

# INVESTIGACIÓN DE LAS MARRAS CAUSADAS POR FACTORES ECOLÓGICOS DE NATURALEZA METEOROLÓGICA

V. Gómez Sáenz & R. Elena Roselló

U.D. de Ecología A. E.U.I.T. Forestal. Departamento de Silvopascicultura.  
UPM. Ciudad Universitaria, s/n. 28040 MADRID.

## RESUMEN

Con objeto de adecuar la legislación nacional a la actual normativa comunitaria y conseguir el necesario desarrollo del sector forestal en España, el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación decidió regular, a través del Real Decreto 378/1993 de 12 de marzo, el régimen de ayudas para fomentar inversiones forestales en explotaciones agrarias. Este Real Decreto adaptaba para su aplicación en España los Reglamentos de la CEE 1610/89, del Consejo de 29 de mayo, que determinaba acciones de desarrollo y aprovechamiento de los bosques en áreas rurales, y 2080/92, del Consejo de 30 de junio, que establecía un régimen comunitario de ayudas a las medidas forestales en la agricultura.

Después de su puesta en marcha, otro Real Decreto, el 2086/1994 de 20 de octubre, introducía unas primeras modificaciones a determinados preceptos del primero.

La aplicación de lo estipulado en los dos Reales Decretos durante un período de unos dos años, ha permitido detectar ciertos desajustes que alejan de los objetivos inicialmente propuestos, en especial en lo referente al mantenimiento de las plantaciones realizadas.

En este aspecto, se considera necesaria la modificación del importe de las primas de mantenimiento, teniendo en cuenta situacio-

nes meteorológicas desfavorables, con especial mención a condiciones de sequía prolongada que puedan afectar gravemente a las plantaciones establecidas.

A tal fin, el BOE de 21 de febrero publicó un nuevo Real Decreto, el 152/1996 de 2 del mismo mes, para la ayuda a la reforestación de terrenos agrarios abandonados. En él se establecen modificaciones en lo referente al encuadre de ciertas especies en los anexos establecidos y en las condiciones técnicas que deben cumplir las nuevas inversiones. Además, dentro del artículo 9 punto 2, se dispone que *«en los años y en las zonas en que sean declaradas por la Administración General del Estado o las Administraciones de las Comunidades Autónomas sequías, inundaciones o heladas de carácter extraordinario y haya habido marras superiores al 40%, las primas de mantenimiento podrán incrementarse hasta un 35%, en función de las pérdidas»*.

Con esta nueva disposición, se incluye la posibilidad de abono de primas de mantenimiento como resultado del acontecer de situaciones meteorológicas desfavorables que conlleven una cuantiosa aparición de marras.

Dadas las peculiaridades del problema, se considera que toda investigación de las causas abióticas de índole meteorológico que conllevan la aparición de marras en la reforestación, debe de llevarse a cabo siguiendo

dos niveles de aproximación sucesiva:

1º. Estudio de las causas meteorológicas directas.

2º. Estudio de las circunstancias biológicas, edáficas y fisiográficas que matizan las causas meteorológicas.

Esta ponencia pretende ser una primera aproximación a un problema importante en la viabilidad de las repoblaciones: la acción directa de los agentes meteorológicos. A tal fin, se van a revisar las causas de índole meteorológica que llevan a la aparición de marras en las repoblaciones efectuadas, con el objeto final de establecer una metodología de estudio, de fácil uso, que permita una mejor aplicación de las primas que el Real Decreto establece.

Las circunstancias apuntadas han hecho que el problema se contemple desde una óptica necesariamente generalista, intentando englobar toda la variabilidad asociada a este tipo de trabajos: diferentes especies empleadas, áreas a repoblar muy variables en cuanto a características abióticas -sobre todo fisiográficas y edáficas-, tareas de preparación de suelo con efectos muy distintos, etc.

