

-Provoquen variacions brusques de la temperatura (com el "Xaloc" i el "Mestral") que perjudiquen greument els vegetals.

-A les zones muntanyenques on bufa el vent amb més intensitat, l'arbratge va perdent banques i roman en formes rebaixades amb clars símptomes d'eolotropisme.

D'altra banda i amb independència de la seva intensitat, a les zones costeres els vents procedents de la mar porten, en suspensió, partícules d'aigua salada que, en dipositar-se sobre el fullam, poden arribar, fins i tot, a destruir-lo.

L'acció del vent sobre el sòl es tradueix en fenòmens de formació del mateix gràcies a l'arrossegament d'elements de roques esmicolades per les gelades; altres vegades destrueix la capa fèrtil pel seu efecte d'erosió eòlica, o bé per invasió de terres cultivades amb grans quantitats d'arena, anomenades "dunes". Més freqüents són els fenòmens d'enduriment del sòl després de regs o pluges (56-IESSC, 1971).

A més a més, com les indicacions sobre els vents poden ésser de gran utilitat en l'estudi del medi agrari en general (i a la regió catalana de l'Ebre, en particular), recollim, en el quadre següent, les característiques i efectes dels vents amb la correspondència entre algunes de les escales més freqüentment emprades, a saber:

QUADRE Núm.: 3.15.
CARACTERÍSTIQUES I EFECTES DELS VENTS.

| GRAUS | FORÇA | NOMS | VELOCITAT | | CARACTERS |
|-------|-------------|------------------|-----------|---------|---|
| | | | m/s | km/h | |
| 0 | I calma | CALMA | 0-0'2 | 1 | Fum vertical. |
| 1 | I calma | VENTOLINA | 0'3-1'5 | 1-5 | El fum s'inclina. |
| 2 | II fluix | MOLT FLUIX | 1'6-3'3 | 6-11 | Mou les fulles dels arbres. Se sent al rostre. |
| 3 | II fluix | FLUIX | 3'4-5'4 | 12-19 | Agita fulles dels arbres. Mou les banderoles. |
| 4 | III moderat | BDNANCIBLE | 5'5-7'9 | 20-28 | Mou les braquetes, Aixeca papers lleugers, |
| 5 | III moderat | FRESQUET | 8'0-10'7 | 29-38 | Mou arbrets. |
| 6 | III moderat | FRESC | 10'8-13'8 | 39-49 | Mou branques grans, Xiula en els fils del telègraf, |
| 7 | IV fort | DUR | 13'9-17'1 | 50-61 | Mou arbres, Difícil caminar contra el vent, |
| 8 | IV fort | MOLT DUR | 17'2-20'7 | 62-74 | Esqueixa rames, Impideix caminar, |
| 9 | IV fort | COP DE VENT | 20'8-24'4 | 75-88 | Remou teules i trenca xemeneies, |
| 10 | V temporal | FORT COP DE VENT | 24'5-28'4 | 89-102 | Arrenca arbres; destrosses als edificis, |
| 11 | V temporal | TEMPESTA | 28'5-32'6 | 103-117 | Desperfectes greus, |
| 12 | V temporal | HURACA | 32'7 + | 118 + | Catastròfic, |

2.3. L'acció dinàmica del vent

Per tenir una idea de la importància i repercussió d'aquest fenomen sobre l'agricultura, en general (conreus, construccions agrícoles, etc.), cal tenir present que el vent de velocitat v (m./seg.) produeix una pressió dinàmica w (kp./m²), als punts on la seva velocitat s'anul·la, de valor:

$$w = v^2/16,$$

de la qual cosa podem deduir el següent quadre:

QUADRE Núm.: 3.16.
VELOCITAT DEL VENT I PRESSIÓ DINÀMICA.

| VELOCITAT DEL VENT v | | PRESSIÓ DINÀMICA w |
|-------------------------|--------|-----------------------|
| m/seg | km./h. | kp./m ² |
| 28 | 100'8 | 49 |
| 34 | 122'4 | 72 |
| 40 | 144'0 | 100 |
| 45 | 162'0 | 127 |
| 49 | 176'4 | 150 |

FONT: Observatori de l'Ebre i elaboració pròpia.

De fet, sobre cada element superficial, tant si està orientat a sobrevent com a sotavent, el vent produeix una sobrecàrrega unitària p (kp./m²) en la direcció de la seva perpendicular o normal, que és positiva (pressió) o bé negativa (succió), el qual valor vindrà donat per l'expressió:

$$p = c \cdot w$$

essent w la pressió dinàmica del vent i c el coeficient eòlic, positiu per a pressió i negatiu per a la succió, que depèn de la configuració física de l'element afectat, de la seva posició (graü d'exposició de la situació topogràfica) i de l'angle α d'incidència del vent en la superfície de l'element.

2.4. Càlculs dels períodes de retorn

Amb una metodologia similar a l'anteriorment emprada en l'estudi de les temperatures extremes (màximes i mínimes), caldrà, en primer lloc, establir el quadre corresponent a la sèrie cronològica o històrica dels vents màxims anuals registrats a l'Observatori de l'Ebre (N = 24 anys). A saber:

