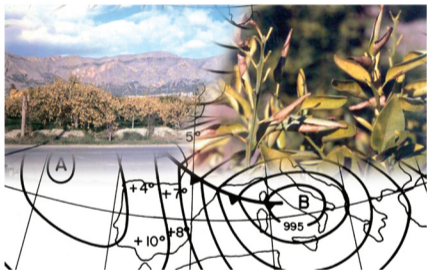


LAS HELADAS EN LA ZONA CITRÍCOLA DE LA HUERTA MURCIANA

Calixto Ferreras Fernández / Ángel García Lidón / Ignacio Porras Castillo



**LAS HELADAS EN LA
ZONA CITRÍCOLA DE LA
HUERTA MURCIANA**

SERIE TÉCNICA Y DE ESTUDIOS

26

**LAS HELADAS EN LA
ZONA CITRÍCOLA DE LA
HUERTA MURCIANA**

Calixto Ferreras Fernández

Ángel García Lidón

Ignacio Porras Castillo



*De todos los oficios lucrativos, ninguno mejor,
ni más productivo, ni más agradable, ni más
digno de un hombre libre que la Agricultura.*

CICERÓN

© Comunidad Autónoma de la Región de Murcia
Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente
Depósito Legal: MU-2701-2003
I.S.B.N.: 84-688-4423-3
Fotocomposición: CompoRapid, S.L.
Impresión: Imprenta Regional de Murcia

Los cítricos originarios del Sureste asiático, al expansionarse su cultivo a zonas templadas de ambos hemisferios, se ven afectados con cierta frecuencia por heladas, como consecuencia de bajas temperaturas, que provocan graves daños en las producciones y en las plantas.

En las zonas citrícolas de la Región, son frecuentes las heladas en las plantaciones de limoneros, naranjos y clementinos, con graves consecuencias socioeconómicas.

El estudio de las heladas en nuestras zonas citrícolas resulta de gran interés, para orientar a los citricultores en las estrategias a seguir para minorar los daños, en relación a los portainjertos y especies o variedades a implantar.

La publicación recoge en primer lugar una amplia revisión bibliográfica complementada con una acertada interpretación de la misma por los cualificados autores que en base a su trayectoria de trabajo en las áreas de la investigación y el desarrollo tecnológico, han sabido analizar los distintos factores que influyen en el alcance de los daños originados por las heladas en los agrios, particularizando los relacionados con el clima, la planta –especie y variedad en su caso–, estado de los árboles (fenología, nivel nutricional y sanitario, etc.).

Por otra parte, resulta exhaustiva la detallada descripción que los autores realizan sobre los daños causados por las heladas, tanto en los tejidos de la planta como en sus componentes –espacios intercelulares e interior de la célula– igualmente en sus distintos órganos –hojas, ramas, flores y frutos– siendo muy minuciosas las matizaciones que realizan en cuanto a su repercusión en la cosecha y en las posibilidades de recuperación de los árboles.

En la segunda parte de la publicación, Calixto Ferreras –prestigioso meteorólogo y amigo–, siguiendo su trayectoria de colaboración con esta Consejería, contribuye con este nuevo trabajo a profundizar en el estudio agroclimático de nuestra Región. En esta ocasión sobre el régimen de heladas en la Huerta de Murcia, aportando unos contenidos eminentemente prácticos, con el doble objetivo de establecer la caracterización sinóptica de las heladas de irradiación, advección y evaporación y de facilitar la predicción del riesgo de las mismas.

En ese sentido, las reglas sinópticas recogidas en la publicación y las fórmulas que relacionan temperaturas vespertinas en un lugar –a determinadas horas–, con las que pueden ocurrir en la madrugada del día siguiente, pueden ser de gran interés en la elección de medidas a adoptar para reducir los posibles daños por las heladas.

Hay que resaltar el detallado análisis realizado por el autor sobre las condiciones meteorológicas que concurrieron en las heladas registradas en la Región por invasión de aire polar en enero de 1945 y febrero de 1956, así como lo ocurrido el 6 de febrero de 1983, donde de una situación sinóptica de riesgo de helada se acabó en otra totalmente favorable agrónomicamente para el cultivo.

Por todo lo anterior, en esta publicación creo que los autores aportan una buena guía para que a partir de datos meteorológicos tomados en tiempo real, hacer una predicción bastante fiable sobre riesgo de heladas en un paraje o plantación; y de otra parte, en caso de producirse heladas, da información para poder analizar y evaluar con bastante precisión el nivel de los daños en las plantas y adoptar las medidas adecuadas para tratar de recuperar el arbolado.

Hay que resaltar también, como dejan dicho los autores, que ante las heladas, tanto los métodos pasivos como los de lucha directa, no cubren riesgos más allá de un intervalo de sólo 2 °C en la elevación de la temperatura ambiente; por ello, de cara a nuevas plantaciones, resulta prudente el realizarlas sólo en emplazamientos adecuados, buscando siempre aminorar al máximo la incidencia de los riesgos previsibles por este concepto, para que se pueda esperar de ellas la mayor rentabilidad en las inversiones realizadas.

Antonio Cerdá Cerdá
*Consejero de Agricultura,
Agua y Medio Ambiente*

SUMARIO

LAS HELADAS EN LOS AGRIOS	11
1. Factores climáticos	13
2. Resistencia a las heladas	15
2.1. De las especies	19
2.2. Del estado del árbol	20
3. Daños causados por las heladas	22
3.1. Daños en árboles	23
3.2. Daños en frutos	28
4. Métodos de protección contra heladas	33
4.1. Métodos pasivos	33
4.2. Métodos activos	35
5. Prácticas culturales en árboles dañados	39
LAS HELADAS EN LA ZONA CITRÍCOLA DE LA HUERTA MURCIANA	41
1. Introducción	43
2. Las heladas en la huerta de Murcia	44
3. Tipos de heladas	47
4. Análisis sinóptico	49
5. Predicción de temperaturas mínimas	53
5.1. Fórmulas Higrométricas	54
5.2. Fórmulas basadas en el balance de radiación	57
5.3. Método de Reuter	58
6. Análisis de daños y efectos económicos causados por las heladas	59

1. LAS HELADAS EN LOS AGRIOS

1.- FACTORES CLIMÁTICOS

Las notables diferencias que se encuentran en nuestro planeta entre una zonas climáticas y otras, se reflejan en la diferencia de tiempo entre la floración y maduración, y también en la diferencia de tiempo que puede permanecer el fruto maduro sobre la planta.

En las regiones tropicales del ecuador, los árboles tienden a florecer escasa pero repetidamente, alcanzando finalmente producciones elevadas. Pero en las zonas subtropicales, con estaciones bien definidas, el ritmo de las brotaciones y el desarrollo están controlados por los cambios estacionales de la temperatura. En ellas los agrios presentan, con el descenso térmico en invierno, un periodo de reposo, más o menos acentuado, brotando uniformemente en primavera, cuando se elevan las temperaturas.

Los agrios pueden vivir sin sufrir daños importantes a temperaturas entre 0 °C y 52 °C, pero para ser cultivados comercialmente se requieren temperaturas medias anuales de 13 a 14 °C, con temperaturas medias en verano de 22 °C y en invierno de 10 °C y una integral térmica mínima de 1400 °C. Aunque en zonas costeras de clima particularmente suave se pueden aclimatar los agrios, la falta de suficiente calor, no permite una buena maduración de los frutos y solo tienen un carácter ornamental, sin vista a una producción comercial.

Temperaturas de 25 °C a 30 °C son las que se consideran óptimas para la actividad fotosintética, que se paraliza a partir de temperaturas, de 35 °C en la mayoría de las especies cítricas y de 38 °C en pomelo.

La notable extensión de los agrios, muy lejos de su área de origen, demuestra su gran facultad de adaptación a unos climas muy diversos. La determinación de las temperaturas extremas que puedan soportar, tanto máximas como mínimas son fundamentales en el establecimiento de las plantaciones de agrios.

A bajas temperaturas, la actividad vegetativa es nula o casi nula. Esta se inicia, en las zonas subtropicales, a medida que la temperatura se incrementa, de modo que cuando en primavera se supera un determinado umbral, la planta brota y florece. A partir de ese momento su crecimiento aumenta con la temperatura hasta un determinado valor de ésta, superado el cuál cesa. Solamente cuando la temperatura sobrepasa los 50 °C se observan daños en el árbol. El rango de temperaturas óptimas para el cultivo comercial de los agrios se establece entre 23 °C y 34 °C, siendo la temperatura máxima en la que no se aprecian daños secundarios indeseables los 39 °C y el mínimo los 13 °C mientras que por debajo de 10 °C aparecen efectos secundarios y cesa la actividad.

En los climas tropicales los frutos son más azucarados y mucho menos ácidos que los producidos en las regiones que poseen una estación fría destacable, siendo muy pálida la coloración de la corteza y del zumo.

Sólo las temperaturas muy frías, por debajo de 4 °C, tienen efectos pronunciados sobre la calidad del fruto. Los efectos de la persistencia de las bajas temperaturas sobre la calidad de los frutos se manifiestan en la siguiente campaña. Las bajas temperaturas causan un posterior incremento de vigor en el crecimiento y desarrollo del árbol, sobre todo de sus brotes. Las mejores calidades de fruta se dan en las zonas con frío, y es precisamente en esas zonas donde puede haber peligros de heladas, variando su frecuencia e intensidad dentro una misma zona, región o comarca.

A pesar de su carácter mesofítico, marcado, por sus hojas anchas, la ausencia de mecanismos y dispositivos que limiten la transpiración y la evaporación, el débil desarrollo de pelos, la carencia casi total de protección de la yema mediante escamas y la ausencia de un período regular de latencia, los agrios pueden ser cultivados con éxito bajo climas muy calurosos y muy secos y en regiones de invierno relativamente frío.

El frío (en general a partir de -2 °C) constituye para los agrios un límite mucho más estricto que las temperaturas elevadas, para las cuales el nivel letal es elevado por lo que los riesgos que los citricultores corren en las plantaciones de agrios a causa de las heladas invernales son relativamente importantes en numerosas regiones productoras como España, Italia, Grecia, Georgia, Turquía, Irán, Florida, California, Japón, Australia etc.

Los daños provocados por las heladas son amplios y variados, desde caída de hojas a mermas de calidad de parte de la fruta, a la pérdida total de esta o incluso de la plantación. Los daños ocasionados repercuten tanto a nivel particular como a nivel local, regional y nacional, llevando a graves desequilibrios sociales por pérdida de horas de trabajo en tareas de recolec-

ción, manipulación en almacenes, transporte, etc., merma de la calidad de la fruta que queda en el árbol, pérdida de mercados que es rápidamente sustituida por otros países y luego es difícil de recuperar, etc. A título de ejemplo en la Comunidad Valenciana, las pérdidas declaradas por las altas temperaturas en la década 1990 al 2.000 han sido nulas, mientras que por heladas se cifran en los 50 millones de euros.

2.- RESISTENCIA A LAS HELADAS

Los daños causados por las heladas tienen un moderado interés en muchas de las principales zonas cítricas del mundo y son un problema importante en algunas regiones subtropicales de Estado Unidos, Japón, China central, nordeste de México y Argentina. La pérdidas de cosechas y ocasionalmente de árboles han ocurrido en muchas zonas de la región mediterránea, como Grecia, Turquía, pero a intervalos irregulares y con mucha menos severidad que en Estado Unidos. Más recientemente, en este país ha habido varias heladas económicamente devastadoras, durante el decenio de 1980 y 1990 que ocasionaron la muerte de varios miles de hectáreas de cítricos, y también millones de dólares en pérdidas de cosechas. Por otra parte en las regiones tropicales como en Brasil, que es el mayor productor de cítricos del mundo, rara vez ocurren heladas con mermas importantes de la cosecha.

Las plantas tienen una cierta capacidad –variable de unas especies a otras– de adaptarse al frío, incrementando su resistencia, a través de los siguientes cambios y mecanismos:

- a) Inhibición o disminución de la aparición de cristales.
- b) Aumento de la resistencia del protoplasma a la deformación.
- c) Aumento de la permeabilidad de la membrana protoplasmática.
- d) Aumento de la presión osmótica de los jugos de la planta, que hace descender su punto de congelación.
- e) Acumulación de azúcares, que evitan la coagulación de las sustancias albuminoideas.
- f) Aumento de la cantidad de proteínas.

Las bajas temperaturas y los períodos luminosos cortos, son los factores que fundamentalmente determinan la puesta en marcha de los mecanismos de adaptación y resistencia al frío. La cantidad de agua contenida en los tejidos, al determinar el grado de turgencia de las células, es la que tiene mayor importancia en el caso de heladas.

Los diferentes órganos de una misma planta presentan diversos grados de resistencia al frío, según sea su naturaleza intrínseca y su posición en la planta.

Los cuerpos, a igualdad de temperatura, almacenan calor en proporción a su volumen y capacidad calorífica, y lo pierden proporcionalmente a su superficie y conductibilidad, especialmente la de su capa externa.

Las hojas que tienen una gran superficie y poco volumen, se enfrían más rápidamente que los frutos y acusan antes y más intensamente que los frutos los daños de heladas; las hojas jóvenes son más sensibles que las adultas, lo que tal vez sea debido a su mayor contenido en agua y a la menor cutinización de su epidermis, que las hace mejor conductora del calor.

El nivel de resistencia de los agrios al frío depende a su vez del periodo en que se produce la helada, es decir, el estado fisiológico en que se encuentran los árboles en este momento, del órgano considerado, de la especie e incluso de la variedad y por último de la duración de la helada. En general son más peligrosas las heladas primaverales que las invernales.

El número de factores que determinan el grado de resistencia obliga a fijar varios niveles a esta resistencia y, finalmente, la frecuencia y la duración de los periodos fríos cuentan más que la propia magnitud del enfriamiento.

Los cítricos y los géneros más próximos a ellos tienen un origen tropical y subtropical, de modo que su tolerancia a las heladas es intermedia entre la de especies de zonas templadas, que se aclimatan de acuerdo con pautas basadas en la duración del día y oscilaciones de temperatura, y la de especies tropicales, que tienen una capacidad limitada para aclimatarse excepto a un cierto sobreenfriamiento. Los cítricos se adaptan a las heladas con una combinación de mecanismos de evitación y de mecanismos de tolerancia. La resistencia a las heladas supone una capacidad de los órganos de la planta para sobreenfriarse por debajo de 0 °C sin formación de hielo. La magnitud del sobreenfriamiento varía con la especie, el tipo de órgano vegetal y la magnitud de la aclimatación.

Las temperaturas por debajo de 0 °C afectan seriamente el desarrollo de la planta y calidad del fruto. El limonero es la especie en cultivo cuyos árboles son más sensibles al frío, seguida del pomelo y el naranjo dulce. Los mandarinos son los más resistentes. En los pomelos y sus híbridos, temperaturas entre 4 °C y 9 °C, afectan a la capa cerosa cuticular del fruto, rompiéndola y favoreciendo la transpiración. Esta pérdida de agua afecta a las primeras capas de células epidérmicas y subepidérmicas del fruto, cuyo cito-

plasma se colapsa, muriendo y dando lugar a pequeñas señales o puntos oscuros que reciben el nombre de cold pitting o peel pitting. A pesar de ello, en general, los agrios pueden resistir temperaturas por debajo de $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ sin sufrir daños importantes, siempre que estas mínimas no tengan una persistencia muy prolongada. Pero si esta se dilata más allá de 2 horas, los daños que sufren los frutos pueden ser irreversibles. Los frutos del limonero son los más resistentes al frío, seguidos por las mandarinas y las naranjas dulces. El pomelo ocupa el último lugar. Los frutos helados poseen una corteza típicamente dañada, con pérdida de zumo y la aparición de cristales de hesperidina entre sus vesículas.

Los cítricos, a diferencia de otras especies sensibles a las heladas, toleran varios grados de formación de hielo intracelular y, consiguientemente, aún cuando se produzcan nucleación, las células no necesariamente se dañarán o morirán. La formación de hielo se aprecia por la aparición de zonas oscuras (empapamiento de las hojas), que suele emanar el nervio medio hacia la periferia de la hoja. En el campo, el empapamiento ocurre a temperaturas incluso tan altas como $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se extiende por el árbol y el huerto, lo que indica que la nucleación ocurre en muchos puntos durante una helada. No obstante, el grado de empapamiento dentro de la hoja no se correlaciona necesariamente con la magnitud del daño. Es frecuente observar un empapamiento extenso durante la noche de una helada sin que se produzcan daños en las hojas.

Las flores de las especies comerciales de *Citrus* tienen la capacidad de superenfriarse a $-4,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, la fruta a $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, las hojas maduras a $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ y los tallos a $-8,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sin embargo, las hojas suculentas, jóvenes, sin aclimatar, en expansión, únicamente se superenfrian hasta $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ o menos. La magnitud de superenfriamiento también varían según las especies: las hojas de *Citrus medica* (cidro), *Citrus limon* (limonero) y *Citrus unshiu* (mandarino satsuma) el que más ($-9,4\text{ }^{\circ}\text{C}$) de los cultivares comercialmente importantes. *Poncirus trifoliata*, cuando está totalmente aclimatado, tiene capacidad para superenfriarse incluso a $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, aunque su aplicación principal es como patrón y no como cultivar comestible.

El grado de los daños en el árbol está en relación con el grado de aclimatación y la duración y la temperatura mínima de la helada. El grado de aclimatación es función de la temperatura del tejido y del suelo y de la duración del día. Los cítricos no se aclimatan sin luz y lo hacen mejor en condiciones de días largos que de cortos. El efecto de los días largos probablemente se relaciona con el incremento de acumulación de metabolitos en comparación con los días cortos, y no con cambios metabólicos mediados

por fotocromos, como sucede con las especies de zonas templadas. La máxima aclimatación a las heladas se logra con temperaturas diurnas moderadas (20-25 °C) y con temperaturas nocturnas del aire y del suelo bajas (<12 °C) durante 2 semanas o más. Estas condiciones provocan una parada de la planta o un crecimiento “no aparente”. Este estado no es sinónimo de la verdadera dormición, ya que colocar los árboles en condiciones favorables de crecimiento (temperatura >12,5 °C), ocasiona una reanudación de la actividad y una disminución en la resistencia. Los cítricos se desaclimatan más rápidamente de lo que se aclimatan, a veces en el plazo de unos pocos días a las temperaturas favorables para el crecimiento.

En los cítricos ocurren numerosos cambios bioquímicos cuando se aclimatan, algunos de los cuales pueden ser únicamente correlativos, mientras que otros parecen afectar directamente a la resistencia. Las proporciones de azúcar: almidón aumentan durante la aclimatación al frío cuando aumentan drásticamente los niveles de azúcar. Los azúcares servirían para hacer disminuir el punto de congelación dentro de la planta o actuarían como crioprotectores de las membranas celulares. Durante la aclimatación también se produce un incremento de los niveles de prolina en la savia y cambios en la composición lipídica y proteica, pero sus funciones en relación a la resistencia a las heladas no se conocen bien.

La proporción relativa de hielo a agua en los espacios intercelulares y la rapidez con que se propaga el hielo en los cítricos también son importantes en la tolerancia a las heladas. Las diferencias en la tolerancia a las heladas entre las distintas especies serían función en última instancia de las diferencias en cuanto al total de agua congelada tolerada a una temperatura de subcongelación. Por ello, tanto la temperatura mínima durante la helada como la duración de la temperatura inferior al punto de nucleación del hielo son igualmente importantes para la supervivencia frente a la congelación.

En general se admite que los límites atribuidos a la resistencia de los agrios al frío es:

- una temperatura de -2 °C puede ser peligrosa
- a -9 °C el follaje sufre desperfectos,
- a -9 °C se destruye el almacén,
- una temperatura de -11 °C destruye completamente el árbol.

La destrucción total de la planta sucede a: -8 °C para el limonero, entre -9 y -10 °C para el naranjo, y -12 °C para el mandarino.

Aunque las temperaturas mínimas que pueden ser soportadas sin serios desperfectos, varían considerablemente y dependen del estado del árbol, de

su especie, de la variedad, la duración del periodo frío y de diversos factores climáticos.

Por otra parte, el efecto de las bajas temperaturas varía según el órgano considerado. Los frutos se hielan entre 0.5 y -1.9 °C según las especies mientras que las hojas no se hielan antes de los -3.9 °C, de -8 a -9 °C la mayor parte de los ramos, mientras que la destrucción completa del tronco es con temperaturas comprendidas entre -9 y -11 °C durante varias horas.

La duración del frío posee una gran importancia ya que es preferible una temperatura de -6.6 °C de apenas unas horas de duración, que temperaturas comprendidas entre -2.8 y -3,9 °C durante varias horas o de -2 °C durante varios días.

2.1.- De las especies

La resistencia de los agrios al frío además es una cuestión de especies. La lista de las principales de ellas puede ser establecida de este modo, en orden decreciente de resistencia al frío:

1. *Poncirus trifoliata*
2. *Fortunella margarita* y japónica (*Kumquat*).
3. *Citrus reticulata* (*mandarino*)
4. *Citrus aurantium* (*naranja amargo*).
5. *Citrus sinensis* (*naranja dulce*).
6. *Citrus paradisi* y *C. grandis* (*pomelo y pummelo*)
7. *Citrus limon* (*limonero*)
8. *Citrus aurantifolia* (*lima mejicana*).
9. *Citrus medica* (*cidro*)

De ahí que el cidro y las limas sólo se cultiven en zonas muy cálidas.

Se estima que el contenido en materia seca y en agua de las hojas durante el invierno puede servir como índice indirecto de la resistencia de éstas a las heladas. En condiciones idénticas de temperatura (-6.6° C), la congelación de las hojas de diversos agrios ha sido en el orden siguiente:

- 1° Pomelos
- 2° Citrange Troyer
- 3° Lima Rangpur
- 4° Rough Lemon
- 5° Naranja amargo

Este orden no era sensiblemente el mismo que el del contenido en agua de las hojas, ya que no coinciden ni Rough Lemon ni lima Rangpur.

Pomelo, 78%;

Rough Lemon, 69%;

Citrange Troyer, 68%;

Lima Rangpur, 55%;

Naranja amargo, 66%.

Dentro de una misma especie, variedades con follaje más denso como Lisbon, se consideran más resistentes que Eureka, con follaje menos denso.

La resistencia a las heladas de los frutos de las variedades cultivadas en España son:

1° Frutos de *Poncirus*

2° Pomelo

3° Kumquat

4° Naranja amarga

5° Naranja dulce:

– naranja Navel

– naranja Valencia Late

– naranja Blanca

– naranja Sanguina

6° Mandarinas

7° Limón

8° Lima

9° Cidro

Referente a los portainjertos, el más resistente es el *Poncirus trifoliata*, seguido del naranjo amargo, mandarina, naranja dulce, pomelo y limonero siendo el limonero rugoso el más sensible.

2.2.- Del estado del árbol

Hemos comentado anteriormente la resistencia de los diversos órganos de la planta y de su posición. En este apartado nos referiremos al estado general del árbol y que factores le ayudan a soportar mejor las bajas temperaturas. Cuanto más abundante es el follaje, mejor es la resistencia a la helada. Esto se debe indudablemente al hecho de que la abundancia de follaje es un síntoma de perfecto estado vegetativo.

Las bajas temperaturas tienen como efecto principal provocar el reposo vegetativo y, si son lo suficientemente bajas, la auténtica latencia y si sobreviene una helada el árbol resiste mejor.

Hay siempre un aumento de resistencia al frío cuando el árbol se encuentra en estado más o menos pronunciado de latencia, es decir, cuando hay una parada en la actividad fisiológica. La presencia de fruta en los árboles, mantiene la actividad de estos, por lo que suelen ser más susceptibles a los fríos que los que los tienen ya recogidos. Por otro lado, los largos periodos sombríos con temperaturas bajas son igualmente favorables a la resistencia al frío. También la resistencia al frío disminuye para aquellas plantas que han experimentado periodos cada vez largos de baja temperatura bajo una iluminación de duración constante, mientras que las altas temperaturas diurnas que alternan con las bajas temperaturas nocturnas incrementan la resistencia al frío.