Asimismo, el método que se propone se ha diseñado bajo la premisa de su fácil utilización, en el sentido de que no se requieran conceptos complejos, cálculos farragosos o variables que para su medición necesiten de equipos sofisticados.

## **1. COMPORTAMIENTO DE LAS PLÁNTULAS EN CONDICIONES METEOROLÓGICAS DESFAVORABLES**

Las plántulas sobreviven a condiciones desfavorables muy diferentes en tanto se lo permita la flexibilidad adaptativa de su genoma. Determinadas condiciones ambientales se tornan en desfavorables en cuanto se apartan de las condiciones óptimas de desarrollo, siendo en la fase de instalación posterior a las labores de repoblación cuando la vegetación es especialmente sensible a situaciones

anormales de los factores ecológicos.

La sensibilidad y efectos letales sobre las plantas respecto de las condiciones ambientales adversas decrece con su edad, por cuanto las plántulas tienen una menor capacidad de desarrollo de mecanismos de respuesta. Consecuentemente, las condiciones ambientales adversas juegan un papel relevante en la supervivencia de las plantas jóvenes instaladas tras las labores de reforestación.

Los límites de los parámetros que caracterizan las condiciones del medio para el desarrollo adecuado de la plántula, no se pueden establecer en general con precisión, si bien es posible determinar, a efectos prácticos, dónde comienza una condición desfavorable relacionada con un valor poco usual del parámetro. Según este criterio, un valor es poco usual cuando provoca una respuesta cualitativamente diferente a la que aparece como consecuencia de las variaciones normales, dentro de las cuales la planta crece y se desarrolla más rápidamente (BARCELÓ, 1988).

Con objeto de determinar dichos valores «poco usuales» se van a revisar a continuación las condiciones meteorológicas adversas o extremas más frecuentes a las que las plantas recientemente instaladas, resultado de las tareas de repoblación, pueden verse sometidas.

### **1.1. Sequía o Stress Hídrico**

Los efectos de la desecación sobre el normal funcionamiento del vegetal son complejos y variables en función de la especie, de su fase de desarrollo y del grado de desecación.

Las plantas requieren agua en casi todas las fases de su vida y especialmente en la de crecimiento donde la humedad es necesaria puesto que sin ella el intercambio gaseoso se reduce drásticamente (KIMMINS, 1987).

Las plantas toman el agua del suelo mientras exista un gradiente en el potencial hídrico entre la planta y el suelo. Cuando el suelo se ha secado hasta el punto en que la tensión

de humedad del suelo se aproxima a la tensión de humedad de la planta, la toma de agua por la planta cesa bruscamente, la planta se marchita, cierra sus estomas y cesa la transpiración (LEWITT, 1958). La humedad edáfica a la que esto sucede determina el *Punto de Marchitamiento Temporal*, pudiendo la planta recuperar su turgencia si el suelo recupera su tensión de humedad. Si por el contrario, la humedad edáfica desciende aún más, puede alcanzarse el *Punto de Marchitamiento Permanente*.

HSIAO señaló en 1976 una serie de procesos fisiológicos fundamentales de la planta que pueden verse afectados por una disminución del agua ambiental, que tarde o temprano conlleva una disminución del potencial hídrico. El crecimiento celular, la síntesis de la pared celular, la síntesis de proteínas y clorofila, la apertura de estomas, y los procesos fotosintéticos y respiratorios son gravemente y negativamente afectados por potenciales hídricos decrecientes. Intercalados, tienen lugar aumentos en la producción de etileno y de las concentraciones de ácido abscísico y de prolina, y una disminución de citoquininas.