QUADRE Núm.:3.17.
VENTS MÀXIMS ABSOLUTS ANYALS
 (N=24 anys)

| ANY (1) | OBSERVATORI DE L'EBRE (2) | Dia (3) | Núm.:Ordre (4) |
|------------|---------------------------------|-------------|-------------------|
| 1959 | 119'0 | 17-IV | (189) |
| 1960 | 126'0 | 12-I | (94) |
| 1961 | 121'0 | 25-XII | (76) |
| 1962 | 113'0 | 31-X | (21) |
| 1963 | 129'0 | 20-III | (161) |
| 1964 | 142'6 | 28-XII | (79) |
| 1965 | 119'5 | 21-I | (103) |
| 1966 | 132'1 | 13-II | (126) |
| 1967 | 118'4 | 5-I | (87) |
| 1968 | 122'4 | 10-I | (92) |
| 1969 | 118'0 | 4-XII | (55) |
| 1970 | 120'6 | 4-III | (145) |
| 1971 | 93'0 | 21-I/19-II | (103,132) |
| 1972 | 98'0 | 13-II/14-IV | (154,186) |
| 1973 | 118'0 | 25-II | (138) |
| 1974 | 123'0 | 28-XI | (49) |
| 1975 | 130'0 | 9-III | (150) |
| 1976 | 127'0 | 13-III | (154) |
| 1977 | 96'0 | 15-XI | (36) |
| 1978 | 114'0 | 27-XI | (48) |
| 1979 | 127'0 | 31-XII | (82) |
| 1980 | 126'0 | 11-X | (1) |
| 1981 | 155'0 | 18-XII | (69) |
| 1982 | 108'0 | 27-I/24-X | (109,14) |

FONT: Observatori de l'Ebre i elaboració pròpia.

$V = 120'692 \text{ km./h.}$ $S_V = 13'622 \text{ km./h.}$ $CV = 0'113 (11'3\%)$

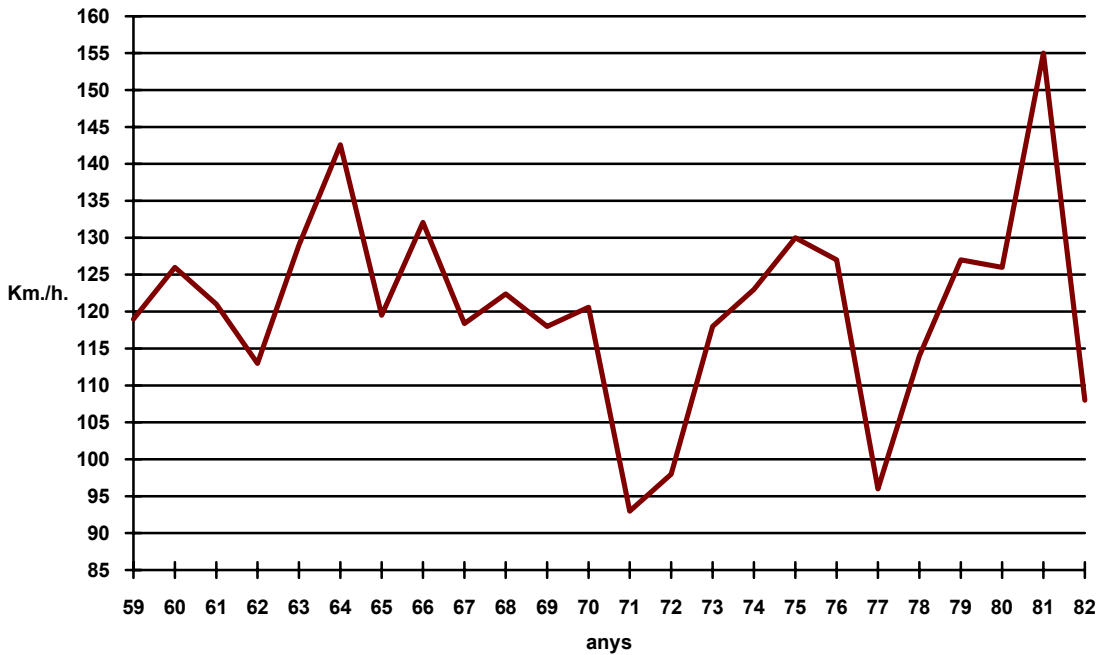


FIG. 3.5. Vents màxims absoluts a l'Observatori de l'Ebre.

Així doncs, amb les mateixes consideracions metodològiques que per a l'estudi ja realitzat referent a les temperatures absolutes extremes anyals tindrem, en aquest cas, per als diferents períodes de retorn, el següent:

a) Període de retorn de 3 anys

$$V = \bar{V} + S_v \times K = 120'692 + 13'622 \times 0'5951059 = 128'8 \text{ km / h.}$$

b) Període de retorn de 4 anys

$$V = \bar{V} + S_v \times K = 120'692 + 13'622 \times 0'95949 = 133'8 \text{ km / h.}$$

c) Període de retorn de 5 anys

$$V = \bar{V} + S_v \times K = 120'692 + 13'622 \times 1'1732291 = 136'7 \text{ km / h.}$$

d) Període de retorn de 10 anys

$$V = \bar{V} + S_v \times K = 120'692 + 13'622 \times 1'7581877 = 144'6 \text{ km / h.}$$

e) Període de retorn de 15 anys

$$V = \bar{V} + S_v \times K = 120'692 + 13'622 \times 2'0451552 = 148'6 \text{ km / h.}$$

2.5. Ajust no lineal de la funció de retorn

Endemés, procedirem a ajustar mínimo-quadràticament una funció no lineal semi-logarítmica (donats els bons resultats obtinguts per a l'anterior determinació realitzada per a les temperatures extremes, mínimes i màximes) del tipus:

$$V = A + B \cdot \ln n$$

obtenint-se els següents valors dels paràmetres:

| |
|--|
| $A = 116'6113895$ (terme constant) $B = 12'02013119$ (coeficient de regressió) $r = 0'995592163$ (coeficient de correlació) $R = r^2 = 0'991203755$ (coeficient de determinació o crític) |
|--|

que configura l'equació:

$$V = 116'6113895 + 12'02013119 \cdot \ln n$$

amb una correlació pràcticament perfecta i directa entre ambdues variables del problema (n i V).