El periodo fresco, que preceda a otro en el que se han de esperar unos fríos perniciosos, ejerce un efecto beneficioso sobre la resistencia de los agrios con respecto a las heladas, pues incita a los árboles a entrar en un reposo vegetativo, en cuyo estado su sensibilidad al frío queda considerablemente reducida.

El umbral a partir del cual se detienen el crecimiento difiere según los órganos: 12.2 °C para el cámbium (inicio de letargo). La existencia de temperaturas inferiores a estos umbrales tiene una gran importancia, no sólo en regiones frías que permiten a la planta un estado en el que resiste mejor el frío, sino también en zonas cálidas, puesto que el paro vegetativo que provocan, termina con un evidente arranque de vegetación acompañado de floración, en una época muy determinada del año; esto tiene como consecuencia una mejor regularidad del ciclo vegetativo y sobre todo que maduren a la vez y también que la recolección se de en una sola época.

Plantas insuficientemente abonadas, con niveles bajos de elementos nutritivos los hace más sensibles a las heladas y los árboles se recuperan peor. De todas formas hay que evitar abonados nitrogenados en otoño donde haya riesgo de heladas, ya que este elemento estimula la actividad vegetativa y retrasa la entrada en latencia.

Por otra parte se ha observado que los árboles con deficiencia en nitrógeno (menos del 2% de la materia seca de las hojas), acumulan menos almidón en las ramas y ramitas y más en las hojas y aguantan peor el frío.

También hay una mejor resistencia al frío con árboles cuyas hojas presentaban un fuerte contenido de magnesio.

Las plantas con elevada necesidad de boro exigen un periodo de largos días para desarrollarse normalmente, en tanto que las que presentan débil necesidad de boro tienen su crecimiento influenciado por la disponibilidades del suelo en boro y sólo empiezan a crecer cuando el suelo está suficientemente caliente como para asegurar una alimentación regular en este elemento.

Las virosis modifican el comportamiento fisiológico de la planta. Así se ha observado que plantas afectadas por la psoriasis eran más afectadas que aquellas que no presentaban síntomas. Después de las fuertes heladas de 1957, se hicieron patentes los síntomas latentes de las plantas afectadas por la tristeza. En general se admite que las heladas provocan más daños en cultivos con problemas sanitarios. Además de los mencionados podemos citar la cancrisis, *Phytophthora*, o los que sufren ataques de cochinilla, mosca de la fruta, ácaro rojo, minador, etc.

3.- DAÑOS CAUSADOS POR LAS HELADAS

El daño que ocasionan las heladas a los tejidos vegetales, viene en muchas ocasiones como consecuencia de la formación de cristales de hielo o bien en los espacios intercelulares ó en el interior de las propias células (en el protoplasma o en las vacuolas). La formación de hielo en el interior de la célula suele ser la causa más frecuente de los daños originados por las heladas, y produce efectos puramente mecánicos, que alteran la estructura física del protoplasma y de la membrana protoplasmática, la cual pierde su semipermeabilidad, siendo las células incapaces de conservar su turgencia. La formación de los cristales de hielo se inicia en los espacios intercelulares y es la causa productora de daños, provoca la salida de agua de las células, concentración y coagulación irreversible del protoplasma y acción mecánica sobre éste y su membrana como consecuencia de la presión a que se hallan sometidos por el crecimiento de los cristales; los daños producidos por este tipo de congelación son similares a los originados por una desecación de los tejidos a temperatura ordinaria y también hay un efecto mecánico debido a las lesiones que provocan las agujas de hielo y al aumento de presión sobre las paredes como consecuencia del mayor volumen que ocupan.

El verdadero daño proviene del deshielo ya que entonces es cuando se produce el vaciamiento del contenido de las células por las diferentes zonas de rotura. La velocidad con que se produzca la descongelación incidirá en la magnitud del daño.



Foto 1: Escarcha en hojas.

Todas las diferencias de grados de enfriamiento expuestas en el epígrafe anterior, se hacen sensibles en casos de heladas ligeras (Foto 1); en heladas graves, intensas, desaparecen prácticamente tanto las diferencias debidas a posición relativa como las originadas por la naturaleza de los órganos.

3.1.- Daños en árboles

Los órganos de la planta que primero acusan los síntomas de helada son las hojas. Cuando se produce un período de bajas temperaturas las hojas del naranjo toman un color oscuro que se extiende a lo largo de todo el limbo o se presenta en forma de manchas; tomando el conjunto del follaje un aspecto lacio, colgante. Si el frío es algo más intenso las hojas se abarquillan, especialmente las jóvenes, lo que confiere al árbol una apariencia de falta de agua (Foto 2); pero más tarde las hojas se recuperan gradualmente, adquiriendo de nuevo su turgencia normal, y tanto éstas como el arbolado vuelven a su aspecto y condiciones ordinarias sin que se haya producido daño alguno. Si el frío es más intenso las hojas no se recuperan, la desecación que experimentan es irreversible, permanente, por muerte de sus tejidos; estas hojas muertas pardean y caen (Foto 3); la defoliación puede ser total o parcial, según sea la intensidad de la helada, siendo las hojas jóvenes, las de las copas de los árboles y las más externas las más gravemente dañadas en casos de defoliación parcial. La desecación permanente y subsiguiente pardeamiento de las hojas a veces es de carácter parcial, siendo el ápice

y los bordes (Foto 4) del limbo las regiones más sensibles de la hoja. En casos de heladas ligeras, que no afecten seriamente a la vitalidad de las ramitas, se forma en la base del pecíolo una capa de tejidos de abscisión y las hojas dañadas se desprenden del árbol relativamente pronto y por un mecanismo en todo análogo al normal de caída de hojas viejas; las hojas dañadas por la helada se desprenden entre el pecíolo y el limbo, cayendo el pecíolo más tarde; en cambio, si la helada es intensa y mueren las ramitas o quedan gravemente afectadas, el pecíolo, falto de vitalidad, es incapaz de formar la precipitada capa de abscisión y las hojas muertas permanecen largo tiempo sobre el árbol, hasta tanto que el viento las quiebre y tire. Después de una helada por radiación, la abscisión de las hojas es siempre mayor en la copa del árbol que en la base, porque las temperaturas son más bajas en dicha área debido a la exposición directa al raso. No es infrecuente que las temperaturas de las hojas expuestas sean 1-2 °C menores que las protegidas del aire por debajo de 1,5 m sobre el nivel del suelo. Por tanto, hay que ser precavido al interpretar los datos de temperatura mínima del aire en relación con el alcance de los daños por helada. Al cabo de una semana de la helada, el alcance de los daños en las hojas debería ser bastante evidente. Los árboles pueden recuperarse incluso de la defoliación total y en algunos casos producirán flores y fruta la temporada siguiente, dependiendo del momento en que ocurra la helada, de si las yemas de flor han iniciado ya su desarrollo y de la magnitud de los daños en la madera.



Foto 2: Helada en hojas.



Foto 3: Daños por frío en brote de pomelo Star Ruby.



Foto 4: Daños por frío en hoja de Navelate.

Es más difícil evaluar las consecuencias de los daños en ramillas, tallos y troncos que en las hojas o en la fruta. Las ramas y troncos presentan un grado de resistencia al frío mayor que los frutos, circunstancias que van acompañadas con una menor proporción de agua en su composición y una mayor protección externa contra los cambios de temperaturas. En la fuerte helada de diciembre de 1984 en la Región de Murcia, de los plantones puestos en otoño gran parte de ellos murieron mientras que los plantados en primavera aguantaron mejor los efectos de las heladas. En general, las ramillas se dañan antes que las ramas y troncos grandes (Foto 5). Los brotes, ramas y tronco presentan un grado de resistencia a la helada proporcional a su edad y grosor. Los brotes jóvenes, que aún conservan el color verde, son los más sensibles al frío, y cuando éste les afecta toman un color más oscuro, total o parcialmente en forma de manchas, su corteza se resquebraja longitudinalmente y, si el daño es más grave, se desecan, pardean y mueren. Las ramas cuya corteza tiene color grisáceo o parduzco tienen mayor resistencia al frío, helándose en forma análoga a los brotes; la corteza, al morir, se agrieta y abarquilla por los bordes, quedando expuesta la albura. El tronco es el órgano más resistente de toda la parte aérea del árbol y sólo raramente en heladas muy graves se hiela. La raíz presenta el máximo de resistencia en casos heladas; puede decirse que casi nunca son afectadas, siéndolo únicamente en heladas rigurosísimas y sólo parcialmente.



Foto 5: Daños por frío en Fortune.



Foto 6: Daños por frío en plantación de limonero.

En caso de heladas ligeras, cuando los árboles sólo pierden una parte de sus hojas, es probable que parte del fruto pendiente no esté lesionado, pero si la intensidad de la helada afecta a las ramas jóvenes, es casi seguro que la totalidad de la fruta esté más o menos helada.

Una helada grave aunque dañe toda la parte aérea del árbol (Foto 6) raramente afecta a la parte subterránea, la cual, rápidamente, y tan pronto como lo permitan las condiciones climatológicas, dará lugar a nuevos brotes; si esto no ocurriera sería debido a que las raíces también han muerto por falta de metabolitos que normalmente le suministra la parte aérea.

Órganos idénticos –hojas, frutos, etc.– de una misma planta sufren daños de cuantía muy diversa en una misma helada, según sea su posición relativa en el árbol. El calor perdido por radiación se propaga hacia la atmósfera y se difunde en ella, a menos que incida sobre una superficie que lo absorba o refleje. Los frutos, hojas y demás órganos situados en el interior del árbol son los que se enfrían con mayor lentitud, teniendo por tanto, una temperatura algo superior a los del exterior, ya que reciben el calor procedente de la radiación de los órganos circundantes; de los frutos de la periferia del árbol, los que se enfrían más rápidamente son los de las partes altas, que irradian libremente su calor, sin recibir alguno en las noches despejadas; los laterales y de las partes bajas, al recibir el calor radiado por los árboles contiguos y el suelo, ocupan un lugar intermedio entre los dos casos anteriormente citados; los árboles de los linderos de huertos aislados se enfrían más en sus caras externas, las cuales radian su calor sin que sea reflejado por árboles próximos. Estas diferencias en la situación de frutos puede llegar a traducirse en diferencias de temperaturas de hasta el orden los 3 °C.

3.2.- Daños en frutos

Los daños que las heladas ocasionan en los frutos de los agrios pueden referirse a la corteza, a la pulpa y su zumo y a las características de los frutos considerados en su totalidad.

El primer paso del manejo de los árboles dañados consiste en evaluar la magnitud de los daños. Como cada helada es diferente, es muy difícil hacer una evaluación inmediata de éstos. En los frutos se estiman haciendo cortes a intervalos de una hora durante la mañana siguiente a la helada. La formación de hielo en los 0,6 cm superiores de las vesículas de zumo indica daño leve, mientras que la formación de hielo sólido en el centro del fruto significa pérdidas y daños graves de buena parte de la cosecha. Generalmente, 4 h o más de temperaturas de $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ o más bajas, causarán algún daño en la fruta madura. Si ha habido amplios daños en la fruta, habrá caída de la misma 1-2 semanas después de la helada. Las temperaturas diurnas altas que siguen a una helada acelerarán, en particular, la caída de fruta y el secado de los gajos. La fruta deberá cosecharse lo antes posible después de una helada y procesarse rápidamente para minimizar la disminución en el contenido de zumo y las pérdidas de rendimiento debidas a la caída de frutos. Después de que el hielo se derrite en la fruta, el agua es transpirada a través de la piel y no rehidrata los sáculos de zumo, de modo que el contenido en zumo disminuye.

Las naranjas y pomelos, sensiblemente esféricos, tienen un volumen y una superficie proporcionales al cubo y cuadrado, respectivamente, de sus diámetros; por tanto, cuanto mayores son, menor superficie tienen por unidad de volumen y, consecuentemente, tardan más en enfriarse. No existen diferencias significativas entre los calores específicos de las distintas variedades de agrios y, por otra parte, el coeficiente de conductibilidad térmica es relativamente bajo (de \leq a $2/3$ de la del agua), y, si bien es independiente del volumen del fruto, está correlacionado con el espesor de la corteza, la cual es peor conductor del calor que la pulpa, como consecuencia de la gran cantidad de aire, anhídrido carbónico, vapor de agua, etc., que ocupan los espacios intercelulares de la misma en una proporción del 30 al 50 por 100. Como consecuencia de lo expuesto resulta que la resistencia diferencial de los frutos de las distintas especies de agrios es algo distinta de la resistencia de las propias plantas. Así el pomelo es algo más resistente que la naranja dulce- aunque el pomelo árbol tiene un grado de susceptibilidad al frío similar a la del naranja dulce- a causa del mayor tamaño del fruto y el mayor espesor de la corteza; en cambio, la mandarina, con piel más delgada que la naranja y con mayor cantidad de superficie por unidad de volumen, a causa

de su menor tamaño, se enfría antes y se hiela más fácilmente que la naranja, a pesar de que el mandarino sea más resistente al frío que el naranjo dulce. Los frutos en general- y tanto más cuanto más brusco sea el descenso de la temperatura ambiente- están a temperatura más alta que la del aire circundante; en casos extremos esta diferencia termométrica es del orden de los 4 °C y el retraso de enfriamiento de una hora a hora y media.

Por otra parte, el coeficiente de conductividad térmica de los frutos cítricos es independiente del volumen del fruto, pero parece relacionado con el espesor de la piel.

Aunque no parece haber correlación entre la rapidez de enfriamiento y el tamaño del fruto, si es cierto que los frutos pequeños se hielan con mayor rapidez que los grandes. Esto puede deberse a que en una misma variedad, la piel de los frutos jóvenes es menos gruesa (absolutamente y no relativamente) que en los frutos grandes.

Los frutos situados en el interior del árbol tienen una temperatura 0.5 °C superior a la del aire, y los del exterior son, por el contrario, 0.5 °C más fríos que el ambiente. Por otra parte las plantaciones de alta densidad parece asegurar una mejor protección de los huertos contra el frío.

En las heladas ligeras o más bien cuando se deposita escarcha sobre los frutos, si el hielo que se forma tiene una cierta persistencia aparecen manchas en la piel como consecuencia de la rotura de glándulas de aceites esenciales de la corteza (Foto 7 y 8) formarse depresiones por el hundimiento de las celdillas de aceite, que han quedado vacías, zonas que tienen un aspecto marchito y que terminan por tomar color pardo. El interior de la naranja, la pulpa, puede en estas condiciones estar indemne o parcialmente



Foto 7: Daños por helada en frutos de Navelate.



Foto 8: Manchas por frío y humedad en Fortune.

helado en las zonas situadas inmediatamente debajo de las manchas de la corteza. Los frutos de color amarillo: pomelo, limón, etc., son más propensos que las naranjas, y éstas más que las mandarinas, a deteriorarse por la presencia de manchas de este origen en la corteza.

Cuando las heladas son más intensas y dañan a la totalidad de la cosecha la fruta toma un color pálido, falta de tersura y brillo. A veces sólo se hiel a la parte de la fruta que está expuesta al exterior.

Las modificaciones sufridas por los frutos helados son:

1. Difusión del agua en los espacios intercelulares e intervesiculares.
2. La superficie de la pulpa adquiere un color gris pálido y lechoso.
3. Aparecen cristales de hespíridina en la superficie de las membranas de los gajos. (Fotos 9 y 10).
4. Las membranas de los gajos están onduladas (Foto 11). Ello puede ser debido al encogimiento de la pulpa por deshidratación o al hecho de que los tabiques estén gelatinizados.
5. En los frutos más afectados, hay bolsas de goma situadas, casi siempre, en los ángulos agudos de los gajos próximos al eje central.
6. Gelatinización de la pulpa.
7. Aparición de granulaciones amarillentas en la pulpa.
8. Uno o dos gajos están comprimidos (los que se han helado) por los demás que han seguido un crecimiento normal.

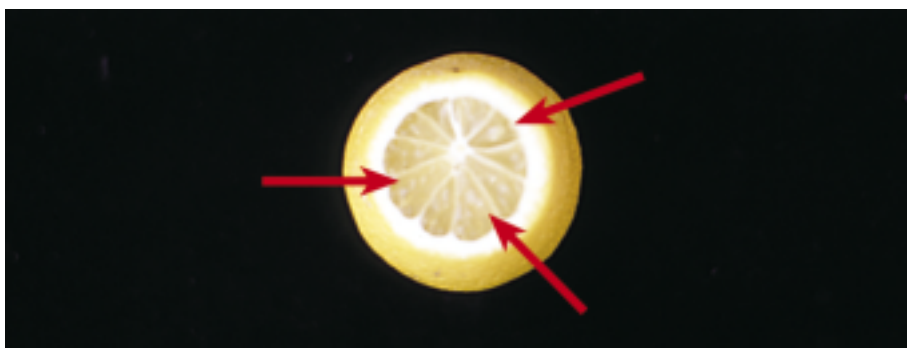


Foto 9: Limón Fino con síntomas de heladas. Los puntos blancos son los cristales de hesperidina.



Foto 10: Cristales de hesperidina en fruto de naranja Navelate.

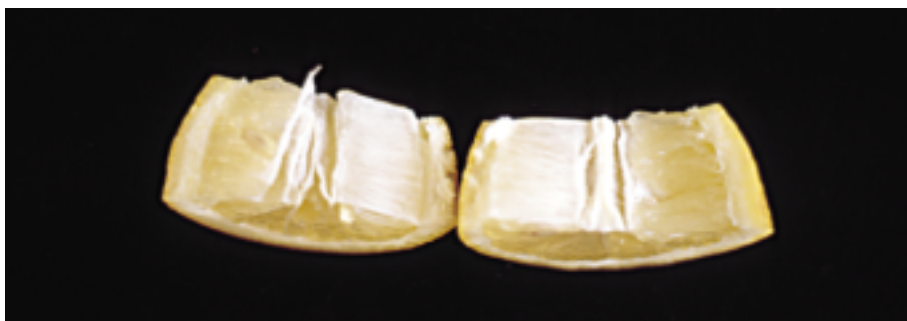


Foto 11: Limón afectado por frío. Pared de los gajos separadas.

9. La piel está reseca y presenta manchas pardas. Estas manchas son causadas por el aceite que escapa de las glándulas heladas. La piel puede conservarse también tierna o presentar unas manchas verdes que no desaparecen con la maduración.
10. No se han detectado casi nunca desperfectos en el albedo¹.

La pulpa, por su parte, al helarse, experimenta las siguientes alteraciones: cambios en su composición química, desecación, desintegración de los tejidos y, a veces, putrefacción. El primer síntoma que observa en un fruto helado es la aparición de cristales de hesperidina, que se manifiestan en forma de puntos blancos brillantes (fotos 9 y 10), en las membranas de los gajos y que –si el fruto se recupera– pueden llegar a desaparecer. Poco más tarde comienza a hacerse aparente el proceso de desecación originado por la rotura de las celdillas que contienen el zumo, cuya agua se pierde por evaporación a través de la superficie o por reabsorción a través del pedúnculo, en cuyo caso la desecación es más manifiesta al principio en la región peduncular; no debe confundirse la desecación por helada con la que normalmente se produce en las naranjas tardías o de media estación al final de su período de maduración; la distinción entre ambas es fácil, ya que solamente se forman cristales de hesperidina cuando hay helada. Otra característica de las naranjas heladas es la aparición de un sabor amargo, que con el tiempo desaparece, y que no es perjudicial para la salud; el fenómeno es consecuencia de la rotura de celdillas y puesta en libertad del zumo, el cual disuelve principios no amargos contenidos en los tejidos del mesocarpo, que, en contacto con los ácidos del zumo, dan lugar a sustancias que comunican a éste el sabor amargo y desagradable. La pulpa que se ha helado toma primeramente un aspecto acuoso y color más pálido, a veces veteado; más tarde se observan los efectos progresivos de la desecación; celdillas vacías o gelatinizadas, zonas más o menos secas y, por último, aspecto estropajoso del conjunto; a veces en un mismo fruto se hielan unos gajos sí y otros no, e incluso un mismo gajo puede helarse con intensidad variable a lo largo del mismo: generalmente la sensibilidad y grado de daño disminuye del extremo correspondiente a la región del pedúnculo hacia el extremo estilar. En las membranas de los gajos se forman unas bolsitas o ampollas como consecuencia de la disminución de adherencia a la pulpa, siendo más fácil la separación de las membranas en los frutos helados que en los indemnes.

¹ Albedo o mesocarpo: tejido parenquimático de aspecto esponjoso y de color blanco.

Por último, los frutos considerados en su conjunto experimentan una marcada pérdida de peso específico, como consecuencia de la desecación; quedan fofos, blandos y con escasa adherencia al pedúnculo, del que se desprenden cayendo con facilidad.

Las naranjas tardías, si el daño es ligero, se van recuperando, si bien son de calidad inferior, aunque perfectamente comestibles.

En variedades tardías algunos de las características de la helada sobre la pulpa como el aspecto acuoso y cristales de hesperidina, desaparecen usualmente al cabo de uno a tres meses; lo mismo ocurre con las vesículas gelatinizadas, salvo en casos de frutos muy helados. Cuando parte de un gajo o un gajo completo muere y sus tejidos se desecan y contraen dejando un hueco, los gajos sanos inmediatos aumentan de tamaño y ocupan total o parcialmente el espacio que aquél dejó vacío. En líneas generales el porcentaje de daños en los frutos disminuye a medida que avanza la temporada. El volumen medio de zumo de los frutos helados, así como el porcentaje de zumo de los mismos referido al peso total, aumenta al avanzar la temporada, análogamente a lo que ocurre con los frutos indemnes. Tanto en los frutos helados como en los no helados aumenta la cantidad de sólidos disueltos y azúcares totales hasta mediados del mes de agosto. Los frutos jóvenes, no maduros, dañados por la helada tienen una capacidad de recuperación mayor que los frutos maduros o casi maduros.

4.- MÉTODOS DE PROTECCIÓN CONTRA HELADAS

En este apartado nos referiremos a algunos de los distintos sistemas empleados para la defensa y protección de los árboles y frutos. Actualmente ha habido un abandono paulatino de huertos de naranjos y limoneros en la Huerta de Murcia y en otras zonas próximas, ante una presión urbana excesiva, falta de agua, abandono de la agricultura por el sector servicios o industria, etc. Una vez que sabemos los posibles daños que nos pueden producir las heladas hemos de contrarrestarlos antes de que estos se puedan producir.

4.1.- Métodos pasivos

A la hora de prevenir las heladas lo primero que hay que realizar la elección del emplazamiento más adecuado, siempre que sea posible. Hay que evitar las zonas donde las temperaturas permanecen por debajo de $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ unas cuantas horas al año, para evitar las pérdidas de fruta y de árboles. Por

ello es conveniente recoger los datos históricos de las temperaturas de la región y evaluar la probabilidad de daños por heladas. Otro aspecto que hay que tener en cuenta es el evitar los puntos bajos de las parcelas que no permiten el drenaje del aire frío, y se acumule el aire helado, con efectos perniciosos sobre la plantación.

Dada la amplia gama que ofrecen los viveros en cuanto variedades y patrones, es conveniente elegir para un huerto comercial, la combinación mas adecuada que nos vaya a permitir tener menos problemas ante los posibles daños que las bajas temperaturas puedan afectarle..

Otras medidas pasivas de protección contra el frío incluyen el establecimiento de cortavientos, la limpieza del cultivo y cubrir los árboles.

Los cortavientos son estructuras capaces de reducir la velocidad o cambiar la dirección del viento. Por su naturaleza, suelen designarse los cortavientos como:

- Setos muertos formados por distinto material desde cañas hasta bloques de hormigón, pasando por telas de material plástico, etc.
- Setos vivos (arbustos o árboles de poco porte: tuyas, enebros, taray, etc).
- Barreras, formadas por especies forestales de gran porte como cipreses, chopos, eucaliptos, falsa acacia, etc.