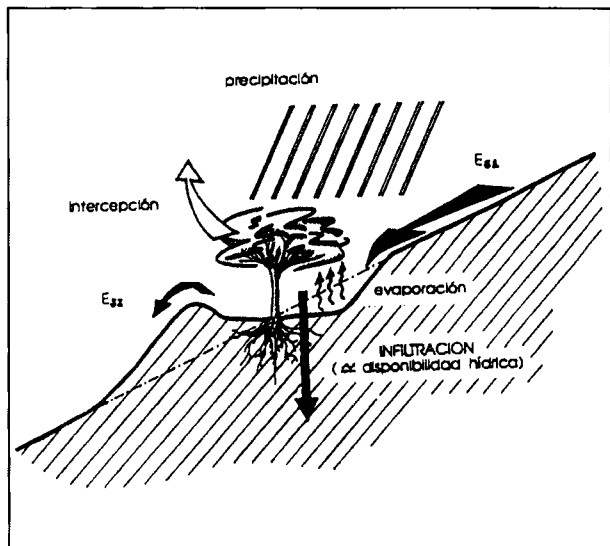
Además de un deficiente aporte de agua a la planta, las condiciones de sequedad vienen asociadas a situaciones favorables a la intensa transpiración, en las que los mecanismos habituales de control de ésta son insuficientes y a veces incluso inadecuados (BARCELÓ, 1988). Resulta significativo que un aspecto de la capacidad de las plantas para soportar ambientes secos reside en su capacidad para soportar temperaturas elevadas, aspecto que se considerará posteriormente.

Dado que el stress hídrico es quizás la condición ambiental transitoria y extrema a la que más frecuentemente se ven sometidas las plantas, éstas han desarrollado múltiples mecanismos de defensa contra él. Consecuentemente, los límites entre condiciones normales y extraordinarias de déficit hídrico son especialmente difíciles de trazar.

En una primera aproximación, la situación de stress hídrico viene directamente determinada por la disponibilidad hídrica de cada

planta. En un instante dado, ésta coincide con la cantidad de agua absorbible que hay en su rizosfera. De este modo, las disponibilidades hídricas en un punto pueden evaluarse de la forma siguiente (MARTÍNEZ DE AZAGRA, 1995):

$$DI = I = P - I_t - E + E_{S1} - E_{S2}$$



donde:

DI : disponibilidad hídrica del lugar.

I : volumen de agua infiltrado.

$I_t$ : intercepción.

E: evaporación directa desde la superficie del suelo.

$E_{S1}$ : agua que llega al lugar por escorrentía superficial.

$E_{S2}$ : agua que escapa del lugar por escorrentía superficial.

De este balance hídrico, las condiciones edáficas, la fisiografía y las labores de preparación del suelo, características muy variables en el espacio, determinan en gran medida I, E,  $E_{S1}$  y  $E_{S2}$ ; por otro lado,  $I_t$  alcanza, en las áreas recientemente repobladas, un valor particularmente pequeño.

De los elementos anteriores, es la precipitación aquel que menor variabilidad espacial puede presentar dentro del área de repoblación, por lo que parece justificada su elección como factor de estudio más adecuado

para la identificación de situaciones desfavorables de disponibilidades hídricas, o, lo que es lo mismo, de stress hídrico.

En este sentido, a los efectos prácticos que orientan este trabajo, se considera una aproximación adecuada considerar un año especialmente seco en un determinado lugar aquel en el que sus precipitaciones totales experimentan la siguiente reducción respecto al régimen «normal», considerado éste como el valor medio observado durante un período de tiempo lo suficientemente largo como para que sea estadísticamente significativo (OLCINA, 1994).

A la luz de los porcentajes reflejados en la tabla anterior, para la mayor parte del territo-

% DE REDUCCIÓN	ÁMBITO GEOGRÁFICO
15-25	Regiones del Cantábrico
15-25	Cuenca del Duero
15-25	Cuenca del Ebro
20-25	Cuenca del Guadalquivir
30	Cuencas del Guadiana y Tajo
40-50	Levante y Sureste

rio peninsular, puede considerarse como año especialmente seco (con efectos más o menos graves) aquél que presente una precipitación inferior en un 30% a la recogida en un año normal. En el Levante y Sureste español, este porcentaje habrá de ser elevado hasta el 50%.