Per als períodes de retorn de 25, 50 i 100 anys, haurem respectivament, uns valors previsibles de les velocitats màximes anyals del vent de:

| |
|---|
| $V (n = 25) \rightarrow 155'3 \text{ km/h.}$ $V (n = 50) \rightarrow 163'6 \text{ km/h.}$ $V (n = 100) \rightarrow 172'0 \text{ km/h.}$ |
|---|

De l'estudi de la corba es dedueix, també, l'existència d'una branca parabòlica horitzontal (segons l'eix de les abscisses), circumstància aquesta de fàcil apreciació si observem el gràfic corresponent de la funció de retorn calculada (veure FIG. 3.6.).

De la mateixa manera, el punt d'intersecció amb l'eix d'abscisses serà el de coordenades: $(e^{-A/B}, 0)$. En aquest cas, a aquest punt li correspon, justament, un període de retorn de:

$$n = e^{-A/B} = \frac{1}{\frac{1166113895}{e^{1202013113}}} \cong 0$$

pràcticament, ens trobaríem a l'origen de coordenades. Això és raonable, puix que la corba és asimptòtica en relació a l'eix de les ordenades, perquè:

$$\lim_{n \rightarrow 0} (A + B \times \ln n) = -\infty$$

Així doncs, i com a resum de totes les determinacions efectuades fins ara de les funcions de retorn de les velocitats màximes anyals del vent (ràfegues màximes enregistrades per l'anemocinemògraf de l'Observatori de l'Ebre, a Roquetes), podríem elaborar el següent quadre o taula, a saber:

QUADRE Núm.: 3.18.
PERÍODES DE RETORN DELS VENTS
(Observatori de l'Ebre)

| Període de retorn (anys) | V | | PROBABILITATS | PRESSIÓ DINÀMICA | |
|--------------------------|-------|--------|---------------|-------------------------|-----------|
| | m/seg | Km./h. | | W (Kp./m ²) | W (MPa)** |
| 3 | 35'8 | 128'8 | 0'67 | 80'1 | 0'0007849 |
| 4 | 37'2 | 133'8 | 0'75 | 86'5 | 0'0008477 |
| 5 | 38'0 | 136'7 | 0'80 | 90'3 | 0'0008849 |
| 10 | 40'2 | 144'6 | 0'90 | 101'0 | 0'0009898 |
| 15 | 41'3 | 148'6 | 0'93 | 106'6 | 0'0010446 |
| 25* | 43'1 | 155'3 | 0'96 | 116'1 | 0'0011377 |
| 50* | 45'4 | 163'6 | 0'98 | 129'4 | 0'0012681 |
| 100* | 47'8 | 172'0 | 0'99 | 142'8 | 0'0013994 |

FONT: Observatori de l'Ebre i elaboració pròpia.

NOTA: * Valors estimats per regressió no lineal mínim-quadràtica.

** 1 Kp/m² = 0'0000098 MPa

A continuació, es pot veure la corresponent funció de retorn dels vents màxims, subministrada pel quadre anterior, que relaciona els períodes de recurrència amb les velocitats de l'esmentat meteor expressades en m./seg. i Km./h. A saber:

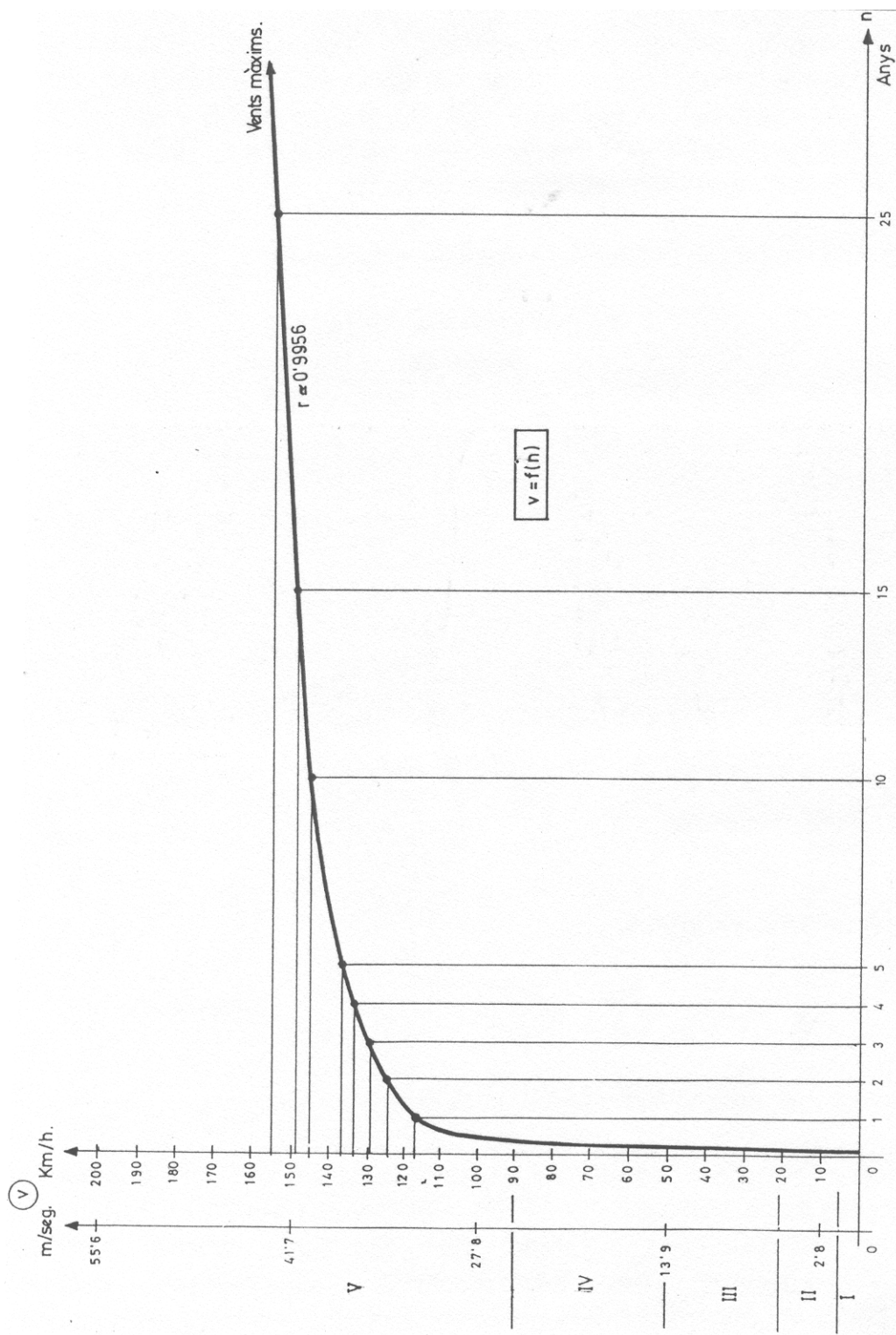


FIG.: 3.6. Funció de retorn dels vents màxims.

2.6. Determinació de la bonesa de l'ajust de la funció de retorn

Cal contrastar, complementàriament a la determinació del coeficient de correlació no lineal entre ambdues variables del problema (V i n), la bonesa de la regressió semi-logarítmica portada a terme mitjançant un contrast d'hipòtesi del tipus "xi-quadrat", tal com hem fet en el cas anterior de l'ajust de les temperatures extremes.

Això ens portarà a la formació del següent quadre:

QUADRE Núm.: 3.19.
TEST χ^2

| Període de retorn (anys) | V (km. h.) | | | $\frac{(o_j - e_j)^2}{e_j}$ |
|--------------------------|------------|-------|-------------|-----------------------------|
| | o_j | e_j | $o_j - e_j$ | |
| 3 | 128'8 | 129'8 | -1'0 | 0'0077041 |
| 4 | 133'8 | 133'3 | 0'5 | 0'0018754 |
| 5 | 136'7 | 136'0 | 0'7 | 0'0036029 |
| 10 | 144'6 | 144'3 | 0'3 | 0'0006237 |
| 15 | 148'6 | 149'1 | -0'5 | 0'0016767 |
| $\sum_{j=1}^5$ | 692'5 | 692'5 | $\pm 0'0$ | 0'0154828 |

FONT: Elaboració pròpia.

Efectivament, es tindrà:

$$\chi^2 = \frac{1'0^2}{129'8} + \frac{0'5^2}{133'3} + \frac{0'7^2}{136'0} + \frac{0'3^2}{144'3} + \frac{0'5^2}{149'1} = 0'0154828$$

valor aquest que, òbviament, resulta prou baix.

El valor teòric de l'estadígraf χ^2 amb: $\nu = k-1 = 5-1 = 4$ graus de llibertat, com hem vist abans, és de 9'49 \gg 0'0154828 (5%), o bé: 13'28 \gg 0'0154828 (1%), raó per la qual, **l'ajust efectuat semilogarítmicament és perfectament acceptable**. Aquesta conseqüència resulta confirmada mitjançant la corresponent correcció de YATES.

Per últim, l'estudi de la relació de causalitat entre les variables V i n ens porta a que: $r_{0'025} = 0'878$ per a $n=5$ (al 5% de nivell de significació del contrast d'hipòtesi). Com sigui que: $r \approx 0'996 > 0'878$, hauríem de descartar la hipòtesi d'independència, així com també els nivells de

significació del 2% ($r_{0'010} = 0'934$) i del 1% ($r_{0'005} = 0'959$). Amb tota seguretat, doncs, podem tenir la certesa que aquestes dues variables estan relacionades.

2.7. Data més probable

En base als càlculs efectuats i a les dades dels vents màxims absoluts anuals, és possible la determinació probabilística de la data en la qual més probablement es produirà la ventada màxima. Aquest càlcul es pot realitzar d'altres maneres, bé, tenint en compte la mitjana aritmètica simple o bé la resultant de la ponderació de les dates amb la quantia de la ventada màxima.

Mitjana aritmètica ponderada:

$$312.421'1/2.896'6 = 107'857 \approx \mathbf{108} \rightarrow \text{que correspon al dia 26 de gener}$$

Mitjana aritmètica simple:

$$2.653/27 = 98'2 \approx \mathbf{98} \rightarrow \text{que correspon al dia 16 de gener}$$

, o sia, el vent màxim es pot produir per la tercera o quarta setmana del mes de gener de cada any, a la zona d'estudi.

3. LIMITACIÓ PER LES PRECIPITACIONS MÀXIMES

La metodologia emprada es pot veure especificada a l'annex núm.:8 ("Altres especificacions metodològiques"), a la qual ens remetrem per a la consecució de majors especificacions i detalls.