Su eficacia va a depender de su altura, anchura, estructura (distribución de los espacios cerrados y huecos) y permeabilidad. La efectividad se mide como la distancia a sotavento, expresada en numero de alturas hasta la cual la velocidad del viento se ve reducida.

Los cortavientos reducen la mezcla de aire durante las heladas de advección reduciendo así las pérdidas de calor del huerto. Los cortavientos son muy efectivos si también hay una fuente de calor (como estufas o calentadores) en el huerto. Los cortavientos de setos vivos pueden disminuir el rendimiento y vigor de los árboles en las zonas más próximas a ellos, debido al sombreado y la competencia por el agua y los nutrientes. Los cortavientos no deben situarse en zonas bajas del huerto, donde pueden impedir el drenaje del aire frío.

La tierra de cultivo limpia es otro método de protección pasiva contra el frío. Una superficie limpia y compactada intercepta y almacena más radiación solar durante el día y desprende más calor de noche que una superficie cubierta con vegetación o un suelo recién labrado. El suelo de cultivo limpio puede lograrse por métodos químicos o mecánicos, siempre y cuando se deje transcurrir el tiempo suficiente después de arar para permitir que la superficie se compacte firmemente.

Debido a la gran belleza de sus frutos y de los árboles, los cítricos se han cultivado durante siglos protegiéndolos con invernaderos (“orangeries”) para impedir la pérdida de radiación y disminuir los daños por heladas. Las “orangeries” se han utilizado desde la época de los romanos y eran comunes en el norte de Europa en los siglos XV y XVI. El uso de cubiertas para los árboles no suele ser económica para ejemplares grandes en condiciones comerciales. El invernadero además de proporcionar protección contra las heladas, acelera la maduración de los frutos debido a las altas temperaturas de su interior, permitiendo la producción de fruta temprana. Los costes de implantación son muy elevados y no suelen ser rentables económicamente.

4.2.- Métodos activos

En la mayoría de los casos, los árboles maduros sobreviven mejor a las heladas moderadas de corta duración que los árboles jóvenes, a causa del mayor tamaño de su copa y masa arbórea. La copa grande retarda las pérdidas de calor del huerto y su mayor masa requiere largos periodos de bajas temperaturas para que se alcancen niveles perjudiciales.

Además, los árboles jóvenes son más vigorosos y con menor espesor de corteza protectora que los adultos, de modo que son menos resistentes a las heladas en muchos casos. Tiene también mucha importancia la duración previsible de las heladas, así como el número de días que estas puedan darse.

Los métodos activos podemos dividirlos en tres:

- Los que tienden a conservar el calor.
- Los que generan calor en el ambiente.
- Los que provocan una agitación del aire.

Los métodos que tienden a conservar el calor se utilizan en las heladas por irradiación, que se producen en noches en calma y sin nubes (cielos estrellados). Una manera de evitar las pérdidas es cubrir las plantas especialmente si son pequeñas con sacos de plástico o papel, paja, etc. (Foto 12). La producción de humo está prohibida y más si se está próxima a una carretera o viviendas.

La calefacción en los huertos se ha usado con éxito para la protección de los frutales contra las heladas desde hace muchos años. La mayor ventaja de los calentadores es que si se colocan y utilizan adecuadamente, proporcionan protección efectiva para árboles y fruta, y sirven tanto contra las heladas de advección como las de radiación. Sin embargo, las estufas son caras de comprar, mantener y operar (Foto 13).



Foto 12: Defensa contra heladas en árboles jóvenes.

Mientras mayor sea el número de estufas, mejor se protege el huerto. Solo se justifican económicamente para proteger fruta fresca de alto valor o durante heladas muy severas que comprometan la supervivencia de los árboles. Actualmente esta práctica está casi totalmente desechada. El principal problema es la falta de mano de obra y su carestía. Otro problema es que una vez encendida la estufa debe consumirse totalmente el combustible.

Las máquinas de viento (Foto 14) son otro método de protección activa de los huertos en producción. Operan aprovechando la formación de una capa de inversión de temperatura durante las heladas por radiación. Esta situación se crea cuando la superficie del suelo se enfría más rápidamente que el aire entre los 8 y 25 m sobre la superficie del suelo. Las máquinas de viento, que constan de una o dos hélices grandes activadas por un motor diesel o de gasolina, se utilizan para mezclar el aire de la capa superior más caliente con el aire más frío que está a ras del suelo del huerto. Las máquinas de viento son muy efectivas durante heladas por radiación moderadas donde únicamente se requiere aumentar de 1-1,5 °C la temperatura. No deben usarse con velocidades de viento superiores a 12 m/s, porque el aire se ha mezclado ya, y también porque los vientos fuertes pueden romper las hélices creando situaciones peligrosas. Las máquinas de viento no se utilizan ampliamente a causa de los gastos de inversión inicial, mantenimiento y combustible. Las máquinas de viento también se han usado combinadas con calentadores que proporcionan mejor protección contra las heladas que cualquiera de los métodos individualmente. La superficie media que protege una torre está sobre las 5-8 ha.



Foto 13: Estufas de lucha contra heladas.



Foto 14: Torre de viento.

El uso de helicópteros para invertir las capas de aire frío de las capas bajas, requiere grandes superficies, en torno a las 25 ha para que no sea económicamente muy gravoso, y además que la plantación esté libre de obstáculos, ya que las pasadas debe de darla de noche y el riesgo de accidentes es grande.

También se han utilizado diversos tipos de riego para protección contra las heladas (Foto 15). El riego proporciona calor al huerto de dos formas como calor sensible y calor latente de fusión. En la mayoría de los casos, la temperatura del agua de riego oscila entre los 15-25 °C cuando se bombea de pozos. Cuando el agua se aplica al huerto, el calor se libera al aire y a los árboles. Otra forma de calor (el calor latente de fusión) se libera cuando el agua se convierte en hielo. Por lo tanto, la protección efectiva contra la helada depende del abastecimiento adecuado y continuo del agua. Las principales causas del fracaso se deben a cantidades insuficientes de agua o a la cobertura inadecuada del árbol o de la zona tratada. Estos factores son particularmente importantes durante las heladas de advección en las que el enfriamiento es por evaporación. Este enfriamiento elimina 7,5 veces la cantidad de energía de una zona regada que la que proporciona el calor de fusión. Consiguientemente, deben considerarse tanto la temperatura mínima como la velocidad del viento para determinar la cantidad de agua que se necesita para proteger frente a las heladas. Incluso pequeños aumentos en la velocidad del viento requieren incrementos relativamente grandes de la tasa de aplicación de riego, para proporcionar una protección adecuada contra las heladas. En numerosas ocasiones se han producido graves daños por heladas debidos a la inadecuada tasa de aplicación y a la escasa cobertura utilizando el riego por aspersión. Además, este sistema puede provocar la rotura de ramas debido a la acumulación de hielo en ellas. Por tanto, el uso de riego sobre las copas está limitado a los viveros de cítricos en los que las altas tasas de aplicación del riego son adecuadas, económicamente factibles por la alta densidad de plantación, la reducida superficie que debe cubrirse y no requerir grandes volúmenes de agua.

Los microaspersores son un método popular de riego en muchas partes del mundo, especialmente en cultivo frutal. Cuando los microaspersores están a nivel del suelo son bastante efectivos para proteger los árboles jóvenes contra las heladas, y no son eficaces en árboles adultos, porque no aportan la cantidad suficiente de agua al árbol o a la zona regada. Generalmente, el sistema de microaspersión sólo proporciona un aumento de temperatura de 1-2 °C en la parte más inferior de la copa.

La aplicación del riego por inundación a una superficie cultivada antes de una helada mejora todavía más la acumulación de calor durante el día. Se utiliza como protección frente a las heladas en numerosas partes del mundo. En la mayoría de las regiones, los citricultores empiezan a encharcar el huerto el día de antes y durante el tiempo que se esperan que permanezcan las temperaturas mínimas, aunque conviene evacuar el agua de la parcela una



Foto 15: Riego por aspersión en defensa contra heladas.

vez pasado el riesgo de helada, para evitar los daños por encharcamiento. La inundación de un huerto entero proporciona un aumento de la temperatura de 0,5-1,5 °C, principalmente a partir de calor sensible. Se trata de un método sencillo de protección frente a heladas con un coste aceptable, pero está restringido a zonas que utilizan riego por inundación y que tienen acceso a un gran volumen de agua en un tiempo corto.

Como se ha visto los diversos métodos para proteger el huerto de las heladas son variados, pero en general ninguno protege más de 2 °C el huerto.

5.- PRÁCTICAS CULTURALES EN ÁRBOLES DAÑADOS

Aunque en todo el mundo han muerto cientos de miles de árboles debido a las heladas, históricamente los daños afectan en diversa medida a la fruta, hojas o madera, pero sin matar el árbol entero. Esto acarrea al citricultor a la difícil tarea de volver a encaminar a los árboles a que entren en producción lo antes posible. La edad del árbol, la duración de la helada, la combinación patrón/variedad son los factores que determinan cómo se rehabilitará el huerto.

Las prácticas culturales deben modificarse en función de los daños causado por la helada. Es importante evaluar con precisión el daño antes de alterar las prácticas culturales. Como es tan difícil evaluar los daños en la madera, los árboles dañados por helada no deben podarse hasta la primavera

o el verano siguientes, después de evaluar la magnitud del daño en función de la magnitud de la decoloración de la madera, para minimizar problemas de podrido causados por hongos alojados en la madera muerta.

Si es de suave a moderado, con defoliación parcial y sin daños a la madera, es importante que la copa vuelva a crecer lo antes posible, podando la copa y los laterales lo antes posible. Los árboles deberán recibir las tasas recomendadas de fertilizantes durante el invierno y la primavera y un riego adecuado, pero no excesivo, cuando se están desarrollando las hojas. Como la pérdida de agua se produce principalmente por las hojas no es necesario regar mucho los árboles que han perdido gran número de ellas. Sin embargo, la humedad del suelo es necesaria para estimular la absorción de nutrientes y el crecimiento de nuevas hojas. El control de malas hierbas se convierte en un problema, porque el suelo de la plantación recibirá más luz que cuando las copas están completamente desarrolladas. Deberán aplicarse las cantidades adecuadas de herbicidas de preemergencia.

Cuando se hayan producido daños severos a las hojas y a la madera, las prácticas culturales deberán cambiarse. En este caso, el tamaño de la copa y de las raíces se habrán reducido y el árbol requerirá menos agua y nutrientes. Por ejemplo, si el tamaño de la copa se ha reducido a un tercio, las cantidades de fertilizantes y riego deben reducirse en esa misma proporción. Los árboles habrán de regarse y tratarse con herbicidas con más frecuencia a causa del menor tamaño de los mismos. Asimismo, la demanda de nutrientes será menor, porque no habrá fruta, pero es importante no descuidar estos árboles porque es esencial el nuevo desarrollo de la copa.

Los árboles conviene ser podados en función de la severidad de los daños en la madera, incluso se puede llegar hasta dejar sólo el armazón es decir las tres ramas principales; en todo caso hay que dejarle una estructura para que puedan regenerarse rápidamente. Los cortes deben ser limpio, dejando la menor superficie y sellándolos con mastic, para proteger las heridas. Mientras más severa sea la poda, mayor será el número de chupones, por lo que estos deben de eliminarse dejando solo los brotes fructíferos.

El encalar los árboles muy desmochados para reducir la temperatura del tronco y evitar las quemaduras del sol, puede no ser necesario si la poda se efectúa antes de que acabe la primavera, y si antes de que lleguen las altas insolaciones el número de rebrotes den la cantidad suficiente de follaje nuevo, para que cubra los troncos y los proteja de las quemaduras del sol. Los árboles sometidos a una poda fuerte en verano, si requieren ser encalados para evitar las quemaduras y el estrés por calor tanto sobre el tronco como en los brotes tiernos.

2. LAS HELADAS EN LA ZONA CITRÍCOLA DE LA HUERTA MURCIANA

1.- INTRODUCCIÓN

Los vegetales son seres orgánicos que nacen, crecen y viven pero son incapaces de sentir y de moverse voluntariamente por lo que su inmovilidad les impide protegerse de los rigores de la intemperie, o desplazarse en busca de un medio ambiente más favorable. Los vegetales tampoco disponen, como los animales de sangre caliente, de un mecanismo fisiológico que les permita regular su temperatura y mantenerla constante con relativa independencia del medio que les rodea. Esto implica la necesidad para el cultivador de tomar medidas de protección, de luchar contra las condiciones atmosféricas adversas o, incluso, de crear especies más resistentes.

Para el propio desarrollo, una planta debe ser capaz de vivir en un medio ambiente en el que la temperatura exceda de un cierto nivel, que depende de su estado fenológico. Desde ese umbral, llamado “punto de vegetación cero”, si todas las demás condiciones del medio ambiente permanecen suficientes o hasta llegan a ser las óptimas, el desarrollo cuantitativo de las plantas es prácticamente proporcional al incremento de la temperatura. Este aumento del desarrollo, sin embargo, no es ilimitado. Cada uno de los estados fenológicos de cada planta está limitado, hasta su más alto nivel por una temperatura máxima tolerable. A consecuencia de este segundo umbral, el crecimiento va disminuyendo, siendo cada vez menos rápido, mientras la temperatura sigue aumentando hasta llegar a una temperatura en que deja de crecer, punto en el que la planta fenece como consecuencia del calor.

Por debajo del punto de vegetación cero, la planta puede sobrevivir hasta relativamente bajas temperaturas sin sufrir grandes daños, no obstante si la temperatura desciende por debajo de un nuevo umbral, resistencia natural a helarse, la planta también puede morir.

Consecuentemente, para cada variedad y para cada estado fenológico, deben tenerse en cuenta cuatro temperaturas umbrales: la de resistencia natural a helarse, la del punto de vegetación cero, la máxima tolerable y la temperatura máxima absoluta.

Así pues, entre el punto de resistencia natural a helarse y el punto de vegetación cero, los órganos vegetativos permanecen en un estado de inactividad, período de reposo invernal, mientras que entre la máxima temperatura tolerable y la máxima temperatura absoluta su crecimiento disminuye muy rápidamente mientras la temperatura aumenta.

2.- LAS HELADAS EN LA HUERTA DE MURCIA

Las bajas temperaturas producen sobre las plantas, flores y frutos, efectos que dependen de un gran número de variables, siendo las principales su duración, humedad del aire, pérdidas por radiación solar directa, concentración de la savia, capacidad calorífica de la planta o fruto, grado de insolación y temperatura a la que empieza a originarse efectos nocivos para el normal desarrollo de los cultivos.

Cuando se habla de la helada, se piensa generalmente en la transición del agua del estado líquido al estado sólido e implícitamente de la correspondiente temperatura de cambio de estado que para el agua pura es de 0 °C. Sin embargo, las plantas generalmente no sufren ningún daño cuando la temperatura del aire traspasa ese umbral de los 0 °C. Algunas ya se hielan a temperatura por encima de los 0 °C, otras resisten perfectamente bien temperaturas que pueden llegar a ser de -6 °C o hasta -10 °C o menores, dependiendo de su especie y de su estado fenológico. El sentido de “planta helada”, por consiguiente, no debe asociarse al sentido de “agua helada”. El concepto de planta helada es puramente fisiológico, estrechamente relacionado con la planta misma o más precisamente con algunos de sus órganos, porque es extremadamente raro que una planta se hiele completamente.

El tejido de las plantas está compuesto de aglomeraciones de células cuyas membranas no se tocan unas con otras de una forma continua, los espacios intercelulares están ocupados por un líquido acuoso que se llama “agua intercelular”, pero que no es agua pura, pues siempre contiene sales disueltas, de origen mineral y de origen vegetal, que son sustancias inorgánicas y orgánicas.

Cuando la temperatura disminuyendo llega a alcanzar los 0 °C, el agua intercelular que es mucho menos concentrada (mayor proporción de agua)

que el mismo citoplasma (sustancia contenida en la célula parecida a la gelatina y que contiene de 75% a 85% de agua) puede solidificarse. Sin embargo, ya que no es agua pura, el cambio de estado de agregación solo ocurre a una temperatura por debajo de los 0 °C. Por consiguiente, la mayor concentración del agua intercelular, hace descender su temperatura de congelación. El hecho de que esta solución acuosa se congele no es por sí mismo causa de daños en el tejido envolvente. En casos excepcionales, es decir, cuando el cuerpo extraño —el cristal de hielo— así formado se hace algo más grande en tamaño, puede romper una o más paredes celulares que lo rodean. Una vez que el cristal se ha formado y como resultado del gradiente de la tensión de vapor de agua que inmediatamente se establece entre el agua y el hielo, el cristal de hielo crece por coalescencia. El agua intercelular que compone el citoplasma atraviesa la pared celular semipermeable por un fenómeno de ósmosis con lo que el citoplasma se condensa y el peligro de que se hiele disminuye proporcionalmente; sin embargo, como consecuencia de la desecación que tiene lugar en el interior de la célula, sucede allí una rápida transformación de las proteínas, particularmente las que forman el núcleo de la célula. Esas transformaciones generalmente son irreversibles.

Cuando la temperatura asciende de nuevo, el agua intercelular atraída por los cristales de hielo fuera de la célula retorna al citoplasma; la diferencia en la concentración origina un cambio osmótico entre los fluidos separados por una membrana semipermeable. Las proteínas, sin embargo, no pueden ser regeneradas y la célula rápidamente se muere, aunque desde un punto de vista mecánico no ha sido dañada. El hecho que los tejidos previamente descongelados o los tejidos sometidos a un rápido recalentamiento debido a la radiación solar o a otras causas, muestran un gran número de células reventadas, se explica por ese retorno del agua intercelular que de manera desordenada hinchan las células cuyo citoplasma está altamente concentrado. Bajo condiciones naturales la descongelación de las plantas usualmente tiene lugar más bien lentamente por lo que tales lesiones son más bien raras.

El factor más importante es el de la duración de las temperaturas inferiores a un cierto umbral llamado temperatura crítica, que es la temperatura para la cual empieza a dejarse sentir los efectos del frío sobre el cultivo, si se mantienen durante un tiempo superior a 30 minutos, dependiendo de la variedad, condiciones atmosféricas, estado fenológico, etc. Las temperaturas mínimas alcanzadas inferiores a la temperatura crítica junto con el tiempo que dure esa situación determinarán, principalmente, el daño producido por la helada; se expresa en grados-hora, y se obtiene multiplicando la temperatura, expresada en grados centígrados, que se han registrado por debajo de

la temperatura crítica por el número de horas que han permanecido por debajo de esa temperatura crítica. Así por ejemplo, la experiencia indica que 4 grados-hora, producirán pocos daños en los cítricos maduros (su temperatura crítica es de $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$); de 6 a 8 grados-hora ya producirán daños apreciables y 10 ó más grados-hora producirán casi la pérdida total de la cosecha.

En cuanto a la temperatura crítica de los agrios durante la floración se estima, que se puede obtener una cosecha normal o casi normal cuando las flores no han estado sometidas a temperaturas inferiores a los $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$. En algunos casos pueden producirse daños a temperaturas ligeramente superiores a la indicada, si bien la pérdida de frutos en la estación siguiente será pequeña.

La protección del fruto por las hojas y ramas hace que la temperatura del fruto pueda ser uno o dos grados más alta que la del fruto al aire, es decir, sin protección.

Para los frutos las temperaturas críticas son:

Limones, en las primeras fases de su desarrollo

(hasta de 15 mm de diámetro)..... $-1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$

Limones maduros $-1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$

Limones verdes (diámetro superior a 15 mm)..... $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$

Yemas y flores desde $-2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$

En líneas generales puede tomarse el valor de $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, como temperatura que empieza a hacer sentir sus efectos sobre las distintas clases de cítricos.

Para este estudio de las heladas en la zona cítrica de la Huerta murciana hemos utilizado las temperaturas mínimas registradas en las estaciones meteorológicas: Indicativo 228 Alcantarilla Aeródromo (Datos del período 1942-2002); Indicativo 230 Murcia Estación Sericícola (La Alberca) (Datos del período 1947-1983) y la de Indicativo 233 Llano de Brujas (Datos del período 1971-2001); por considerar que son las más representativas de la Huerta murciana.

Enero es el mes en que los períodos fríos son más frecuentes, de forma que, por término medio, uno de cada tres eneros, resulta en su conjunto notablemente más frío de lo normal, el período de retorno para la temperatura umbral de $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ es de 4 años en Alcantarilla, de 6 años en La Alberca y de 5 años en Llano de Brujas.

A enero le siguen febrero y diciembre para los cuales la proporción se reduce a uno por cada seis de ellos, los períodos de retorno para esa misma cota de $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ son para febrero 6 años en Alcantarilla, 5 años en La Alberca

y 8 años en Llano de Brujas y para diciembre 5 años en Alcantarilla y La Alberca y 18 años en Llano de Brujas.

Aunque con poca frecuencia, también se presentan períodos fríos en marzo y noviembre y más raramente en abril. Las olas de frío tardías, de finales de marzo a principios de abril, son temibles por sus efectos en la agricultura, siendo la frecuencia de las realmente catastróficas, del orden de una vez cada dieciocho años, períodos de retorno para la cota $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$: En los meses de marzo: Alcantarilla, 18 años; La Alberca y Llano de Brujas, 17 años y en los meses de noviembre: Alcantarilla, 21 años; La Alberca, 23 años y Llano de Brujas, 18 años.

En las Tablas 1, 2, 3, 4 y 5 presentamos las temperaturas mínimas absolutas mensuales de los meses: enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre del período 1942 - 2002, junto con los parámetros estadísticos y los períodos de retorno, según la distribución de Gumbel, para Alcantarilla. En las Tablas 6, 7, 8, 9 y 10 para La Alberca del período 1947-1983 y en las Tablas 11, 12, 13, 14 y 15 para Llano de Brujas para el período de 1971-2001.

En los Cuadros 1, 2 y 3, presentamos las temperaturas mínimas absolutas mensuales iguales o menores que $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ con indicación de los años en que se registraron y del número de días de helada en esos meses de enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre para: Alcantarilla, La Alberca y Llano de Brujas en los periodos de estudio.

En el Cuadro 4, figuran las temperaturas mínimas absolutas mensuales de los meses de enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre con indicación de la fecha en que se registran en Alcantarilla.

En el Cuadro 5, presentamos las temperaturas mínimas mensuales $< \text{ó} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ en los meses de enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre de cada año del período 1862 - 2002 en la estación meteorológica de Murcia.

3.- TIPOS DE HELADAS

Entre los períodos fríos debemos distinguir los originados por el enfriamiento del suelo por radiación, de aquéllos otros debidos a invasiones de masas de aire polar o ártico. En los primeros la oscilación diurna de temperatura es mucho mayor, salvo en los lugares donde la formación de nieblas o la nubosidad impida el calentamiento diurno, por lo que son los bajos valores de las temperaturas mínimas los que mejor los señalan y a la hora en que se registran, poco después del amanecer; mientras que en los segundos, generalmente, la oscilación diurna es mucho menor y la temperatura

mínima absoluta se registra cuando la invasión de la masa de aire polar o ártico tiene lugar, que puede ser a cualquiera hora del día.

Las heladas se clasifican en tres tipos:

- a) Heladas de irradiación.
- b) Heladas de advección.
- c) Heladas de evaporación.

La helada de irradiación es de carácter local. Si el cielo está despejado, el aire se enfría por la noche y se calienta durante el día, por lo que la masa de aire que está estancada sobre la comarca responde a dos procesos térmicos de la tierra sobre la que está asentada: calentamiento diurno por la acción directa de la radiación solar (infrarrojos de onda corta) y enfriamiento nocturno por la irradiación de los suelos (infrarrojos de onda larga), formándose cerca del suelo a lo largo de la noche una inversión de temperatura, que estabiliza todavía más la masa de aire, de forma que puede haber grandes variaciones, según la vertical, en cortos períodos de tiempo; por ejemplo: $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ a 10 centímetros del suelo y $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a 150 centímetros del suelo. Las temperaturas mínimas suelen producirse de madrugada en este tipo de heladas de irradiación. Son frecuentes en otoño, invierno y primavera. Las de principio de otoño (tempranas) y finales de primavera (tardías) pueden ocasionar grandes daños en los cultivos; en cambio, las temperaturas bajas, inferiores a $7\text{ }^{\circ}\text{C}$, a condición de que no sean demasiado bajas, resultan imprescindibles para muchas plantas y árboles para cubrir el período de reposo invernal, acumulando durante ese período las “horas- frío” necesarias para la floración y cuajado de los frutos, según los distintos umbrales correspondientes a las distintas especies de plantas y árboles.