Excluida la escorrentía, tanto superficial como subterránea, las salidas de agua del sistema se incluyen globalmente en el concepto de evapotranspiración. Siguiendo a GAUSSEN, se pueden cuantificar mensualmente las pérdidas potenciales de agua por evaporación y transpiración en un lugar determinado como el doble de la temperatura media relativa a dicho mes y establecer un sencillo balance con la precipitación mensual recibida. La suma de los déficits

mensuales obtenidos constituye un índice, de fácil cálculo, que cuantifica el déficit hídrico meteorológico acaecido en un determinado período de tiempo.

## 1.2. Stress Térmico

La probabilidad de que una plántula sobreviva a una situación térmica límite depende de su capacidad para superar indemne los efectos, tanto directos como indirectos, que dicha situación puede provocar (LARCHER, 1980). Así, por ejemplo, durante un golpe de calor, las plántulas no solo deben superar los efectos de las altas temperaturas sino también los riesgos de desecación. Asimismo, en los períodos invernales, además de los efectos directos del frío existen efectos indirectos de sequía fisiológica, de presión de la cubierta nival y de aludes.

### 1.2.1. Altas temperaturas

Se ha mencionado que, usualmente, la adaptación a ambientes secos suele ir asociada con la resistencia a altas temperaturas, entre otras cosas, porque ocurre que los climas secos suelen ser también cálidos.

El concepto de altas temperaturas es relativo y deben considerarse como tales aquellas superiores a los valores que marcan el cese del crecimiento de las plantas (*Temperatura Umbral Superior*), y que pueden determinar su muerte (*Temperatura Letal Superior*) (ver Diagrama adjunto).

Los mecanismos internos por los que las altas temperaturas provocan la muerte de las plantas son muy variados. De forma general, si la elevación de temperatura es brusca, la muerte se produce por una desnaturalización de las proteínas, que cuando afecta a algún enzima clave, resulta fatal para las células. Por otro lado, cuando la elevación de la temperatura se produce de una forma más lenta, diversos procesos químicos se aceleran, acumulándose sustancias tóxicas, frecuentemente amoníaco (BARCELÓ, 1988).