A continuació, s'exposa el quadre particionat de les precipitacions màximes anuals en 24 hores, corresponents a la sèrie històrica o cronològica dels anys 1910-1990, ordenats temporalment i també per quanties. A saber:

QUADRE 3.20. a)
PRECIPITACIONS MÀXIMES ANUALS, PER ANYS (24 H.)

| | MAX. | MAX. | PRECIP. | DESVIACIÓ | DESVIACIÓ QUADRAT |
|------|------|----------|---------|-----------|-------------------|
| ANY | DIA | MES | MM. | D | D2 |
| ---- | ---- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| 1910 | 29 | MAIG | 77,00 | (6,19) | 38,32 |
| 1911 | 15 | OCTUBRE | 54,80 | 16,01 | 256,32 |
| 1912 | 29 | ABRIL | 23,90 | 46,91 | 2.200,55 |
| 1913 | 21 | FEBRER | 71,30 | (0,49) | 0,24 |
| 1914 | 19 | AGOST | 51,60 | 19,21 | 369,02 |
| 1915 | 18 | MAIG | 43,00 | 27,81 | 773,40 |
| 1916 | 4 | JULIOL | 51,70 | 19,11 | 365,19 |
| 1917 | 16 | FEBRER | 34,00 | 36,81 | 1.354,98 |
| 1918 | 5 | MARÇ | 60,30 | 10,51 | 110,46 |
| 1919 | 26 | SETEMBRE | 85,60 | (14,79) | 218,74 |
| 1920 | 26 | JULIOL | 51,50 | 19,31 | 372,88 |
| 1921 | 22 | FEBRER | 80,70 | (9,89) | 97,81 |
| 1922 | 17 | JUNY | 80,10 | (9,29) | 86,30 |
| 1923 | 22 | MAIG | 49,10 | 21,71 | 471,32 |
| 1924 | 23 | SETEMBRE | 24,60 | 46,21 | 2.135,36 |
| 1925 | 16 | NOVEMBRE | 27,30 | 43,51 | 1.893,12 |
| 1926 | 31 | AGOST | 93,00 | (22,19) | 492,40 |
| 1927 | 15 | OCTUBRE | 42,20 | 28,61 | 818,53 |
| 1928 | 26 | FEBRER | 53,10 | 17,71 | 313,64 |
| 1929 | 11 | JUNY | 57,90 | 12,91 | 166,67 |
| 1930 | 18 | OCTUBRE | 49,20 | 21,61 | 466,99 |
| 1931 | 2 | MAIG | 33,70 | 37,11 | 1.377,15 |
| 1932 | 14 | JUNY | 94,00 | (23,19) | 537,78 |
| 1933 | 8 | DESEMBRE | 58,80 | 12,01 | 144,24 |

QUADRE 3.20. b)
PRECIPITACIONS MÀXIMES ANUALS, PER ANYS (24 H.)

| | | | | | |
|------|----|----------|--------|----------|-----------|
| 1934 | 15 | NOVEMBRE | 23,00 | 47,81 | 2.285,80 |
| 1935 | 21 | MARÇ | 45,00 | 25,81 | 666,16 |
| 1936 | 18 | SETEMBRE | 107,10 | (36,29) | 1.316,96 |
| 1937 | 26 | SETEMBRE | 106,50 | (35,69) | 1.273,78 |
| 1938 | 24 | OCTUBRE | 54,00 | 16,81 | 282,58 |
| 1939 | 5 | AGOST | 40,00 | 30,81 | 949,26 |
| 1940 | 20 | OCTUBRE | 127,40 | (56,59) | 3.202,43 |
| 1941 | 10 | GENER | 66,30 | 4,51 | 20,34 |
| 1942 | 15 | ABRIL | 58,90 | 11,91 | 141,85 |
| 1943 | 16 | SETEMBRE | 265,60 | (194,79) | 37.943,14 |
| 1944 | 31 | OCTUBRE | 91,30 | (20,49) | 419,84 |
| 1945 | 19 | NOVEMBRE | 76,10 | (5,29) | 27,98 |
| 1946 | 25 | OCTUBRE | 52,80 | 18,01 | 324,36 |
| 1947 | 8 | JULIOL | 70,50 | 0,31 | 0,10 |
| 1948 | 11 | SETEMBRE | 47,20 | 23,61 | 557,43 |
| 1949 | 23 | SETEMBRE | 90,30 | (19,49) | 379,86 |
| 1950 | 6 | DESEMBRE | 48,90 | 21,91 | 480,05 |
| 1951 | 20 | OCTUBRE | 113,00 | (42,19) | 1.780,00 |
| 1952 | 2 | MAIG | 50,60 | 20,21 | 408,44 |
| 1953 | 5 | DESEMBRE | 72,60 | (1,79) | 3,20 |
| 1954 | 13 | SETEMBRE | 71,90 | (1,09) | 1,19 |
| 1955 | 14 | AGOST | 53,50 | 17,31 | 299,64 |
| 1956 | 23 | MAIG | 44,70 | 26,11 | 681,73 |
| 1957 | 29 | MAIG | 119,50 | (48,69) | 2.370,72 |
| 1958 | 18 | NOVEMBRE | 36,80 | 34,01 | 1.156,68 |
| 1959 | 20 | SETEMBRE | 107,10 | (36,29) | 1.316,96 |
| 1960 | 28 | OCTUBRE | 54,60 | 16,21 | 262,76 |
| 1961 | 4 | SETEMBRE | 61,60 | 9,21 | 84,82 |
| 1962 | 25 | FEBRER | 99,80 | (28,99) | 840,42 |
| 1963 | 13 | SETEMBRE | 63,30 | 7,51 | 56,40 |
| 1964 | 30 | SETEMBRE | 69,30 | 1,51 | 2,28 |
| 1965 | 19 | OCTUBRE | 177,00 | (106,19) | 11.276,32 |

QUADRE 3.20. c)
PRECIPITACIONS MÀXIMES ANUALS, PER ANYS (24 H.)