Resumiendo, los factores propicios a heladas de irradiación son:

- a) Cielo despejado y viento en calma.
- b) Aire frío y seco. Anticiclones.
- c) Inversión de temperatura junto al suelo.

Los factores que impedirían o disiparían estas heladas de irradiación son:

- a) Cielo con nubes y viento en superficie.
- b) Aire templado y húmedo. Bajas presiones y sistemas frontales.
- c) Aire agitado y turbulento junto al suelo.

La helada de advección es de carácter mas general, pues están asociadas a invasiones de masas de aire frío continental (polar o ártico) que pueden

llegar acompañadas de nubes, vientos y nevadas; sus efectos suelen ser nefastos para todo tipo de plantas y árboles. Estas masas de aire afectan a amplias regiones como una “ola de frío” causando grandes daños a los cultivos; tal como ocurrió a los cítricos en todo el Levante español en las duras olas de frío de los años 1956 y 1962. Una característica de estas olas de frío, es que las temperaturas mínimas no tienen una hora privilegiada; responden a la hora en que llega la invasión de aire frío y pueden registrarse incluso a mediodía. El enfriamiento producido es grande, pues el viento renueva constantemente la masa de aire que está afectando a la zona de cultivo.

La región manantial de esas masas de aire frío para Europa es la región siberiana, en pleno invierno, cuando hay un centro de bajas presiones sobre Italia y un anticiclón sobre las Islas Británicas, que originan vientos de componente norte que hacen que la masa de aire frío cruce los suelos helados de Europa y rebasando los Pirineos, o deslizándose por sus flancos, invada la Península Ibérica.

La helada de evaporación, que puede presentarse como un fenómeno subsidiario de las heladas de irradiación y de advección, se debe a que el agua depositada sobre las plantas, al evaporarse rápidamente, roba de su superficie el calor de evaporación, produciendo un brusco enfriamiento que puede hacer descender la temperatura hasta valores por debajo de los 0 °C.

Estas heladas pueden presentarse de dos formas:

Con viento, después del paso de un frente frío, que originó chubascos de agua que mojaron hojas y brotes o flores o frutos. Ese agua se evapora rápidamente al llegar vientos fríos y secos con baja humedad relativa.

Sin viento, después de noches despejadas y encalmadas, por evaporarse rápidamente, a la salida del sol, los rocíos y las escarchas formadas.

En todos los tipos, son peores las heladas persistentes que las repentinas si son pasajeras.

De las bandas del termógrafo pueden obtenerse, sumando los grados-minutos por debajo de cero grados que se han registrado, para información de la duración y severidad de la helada.

4.- ANÁLISIS SINÓPTICO

En general, las heladas van asociadas a aire frío y seco que por su mayor densidad, se desploma desde las alturas con importantes subidas de la presión atmosférica, por lo que en los mapas sinópticos representativos de la

circulación atmosférica en superficie aparecerán ligadas a anticiclones y dorsales (crestas barométricas móviles que se desplazan entre dos depresiones o vaguadas).

Entre los períodos fríos en los que se pueden registrar heladas debemos distinguir los originados por el enfriamiento del suelo por radiación, heladas de irradiación, de aquellos otros debidos a invasiones de aire polar o ártico, heladas de advección.

Las heladas más intensas suelen registrarse a continuación de una invasión de aire polar, en aquellos casos en que le sigue un período de viento en calma y cielo despejado, es bajo estas condiciones cuando se registran las temperaturas mínimas más bajas.

Las invasiones de aire frío capaces de producir heladas en la zona citrícola del Levante español son casi siempre de origen siberiano, aunque también se llegan a registrar temperaturas mínimas junto al suelo inferiores a 0 °C con situaciones persistentes del Norte o del Noroeste.

La penetración de aire frío siberiano, es producida por situaciones en superficie como las representadas en los Mapas 1 y 2, en los que se aprecia la existencia de un anticiclón sobre Europa que junto a una depresión sobre el Mediterráneo, canalizan la masa de aire frío hacia el Levante español. Esta situación se suele repetir, con ligeras variantes, en todos los mapas de superficie de los 2 a 4 días anteriores a un período de heladas.

Estas masas de aire frío llegan al Levante español siguiendo trayectorias ligeramente diferenciadas: A través de Europa Central, para penetrar en la península Ibérica por el golfo de León, en cuyo caso las bajas temperaturas se dejan sentir principalmente en las provincias de Castellón y Valencia; o bien desde Siberia al Mediterráneo Central, para alcanzar las costas españolas moviéndose de este a oeste, en cuyo caso sus efectos se dejan sentir en toda la vertiente del Levante español, con especial incidencia en la Huerta murciana.

La persistencia de las situaciones del Norte o del Noroeste, suelen crear en las proximidades de nuestra región un embolsamiento de aire frío en el nivel de 500 mb, con temperaturas bajo cero de -25 a -35 °C, que originan en superficie temperaturas mínimas de hasta -4 ó -5 °C, que suelen registrarse durante dos o tres días, en los Mapas 3 y 4 se representan las situaciones en superficie correspondientes a estas invasiones de aire polar.

Las invasiones de aire polar marítimo y aire ártico marítimo se presentan en situaciones sinópticas que muestran la presencia de una corriente general de aire del cuarto cuadrante como consecuencia de la posición de un gran

anticiclón atlántico y una zona de bajas presiones con su centro al sur de Escandinavia así como un centro secundario sobre el Mediterráneo, los Mapas 5 y 6 son representativos de esta situación y corresponden a los días 4 y 19 de enero de 1945. La invasión fría del día 4, Mapa 5, corresponde a una masa marítima ártica y la del día 19, Mapa 6, corresponde a una masa marítima polar. La temperatura mínima absoluta del mes de Enero de 1945 fue de $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ tanto en Murcia como en Alcantarilla.

Las invasiones de aire polar continental y aire ártico continental se distinguen por su intensidad y duración, su presencia queda prácticamente limitada al trimestre invernal, diciembre, enero y febrero, aunque menos intensos pero nefastos para la agricultura pueden ocurrir incluso a finales de marzo o principios de abril.

En el mes de febrero de 1956 ocurrieron dos intensísimas invasiones de aire polar continental, seguidas de una tercera menos intensa, por lo que quizás sea más preciso considerarlas como una sola invasión que alcanzó la Península en tres oleadas sucesivas, iniciando la primera su penetración el día uno (ver Mapa 1), la segunda el día ocho y la tercera el día diecisiete. Los sistemas frontales de las dos primeras tardaron unas cincuenta y cuatro horas en cruzar la Península de norte a sur; la tercera de menor envergadura y menos definida solo se dejó sentir en el cuadrante nororiental de la Península. Se registraron en la mayor parte de la Península Ibérica temperaturas mínimas extremas, muy bajas, durante muchos días, que para un gran número de estaciones meteorológicas supusieron ser las temperaturas mínimas absolutas registradas desde que se llevaba el registro de datos termométricos, tanto en Alcantarilla como en La Aberca llegaron a registrar una temperatura mínima de $-5,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. El mapa sinóptico de superficie a las 06:00 horas del día 1 de febrero de 1956, Mapa 1, nos muestra la situación doce horas antes de iniciarse la penetración de la masa de aire polar en la Península.

El examen de los demás casos de invasiones de aire polar continental en la Península registradas, muestra cómo en la evolución de la situación sinóptica en superficie aparecen siempre las mismas características fundamentales: la intensificación de un anticiclón septentrional, centrado en la región limitada por Finlandia, Escocia e Islandia y profundización de una depresión en el Mediterráneo occidental o central, así una situación sinóptica como la representada en el Mapa 2, dio lugar a heladas catastróficas en el Sureste español del 20 al 31 de diciembre de 1962, con temperatura mínima registrada en Alcantarilla de $-5,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y en La Alberca de $-5,0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

El día 6 de febrero de 1983 se inició una fuerte invasión de aire marítimo ártico, que fue derivando a una de aire polar continental, que ya el día 8 dio

lugar a un fuerte descenso de temperatura, que por lo que se refiere a las mínimas, se acentuó al término de la invasión, a causa del enfriamiento del suelo; el interés de esta invasión de aire frío está en la forma que se desarrolló la situación sinóptica caracterizada por un persistente flujo del NE entre un potente anticiclón centrado al oeste de Irlanda y una extensa zona de bajas presiones que se extendía desde Argelia a Ucrania y dentro de la cual acabó por engendrarse en su parte suroccidental una pequeña depresión centrada en el mar de Alborán que dió lugar a algunas nevadas en Andalucía y en el Sureste.

4.1.- Reglas Sinópticas

Un detenido estudio de los mapas sinópticos tanto de superficie como de altura, especialmente los de 500 milibares permiten establecer las siguientes reglas:

Regla 1.- La penetración de aire frío empieza a ser peligrosa cuando la temperatura a 500 mb, alcanza los $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ sobre la vertical de la zona. En condiciones normales se producen inmediatamente temperaturas mínimas de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ o ligeramente inferiores pudiendo llegar a alcanzar los $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ o $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ a las 48 horas de persistir esa situación a 500 mb.

Esta regla no es válida con vientos persistentes en tierra con velocidades superiores a dos metros por segundo o con nubosidad media superior a 2/8 de cielo cubierto. En estos casos es necesario efectuar una corrección.

Con cielo cubierto o viento medio superior a seis metros por segundo no se registran heladas aunque la temperatura a 500 mb, sea inferior a $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ y hasta valores de $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ o $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Si la temperatura en 500 mb es del orden de $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-36\text{ }^{\circ}\text{C}$ y en superficie hay vientos del Nordeste, tendremos la advección de una «ola de frío».

Regla 2.- La penetración de aire frío a esta zona citrícola con las temperaturas indicadas se produce por uno de los dos procesos siguientes:

- a) Situación persistente del Norte o Noroeste (invasión de aire polar marítimo).
- b) Situación anticiclónica en Europa, junto a una depresión en el Mediterráneo (invasión de aire frío siberiano). Mapas 1 y 2.

En el caso a) se produce un embolsamiento de aire frío que se suele situar en la vertical de las Islas Baleares con temperatura a 500 mb de $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ producen temperaturas mínimas en la zona citrícola de $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

En el caso b) se puede detectar el avance del aire siberiano con varios días de anticipación y si su trayectoria es hacia el sur, alcanzando el Mediterráneo central, puede desde allí desplazarse hacia el Sureste español y alcanzándose en la zona citrícola temperaturas mínimas que son de 26 a 27 grados más altas que la temperatura que se registra en 500 mb.

Regla 3.- La entrada de aire frío repercute inmediatamente en las temperaturas mínimas, pero si después de un período de heladas se aprecia en niveles altos la penetración de una masa de aire caliente, este hecho no se refleja en las temperaturas mínimas hasta después de un intervalo de dos a cuatro días.

Regla 4.- Después del paso de un frente frío marcado en superficie, la dorsal anticiclónica que avanza detrás de él suele originar brucas heladas de radiación y evaporación.

Regla 5.- Los vientos del Este, en superficie, que traen nubes del Mediterráneo evitan las heladas de radiación, los vientos del Nordeste pueden originar heladas.

Regla 6.- Los anticiclones europeos de origen continental en los mapas de superficie, son propicios a originar heladas. Los de origen marítimo atlántico suelen dar más nieblas.

Regla 7.- La región común a las isobaras de 1024 mb en superficie y a las isotermas de -24 °C en la topografía de 500 mb, es propicia a las heladas. Para obtener esa región común, deben superponerse dos mapas de la misma escala, por transparencias, se conoce como «Regla de los 24», del meteorólogo García de Pedraza.

5.- PREDICCIÓN DE TEMPERATURAS MÍNIMAS

Existen numerosos métodos de defensa contra las heladas:

- Calefacción directa de las plantaciones mediante estufas de diversos tipos: de calentadores a todo viento, de chimenea, con cámara de combustión.
- Máquinas de viento.
- Máquinas de viento en combinación con estufas.
- Vuelos con helicópteros.

- Cubiertas.
- Riegos por inundación y por aspersión.
- Vapor de agua.
- Humos o nieblas artificiales.
- Cultivo, removiendo el suelo.
- Aporcado, amontonando tierra alrededor del árbol.

Son muchos los factores que hay que tener en cuenta antes de pronunciarse a favor de uno u otro, y a veces el más eficaz no puede adoptarse debido al coste excesivo de su instalación y funcionamiento, además es indispensable un conocimiento del clima de la localidad y de la orientación y topografía de la zona del cultivo.

Tiene gran interés el conocimiento de las temperaturas críticas a las que se pueden producir daños en los cultivos en las distintas fases de su desarrollo. La predicción de la temperatura mínima que pueda registrarse en la madrugada de un día en función de los factores meteorológicos que se hayan registrado durante las 24 horas anteriores es un dato a tener en cuenta en la utilización de los métodos de defensa contra las heladas que puedan emplearse.

Se han desarrollado un gran número de fórmulas para la predicción de temperaturas mínimas nocturnas en las heladas de radiación para un lugar determinado. En conjunto, todas ellas son empíricas si bien algunas tienen una base teórica, lo que no quiere decir que con estas últimas se obtengan mejores resultados, casi todas contienen uno o más parámetros que es preciso determinar, basándose en observaciones de elementos climáticos realizadas con anterioridad.

5.1.- Fórmulas Higrométricas

El punto de rocío se define como la temperatura por debajo de la cual el vapor de agua contenido en la atmósfera se condensa en forma visible de rocío, niebla o escarcha. Puntos de rocío altos significan una elevada cantidad de vapor de agua en la atmósfera y puntos de rocío bajos una cantidad pequeña. El punto de rocío no debe confundirse con lo que es la mayor o menor humedad del ambiente, ya que el ambiente puede dar sensación de humedad en un día frío con un punto de rocío bajo o dar la sensación de sequedad con un punto de rocío alto en un día cálido. Si suponemos, por ejemplo, que el punto de rocío es de 4 °C, al descender la temperatura del aire por debajo de

los 4 °C, la humedad atmosférica se condensará en forma de rocío –en ciertas condiciones puede formarse niebla– y si la temperatura desciende hasta los 0 °C, lo hará en forma de escarcha, produciéndose lo que suele denominarse “helada blanca”. Si el punto de rocío es inferior a los 0 °C, la temperatura del aire puede alcanzar valores inferiores a los 0 °C sin que se forme hielo visible y la vegetación puede ser dañada. Este tipo de helada suele llamarse “helada negra”. El punto de rocío es un índice valioso del peligro de heladas y de la intensidad de los daños que pueda producir. La humedad atmosférica actúa en cierto modo como la cubierta de un invernadero, pues impide que una parte de la radiación de onda larga emitida por el suelo y la vegetación, escape hacia el aire superior. Cuando hay poco vapor de agua en el aire, lo que nos indicará un punto de rocío bajo, el calor irradiado por el terreno hará que este se enfríe, aumentando la probabilidad de que se registre helada. Aparte de este efecto sobre la temperatura del aire, se ha observado que la cantidad de vapor de agua en la atmósfera afecta a la intensidad del daño producido en las plantaciones. Si el punto de rocío es alto, una gran cantidad de rocío se deposita sobre la vegetación, liberándose el calor de condensación, y el enfriamiento de las ramas, hojas y frutos sucederá más lentamente con esta fuente adicional de calor, y además el calor irradiado por ellos es absorbido por el vapor de agua y devuelto en parte, lo que constituye otra aportación de calor.

Una fórmula que puede servir como índice del riesgo de helada con cielo despejado y viento en calma es:

$$2 T + T_d < 34 \text{ donde:}$$

T = Temperatura a 14 horas.

T_d = Temperatura del punto de rocío a las 14 horas.

Mediante la Tabla 16, se puede determinar el punto de rocío conociendo la tensión del vapor de agua en la atmósfera.

Entre las fórmulas empíricas higrométricas citaremos las siguientes:

La fórmula de Kammermann (1886), que es la más simple y supone que es constante en un lugar determinado la diferencia entre la temperatura del termómetro húmedo a las 18 horas y la mínima de la madrugada siguiente:

$$T_m = T_w - K$$

T_m = Temperatura mínima de la madrugada siguiente.

T_w = Temperatura del termómetro húmedo a las 18 horas.

K = Constante propia de cada lugar, expresada en las mismas unidades que T_m y T_w , se suele utilizar para valor de K el promedio de las diferencias $T_m - T_w$ del máximo posible de días anteriores que hayan transcurrido sin cambio importante de la masa de aire existente.

Otra fórmula de este tipo es la de Hernández Garmendia (1972), para noches despejadas y viento en calma:

$$T_m = a. T_w - b$$

Aplicada con parámetros determinados con datos de Alcantarilla:

$$T_m = 0,94 T_w - 7,8$$

T_m = Temperatura mínima de la madrugada siguiente.

T_w = Temperatura del termómetro húmedo a las 18 horas.

a y b son parámetros locales determinados a partir de las observaciones anteriores, por mínimos cuadrados. El primero, a , es una constante adimensional que ha de ser menor que 1. El segundo, b , es otra constante expresada en las mismas unidades que T_m y T_w .

Fórmula de Young:

$$T_m = T_d - \frac{H - A}{B} + f(T_d) + f(H) \text{ donde:}$$

T_m es la temperatura mínima de la madrugada siguiente.

T_d es la temperatura del punto de rocío a las 16 horas y 30 minutos.

H es la humedad relativa del aire a las 16 horas y 30 minutos.

$f(T_d)$ y $f(H)$ son correcciones arbitrarias para ciertos valores de la humedad y punto de rocío.

A y B son constantes a determinar en función de la nubosidad.

Otra fórmula, la de Allen, se trata de una simplificación de la de Young:

$$T_m = T_w - \frac{T + C}{K} \text{ en la que:}$$

T_m es la temperatura mínima de la madrugada siguiente.

T_w es la temperatura del termómetro húmedo a las 16 horas y 30 minutos.

T es la temperatura del termómetro seco a las 16 horas y 30 minutos.

C y K son constantes que se pueden obtener llevando sobre dos ejes de coordenadas, T en abscisas y $T - T_m$ en ordenadas, con datos tomados en noches despejadas y con viento en calma, calculándose después la correspondiente recta de regresión.

Otra fórmula es:

$$T_m = \frac{T + T_d}{2} - K, \text{ donde:}$$

T_m = Temperatura mínima de la madrugada siguiente.

T = Temperatura del termómetro seco a las 12 horas.

T_d = Temperatura del punto de rocío a las 12 horas

K = Constante a determinar en cada lugar.

Por último, dentro de las fórmulas empíricas higrométricas citaremos las clásicas de Angström (1921 - 1923), de Flower y Davies (1934), la de Pick y la de Crossan que respectivamente son:

$$T_m = T_w - a.T - b$$

$$T_m = a.T + b.T_d + c$$

$$T_m = T_d - a$$

$$T_m = T_w - 0.3 (T_d - 5)$$

T_m = Temperatura mínima de la madrugada siguiente.

T = Temperatura del termómetro seco a las 18 horas.

T_w = Temperatura del termómetro húmedo a las 18 horas.

T_d = Temperatura del punto de rocío a las 18 horas.

a, b y c son parámetros locales.

5.2.- Fórmulas basadas en el balance de radiación

Se puede predecir la temperatura mínima a partir del balance de energía radiante en la superficie terrestre teniendo en cuenta que:

$$S = R - A - C \text{ donde:}$$

S = densidad del flujo calorífico en el suelo.

R = densidad del flujo de la radiación efectiva de la superficie terrestre.

A = densidad del flujo debido a la conducción por turbulencia en el aire.

C = densidad del flujo procedente de la condensación del vapor de agua.

5.3.- Método de Reuter

Este método exige determinar previamente la radiación neta del suelo en un momento determinado de la noche que se puede obtener mediante la fórmula de Brunt que con los coeficientes de Goss y Brooks e introduciendo en la misma un factor de nubosidad, deducido del diagrama de Bolz y Fritz resulta:

$$E_w = 8,26 \cdot 10^{-11} \cdot T^4 \cdot (1 - c (0,66 + 0,045 \sqrt{e})) \text{ donde:}$$

E_w = energía neta radiada por el terreno en calorías por cm^2 y por minuto.

T = temperatura en grados Kelvin.

c = factor de nubosidad.

e = tensión del vapor de agua en milímetros de Hg.

Admitiendo que E_w permanece constante durante la noche y prescindiendo de las variaciones de temperatura por advección o por liberación de calor latente, se establece:

$$\Delta T = f(v) \cdot E_w \cdot \sqrt{L} \text{ donde:}$$

ΔT = descenso de la temperatura desde el ocaso al orto solar siguiente.

L = duración de la noche.

f(v) = función de la velocidad media del viento durante la noche y de las características del terreno, que debe hallarse empíricamente.

Otra fórmula basada en el balance de radiación es la de Angstrom:

$$R = \sigma T^4 (A + B \cdot 10^{-\gamma e}) \text{ en la que:}$$

R, es la radiación calorífica de onda larga emitida por el terreno, que se considera como un cuerpo negro a efectos de radiación, en langleys por minuto (1 langley = 1 cal/cm^2).

σ , es la constante de Stefan Boltzman = $8,25 \times 10^{-11}$ langleys

A, B y γ , constantes que son el resultado estadístico de una serie de observaciones y que varían con el lugar y la serie considerada.

e, es la tensión del vapor de agua en la atmósfera cerca del suelo.

6.- ANÁLISIS DE DAÑOS Y EFECTOS ECONÓMICOS CAUSADOS POR LAS HELADAS

Es necesario hacer un estudio a fondo de los problemas de tipo económico-social que originan las heladas en la zona citrícola de la Huerta murciana

Los datos de la producción de limones, en cuanto a superficie ocupada por los limoneros expresada en hectáreas y la producción de limones expresada en toneladas métricas, figuran en la Tabla 17 referida al período 1939-2000 y tomados de las estadísticas oficiales del Ministerio de Agricultura y de la Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

En dicha Tabla 17 indicamos con un asterisco los años en los que se observa una disminución apreciable en la producción de limones, como consecuencia de las heladas. En las series de «superficies ocupadas» y «producción de limones», pueden existir algunas discrepancias entre la consideración de año civil (enero-diciembre) y año agrícola (septiembre-agosto), por no figurar en las fuentes estadísticas consultadas, el inicio del período de doce meses a que se refiere el año.