La acción desfavorable de las altas tempe-

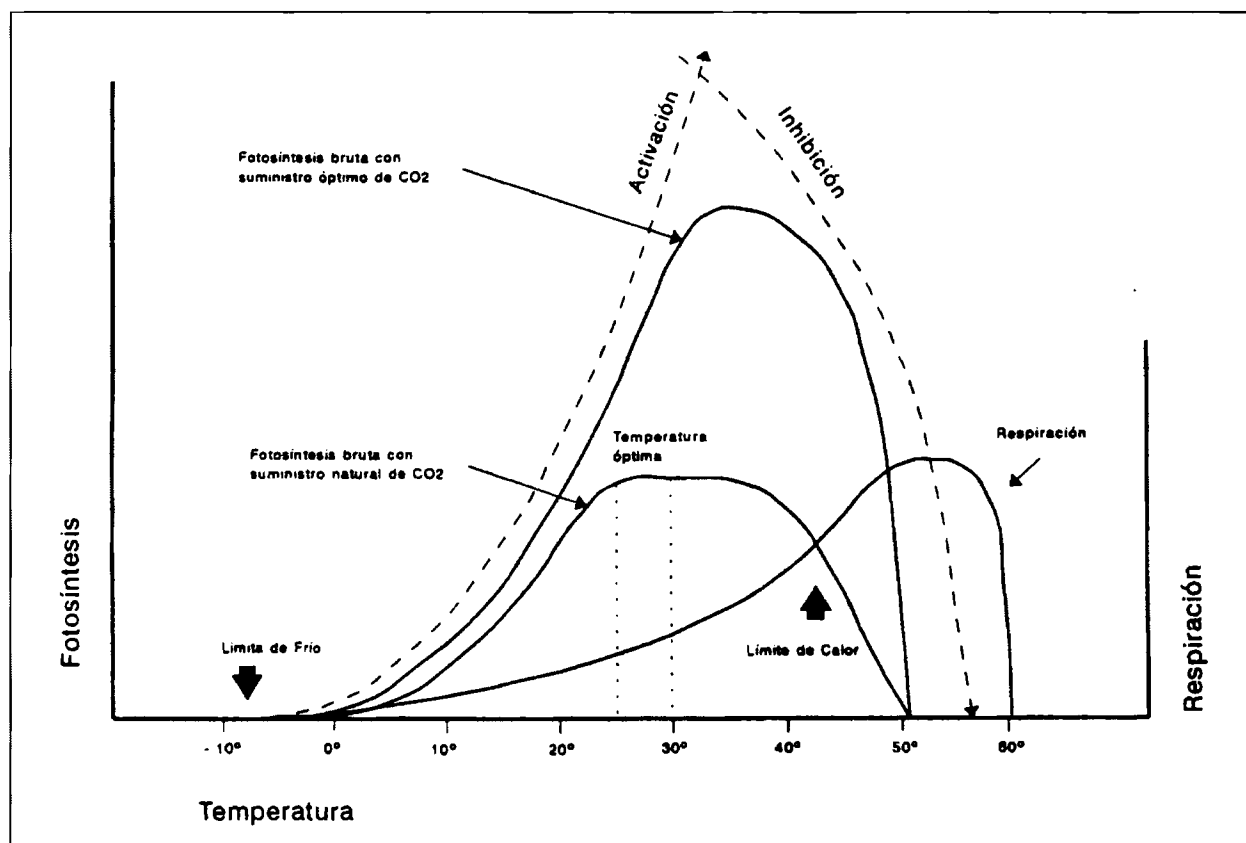


Diagrama de dependencia térmica de los procesos de fotosíntesis y respiración  
(Tomado de: LARCHER, W.; 1980)

raturas puede resumirse entonces en los siguientes aspectos:

- Temperaturas superiores a las que en cada momento caracterizan el punto de compensación (*Temperatura Umbral Superior*), conllevan que la planta consuma sus propias sustancias de reserva, con el consiguiente retraso en el desarrollo. Puede llegarse a la muerte de la planta por inanición si la situación se prolonga en el tiempo.
- La transpiración, acentuada por las altas temperaturas, puede provocar la detención del crecimiento cuando por falta de agua disponible, se produce un estado de marchitez temporal. Cuando la situación se prolonga y la planta accede al estado de marchitez permanente, se alcanza la muerte.
- Alteraciones funcionales de los equilibrios biológicos que acontecen dentro del rango normal de variación de las tempera-

turas.

- La eliminación de productos finales del metabolismo celular se hace más difícilmente, con acumulación de sustancias tóxicas que llevan al autoenvenenamiento de las células.
- Temperaturas superiores a 70 °C provocan la coagulación irreversible de los coloides protoplasmáticos, motivando la muerte de la célula.

Las altas temperaturas, por tanto, además de provocar una parada en el crecimiento de las plantas que las debilita en sus restantes relaciones bióticas, pueden provocar tanto daños directos externos como internos en las plántulas. Este es el caso del anillado del tallo en plantitas jóvenes provocado por la muerte de una banda de células del cambium como consecuencia del calor acumulado en el suelo, dado su bajo albedo y conductividad. La interrupción de la circulación de la savia o la infección por agentes patógenos

determina la muerte posterior de las plantas (KIMMINS, 1987).

En consecuencia, pueden establecerse dos niveles negativos de actuación de las temperaturas altas:

1º. Nivel absoluto, que no se alcanza en condiciones naturales y que provoca la muerte de las células vegetales por coagulación del protoplasma.