| | | | | | |
|-------|-------|----------|--------|---------|------------|
| 1966 | 4 | OCTUBRE | 62,30 | 8,51 | 72,42 |
| 1967 | 8 | NOVEMBRE | 71,90 | (1,09) | 1,19 |
| 1968 | 29 | NOVEMBRE | 55,90 | 14,91 | 222,31 |
| 1969 | 4 | OCTUBRE | 80,10 | (9,29) | 86,30 |
| 1970 | 8 | JUNY | 87,30 | (16,49) | 271,92 |
| 1971 | 7 | NOVEMBRE | 140,10 | (69,29) | 4.801,10 |
| 1972 | 21 | SETEMBRE | 90,10 | (19,29) | 372,10 |
| 1973 | 5 | JUNY | 109,30 | (38,49) | 1.481,48 |
| 1974 | 11 | MARÇ | 59,00 | 11,81 | 139,48 |
| 1975 | 28 | MAIG | 78,80 | (7,99) | 63,84 |
| 1976 | 10 | OCTUBRE | 60,50 | 10,31 | 106,30 |
| 1977 | 1 | JUNY | 81,00 | (10,19) | 103,84 |
| 1978 | 4 | SETEMBRE | 33,10 | 37,71 | 1.422,04 |
| 1979 | 10 | OCTUBRE | 55,00 | 15,81 | 249,96 |
| 1980 | 22 | FEBRER | 49,00 | 21,81 | 475,68 |
| 1981 | 27 | JUNY | 58,80 | 12,01 | 144,24 |
| 1982 | 21 | OCTUBRE | 133,00 | (62,19) | 3.867,60 |
| 1983 | 16 | NOVEMBRE | 70,90 | (0,09) | 0,01 |
| 1984 | 13 | NOVEMBRE | 56,10 | 14,71 | 216,38 |
| 1985 | 26 | SETEMBRE | 70,30 | 0,51 | 0,26 |
| 1986 | 13 | OCTUBRE | 68,20 | 2,61 | 6,81 |
| 1987 | 8 | NOVEMBRE | 77,40 | (6,59) | 43,43 |
| 1988 | 4 | ABRIL | 61,10 | 9,71 | 94,28 |
| 1989 | 16 | NOVEMBRE | 74,90 | (4,09) | 16,73 |
| 1990 | 13 | JUNY | 37,00 | 33,81 | 1.143,12 |
| ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| | | MEDIA= | 70,81 | (0,09) | 101.277,70 |

El mateix quadre anterior, però ordenat per les quanties creixents de les precipitacions màximes anuals caigudes en 24 hores, ofereix el següent resultat:

QUADRE 3.21. a)
PRECIPITACIONS MÀXIMES ANUALS, PER QUANTIES (24 H.)

| NUM. | ANY | MAX. DIA | MAX. MES | PRECIP. MM. | M*100/N+1 |
|-------|---------|-------------|-------------|----------------|-----------|
| ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |
| 1,00 | 1934,00 | 15,00 | NOVEMBRE | 23,00 | 1,22 |
| 2,00 | 1912,00 | 29,00 | ABRIL | 23,90 | 2,44 |
| 3,00 | 1924,00 | 23,00 | SETEMBRE | 24,60 | 3,66 |
| 4,00 | 1925,00 | 16,00 | NOVEMBRE | 27,30 | 4,88 |
| 5,00 | 1978,00 | 4,00 | SETEMBRE | 33,10 | 6,10 |
| 6,00 | 1931,00 | 2,00 | MAIG | 33,70 | 7,32 |
| 7,00 | 1917,00 | 16,00 | FEBRER | 34,00 | 8,54 |
| 8,00 | 1958,00 | 18,00 | NOVEMBRE | 36,80 | 9,76 |
| 9,00 | 1990,00 | 13,00 | JUNY | 37,00 | 10,98 |
| 10,00 | 1939,00 | 5,00 | AGOST | 40,00 | 12,20 |
| 11,00 | 1927,00 | 15,00 | OCTUBRE | 42,20 | 13,41 |
| 12,00 | 1915,00 | 18,00 | MAIG | 43,00 | 14,63 |
| 13,00 | 1956,00 | 23,00 | MAIG | 44,70 | 15,85 |
| 14,00 | 1935,00 | 21,00 | MARÇ | 45,00 | 17,07 |
| 15,00 | 1948,00 | 11,00 | SETEMBRE | 47,20 | 18,29 |
| 16,00 | 1950,00 | 6,00 | DESEMBRE | 48,90 | 19,51 |
| 17,00 | 1980,00 | 22,00 | FEBRER | 49,00 | 20,73 |
| 18,00 | 1923,00 | 22,00 | MAIG | 49,10 | 21,95 |
| 19,00 | 1930,00 | 18,00 | OCTUBRE | 49,20 | 23,17 |
| 20,00 | 1952,00 | 2,00 | MAIG | 50,60 | 24,39 |
| 21,00 | 1920,00 | 26,00 | JULIOL | 51,50 | 25,61 |
| 22,00 | 1914,00 | 19,00 | AGOST | 51,60 | 26,83 |
| 23,00 | 1916,00 | 4,00 | JULIOL | 51,70 | 28,05 |
| 24,00 | 1946,00 | 25,00 | OCTUBRE | 52,80 | 29,27 |
| 25,00 | 1928,00 | 26,00 | FEBRER | 53,10 | 30,49 |

QUADRE 3.21. b)
PRECIPITACIONS MÀXIMES ANUALS, PER QUANTIES (24 H.)