CUADRO 1.- TEMPERATURAS MINIMAS ABSOLUTAS MENSUALES ≤ 0 °C, con indicación del año y n° de días de heladas en ese mes en ALCANTARILLA (MURCIA)

Temp	Enero	Febrero	Marzo	Noviembre	Diciembre
-5,2					1962-1970 8 10
-5,0	1951-1958-1991 7 6 5	1956 13			1967 8
-4,8	1957 8	1963-1981 6 5			
-4,7		1944 12			
-4,6	1981-1985 11 13	1965-1988 11 3			
-4,4					1947 8
-4,2	1945-1946 9 7	1999 6	1955 4		1994 4
-4,0	1942-1984-1995 6 4 3				1950-1956-1973 7 15 4
-3,8		1954-1962 8 3			
-3,6	1993 17				
-3,5					1990 4
-3,4	1987 6				1964-1966 2 4
-3,2	1965-1983 7 14	1942-1978 12 1			1945-1984 6 3
-3,0	1952-1959-1961 6 5 5 1963-1994 5 6	1943-1951 4 4			1968 1
-2,8	1947-1980 5 3	1952-1970 6 2	1944 10		1952 5
-2,6	1975-1976 5 11		1965-1984 2 3	1965-1976 2 4	1961-1980 5 5
-2,4	1971-1973 6 4	1953-1964 5 5 1973-1983 9 10		1941 7	1991 4
-2,3		1987 3			

Temp	Enero	Febrero	Marzo	Noviembre	Diciembre
-2,2	1948-1964-1969 2 2 3 1992-2000 8 8				1999 5
-2,1	1944 20				
-2,0	1943-1972 7 4	1969-1992-1996 5 5 2	1950-1953-1993 3 3 2	1943-1947 4 1 1966-1999 5 3	1996-2001 2 4
-1,8	1967 7				1981-1983-1998 4 1 6
-1,6	1960-1962-1999 4 7 3	1958-1960-1984 2 4 7 1986-1991 7 3	1961 5		1946 6
-1,5	1989 2				
-1,4	1990 2	1945-1971-1976 2 3 1	1949-1974-1977 2 2 1	1979 1	1975-1982 2 5 1986-1988 3 7
-1,2	1968 3	1949-1979 2 3	1973 4		
-1,0	1953-1982-1998-2001 6 2 1 2	1994 2	1979 1	1987 1	1978-1987-1992 1 3 3
-0,8	1956-1974 2 3	1947-1972 2 2	1951-1963-1971 2 1 1	1969 1	1976 1
-0,6		1946-1974 3 2	1988 1	1960-1985-1990 1 2 1	1957-1965 2 2 1974-1979 2 3
-0,5					1943-2000 1 2
-0,4	1978-1986 1 1			1962 1	1985 2
-0,2		1980 1	1945-1987 1 1	1991 1	1960-1997 2 1
0,0		1950-1955-1959 2 1 5 1967-2002 1 1	1958-1970 3 1	1942-1955-1995 1 1 1	1953-1963 1 1 1972-1993 2 2

CUADRO 2.- TEMPERATURAS MINIMAS ABSOLUTAS MENSUALES ≤ 0 °C, con indicación del año y n° de días de heladas en ese mes en LA ALBERCA (MURCIA)

Temp	Enero	Febrero	Marzo	Noviembre	Diciembre
-5,8					1970 11
-5,0		1954-1956-1978 6 16 3			1950-1962 6 6
-4,5	1957 12	1965 11			
-4,0		1963-1981 5 6	1955 5		1968 1
-3,8					1967 10
-3,6	1981 9				
-3,5	1958 6				
-3,4	1951-1971 4 7	1973 8			
-3,2					1973 3
-3,0		1952-1953-1962 4 6 2		1965 3	1964 3
-2,8	1976 8				1980 5
-2,5	1969 3				
-2,4					1952 4
-2,2	1952 9				1961 3
-2,1					1956 12
-2,0	1954-1963-1964 5 4 2 1965-1968-1972-1983 6 3 6 10	1969 7	1977 1		1946-1957 5 2
-1,8	1953-1975-1980 6 4 5	1976 1	1973 4	1976 5	
-1,6	1961 4	1971-1979 5 3			
-1,5	1956-1959-1982 2 2 3				1981 6

Temp	Enero	Febrero	Marzo	Noviembre	Diciembre
-1,4	1973 5				
-1,2	1947-1978 3 4	1960-1964-1970 3 4 1	1971 3		
-1,0	1960-1974 5 3	1951 3	1966-1974-1979 3 2 1	1979 1	1965-1969 1 1
-0,8				1969 1	1971-1972 3 1
-0,6			1970 1		
-0,5					1982 4
-0,4				1977 1	1975 3
-0,2		1949-1975 2 1	1953 1		1974-1979 1 1
0,0	1962 2	1959-1967-1968 3 2 1 1972-1974 2 2	1958-1965 2 1 1969-1976 2 1	1971 1	1947-1960-1978 1 1 2

CUADRO 3.- TEMPERATURAS MINIMAS ABSOLUTAS MENSUALES ≤ 0 °C, con indicación del año y n° de días de heladas en ese mes en LLANO DE BRUJAS (MURCIA)

Temp	Enero	Febrero	Marzo	Noviembre	Diciembre
-6.2	1985 14				
-4,5	1981 16				
-4,2					1984 3
-4,0	1975 6				1973-1980-1994 7 6 6
-3.5	1984-1987-1995 4 5 6	1978 3			
-3.4			1993 2		
-3.2			1984 7		
-3,0	1976-1991 9 3	1981-1983-1991 6 9 5		1976 4	
-2,6	1973 4				
-2.5	1993 10	1973-1988-1999 10 4 5			1990 3
-2.0	1972-1982 3 2	1976-1986-1987 2 8 3	1973-1977 12 1		1976-1981-1986 1 3 4
-1.5	1974-1980-1994 7 5 5	1979-1996 3 1		1999 1	1979-1982 3 6 1993-1999 2 2
-1.2		1974 4			
-1.0	1978-1983-1986 5 8 5 1992-1999-2000-2001 6 4 3 1	1984 6	1974 3	1985-1987-1991 1 2 2	1971-1972 1 1 1983-1988 1 6
-0.5	1990 2		1987 2		1975-1978-1998 4 4 7
-0.2					1974 1
0.0	1977-1979-1989 2 1 2	1972-1975 2 2 1989-2001 1 1	1976-1979 2 4 1982-1985-1988 1 2 1	1974-1977-1979 1 1 1	1987 1

CUADRO 4.- TEMPERATURAS MINIMAS ABSOLUTAS MENSUALES < 0 °C, con indicación de fecha (f) y nº de días de helada [n] en ALCANTARILLA (MURCIA)

AÑO	Enero	Febrero	Marzo	Noviembre	Diciembre
1941				-2,4 (7)	
1942	-4,0 (13) [6]	-3,2 (12) [12]			
1943	-2,0 (16) [7]	-3,0 (9) [4]		-2,0 (21) [4]	-0.5 (13) [1]
1944	-2,1 (8) [20]	-4,7 (21) [12]	-2,8 (VR) [10]		-1.0 (VR) [5]
1945	-4,2 (4) [9]	-1.4 (25) [2]	-0.2 (11) [1]		-3,2 (14) [6]
1946	-4,2 (19) [7]	-0.6 (11) [3]			-1.6 (VR) [6]
1947	-2,8 (27) [5]	-0.8 (2) [2]		-2,0 (30) [1]	-4,4 (VR) [8]
1948	-2,2 (15) [2]				
1949		-1.2 (5) [2]	-1.4 (5) [2]		
1950			-2,0 (3) [3]		-4,0 (30) [7]
1951	-5,0 (5) [7]	-3,0 (3) [4]	-0.8 (3) [2]		
1952	-3,0 (15) [6]	-2,8 (7) [6]			-2,8 (30) [5]
1953	-1,0 (VR) [6]	-2,4 (2) [5]	-2,0 (11) [3]		
1954		-3,8 (5) [8]			
1955			-4,2 (11) [4]		
1956	-0.8 (12) [2]	-5,0 (12) [13]			-4,0 (3) [15]
1957	-4,8 (17) [8]				-0.6 (25) [2]
1958	-5.0 (15) [6]	-1.6 (21) [2]			
1959	-3.0 (6) [5]				
1960	-1.6 (16) [4]	-1.6 (10) [4]		-0.6 (30) [1]	-0.2 (VR) [2]
1961	-3.0 (6) [5]		-1.6 (9) [5]		-2.6 (22) [5]
1962	-1.6 (8) [7]	-3.8 (16) [7]		-0.4 (21) [1]	-5.2 (25) [10]
1963	-3.0 (VR) [5]	-4.8 (3) [6]	-0.8 (26) [1]		
1964	-2.2 (7) [2]	-2.4 (VR) [5]			-3.4 (31) [2]
1965	-3.2 (1) [7]	-4.6 (20) [11]	-2.6 (9) [2]	-2.6 (VR) [2]	-0.6 (23) [2]
1966				-2.0 (21) [5]	-3.4 (26) [4]
1967	-1.8 (8) [7]				-5.0 (14) [8]
1968	-1.2 (23) [3]				-3.0 (31) [4]
1969	-2.2 (3) [3]	-2.0 (6) [5]		-0.8 (28) [1]	
1970		-2.8 (28) [2]			-5.2 (26) [8]
1971	-2.4 (3) [6]	-1.4 (VR) [3]	-0.8 (2) [1]		
1972	-2.0 (24) [4]	-0.8 (21) [2]			
1973	-2.4 (10) [4]	-2.4 (VR) [9]	-1.2 (2) [4]		-4.0 (4) [4]

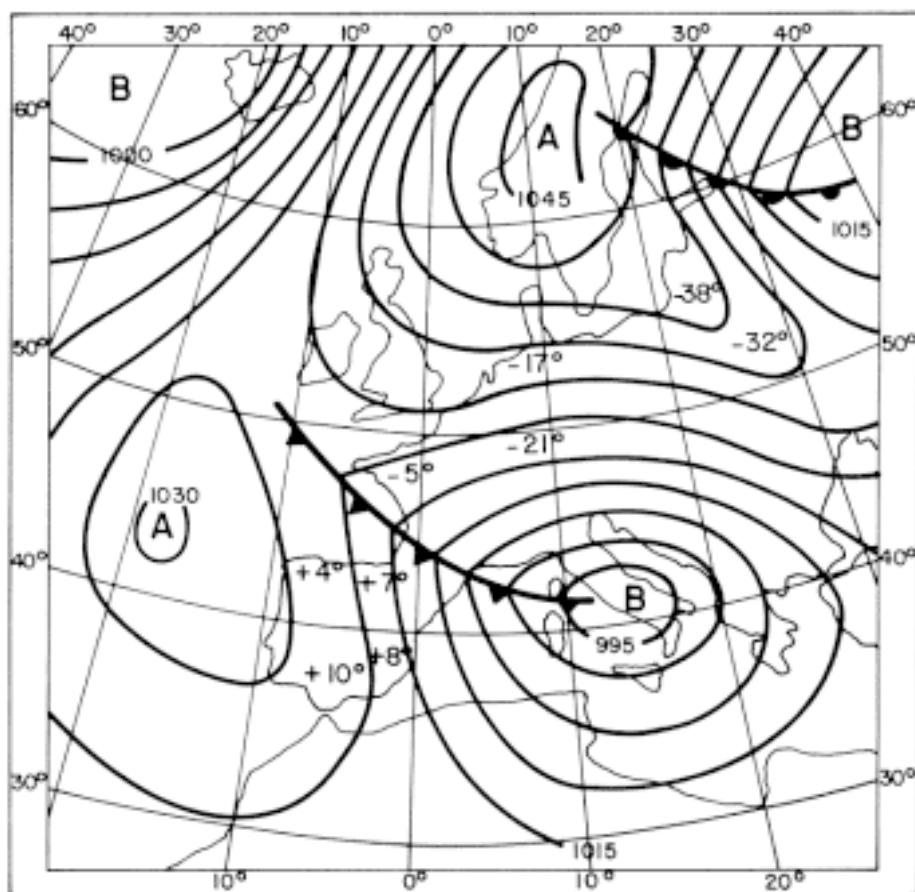
AÑO	Enero	Febrero	Marzo	Noviembre	Diciembre
1974	-0.8 (23) [3]	-0.6 (27) [2]	-1.4 (6) [2]		-0.6 (18) [2]
1975	-2.6 (8) [5]				-1.4 (27) [2]
1976	-2.6 (26) [11]	-1.4 (16) [1]		-2.6 (25) [4]	-0.8 (27) [1]
1977			-1.4 (31) [1]		
1978	-0.4 (17) [1]	-3.2 (13) [1]			-1.0 (17) [1]
1979		-1.2 (26) [3]	-1.0 (3) [1]	-1.4 (12) [1]	-0.6 (27) [3]
1980	-2.8 (8) [3]	-0.2 (12) [1]			-2.6 (3) [5]
1981	-4.6 (27) [11]	-4.8 (2) [5]			-1.8 (20) [4]
1982	-1.0 (29) [2]				-1.4 (2) [5]
1983	-3.2 [13]	-2.4 (20) [10]			-1.8 (14) [1]
1984	-4.0 [4]	-1.6 [7]	-2.6 (12) [3]		-3.2 (29) [3]
1985	-4.6 (19) [13]			-0.6 (24) [1]	-0.4 [2]
1986	-0.4 [1]	-1.6 (13) [7]			-1.4 (25) [3]
1987	-3.4 [6]	-2.3 [3]	-0.2 (17) [1]	-1.0 (29) [1]	-1.0 [3]
1988		-4.6 [3]	-0.6 (4) [3]		-1.4 (9) [7]
1989	-1.5 (24) [2]				
1990	-1.4 (22/23) [2]			-0.6 (30) [1]	-3.5 [4]
1991	-5.0 [5]	-1.6 (16) [3]		-0.2 (24) [1]	-2.4 [4]
1992	-2.2 (4) [8]	-2.0 (22) [5]			-1.0 (14) [3]
1993	-3.6 [17]		-2.0 (4) [2]		
1994	-3.0 [6]	-1.0 (2) [2]			-4.2 (24) [4]
1995	-4.0 (16) [3]				
1996		-2.0 (25) [2]			-2.0 (27/28) [2]
1997					-0.2 (14) [1]
1998	-1.0 (22) [1]				-1.8 (8) [6]
1999	-1.6 [3]	-4.2 (16) [6]		-2.0 (21) [3]	-2.2 [5]
2000	-2.2 (24) [8]				-0.5 (17) [2]
2001	-1.0 (9) [2]				-2.0 (16) [4]
2002					
2003	-1.8 (14) [3]				

CUADRO 5.- TEMPERATURAS MINIMAS MENSUALES < 0 °C con indicación del año en MURCIA 1862 - 2002

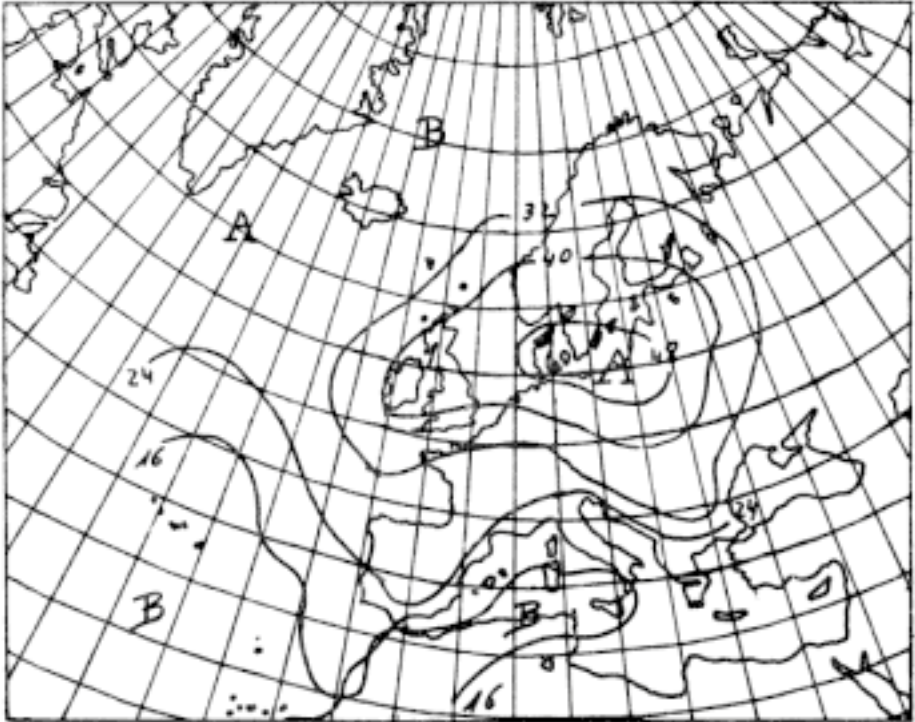
Temp	Enero	Febrero	Marzo	Noviembre	Diciembre
-5,5	1871				
-5,0	1905-1951				1950
-4,8		1873			
-4,7	1885				
-4,4	1864	1902 -1954			
-4,3	1878-1935				
-4,0	1934-1945		1955		1867-1940
-3,8	1869				1869
-3,6	1931	1938			
-3,5		1888			1883
-3,4					1875-1931-1933
-3,2	1870-1896-1923				1941
-3,0	1891-1950	1935 -1956	1950		1871-1878-1935
-2,8	1904-1952	1924			1879-1923-1925 1936-1970
-2,7	1867-1868	1901-1907	1944		
-2,6	1929-1933		1965-1984		
-2,5	1887				
-2,4	1876-1925-1946	1895-1950			
-2,3	1909	1887	1883		
-2,2	1906-1916-1942	1931		1890	1962
-2,1		1890	1950-1953-1993		
-2,0	1881-1910-1938 1941-1985	1908-1934 1944-1953-1965 1988-1999			1877-1914-1934 1937-1947-1967
-1,9					1870
-1,8	1914	1891-1905-1920			
-1,7	1957-1993	1878-1933	1900	1872	1865-1873-1881 1884-1952
-1,6	1883	1917	1974-1977	1979	1882-1917
-1,5			1973		1930
-1,4	1863-1971	1932-1952-1996	1979	1949	
-1,3			1971		1889

Temp	Enero	Febrero	Marzo	Noviembre	Diciembre
-1,2	1888-1911 1924-1937	1942-1943 1963-1978	1918	1884	1924
-1,1	1895-1901		1866		
-1,0	1865-1875-1882 1926-1928 1932-1936-1947 1953-2003	1864-1875-1886 1910-1928	1937-1951	1999	1913-1922-1946 1949-2001
-0,9	1886-1991	1909	1987		1874-1893
-0,8	1866-1893-1907	1922 -1986	1970		1903
-0,7		1865	1874		1862
-0,6		1863-1925-1981-1983		1933	1885-1926-1999
-0,5	1918-1984		1934		
-0,4	2000	1869-1889	1890	1934	1863
-0,3	1889-1944	1911	1993	1867-1871	
-0,2	1897-1917-1919 1921-1922-1981	1883-1915-1936	1915-1924-1929	1878-1923	1929-1994
-0,1		1951		1889	
0.0	1880-1892-1894 1900-1902-1943 1958-1972	1892-1894-1949	1867-1916-1939 1944-1955	1939-1941 1950-1985	1864-1872-1880 1899-1920-1938 1945-1964-1968 1973-1998

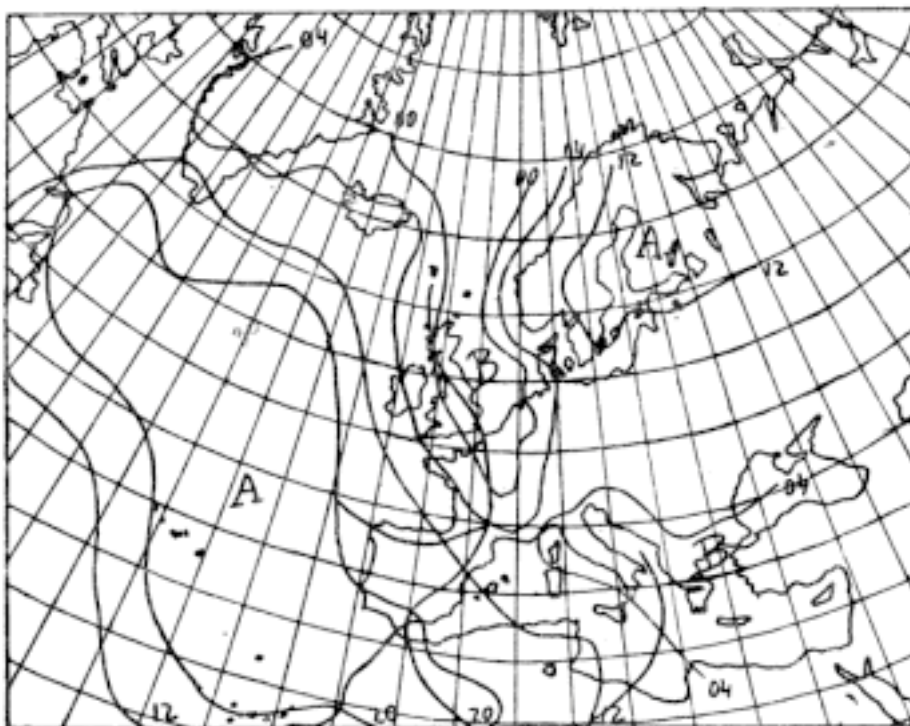
MAPA 1.- Situación meteorológica en superficie, típica de una invasión de aire frío siberiano continental, a las 6:00 horas T.M.G. del día 1 de febrero de 1956.



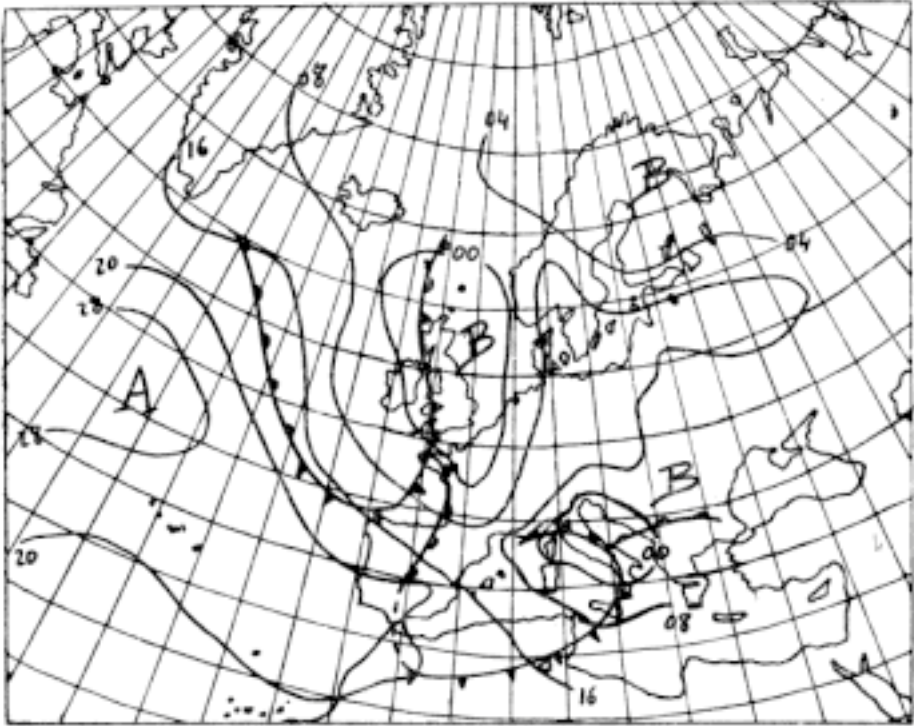
MAPA 2.- Situación meteorológica en superficie de una invasión de aire frío continental, correspondiente a las heladas del 24 de diciembre de 1962.



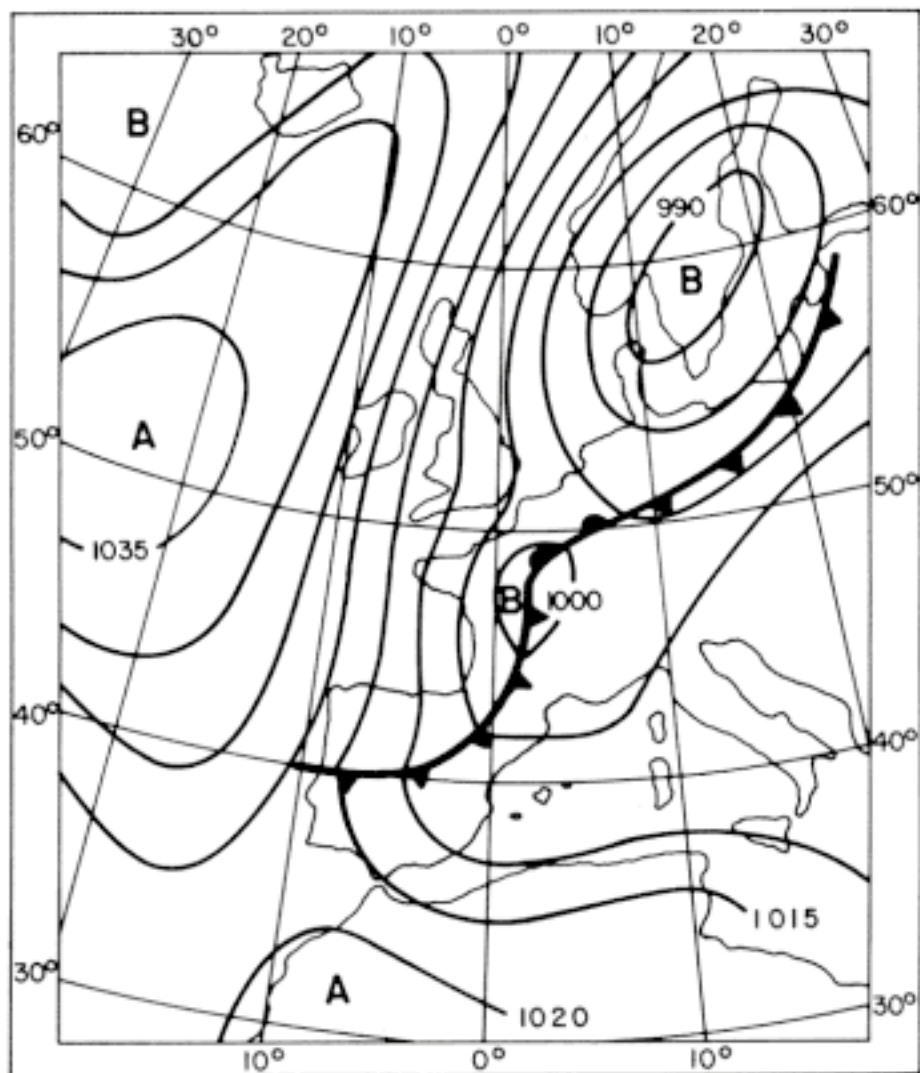
MAPA 3.- Situación meteorológica en superficie de una invasión de aire polar marítimo, correspondiente al día 1 de diciembre de 1964.



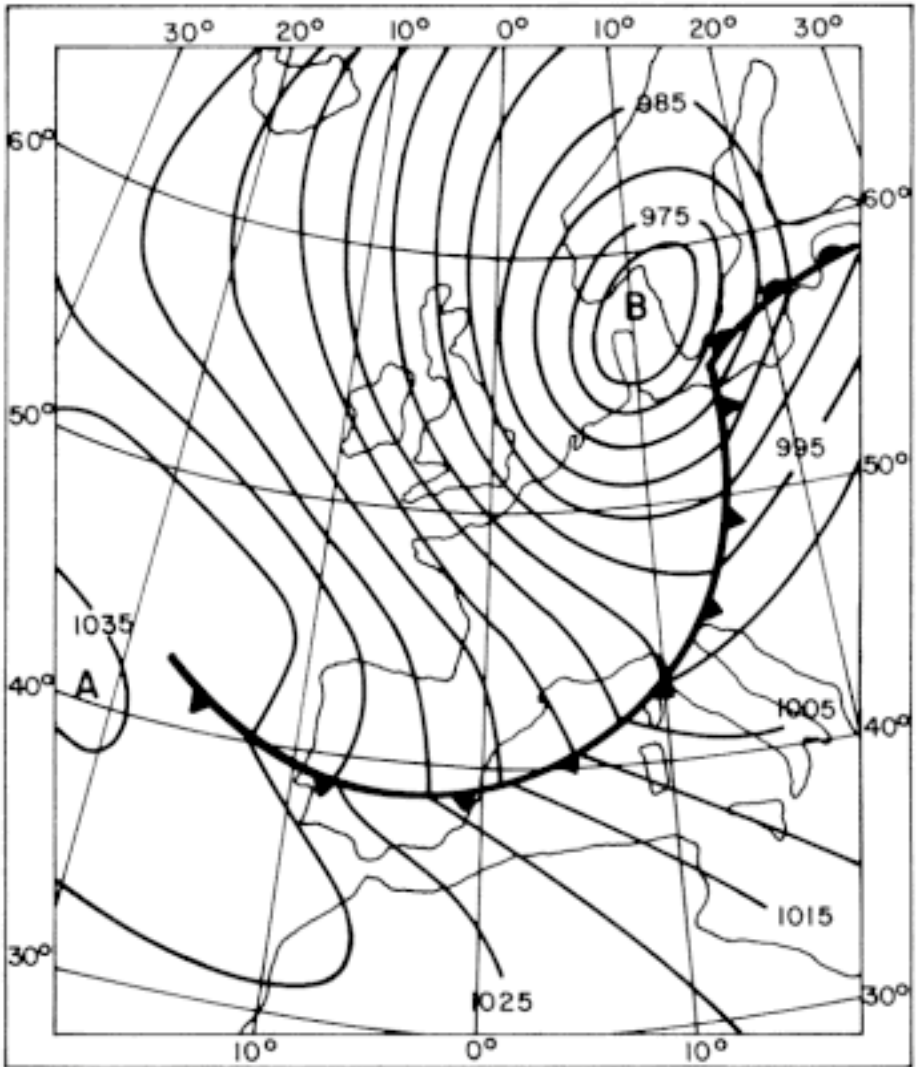
MAPA 4.- Situación meteorológica en superficie de una invasión de aire polar marítimo, correspondiente al día 27 de diciembre de 1964.



MAPA 5.- Situación meteorológica en superficie de una invasión de aire marítimo ártico, correspondiente a las 12:00 horas T.M.G. del día 4 de enero de 1945.



MAPA 6.- Situación meteorológica en superficie de una invasión de aire marítimo polar, correspondiente a las 12:00 horas T.M.G. del día 19 de enero de 1945.



MAPA 7.- Situación meteorológica en superficie y al nivel de los 500 mb a las 00:00 horas T.M.G. del día 20 de diciembre de 1973, que originó heladas en las que se registraron temperaturas mínimas de -4°C en Alcantari-lla y en Llano de Brujas y de $-3,2^{\circ}\text{C}$ en La Alberca.

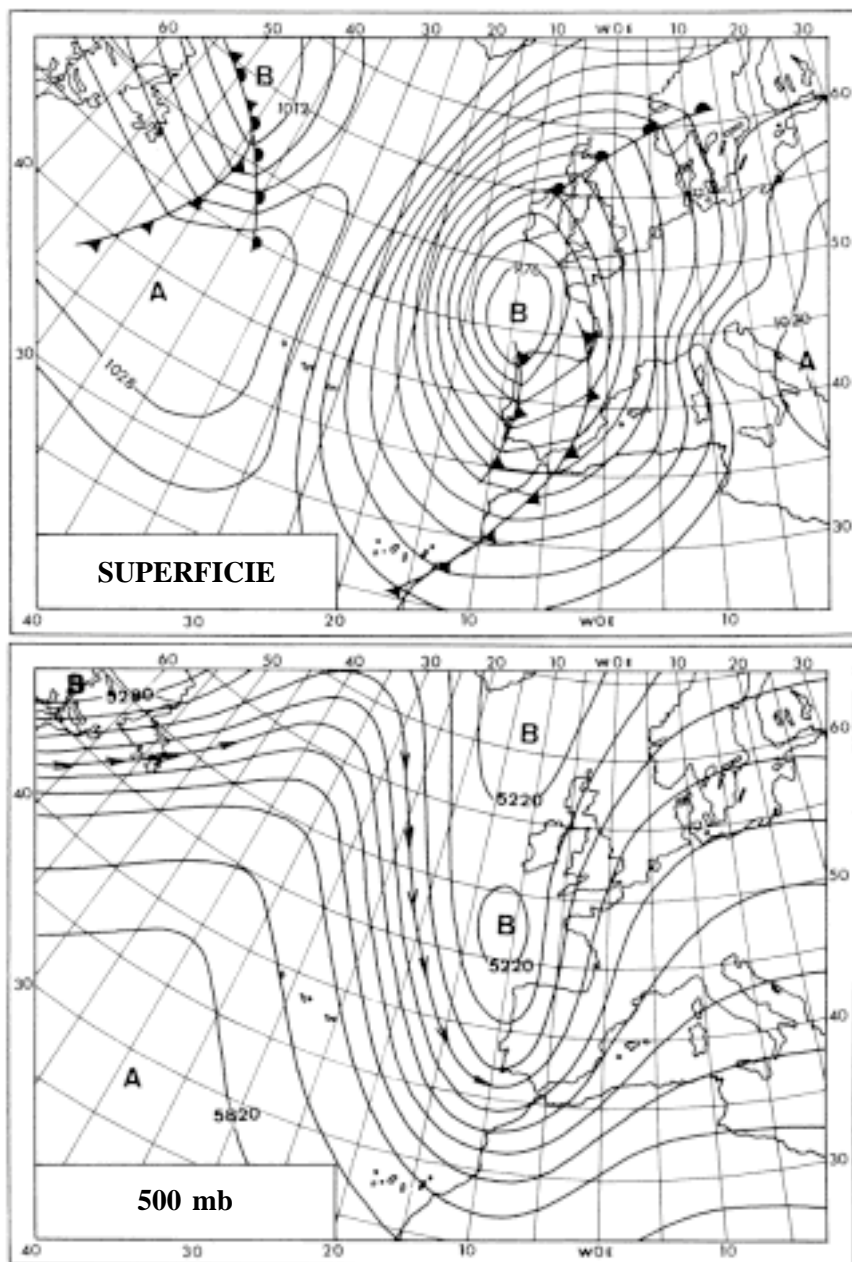


TABLA 1.- Temperaturas Mínimas Absolutas Mensuales de Alcantarilla en °C. En orden creciente - Período 1942 - 2002. ENERO

Núm.	°C	Año	Núm.	°C	Año	Núm.	°C	Año
1	-5.0	1951	21	-2.8	1947	41	-1.2	1968
2	-5.0	1958	22	-2.8	1980	42	-1.0	1953
3	-5.0	1991	23	-2.6	1975	43	-1.0	1982
4	-4.8	1957	24	-2.6	1976	44	-1.0	1998
5	-4.6	1981	25	-2.4	1971	45	-1.0	2001
6	-4.6	1985	26	-2.4	1973	46	-0.8	1956
7	-4.2	1945	27	-2.2	1948	47	-0.8	1974
8	-4.2	1946	28	-2.2	1964	48	-0.4	1978
9	-4.0	1942	29	-2.2	1969	49	-0.4	1986
10	-4.0	1984	30	-2.2	1992	50	0.2	1996
11	-4.0	1995	31	-2.2	2000	51	0.6	1949
12	-3.6	1993	32	-2.1	1944	52	0.6	1950
13	-3.4	1987	33	-2.0	1943	53	1.0	1988
14	-3.2	1965	34	-2.0	1972	54	1.0	1997
15	-3.2	1983	35	-1.8	1967	55	1.0	2002
16	-3.0	1952	36	-1.6	1960	56	1.2	1970
17	-3.0	1959	37	-1.6	1962	57	2.0	1955
18	-3.0	1961	38	-1.6	1999	58	2.0	1977
19	-3.0	1963	39	-1.5	1989	59	2.4	1966
20	-3.0	1994	40	-1.4	1990	60	2.4	1979

**Períodos de Retorno
Distribución de Gumbel**

Parámetros Estadísticos

Número de datos $N = 60$

Media aritmética $\bar{x} = -1.90$

Desviación típica $\sigma = 1.93$

Momentos:

$\mu_1 = 1.5$; $\mu_2 = 3.7$; $\mu_3 = 3.3$; $\mu_4 = 35.8$

Coefficiente de variación $CV = -102.5$

Coefficiente β_1 de Pearson = 0.21

Coefficiente β_2 de Pearson = 2.57

Asimetría $\gamma_1 = 0.46$

Curtosis $\gamma_2 = -0.43$

En % de los años	La Temp. mínima es	Para que Temp. mínima sea	Período de retorno es
100%	≥ -5 °C	≤ -5 °C	12 años
89%	≥ -4.5 °C	≤ -4.5 °C	9 años
86%	≥ -4 °C	≤ -4 °C	7 años
80%	≥ -3.5 °C	≤ -3.5 °C	5 años
75%	≥ -3 °C	≤ -3 °C	4 años
67%	≥ -2.5 °C	≤ -2.5 °C	3 años
50%	≥ -2 °C	≤ -2 °C	2 años
67%	≤ -1.5 °C	≥ -1.5 °C	3 años
75%	≤ -1 °C	≥ -1 °C	4 años
80%	≤ -0.5 °C	≥ -0.5 °C	5 años
83%	≤ 0 °C	≥ 0 °C	6 años
88%	≤ 0.5 °C	≥ 0.5 °C	8 años
91%	≤ 1 °C	≥ 1 °C	11 años
93%	≤ 1.5 °C	≥ 1.5 °C	14 años
95%	≤ 2 °C	≥ 2 °C	19 años
100%	≤ 2.5 °C	≥ 2.5 °C	25 años

Para período de retorno de 100 años
 -8.5 °C \leq Temp. mínima ≤ 4.8 °C

TABLA 2.- Temperaturas Mínimas Absolutas Mensuales de Alcantarilla en °C. En orden creciente - Período 1942 - 2002. FEBRERO

Núm.	°C	Año	Núm.	°C	Año	Núm.	°C	Año
1	-5.0	1956	21	-2.0	1969	41	0.0	1955
2	-4.8	1963	22	-2.0	1992	42	0.0	1959
3	-4.8	1981	23	-2.0	1996	43	0.0	1967
4	-4.7	1944	24	-1.6	1958	44	0.0	2002
5	-4.6	1965	25	-1.6	1960	45	0.2	1957
6	-4.6	1988	26	-1.6	1984	46	0.2	1993
7	-4.2	1999	27	-1.6	1986	47	0.4	1948
8	-3.8	1954	28	-1.6	1991	48	0.4	1985
9	-3.8	1962	29	-1.4	1945	49	0.4	1998
10	-3.2	1942	30	-1.4	1951	50	0.6	1968
11	-3.2	1978	31	-1.4	1976	51	0.6	1975
12	-3.0	1943	32	-1.2	1949	52	0.6	2000
13	-3.0	1951	33	-1.2	1979	53	0.7	1995
14	-2.8	1952	34	-1.0	1994	54	1.0	1977
15	-2.8	1970	35	-0.8	1947	55	1.2	1989
16	-2.4	1953	36	-0.8	1972	56	1.4	1961
17	-2.4	1964	37	-0.6	1946	57	1.4	1966
18	-2.4	1973	38	-0.6	1974	58	1.4	1990
19	-2.4	1983	39	-0.2	1980	59	1.6	2001
20	-2.3	1987	40	0.0	1950	60	2.0	1982
						61	2.4	1997

**Períodos de Retorno
Distribución de Gumbel**

Parámetros Estadísticos

Número de datos $N = 61$

Media aritmética $\bar{x} = -1.28$

Desviación típica $\sigma = 1.91$

Momentos:

$\mu_1 = 1.6$; $\mu_2 = 3.7$; $\mu_3 = -1.5$; $\mu_4 = 29.2$

Coefficiente de variación $CV = -149.1$

Coefficiente β_1 de Pearson = 0.05

Coefficiente β_2 de Pearson = 2.18

Asimetría $\gamma_1 = -0.21$

Curtosis $\gamma_2 = -0.82$

En % de los años	La Temp. mínima es	Para que Temp. mínima sea	Período de retorno es
100%	≥ -5 °C	≤ -5 °C	18 años
92%	≥ -4.5 °C	≤ -4.5 °C	13 años
90%	≥ -4 °C	≤ -4 °C	10 años
86%	≥ -3.5 °C	≤ -3.5 °C	7 años
83%	≥ -3 °C	≤ -3 °C	6 años
75%	≥ -2.5 °C	≤ -2.5 °C	4 años
67%	≥ -2 °C	≤ -2 °C	3 años
67%	≥ -1.5 °C	≤ -1.5 °C	3 años
50%	≥ -1 °C	≤ -1 °C	2 años
67%	≤ -0.5 °C	≥ -0.5 °C	3 años
75%	≤ 0 °C	≥ 0 °C	4 años
83%	≤ 0.5 °C	≥ 0.5 °C	6 años
88%	≤ 1 °C	≥ 1 °C	8 años
90%	≤ 1.5 °C	≥ 1.5 °C	10 años
93%	≤ 2 °C	≥ 2 °C	14 años
100%	≤ 2.5 °C	≥ 2.5 °C	18 años

Para período de retorno de 100 años
 -7.9 °C \leq Temp. mínima ≤ 5.3 °C

TABLA 3.- Temperaturas Mínimas Absolutas Mensuales de Alcantarilla en °C. En orden creciente - Período 1942 - 2002. MARZO

Núm.	°C	Año	Núm.	°C	Año	Núm.	°C	Año
1	-4.2	1955	21	0.0	1970	41	1.8	2000
2	-2.8	1944	22	0.2	1954	42	2.0	1943
3	-2.6	1965	23	0.2	1966	43	2.0	1967
4	-2.6	1984	24	0.2	1985	44	2.0	1972
5	-2.0	1950	25	0.4	1969	45	2.2	1975
6	-2.0	1953	26	0.8	1990	46	2.4	1947
7	-2.0	1993	27	1.0	1956	47	2.4	1960
8	-1.6	1961	28	1.0	1959	48	2.4	1999
9	-1.4	1949	29	1.0	1982	49	2.5	2002
10	-1.4	1974	30	1.0	1997	50	2.6	1978
11	-1.4	1977	31	1.0	1998	51	2.6	1980
12	-1.2	1973	32	1.2	1948	52	2.6	1986
13	-1.0	1979	33	1.2	1946	53	2.8	1942
14	-0.8	1951	34	1.4	1952	54	2.8	1992
15	-0.8	1963	35	1.4	1968	55	2.8	1995
16	-0.8	1971	36	1.4	1976	56	3.0	1989
17	-0.6	1988	37	1.5	1996	57	3.4	1957
18	-0.2	1945	38	1.6	1962	58	3.4	1994
19	-0.2	1987	39	1.6	1964	59	4.0	1981
20	0.0	1958	40	1.8	1983	60	4.0	2001
						61	5.0	1991

**Períodos de Retorno
Distribución de Gumbel**

Parámetros Estadísticos

Número de datos $N = 61$

Media aritmética $\bar{x} = 0.80$

Desviación típica $\sigma = 1.93$

Momentos:

$\mu_1 = 1.6$; $\mu_2 = 3.7$; $\mu_3 = -2.3$; $\mu_4 = 35.4$

Coefficiente de variación $CV = 239.9$

Coefficiente β_1 de Pearson = 0.10

Coefficiente β_2 de Pearson = 2.56

Asimetría $\gamma_1 = -0.32$

Curtosis $\gamma_2 = -0.44$

En % de los años	La Temp. mínima es	Para que Temp. mínima sea	Período de retorno es
100%	≥ -4.5 °C	≤ -4.5 °C	45 años
97%	≥ -4 °C	≤ -4 °C	33 años
96%	≥ -3.5 °C	≤ -3.5 °C	24 años
94%	≥ -3 °C	≤ -3 °C	18 años
93%	≥ -2.5 °C	≤ -2.5 °C	14 años
90%	≥ -2 °C	≤ -2 °C	10 años
88%	≥ -1.5 °C	≤ -1.5 °C	8 años
83%	≥ -1 °C	≤ -1 °C	6 años
75%	≥ -0.5 °C	≤ -0.5 °C	4 años
67%	≥ 0 °C	≤ 0 °C	3 años
67%	≥ 0.5 °C	≤ 0.5 °C	3 años
50%	≤ 1 °C	≥ 1 °C	2 años
67%	≤ 1.5 °C	≥ 1.5 °C	3 años
75%	≤ 2 °C	≥ 2 °C	4 años
80%	≤ 2.5 °C	≥ 2.5 °C	5 años
86%	≤ 3 °C	≥ 3 °C	7 años
90%	≤ 3.5 °C	≥ 3.5 °C	10 años
92%	≤ 4 °C	≥ 4 °C	13 años
99%	≤ 4.5 °C	≥ 4.5 °C	17 años
100%	≤ 5 °C	≥ 5 °C	23 años

Para período de retorno de 100 años
 -5.8 °C \leq Temp. mínima ≤ 7.4 °C

TABLA 4.- Temperaturas Mínimas Absolutas Mensuales de Alcantarilla en °C. En orden creciente - Período 1942 - 2002. NOVIEMBRE

Núm.	°C	Año	Núm.	°C	Año	Núm.	°C	Año
1	-2.6	1965	21	0.6	1980	42	2.6	1974
2	-2.6	1976	22	0.6	1998	43	2.8	1958
3	-2.4	1941	23	0.6	2001	44	2.8	1978
4	-2.0	1943	24	0.8	1948	45	2.8	1992
5	-2.0	1947	25	0.8	1957	46	3.0	1982
6	-2.0	1966	26	0.8	1968	47	3.0	1986
7	-2.0	1999	27	1.0	1951	48	3.0	1993
8	-1.4	1979	28	1.0	1961	49	3.2	1984
9	-1.0	1987	29	1.2	1956	50	3.2	1996
10	-0.8	1969	30	1.3	1944	51	3.4	1963
11	-0.6	1960	31	1.4	1946	52	3.8	1970
12	-0.6	1985	32	1.6	1954	53	3.8	1973
13	-0.6	1990	33	1.6	1975	54	3.8	1994
14	-0.4	1962	34	1.6	1977	55	4.1	2002
15	-0.2	1991	35	1.8	1964	56	4.2	1945
16	0.0	1942	36	2.0	1971	57	4.4	1967
17	0.0	1955	37	2.0	1997	58	4.4	1981
18	0.0	1995	38	2.4	1988	59	4.4	1983
19	0.2	1952	39	2.5	2000	60	4.6	1989
20	0.6	1949	40	2.6	1950	61	5.6	1953
			41	2.6	1959	62	6.4	1972

**Períodos de Retorno
Distribución de Gumbel**

Parámetros Estadísticos

Número de datos $N = 62$

Media aritmética $\bar{x} = 1.45$

Desviación típica $\sigma = 2.14$

Momentos:

$\mu_1 = 1.8$; $\mu_2 = 4.6$; $\mu_3 = -0.5$; $\mu_4 = 48.9$

Coefficiente de variación $CV = 147.9$

Coefficiente β_1 de Pearson = 0.002

Coefficiente β_2 de Pearson = 2.33

Asimetría $\gamma_1 = -0.05$

Curtosis $\gamma_2 = -0.67$

En % de los años	La Temp. mínima es	Para que Temp. mínima sea	Período de retorno es
100%	≥ -2.6 °C	≤ -3 °C	21 años
92%	≥ -2 °C	≤ -2.5 °C	16 años
89%	≥ -1.5 °C	≤ -2 °C	12 años
86%	≥ -1 °C	≤ -1.5 °C	9 años
83%	≥ -0.5 °C	≤ -1 °C	7 años
75%	≥ 0 °C	≤ -0.5 °C	6 años
67%	≥ 0.5 °C	≤ 0 °C	4 años
50%	≥ 1 °C	≤ 0.5 °C	3 años
50%	≤ 1.5 °C	≤ 1 °C	2 años
67%	≤ 2 °C	≥ 1.5 °C	2 años
75%	≤ 2.5 °C	≥ 2 °C	3 años
80%	≤ 3 °C	≥ 2.5 °C	4 años
83%	≤ 3.5 °C	≥ 3 °C	5 años
88%	≤ 4 °C	≥ 3.5 °C	6 años
90%	≤ 4.5 °C	≥ 4 °C	8 años
92%	≤ 5 °C	≥ 4.5 °C	10 años
94%	≤ 5.5 °C	≥ 5 °C	13 años
95%	≤ 6 °C	≥ 5.5 °C	17 años
100%	≤ 6.4 °C	≥ 6 °C	22 años
		≥ 6.5 °C	28 años

Para período de retorno de 100 años
 -5.9 °C \leq Temp. mínima ≤ 8.8 °C

TABLA 5.- Temperaturas Mínimas Absolutas Mensuales de Alcantarilla en °C. En orden creciente - Período 1942 - 2002. DICIEMBRE