| | | | | | |
|-------|---------|-------|----------|-------|-------|
| 27,00 | 1938,00 | 24,00 | OCTUBRE | 54,00 | 32,93 |
| 28,00 | 1960,00 | 28,00 | OCTUBRE | 54,60 | 34,15 |
| 29,00 | 1911,00 | 15,00 | OCTUBRE | 54,80 | 35,37 |
| 30,00 | 1979,00 | 10,00 | OCTUBRE | 55,00 | 36,59 |
| 31,00 | 1968,00 | 29,00 | NOVEMBRE | 55,90 | 37,80 |
| 32,00 | 1984,00 | 13,00 | NOVEMBRE | 56,10 | 39,02 |
| 33,00 | 1929,00 | 11,00 | JUNY | 57,90 | 40,24 |
| 34,00 | 1933,00 | 8,00 | DESEMBRE | 58,80 | 41,46 |
| 35,00 | 1981,00 | 27,00 | JUNY | 58,80 | 42,68 |
| 36,00 | 1942,00 | 15,00 | ABRIL | 58,90 | 43,90 |
| 37,00 | 1974,00 | 11,00 | MARÇ | 59,00 | 45,12 |
| 38,00 | 1918,00 | 5,00 | MARÇ | 60,30 | 46,34 |
| 39,00 | 1976,00 | 10,00 | OCTUBRE | 60,50 | 47,56 |
| 40,00 | 1988,00 | 4,00 | ABRIL | 61,10 | 48,78 |
| 41,00 | 1961,00 | 4,00 | SETEMBRE | 61,60 | 50,00 |
| 42,00 | 1966,00 | 4,00 | OCTUBRE | 62,30 | 51,22 |
| 43,00 | 1963,00 | 13,00 | SETEMBRE | 63,30 | 52,44 |
| 44,00 | 1941,00 | 10,00 | GENER | 66,30 | 53,66 |
| 45,00 | 1986,00 | 13,00 | OCTUBRE | 68,20 | 54,88 |
| 46,00 | 1964,00 | 30,00 | SETEMBRE | 69,30 | 56,10 |
| 47,00 | 1985,00 | 26,00 | SETEMBRE | 70,30 | 57,32 |
| 48,00 | 1947,00 | 8,00 | JULIOL | 70,50 | 58,54 |
| 49,00 | 1983,00 | 16,00 | NOVEMBRE | 70,90 | 59,76 |
| 50,00 | 1913,00 | 21,00 | FEBRER | 71,30 | 60,98 |
| 51,00 | 1954,00 | 13,00 | SETEMBRE | 71,90 | 62,20 |
| 52,00 | 1967,00 | 8,00 | NOVEMBRE | 71,90 | 63,41 |
| 53,00 | 1953,00 | 5,00 | DESEMBRE | 72,60 | 64,63 |
| 54,00 | 1989,00 | 16,00 | NOVEMBRE | 74,90 | 65,85 |
| 55,00 | 1945,00 | 19,00 | NOVEMBRE | 76,10 | 67,07 |
| 56,00 | 1910,00 | 29,00 | MAIG | 77,00 | 68,29 |
| 57,00 | 1987,00 | 8,00 | NOVEMBRE | 77,40 | 69,51 |
| 58,00 | 1975,00 | 28,00 | MAIG | 78,80 | 70,73 |

QUADRE 3.21. c)
PRECIPITACIONS MÀXIMES ANUALS, PER QUANTIES (24 H.)

| | | | | | |
|-------|---------|-------|----------|--------|-------|
| 59,00 | 1922,00 | 17,00 | JUNY | 80,10 | 71,95 |
| 60,00 | 1969,00 | 4,00 | OCTUBRE | 80,10 | 73,17 |
| 61,00 | 1921,00 | 22,00 | FEBRER | 80,70 | 74,39 |
| 62,00 | 1977,00 | 1,00 | JUNY | 81,00 | 75,61 |
| 63,00 | 1919,00 | 26,00 | SETEMBRE | 85,60 | 76,83 |
| 64,00 | 1970,00 | 8,00 | JUNY | 37,30 | 78,05 |
| 65,00 | 1972,00 | 21,00 | SETEMBRE | 90,10 | 79,27 |
| 66,00 | 1949,00 | 23,00 | SETEMBRE | 90,30 | 80,49 |
| 67,00 | 1944,00 | 31,00 | OCTUBRE | 91,30 | 81,71 |
| 68,00 | 1926,00 | 32,00 | AGOST | 93,00 | 82,93 |
| 69,00 | 1932,00 | 14,00 | JUNY | 94,00 | 84,15 |
| 70,00 | 1962,00 | 25,00 | FEBRER | 99,80 | 85,37 |
| 71,00 | 1937,00 | 26,00 | SETEMBRE | 106,50 | 86,59 |
| 72,00 | 1936,00 | 18,00 | SETEMBRE | 107,10 | 87,80 |
| 73,00 | 1959,00 | 20,00 | SETEMBRE | 107,10 | 89,02 |
| 74,00 | 1973,00 | 5,00 | JUNY | 109,30 | 90,24 |
| 75,00 | 1951,00 | 20,00 | OCTUBRE | 113,00 | 91,46 |
| 76,00 | 1957,00 | 29,00 | MAIG | 119,50 | 92,68 |
| 77,00 | 1940,00 | 20,00 | OCTUBRE | 127,40 | 93,90 |
| 78,00 | 1982,00 | 21,00 | OCTUBRE | 133,00 | 95,12 |
| 79,00 | 1971,00 | 7,00 | NOVEMBRE | 140,10 | 96,34 |
| 80,00 | 1965,00 | 19,00 | OCTUBRE | 177,00 | 97,56 |
| 81,00 | 1943,00 | 16,00 | SETEMBRE | 265,60 | 98,78 |
| | | | | | |
| | | | | 70,81 | |