Núm.	°C	Año	Núm.	°C	Año	Núm.	°C	Año
1	-5.2	1962	21	-2.0	2001	41	-0.4	1985
2	-5.2	1970	22	-1.8	1981	42	-0.2	1960
3	-5.0	1967	23	-1.8	1983	43	-0.2	1997
4	-4.4	1947	24	-1.8	1998	44	0.0	1953
5	-4.2	1994	25	-1.6	1946	45	0.0	1963
6	-4.0	1950	26	-1.4	1975	46	0.0	1972
7	-4.0	1956	27	-1.4	1982	47	0.0	1993
8	-4.0	1973	28	-1.4	1986	48	0.2	1971
9	-3.5	1990	29	-1.4	1988	49	0.3	1959
10	-3.4	1964	30	-1.0	1944	50	0.4	1942
11	-3.4	1966	31	-1.0	1978	51	0.4	1949
12	-3.2	1945	32	-1.0	1987	52	0.6	1969
13	-3.2	1984	33	-1.0	1992	53	0.6	1989
14	-3.0	1968	34	-0.8	1976	54	1.2	2002
15	-2.8	1952	35	-0.6	1957	55	1.4	1951
16	-2.6	1961	36	-0.6	1965	56	1.4	1954
17	-2.6	1980	37	-0.6	1974	57	1.4	1958
18	-2.4	1991	38	-0.6	1979	58	1.8	1955
19	-2.2	1999	39	-0.5	1943	59	2.0	1948
20	-2.0	1996	40	-0.5	2000	60	3.2	1995
						61	4.0	1977

**Períodos de Retorno
Distribución de Gumbel**

Parámetros Estadísticos

Número de datos $N = 61$
 Media aritmética $\bar{x} = -1.23$
 Desviación típica $\sigma = 2.01$
 Momentos:
 $\mu_1 = 1.6$; $\mu_2 = 4.0$; $\mu_3 = 0.5$; $\mu_4 = 45.0$
 Coeficiente de variación $CV = -163.2$
 Coeficiente β_1 de Pearson = 0.004
 Coeficiente β_2 de Pearson = 2.78
 Asimetría $\gamma_1 = 0.07$
 Curtosis $\gamma_2 = -0.22$

En % de los años	La Temp. mínima es	Para que Temp. mínima sea	Período de retorno es
100%	≥ -5.2 °C	≤ -5.2 °C	18 años
94%	≥ -5 °C	≤ -5 °C	16 años
92%	≥ -4.5 °C	≤ -4.5 °C	12 años
89%	≥ -4 °C	≤ -4 °C	9 años
86%	≥ -3.5 °C	≤ -3.5 °C	7 años
80%	≥ -3 °C	≤ -3 °C	5 años
75%	≥ -2.5 °C	≤ -2.5 °C	4 años
67%	≥ -2 °C	≤ -2 °C	3 años
67%	≥ -1.5 °C	≤ -1.5 °C	3 años
50%	≥ -1 °C	≤ -1 °C	2 años
67%	≤ -0.5 °C	≥ -0.5 °C	3 años
75%	≤ 0 °C	≥ 0 °C	4 años
80%	≤ 0.5 °C	≥ 0.5 °C	5 años
86%	≤ 1 °C	≥ 1 °C	7 años
89%	≤ 1.5 °C	≥ 1.5 °C	9 años
92%	≤ 2 °C	≥ 2 °C	12 años
94%	≤ 2.5 °C	≥ 2.5 °C	16 años
95%	≤ 3 °C	≥ 3 °C	21 años
96%	≤ 3.5 °C	≥ 3.5 °C	28 años
100%	≤ 4 °C	≥ 4 °C	38 años

Para período de retorno de 100 años
 -8.1 °C \leq Temp. mínima ≤ 5.7 °C

TABLA 6.- Temperaturas Mínimas Absolutas Mensuales de La Alberca en °C. En orden creciente - Período 1947 - 1983. ENERO

Núm.	°C	Año	Núm.	°C	Año	Núm.	°C	Año
1	-4.5	1957	13	-2.0	1968	25	-1.2	1978
2	-3.6	1981	14	-2.0	1972	26	-1.0	1960
3	-3.5	1958	15	-2.0	1983	27	-1.0	1974
4	-3.4	1951	16	-1.8	1953	28	0.0	1962
5	-3.4	1971	17	-1.8	1975	29	1.0	1950
6	-2.8	1976	18	-1.8	1980	30	1.0	1970
7	-2.5	1969	19	-1.6	1961	31	1.0	1977
8	-2.2	1952	20	-1.5	1956	32	1.2	1948
9	-2.0	1954	21	-1.5	1959	33	1.8	1949
10	-2.0	1963	22	-1.5	1982	34	2.4	1979
11	-2.0	1964	23	-1.4	1973	35	3.0	1966
12	-2.0	1965	24	-1.2	1947	36	3.6	1955

**Períodos de Retorno
Distribución de Gumbel**

Parámetros Estadísticos

Número de datos $N = 36$

Media aritmética $\bar{x} = -1.17$

Desviación típica $\sigma = 1.88$

Momentos:

$\mu_1 = 1.4$; $\mu_2 = 3.5$; $\mu_3 = 5.6$; $\mu_4 = 39.3$

Coefficiente de variación $CV = -160.4$

Coefficiente β_1 de Pearson = 0.70

Coefficiente β_2 de Pearson = 3.14

Asimetría $\gamma_1 = 0.84$

Curtosis $\gamma_2 = 0.14$

En % de los años	La Temp. mínima es	Para que Temp. mínima sea	Período de retorno es
100%	≥ -4.5 °C	≤ -4.5 °C	13 años
90%	≥ -4 °C	≤ -4 °C	10 años
86%	≥ -3.5 °C	≤ -3.5 °C	7 años
83%	≥ -3 °C	≤ -3 °C	6 años
75%	≥ -2.5 °C	≤ -2.5 °C	4 años
67%	≥ -2 °C	≤ -2 °C	3 años
50%	≥ -1.5 °C	≤ -1.5 °C	2 años
50%	≤ -1 °C	≥ -1 °C	2 años
67%	≤ -0.5 °C	≥ -0.5 °C	3 años
75%	≤ 0 °C	≥ 0 °C	4 años
80%	≤ 0.5 °C	≥ 0.5 °C	5 años
86%	≤ 1 °C	≥ 1 °C	7 años
89%	≤ 1.5 °C	≥ 1.5 °C	9 años
92%	≤ 2 °C	≥ 2 °C	12 años
94%	≤ 2.5 °C	≥ 2.5 °C	16 años
95%	≤ 3 °C	≥ 3 °C	22 años
100%	≤ 3.6 °C	≥ 3.6 °C	31 años

Para Período de retorno de 100 años
 $-7.9 \leq$ °C Temp. mínima ≤ 5.6 °C

TABLA 7.- Temperaturas Mínimas Absolutas Mensuales de La Alberca en °C. En orden creciente - Período 1947 - 1983. FEBRERO

Núm.	°C	Año	Núm.	°C	Año	Núm.	°C	Año
1	-5.0	1954	13	-1.6	1971	25	0.0	1974
2	-5.0	1956	14	-1.6	1979	26	0.2	1977
3	-5.0	1978	15	-1.2	1960	27	0.4	1980
4	-4.5	1965	16	-1.2	1964	28	0.5	1955
5	-4.0	1963	17	-1.2	1970	29	0.8	1958
6	-4.0	1981	18	-1.0	1951	30	1.0	1957
7	-3.4	1973	19	-0.2	1949	31	1.0	1966
8	-3.0	1952	20	-0.2	1975	32	1.0	1982
9	-3.0	1953	21	0.0	1959	33	1.6	1950
10	-3.0	1962	22	0.0	1967	34	2.5	1961
11	-2.0	1969	23	0.0	1968	35	4.0	1948
12	-1.8	1976	24	0.0	1972			

**Períodos de Retorno
Distribución de Gumbel**

Parámetros Estadísticos

Número de datos $N = 35$

Media aritmética $\bar{x} = -1.11$

Desviación típica $\sigma = 2.20$

Momentos:

$\mu_1 = 1.8$; $\mu_2 = 4.8$; $\mu_3 = -1.2$; $\mu_4 = 57.9$

Coefficiente de variación $CV = -197.8$

Coefficiente β_1 de Pearson = 0.01

Coefficiente β_2 de Pearson = 2.48

Asimetría $\gamma_1 = -0.12$

Curtosis $\gamma_2 = -0.52$

En % de los años	La Temp. mínima es	Para que Temp. mínima sea	Período de retorno es
100%	≥ -5 °C	≤ -5 °C	13 años
90%	≥ -4.5 °C	≤ -4.5 °C	10 años
88%	≥ -4 °C	≤ -4 °C	8 años
83%	≥ -3.5 °C	≤ -3.5 °C	6 años
80%	≥ -3 °C	≤ -3 °C	5 años
75%	≥ -2.5 °C	≤ -2.5 °C	4 años
67%	≥ -2 °C	≤ -2 °C	3 años
50%	≥ -1 °C	≤ -1 °C	2 años
67%	≤ -0.5 °C	≥ -0.5 °C	3 años
75%	≤ 0 °C	≥ 0 °C	4 años
83%	≤ 1 °C	≥ 1 °C	6 años
86%	≤ 1.5 °C	≥ 1.5 °C	7 años
89%	≤ 2 °C	≥ 2 °C	9 años
91%	≤ 2.5 °C	≥ 2.5 °C	11 años
93%	≤ 3 °C	≥ 3 °C	15 años
95%	≤ 3.5 °C	≥ 3.5 °C	19 años
100%	≤ 4 °C	≥ 4 °C	24 años

Para Período de retorno de 100 años
 -9 °C \leq Temp. mínima \leq 6.8 °C

TABLA 8.- Temperaturas Mínimas Absolutas Mensuales de La Alberca en °C. En orden creciente - Período 1947 - 1983. MARZO

Núm.	°C	Año	Núm.	°C	Año	Núm.	°C	Año
1	-4.0	1955	13	0.0	1976	25	1.5	1962
2	-2.0	1977	14	0.5	1951	26	2.2	1959
3	-1.8	1973	15	0.5	1961	27	2.2	1980
4	-1.2	1971	16	0.5	1963	28	2.4	1972
5	-1.0	1966	17	0.5	1968	29	2.8	1981
6	-1.0	1974	18	0.6	1954	30	3.0	1964
7	-1.0	1979	19	0.8	1950	31	3.0	1978
8	-0.6	1970	20	1.0	1967	32	4.0	1957
9	-0.2	1953	21	1.0	1982	33	4.0	1960
10	0.0	1958	22	1.2	1952	34	4.4	1948
11	0.0	1965	23	1.2	1975	35	5.6	1947
12	0.0	1969	24	1.4	1956			

**Períodos de Retorno
Distribución de Gumbel**

Parámetros Estadísticos

Número de datos $N = 35$

Media aritmética $\bar{x} = 0.90$

Desviación típica $\sigma = 1.96$

Momentos:

$\mu_1 = 1.5$; $\mu_2 = 3.9$; $\mu_3 = 1.2$; $\mu_4 = 47.3$

Coefficiente de variación $CV = 218.07$

Coefficiente β_1 de Pearson = 0.02

Coefficiente β_2 de Pearson = 3.18

Asimetría $\gamma_1 = 0.15$

Curtosis $\gamma_2 = 0.18$

En % de los años	La Temp. mínima es	Para que Temp. mínima sea	Período de retorno es
100%	≥ -4 °C	≤ -4 °C	29 años
95%	≥ -3.5 °C	≤ -3.5 °C	22 años
94%	≥ -3 °C	≤ -3 °C	17 años
92%	≥ -2.5 °C	≤ -2.5 °C	13 años
90%	≥ -2 °C	≤ -2 °C	10 años
86%	≥ -1.5 °C	≤ -1.5 °C	7 años
83%	≥ -1 °C	≤ -1 °C	6 años
75%	≥ -0.5 °C	≤ -0.5 °C	4 años
67%	≥ 0 °C	≤ 0 °C	3 años
50%	≥ 1 °C	≤ 1 °C	2 años
67%	≤ 1.5 °C	≥ 1.5 °C	3 años
75%	≤ 2 °C	≥ 2 °C	4 años
80%	≤ 2.5 °C	≥ 2.5 °C	5 años
83%	≤ 3 °C	≥ 3 °C	6 años
88%	≤ 3.5 °C	≥ 3.5 °C	8 años
91%	≤ 4 °C	≥ 4 °C	11 años
93%	≤ 4.5 °C	≥ 4.5 °C	14 años
95%	≤ 5 °C	≥ 5 °C	19 años
100%	≤ 5.6 °C	≥ 5.6 °C	27 años

Para Período de retorno de 100 años

-6.2 °C \leq Temp. mínima \leq 8.0 °C

TABLA 9.- Temperaturas Mínimas Absolutas Mensuales de La Alberca en °C. En orden creciente - Período 1947 - 1983. NOVIEMBRE

Núm.	°C	Año	Núm.	°C	Año	Núm.	°C	Año
1	-3.0	1965	13	1.0	1968	25	3.0	1982
2	-1.8	1976	14	1.5	1955	26	3.4	1970
3	-1.0	1979	15	1.8	1975	27	3.4	1973
4	-0.8	1969	16	2.0	1947	28	3.5	1948
5	-0.4	1977	17	2.0	1949	29	4.0	1967
6	0.0	1971	18	2.0	1958	30	4.0	1981
7	0.2	1952	19	2.0	1960	31	4.8	1950
8	0.5	1961	20	2.2	1946	32	5.0	1962
9	0.8	1974	21	2.2	1978	33	6.0	1972
10	0.8	1980	22	2.5	1957	34	7.0	1953
11	1.0	1956	23	2.8	1954	35	7.0	1963
12	1.0	1964	24	2.9	1951			

**Períodos de Retorno
Distribución de Gumbel**

Parámetros Estadísticos

Número de datos $N = 35$

Media aritmética $\bar{x} = 2.09$

Desviación típica $\sigma = 2.25$

Momentos:

$\mu_1 = 1.7; \mu_2 = 5.1; \mu_3 = 2.1; \mu_4 = 77.3$

Coefficiente de variación $CV = 107.43$

Coefficiente β_1 de Pearson = 0.03

Coefficiente β_2 de Pearson = 3.02

Asimetría $\gamma_1 = 0.18$

Curtosis $\gamma_2 = 0.02$

En % de los años	La Temp. mínima es	Para que Temp. mínima sea	Período de retorno es
100%	$\geq -3^\circ\text{C}$	$\leq -3^\circ\text{C}$	23 años
94%	$\geq -2.5^\circ\text{C}$	$\leq -2.5^\circ\text{C}$	18 años
93%	$\geq -2^\circ\text{C}$	$\leq -2^\circ\text{C}$	14 años
91%	$\geq -1.5^\circ\text{C}$	$\leq -1.5^\circ\text{C}$	11 años
89%	$\geq -1^\circ\text{C}$	$\leq -1^\circ\text{C}$	9 años
86%	$\geq -0.5^\circ\text{C}$	$\leq -0.5^\circ\text{C}$	7 años
80%	$\geq 0^\circ\text{C}$	$\leq 0^\circ\text{C}$	5 años
75%	$\geq 0.5^\circ\text{C}$	$\leq 0.5^\circ\text{C}$	4 años
67%	$\geq 1^\circ\text{C}$	$\leq 1^\circ\text{C}$	3 años
50%	$\geq 1.5^\circ\text{C}$	$\leq 1.5^\circ\text{C}$	2 años
50%	$\leq 2^\circ\text{C}$	$\geq 2^\circ\text{C}$	2 años
67%	$\leq 3^\circ\text{C}$	$\geq 3^\circ\text{C}$	3 años
75%	$\leq 3.5^\circ\text{C}$	$\geq 3.5^\circ\text{C}$	4 años
80%	$\leq 4^\circ\text{C}$	$\geq 4^\circ\text{C}$	5 años
83%	$\leq 4.5^\circ\text{C}$	$\geq 4.5^\circ\text{C}$	6 años
88%	$\leq 5^\circ\text{C}$	$\geq 5^\circ\text{C}$	8 años
90%	$\leq 5.5^\circ\text{C}$	$\geq 5.5^\circ\text{C}$	10 años
92%	$\leq 6^\circ\text{C}$	$\geq 6^\circ\text{C}$	13 años
94%	$\leq 6.5^\circ\text{C}$	$\geq 6.5^\circ\text{C}$	16 años
100%	$\leq 7^\circ\text{C}$	$\geq 7^\circ\text{C}$	21 años

Para Período de retorno de 100 años
 $-6^\circ\text{C} \leq \text{Temp. mínima} \leq 10.2^\circ\text{C}$

TABLA 10.- Temperaturas Mínimas Absolutas Mensuales de La Alberca en °C. En orden creciente - Período 1947 - 1983. DICIEMBRE

Núm.	°C	Año	Núm.	°C	Año	Núm.	°C	Año
1	-5.8	1970	13	-2.0	1957	25	0.0	1978
2	-5.0	1950	14	-1.5	1981	26	0.4	1976
3	-5.0	1962	15	-1.0	1965	27	0.5	1959
4	-4.0	1968	16	-1.0	1969	28	0.8	1949
5	-3.8	1967	17	-0.8	1971	29	1.0	1963
6	-3.2	1973	18	-0.8	1972	30	1.2	1951
7	-3.0	1964	19	-0.5	1982	31	1.8	1953
8	-2.8	1980	20	-0.4	1975	32	2.0	1954
9	-2.4	1952	21	-0.2	1974	33	2.0	1977
10	-2.2	1961	22	-0.2	1979	34	2.2	1958
11	-2.1	1956	23	0.0	1947	35	2.5	1955
12	-2.0	1946	24	0.0	1960	36	4.0	1948

**Períodos de Retorno
Distribución de Gumbel**

Parámetros Estadísticos

Número de datos $N = 36$

Media aritmética $\bar{x} = -0.87$

Desviación típica $\sigma = 2.27$

Momentos:

$\mu_1 = 1.8$; $\mu_2 = 5.1$; $\mu_3 = -2.2$; $\mu_4 = 67.6$

Coefficiente de variación $CV = -260.6$

Coefficiente β_1 de Pearson = 0.04

Coefficiente β_2 de Pearson = 2.57

Asimetría $\gamma_1 = -0.19$

Curtosis $\gamma_2 = -0.43$

En % de los años	La Temp. mínima es	Para que Temp. mínima sea	Período de retorno es
100%	≥ -5.8 °C	≤ -5.8 °C	21 años
94%	≥ -5.5 °C	≤ -5.5 °C	18 años
93%	≥ -5 °C	≤ -5 °C	14 años
91%	≥ -4.5 °C	≤ -4.5 °C	11 años
89%	≥ -4 °C	≤ -4 °C	9 años
86%	≥ -3.5 °C	≤ -3.5 °C	7 años
80%	≥ -3 °C	≤ -3 °C	5 años
75%	≥ -2 °C	≤ -2 °C	4 años
67%	≥ -1.5 °C	≤ -1.5 °C	3 años
50%	≥ -1 °C	≤ -1 °C	2 años
67%	≤ 0 °C	≥ 0 °C	3 años
75%	≤ 0.5 °C	≥ 0.5 °C	4 años
80%	≤ 1 °C	≥ 1 °C	5 años
83%	≤ 1.5 °C	≥ 1.5 °C	6 años
88%	≤ 2 °C	≥ 2 °C	8 años
90%	≤ 2.5 °C	≥ 2.5 °C	10 años
92%	≤ 3 °C	≥ 3 °C	12 años
94%	≤ 3.5 °C	≥ 3.5 °C	16 años
100%	≤ 4 °C	≥ 4 °C	20 años

Para Período de retorno de 100 años

-9 °C \leq Temp. mínima ≤ 7.3 °C

TABLA 11.- Temperaturas Mínimas Absolutas Mensuales de Llano de Brujas en °C. En orden creciente - Período 1971 - 2001. ENERO

Núm.	°C	Año	Núm.	°C	Año	Núm.	°C	Año
1	-6.2	1985	11	-2.0	1972	21	-1.0	2000
2	-4.5	1981	12	-2.0	1982	22	-1.0	2001
3	-4.0	1975	13	-1.5	1974	23	-0.5	1990
4	-3.5	1984	14	-1.5	1980	24	0.0	1977
5	-3.5	1987	15	-1.5	1994	25	0.0	1979
6	-3.5	1995	16	-1.0	1978	26	0.0	1989
7	-3.0	1976	17	-1.0	1983	27	1.0	1996
8	-3.0	1991	18	-1.0	1986	28	1.0	1997
9	-2.6	1973	19	-1.0	1992	29	1.5	1988
10	-2.5	1993	20	-1.0	1999	30	2.0	1998

**Períodos de Retorno
Distribución de Gumbel**

Parámetros Estadísticos

Número de datos $N = 30$
 Media aritmética $\bar{x} = -1.56$
 Desviación típica $\sigma = 1.82$
 Momentos:
 $\mu_1 = 1.4; \mu_2 = 3.3; \mu_3 = -1.6; \mu_4 = 32.7$
 Coeficiente de variación $CV = -116.9$
 Coeficiente β_1 de Pearson = 0.07
 Coeficiente β_2 de Pearson = 2.96
 Asimetría $\gamma_1 = -0.27$
 Curtosis $\gamma_2 = -0.04$

En % de los años	La Temp. mínima es	Para que Temp. mínima sea	Período de retorno es
100%	≥ -6.2 °C	≤ -6.2 °C	30 años
95%	≥ -5.5 °C	≤ -5.5 °C	19 años
93%	≥ -5 °C	≤ -5 °C	14 años
91%	≥ -4.5 °C	≤ -4.5 °C	11 años
88%	≥ -4 °C	≤ -4 °C	8 años
83%	≥ -3.5 °C	≤ -3.5 °C	6 años
80%	≥ -3 °C	≤ -3 °C	5 años
75%	≥ -2.5 °C	≤ -2.5 °C	4 años
67%	≥ -2 °C	≤ -2 °C	3 años
50%	≤ -1.5 °C	≥ -1.5 °C	2 años
67%	≤ -1 °C	≥ -1 °C	3 años
75%	≤ -0.5 °C	≥ -0.5 °C	4 años
80%	≤ 0 °C	≥ 0 °C	5 años
86%	≤ 0.5 °C	≥ 0.5 °C	7 años
89%	≤ 1 °C	≥ 1 °C	9 años
92%	≤ 1.5 °C	≥ 1.5 °C	12 años
100%	≤ 2 °C	≥ 2 °C	16 años

Para Período de retorno de 100 años
 -8.2 °C \leq Temp. mínima ≤ 5.1 °C

TABLA 12.- Temperaturas Mínimas Absolutas Mensuales de Llano de Brujas en °C. En orden creciente - Período 1971 - 2001. FEBRERO

Núm.	°C	Año	Núm.	°C	Año	Núm.	°C	Año
1	-3.5	1978	11	-1.5	1979	21	0.5	1993
2	-3.0	1981	12	-1.5	1996	22	1.0	1977
3	-3.0	1983	13	-1.2	1974	23	1.0	1994
4	-3.0	1991	14	-1.0	1984	24	1.0	1998
5	-2.5	1973	15	0.0	1972	25	1.5	1982
6	-2.5	1988	16	0.0	1975	26	2.0	1985
7	-2.5	1999	17	0.0	1989	27	2.0	1995
8	-2.0	1976	18	0.0	2001	28	2.0	2000
9	-2.0	1986	19	0.1	1992	29	3.5	1997
10	-2.0	1987	20	0.5	1980	30	4.0	1990

**Períodos de Retorno
Distribución de Gumbel**

Parámetros Estadísticos

Número de datos $N = 30$

Media aritmética $\bar{x} = -0.40$

Desviación típica $\sigma = 1.98$

Momentos:

$\mu_1 = 1.7$; $\mu_2 = 3.9$; $\mu_3 = 2.6$; $\mu_4 = 34.8$

Coefficiente de variación $CV = -491.9$

Coefficiente β_1 de Pearson = 0.11

Coefficiente β_2 de Pearson = 2.25

Asimetría $\gamma_1 = 0.33$

Curtosis $\gamma_2 = -0.75$

En % de los años	La Temp. mínima es	Para que Temp. mínima sea	Período de retorno es
100%	≥ -3.5 °C	≤ -3.5 °C	10 años
88%	≥ -3 °C	≤ -3 °C	8 años
83%	≥ -2.5 °C	≤ -2.5 °C	6 años
80%	≥ -2 °C	≤ -2 °C	5 años
75%	≥ -1.5 °C	≤ -1.5 °C	4 años
67%	≥ -1 °C	≤ -1 °C	3 años
50%	≥ -0.5 °C	≤ -0.5 °C	2 años
67%	≤ 0 °C	≥ 0 °C	3 años
75%	≤ 1 °C	≥ 1 °C	4 años
80%	≤ 1.5 °C	≥ 1.5 °C	5 años
86%	≤ 2 °C	≥ 2 °C	7 años
89%	≤ 2.5 °C	≥ 2.5 °C	9 años
92%	≤ 3 °C	≥ 3 °C	12 años
94%	≤ 3.5 °C	≥ 3.5 °C	16 años
100%	≤ 4 °C	≥ 4 °C	21 años

Para Período de retorno de 100 años
 -7.7 °C \leq Temp. mínima \leq 6.8 °C

TABLA 13.- Temperaturas Mínimas Absolutas Mensuales de Llano de Brujas en °C. En orden creciente - Período 1971 - 2001. MARZO

Núm.	°C	Año	Núm.	°C	Año	Núm.	°C	Año
1	-3.4	1993	11	0.0	1988	21	2.0	1995
2	-3.2	1984	12	0.1	1975	22	2.0	1998
3	-2.0	1973	13	0.5	1996	23	2.0	2001
4	-2.0	1977	14	0.5	1999	24	2.1	1992
5	-1.0	1974	15	1.0	1986	25	2.5	1978
6	-0.5	1987	16	1.0	2000	26	3.0	1972
7	0.0	1976	17	2.0	1980	27	3.0	1994
8	0.0	1979	18	2.0	1981	28	3.5	1997
9	0.0	1982	19	2.0	1983	29	4.0	1989
10	0.0	1985	20	2.0	1990	30	4.5	1991

**Períodos de Retorno
Distribución de Gumbel**

Parámetros Estadísticos

Número de datos $N = 30$
 Media aritmética $\bar{x} = 0.92$
 Desviación típica $\sigma = 1.94$
 Momentos:
 $\mu_1 = 1.6; \mu_2 = 3.8; \mu_3 = -3.0; \mu_4 = 38.6$
 Coeficiente de variación $CV = 211.3$
 Coeficiente β_1 de Pearson = 0.17
 Coeficiente β_2 de Pearson = 2.70
 Asimetría $\gamma_1 = -0.41$
 Curtosis $\gamma_2 = -0.30$

En % de los años	La Temp. mínima es	Para que Temp. mínima sea	Período de retorno es
100%	≥ -3.4 °C	≤ -3.4 °C	21 años
94%	≥ -3 °C	≤ -3 °C	17 años
92%	≥ -2.5 °C	≤ -2.5 °C	13 años
90%	≥ -2 °C	≤ -2 °C	10 años
86%	≥ -1.5 °C	≤ -1.5 °C	7 años
83%	≥ -1 °C	≤ -1 °C	6 años
75%	≥ -0.5 °C	≤ -0.5 °C	4 años
67%	≥ 0 °C	≤ 0 °C	3 años
50%	≥ 1 °C	≤ 1 °C	2 años
67%	≤ 1.5 °C	≥ 1.5 °C	3 años
75%	≤ 2 °C	≥ 2 °C	4 años
80%	≤ 2.5 °C	≥ 2.5 °C	5 años
83%	≤ 3 °C	≥ 3 °C	6 años
88%	≤ 3.5 °C	≥ 3.5 °C	8 años
90%	≤ 4 °C	≥ 4 °C	10 años
100%	≤ 4.5 °C	≥ 4.5 °C	14 años

Para Período de retorno de 100 años
 -6.2 °C \leq Temp. mínima ≤ 8 °C

TABLA 14.- Temperaturas Mínimas Absolutas Mensuales de Llano de Brujas en °C. En orden creciente - Período 1971 - 2001. NOVIEMBRE

Núm.	°C	Año	Núm.	°C	Año	Núm.	°C	Año
1	-3.0	1976	11	1.0	1978	21	4.0	1973
2	-1.5	1999	12	1.0	1975	22	4.0	1983
3	-1.0	1991	13	1.5	1988	23	4.0	1984
4	-1.0	1987	14	1.5	1993	24	4.5	1996
5	-1.0	1985	15	1.5	1998	25	4.5	1992
6	0.0	1977	16	1.5	1980	26	4.5	1997
7	0.0	1974	17	1.5	1995	27	4.5	1994
8	0.0	1979	18	2.0	2000	28	5.0	1986
9	0.5	1990	19	3.0	1971	29	5.5	1989
10	1.0	1982	20	3.0	1981	30	7.5	1972

**Períodos de Retorno
Distribución de Gumbel**

Parámetros Estadísticos

Número de datos $N = 30$

Media aritmética $\bar{x} = 1.98$

Desviación típica $\sigma = 2.40$

Momentos:

$\mu_1 = 2.0$; $\mu_2 = 5.8$; $\mu_3 = 1.8$; $\mu_4 = 81.0$

Coefficiente de variación $CV = 121.2$

Coefficiente β_1 de Pearson = 0.02

Coefficiente β_2 de Pearson = 2.43

Asimetría $\gamma_1 = 0.13$

Curtosis $\gamma_2 = -0.57$

En % de los años	La Temp. mínima es	Para que Temp. mínima sea	Período de retorno es
100%	≥ -3 °C	≤ -3 °C	18 años
93%	≥ -2.5 °C	≤ -2.5 °C	14 años
91%	≥ -2 °C	≤ -2 °C	11 años
89%	≥ -1.5 °C	≤ -1.5 °C	9 años
86%	≥ -1 °C	≤ -1 °C	7 años
83%	≥ -0.5 °C	≤ -0.5 °C	6 años
80%	≥ 0 °C	≤ 0 °C	5 años
75%	≥ 0.5 °C	≤ 0.5 °C	4 años
67%	≥ 1 °C	≤ 1 °C	3 años
50%	≥ 2 °C	≤ 2 °C	2 años
67%	≤ 3 °C	≥ 3 °C	3 años
80%	≤ 4 °C	≥ 4 °C	5 años
86%	≤ 5 °C	≥ 5 °C	7 años
91%	≤ 6 °C	≥ 6 °C	11 años
94%	≤ 7 °C	≥ 7 °C	18 años
100%	≤ 7.5 °C	≥ 7.5 °C	23 años

Para Período de retorno de 100 años
 -6.8 °C \leq Temp. mínima \leq 10.8 °C

TABLA 15.- Temperaturas Mínimas Absolutas Mensuales de Llano de Brujas en °C. En orden creciente - Período 1971 - 2001. DICIEMBRE

Núm.	°C	Año	Núm.	°C	Año	Núm.	°C	Año
1	-4.2	1984	11	-1.5	1993	21	0.0	1987
2	-4.0	1973	12	-1.5	1999	22	0.5	1985
3	-4.0	1980	13	-1.0	1971	23	0.5	1996
4	-4.0	1994	14	-1.0	1972	24	1.0	1991
5	-2.5	1990	15	-1.0	1983	25	1.0	1992
6	-2.0	1976	16	-1.0	1988	26	1.5	1997
7	-2.0	1981	17	-0.5	1975	27	2.0	2000
8	-2.0	1986	18	-0.5	1978	28	2.5	1995
9	-1.5	1979	19	-0.5	1998	29	3.0	1977
10	-1.5	1982	20	-0.2	1974	30	3.0	1989

**Períodos de Retorno
Distribución de Gumbel**

Parámetros Estadísticos

Número de datos $N = 30$

Media aritmética $\bar{x} = -0.71$

Desviación típica $\sigma = 1.96$

Momentos:

$\mu_1 = 1.6$; $\mu_2 = 3.8$; $\mu_3 = 0.6$; $\mu_4 = 36.8$

Coefficiente de variación $CV = -275.0$

Coefficiente β_1 de Pearson = 0.01

Coefficiente β_2 de Pearson = 2.49

Asimetría $\gamma_1 = 0.08$

Curtosis $\gamma_2 = -0.51$

En % de los años	La Temp. mínima es	Para que Temp. mínima sea	Período de retorno es
100%	≥ -4.2 °C	≤ -4.2 °C	13 años
92%	≥ -4 °C	≤ -4 °C	12 años
89%	≥ -3.5 °C	≤ -3.5 °C	9 años
86%	≥ -3 °C	≤ -3 °C	7 años
80%	≥ -2.5 °C	≤ -2.5 °C	5 años
75%	≥ -2 °C	≤ -2 °C	4 años
67%	≥ -1 °C	≤ -1 °C	3 años
50%	≥ -0.5 °C	≤ -0.5 °C	2 años
67%	≤ 0 °C	≥ 0 °C	3 años
75%	≤ 0.5 °C	≥ 0.5 °C	4 años
80%	≤ 1 °C	≥ 1 °C	5 años
86%	≤ 1.5 °C	≥ 1.5 °C	7 años
88%	≤ 2 °C	≥ 2 °C	8 años
91%	≤ 2.5 °C	≥ 2.5 °C	11 años
100%	≤ 3 °C	≥ 3 °C	15 años

Para Período de retorno de 100 años

-7.9 °C \leq Temp. mínima ≤ 6.5 °C

TABLA 16.- Punto de rocío en °C y Tensión del Vapor de Agua en milímetros de mercurio

°C	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
45	71.89	72.26	72.64	73.01	73.38	73.76	74.14	74.52	74.90	75.29
44	68.28	68.63	68.99	69.35	69.70	70.07	70.43	70.79	71.16	71.52
43	64.82	65.16	65.50	65.84	66.18	66.53	66.88	67.22	67.57	67.92
42	61.51	61.84	62.16	62.49	62.82	63.15	63.48	63.81	64.15	64.48
41	58.35	58.66	58.97	59.29	59.60	59.92	60.23	60.55	60.87	61.19
40	55.33	55.63	55.93	56.23	56.53	56.83	57.13	57.43	57.74	58.04
39	52.45	52.73	53.02	53.30	53.59	53.88	54.16	54.45	54.75	55.04
38	49.70	49.97	50.24	50.51	50.79	51.06	51.34	51.61	51.89	52.17
37	47.07	47.33	47.59	47.85	48.11	48.37	48.63	48.90	49.16	49.43
36	44.57	44.81	45.06	45.31	45.56	45.81	46.06	46.31	46.56	46.82
35	42.18	42.41	42.65	42.88	43.12	43.36	43.60	43.84	44.08	44.32
34	39.90	40.12	40.35	40.57	40.80	41.03	41.25	41.48	41.71	41.95
33	37.73	37.94	38.16	38.37	38.59	38.80	39.02	39.24	39.46	39.68
32	35.66	35.87	36.07	36.27	36.48	36.68	36.89	37.10	37.31	37.52
31	33.70	33.89	34.08	34.28	34.47	34.67	34.87	35.06	35.26	35.46
30	31.82	32.01	32.19	32.38	32.56	32.75	32.94	33.12	33.31	37.50
29	30.04	30.22	30.39	30.57	30.74	30.92	31.10	31.28	31.46	31.64
28	28.35	28.51	28.68	28.85	29.02	29.18	29.35	29.52	29.70	29.87
27	26.74	26.89	27.05	27.21	27.37	27.53	27.69	27.86	28.02	28.18
26	25.21	25.36	25.51	25.66	25.81	25.96	26.12	26.27	26.42	26.58
25	23.75	23.90	24.04	24.18	24.33	24.47	24.62	24.76	24.91	25.06
24	22.37	22.51	22.64	22.78	22.92	23.05	23.19	23.33	23.47	23.61
23	21.06	21.19	21.32	21.45	21.58	21.71	21.84	21.97	22.11	22.24
22	19.82	19.94	20.07	20.19	20.31	20.44	20.56	20.69	20.81	20.94
21	18.65	18.76	18.88	18.99	19.11	19.23	19.34	19.46	19.58	19.70
20	17.53	17.64	17.75	17.86	17.97	18.08	18.19	18.30	18.42	18.53
19	16.47	16.58	16.68	16.78	16.89	16.99	17.10	17.21	17.31	17.42
18	15.47	15.57	15.67	15.77	15.87	15.97	16.07	16.17	16.27	16.37
17	14.53	14.62	14.71	14.80	14.90	14.99	15.09	15.18	15.28	15.38
16	13.63	13.72	13.81	13.89	13.98	14.07	14.16	14.25	14.34	14.43
15	12.78	12.87	12.95	13.03	13.12	13.20	13.29	13.37	13.46	13.54
14	11.98	12.06	12.14	12.22	12.30	12.38	12.46	12.54	12.62	12.70
13	11.23	11.30	11.37	11.45	11.52	11.60	11.68	11.75	11.83	11.91
12	10.51	10.58	10.65	10.72	10.79	10.86	10.94	11.01	11.08	11.15
11	9.84	9.91	9.97	10.04	10.10	10.17	10.24	10.31	10.38	10.44
10	9.20	9.27	9.33	9.39	9.45	9.52	9.58	9.65	9.71	9.77
9	8.61	8.66	8.72	8.78	8.84	8.90	8.96	9.02	9.08	9.14
8	8.04	8.10	8.15	8.21	8.26	8.32	8.38	8.43	8.49	8.55

°C	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
7	7.51	7.56	7.61	7.67	7.72	7.77	7.82	7.88	7.93	7.99
6	7.01	7.06	7.11	7.16	7.21	7.26	7.31	7.36	7.41	7.46
5	6.54	6.59	6.63	6.68	6.72	6.77	6.82	6.87	6.91	6.96
4	6.10	6.14	6.18	6.23	6.27	6.32	6.36	6.40	6.45	6.49
3	5.68	5.72	5.76	5.80	5.85	5.89	5.93	5.97	6.01	6.05
2	5.29	5.33	5.37	5.41	5.44	5.48	5.52	5.56	5.60	5.64
1	4.93	4.96	5.00	5.03	5.07	5.11	5.14	5.18	5.22	5.25
0	4.58	4.61	4.65	4.68	4.72	4.75	4.78	4.82	4.85	4.89
-0	4.58	4.55	4.52	4.48	4.45	4.42	4.39	4.35	4.32	4.29
-1	4.26	4.23	4.20	4.17	4.14	4.11	4.08	4.05	4.02	3.99
-2	3.96	3.93	3.90	3.87	3.84	3.81	3.78	3.76	3.73	3.70
-3	3.67	3.65	3.62	3.59	3.57	3.54	3.51	3.49	3.46	3.43
-4	3.41	3.38	3.36	3.33	3.31	3.28	3.26	3.23	3.21	3.19
-5	3.16	3.14	3.11	3.09	3.07	3.04	3.02	3.00	2.97	2.95
-6	2.93	2.91	2.89	2.86	2.84	2.82	2.80	2.78	2.76	2.73
-7	2.71	2.69	2.67	2.65	2.63	2.61	2.59	2.57	2.55	2.53
-8	2.51	2.49	2.47	2.45	2.43	2.42	2.40	2.38	2.36	2.34
-9	2.32	2.30	2.29	2.27	2.25	2.23	2.22	2.20	2.18	2.16
-10	2.15	2.13	2.11	2.10	2.08	2.06	2.05	2.03	2.02	2.00
-11	1.98	1.97	1.95	1.94	1.92	1.91	1.89	1.88	1.86	1.85
-12	1.83	1.82	1.80	1.79	1.77	1.76	1.74	1.73	1.72	1.70
-13	1.69	1.68	1.66	1.65	1.63	1.62	1.61	1.60	1.58	1.57
-14	1.56	1.54	1.53	1.52	1.51	1.49	1.48	1.47	1.46	1.45
-15	1.43	1.42	1.41	1.40	1.39	1.38	1.36	1.35	1.34	1.33
-16	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27	1.26	1.25	1.23	1.22
-17	1.21	1.20	1.19	1.18	1.17	1.16	1.15	1.14	1.13	1.13
-18	1.12	1.11	1.10	1.09	1.08	1.07	1.06	1.05	1.04	1.03
-19	1.02	1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97	0.97	0.96	0.95
-20	0.94	0.93	0.92	0.92	0.91	0.90	0.89	0.89	0.88	0.87
-21	0.86	0.86	0.85	0.84	0.83	0.83	0.82	0.81	0.80	0.80
-22	0.79	0.78	0.78	0.77	0.76	0.76	0.75	0.74	0.74	0.73
-23	0.72	0.72	0.71	0.70	0.70	0.69	0.69	0.68	0.67	0.67
-24	0.66	0.66	0.65	0.64	0.64	0.63	0.63	0.62	0.62	0.61
-25	0.61	0.60	0.59	0.59	0.58	0.58	0.57	0.57	0.56	0.56
-26	0.55	0.55	0.55	0.54	0.53	0.53	0.52	0.52	0.51	0.51
-27	0.50	0.50	0.50	0.49	0.49	0.48	0.48	0.47	0.47	0.46
-28	0.46	0.46	0.45	0.45	0.44	0.44	0.44	0.43	0.43	0.42
-29	0.42	0.42	0.41	0.41	0.40	0.40	0.40	0.39	0.39	0.39
-30	0.38	0.38	0.37	0.37	0.37	0.36	0.36	0.36	0.35	0.35

TABLA 17.- LIMONEROS EN LA HUERTA MURCIANA - Superficie ocupada en Ha y Producción en Tm

Año	Superficie Ha	Producción Tm	Año	Superficie Ha	Producción Tm	Año	Superficie Ha	Producción Tm
1939	3300	50400	1960*	9800	87700	1981	13194	187213
1940	3600	54400	1961	10100	120700	1982*	13303	172941
1941*	3600	35500	1962*	10300	80100	1983	15744	295486
1942	3800	37400	1963	10600	105500	1984*	18742	105561
1943	3800	54200	1964	11300	134000	1985	19945	213745
1944	3800	49300	1965*	11200	95800	1986	24146	260000
1945	3800	49600	1966	11400	93300	1987	25023	306898
1946*	3800	37300	1967	11600	111000	1988*	25431	248150
1947	3700	46200	1968*	12100	80500	1989	25567	252584
1948	3700	42900	1969	12400	130200	1990	24392	245850
1949	3700	44100	1970*	19000	96800	1991*	21929	195325
1950	3700	51100	1971	19300	109700	1992	21946	323273
1951	3800	56600	1972*	8225	82324	1993*	21811	213650
1952	4300	64600	1973	10150	108245	1994	21448	229146
1953*	4500	48800	1974*	10957	89840	1995*	21373	214968
1954	4400	48000	1975	11726	138598	1996	21553	239410
1955	5600	36500	1976	12704	105501	1997	21487	396651
1956*	5600	13200	1977	13027	110132	1998	22823	437400
1957	5800	40700	1978*	13589	90733	1999	23124	402024
1958	6400	69800	1979	15405	150335	2000	23266	420681
1959	6600	97800	1980*	12195	121980	2001	24599	484776

* Año con heladas severas

BIBLIOGRAFÍA

- ALLEN, CHARLES C. 1957. A simplified equation for minimum temperature prediction. Weather Bureau Office. Pomona. California.
- AGUSTÍ, M. 2000. Citricultura. Mundi-Prensa. 416 pp.
- ARTÉS, F.; BERENGUER, T.; EGEA, L.; LLORENTE, S.; SÁNCHEZ, J.A. 1971. Suelo y clima. En: El limón murciano. Ed. M. Com Alabart. Murcia. 294 pp.
- BARRY, ROGER G.; CHORLEY, RICHARD J. 1985. Atmósfera, Tiempo y Clima. Omega S.A..Barcelona
- BUDYKO, M.I. 1982. The Earth's Climate: Past and Future. Academic Press, Inc. Leningrad.
- DAVIES, F.S.; ALBRIGO, L.G. 1999. Cítricos. Ed. Acribia. Zaragoza. 283 pp.
- DÍAZ QUERALTO, F. 1983. Práctica de la defensa contra heladas. Dilagro S. A. Lérida. 450 pp.
- DICKEY, WOODROW W. 1960. Forecasting Maximum and Minimum Temperatures. Forecasting Guide N° 4. U.S. Weather Bureau. Seattle, Washington D.C. 59 pp.
- DUARTE AMARAL, J. 1982. Os citrinos. Libraria Clássica Editora. Lisboa, 783 pp.
- ELÍAS CASTILLO, F. 1960. La helada y modos de combatirla. Anales del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Madrid. 592 pp.
- FERRERAS FERNÁNDEZ, C. 1995. Observaciones Meteorológicas. Precipitaciones y Temperaturas en Murcia. Series Históricas. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Consejería de Agricultura Ganadería y Pesca. Murcia. 185 pp.
- FERRERAS FERNÁNDEZ, C. 2002. Agroclimatología. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente. Murcia. 59 pp.
- FERRERAS FERNÁNDEZ, C.; SAURA HIDALGO, F.; GONZÁLEZ-SICILIA JUAN, C. 1973. Aspectos Agroclimáticos de algunas Comarcas del Sudeste español. Revista Vrania Nos. 277-278. Tarragona.
- FONT TULLOT, I. 1983. Climatología de España y Portugal. Sección de Publicaciones del Instituto Nacional de Meteorología. Madrid. 296 pp.
- GARCÍA LIDÓN, A. 2003. La selección clonal de limonero «Fino». Incidencia del patrón. Aspectos morfológicos, agronómicos y bioquímicos. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena. 196 pp.

- GONZÁLEZ-SICILIA, E. El cultivo de los Agrios. I.N.I.A. Madrid. 806 pp.
- JACKSON, L.K. 1991. Citrus growing in Florida. Univ. of Florida Press. Gainesville. 293 pp.
- JANSÁ GUARDIOLA, J.M. 1983. Curso de Climatología. Instituto Nacional de Meteorología. Publicaciones. Madrid. 445 pp.
- JOHNSON, WARREN O. 1970. Minimum Temperatures in the agricultural areas of Peninsular Florida. Federal-State Agricultural Weather Service Lakeland, Florida. 154 pp.
- KANGIESER, PAUL C. 1958. Forecasting Minimum Temperatures on clear winter nights in an arid region. U.S. Weather Bureau Airport Station. Phoenix. Arizona.
- LOUSSERT, R. 1992. Los Agrios. Mundi-Prensa. Madrid. 319 pp.
- ORTIZ, J.M.; GARCÍA LIDÓN, A. 1982. Portainjertos de limonero. Comunicaciones I.N.I.A. Serie: Producción Vegetal, N° 47. 18 pp.
- ORTUÑO, A. Y OTROS. 1968. La agricultura murciana: sus problemas y soluciones. Ed. M. Com Alabart. Murcia. 213 pp.
- PRALORAM, J.C. 1977. Los Agrios. Ed. Blume. Barcelona. 520 pp.
- Proceedings of the International Training Course. 1984. Agrometeorology. Odessa. USSR.
- SAUNT, J. 1992. Variedades de cítricos en el Mundo. Edipublic. Valencia.
- SAURA HIDALGO, F.; FERRERAS FERNÁNDEZ C. 1976. Estudio Climatológico de la Provincia de Murcia. C.E.B.A.S. Murcia. 129 pp.
- SEEMAN, J.; CHIRKOV Y. I.; LOMAS, J.; PRIMAULT, B. 1979. Agrometeorology. Springer-Verlag. Berlin. Heidelberg. New York.
- Servicio Meteorológico Nacional. Instituto Nacional de Meteorología. Sección de Publicaciones. 1977. Publicación A-76. Estudio de las Heladas en España. Madrid. 52 pp.
- Servicio Meteorológico Nacional. 1969. Publicación Serie G N° 3. Defensa contra Heladas. Madrid.
- SNEYERS, R. 1975. Sobre el análisis estadístico de las series de observaciones. Organización Meteorológica Mundial. Nota Técnica N° 143. Ginebra. Suiza. 186 pp.
- SPINA, P.; DI MARTINO, E. 1991. Gli Agrumi. Edagricole. Bolonia. 383 pp.