Les operacions efectuades, han estat les següents:

$$\text{Desviació típica o standard, } S = (d \cdot d/n)^{1/2}$$

$$(101,277.70/81)^{1/2} = 35'360 \text{ mm.}$$

on:

n = nombre d'anys de la sèrie

d = desviació

$P' = P_0 - 1/a \ln \ln(T/T-1)$; essent $P_0 = P - 0'577/a$

P = Mitjana aritmètica de les dades observades de les precipitacions màximes anuals:

$$P = (\sum P_i)/n = 70'81 \text{ mm.}$$

$$1/a = 0'78 \quad S = 0'78 \cdot 35,360 = 27,581 ; \text{ doncs:}$$

$$P_0 = 70,81 - 0,577 \cdot 27,581 = 54,896 \text{ mm.}$$

La màxima precipitació previsible per a un període de retorn de 500 anys és:

$$\begin{aligned} P_d &= P_0 - 1/a \ln \ln(T/T-1) = 54,896 - 27,581 \ln \ln(500/499) = \\ &= 54'896 + 27'581 \cdot 6'2136 = 226,274 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Amb aquestes dades, l'equació de la recta de regressió és la següent (vegeu annex núm.:8 "Altres especificacions metodològiques"):

$$\begin{aligned} x_T &= \bar{x} + \frac{y_T - \bar{y}_n}{S_n} \times S_x = 70'81 + \frac{y_T - 0'5570}{1'1945} \times 35'36 = \\ &= 70'81 + 29'602 y_T - 16'49 = 29'602 y_T + 54'32 \end{aligned}$$

D'altra banda, la variable reduïda per a un període de retorn de 500 anys, serà:

$y_T = -\ln \ln(T/T-1) = -\ln \ln(500/499) = 6'2136$, amb la qual cosa, la precipitació màxima per a un període de retorn de 500 anys, fora de:

$$x_T = 70'81 + \frac{6'2136 - 0'5570}{1'1945} \times 35'36 = 238'259 \text{ mm.}$$

que varia poc de l'obtinguda anteriorment (226'274 mm.)

La gràfica resultant, sobre un paper de probabilitat extrema, és la següent:

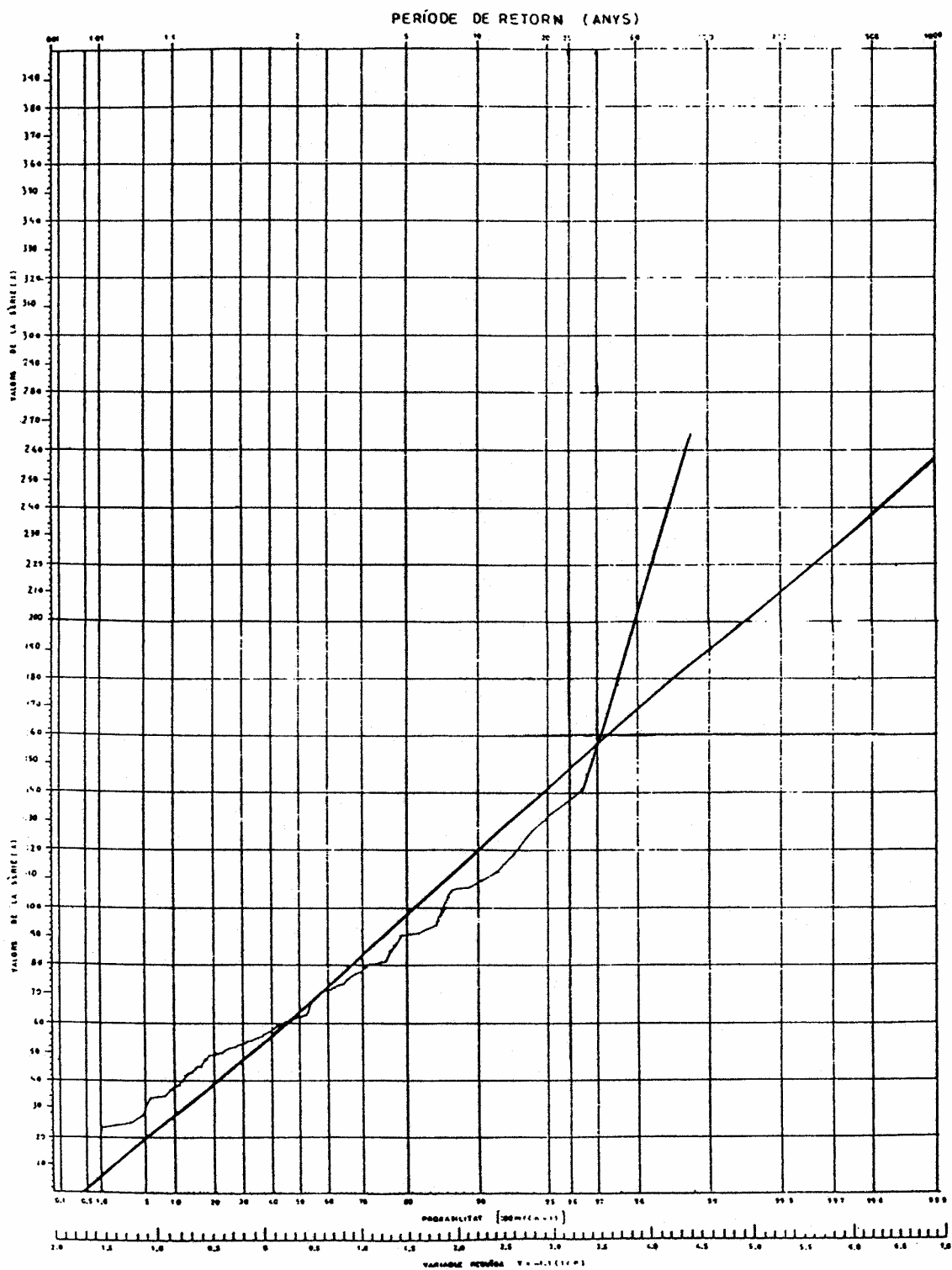


FIG.: 3.7. Paper de probabilitat extrema.