2º. Nivel relativo o fisiológico, que se alcanza fácilmente y provoca daños o, incluso, la muerte por inanición, marchitez, desequilibrios funcionales o acumulación de toxinas.

Temperaturas superiores a 40 °C pueden causar daños más o menos graves a las plantas no aclimatadas a ambientes calurosos o en los primeros estados de desarrollo, como es el caso del material vegetal vivo utilizado en la reforestación, al ocasionar alteraciones en muchas proteínas e interferir en su funcionamiento normal (SPURR y BARNES, 1980; DAUBENMIRE, 1974). Las alteraciones metabólicas provocadas pueden a su vez disparar la acción desfavorable de otros factores, pudiendo llegar en su acción a tener un resultado fatal para la planta.

Cuando las altas temperaturas coinciden con períodos de viento especialmente seco (humedad relativa marcadamente baja) e intenso, sus efectos desfavorables se ven claramente acentuados. Esta situación de asurdo fisiológico o golpe de calor es particularmente nociva para el desarrollo vegetal, que como ejemplo, en los pinos se manifiesta en un típico enrollamiento de las acículas (SPURR y BARNES, 1980).

No obstante, las plantas responden al stress provocado por las altas temperaturas con una adaptación rápida. La resistencia al calor puede tener lugar en un plazo de escasas horas, de modo que su resistencia por la tarde es mucho mayor que por la mañana. El mecanismo molecular de adaptación al calor está probablemente basado en cambios en los componentes proteínicos y en la estabilización de la estructura de macromoléculas y biomembranas (ALEXAN-

DROV, 1977).

Por otra parte, en los ambientes mediterráneos, es frecuente que antes de alcanzarse las temperaturas letales superiores, las plántulas sufran períodos de escasez de agua edáfica que provoca un stress hídrico manifiesto, principal responsable de la aparición de marras. Es, en consecuencia, especialmente difícil encontrar casos de repoblaciones en las que la causa de fallo en la instalación sea principalmente el stress térmico ocasionado por las altas temperaturas.

### 1.2.2. Bajas Temperaturas

Las bajas temperaturas son, después de la desecación, la causa más frecuente de muerte en las plantas. Suele admitirse como bajas aquellas temperaturas inferiores a las que permiten la normal actividad del vegetal en cada etapa de desarrollo y para cada especie vegetal (*Temperatura Umbral Inferior*). El límite inferior viene determinado por la temperatura por debajo de la cual la recuperación de la actividad vegetativa es imposible (*Temperatura Letal Inferior*).

Paralelo al proceso de descenso de las temperaturas, en las plantas acontece un conjunto de alteraciones (URBANO, 1991):

- debilitamiento de la actividad funcional, que se manifiesta en la reducción de la acciones enzimáticas, intensidad respiratoria, actividad fotosintética, velocidad de absorción de agua y soluciones nutritivas y de traslocación de las soluciones absorbidas, actividad transpiratoria y especialmente lenta proteosíntesis.
- desplazamiento de los equilibrios biológicos hacia el tipo de funciones cuyo coeficiente de velocidad de reacción es menor.
- muerte celular y destrucción de tejidos y órganos vegetales por efecto mecánico de los cristales de hielo formados, desequilibrios osmóticos que motivan deshidrataciones no superables por la célula y precipitación irreversible de sustancias coloidales. En la práctica, es difícil que se alcancen las condiciones que motivan la

muerte celular por deshidratación o precipitación irreversible de coloides. Únicamente la acción mecánica de los cristales de hielo, formados extracelularmente primero, e intracelularmente después, se presenta como el agente causante de la rotura de las membranas celulares y consiguiente desorganización del protoplasma.

En forma secuencial, el proceso en el que se produce la muerte de células, tejidos y órganos vegetales por frío se desarrolla de la siguiente manera (ECAL, 1962):

- enfriamiento progresivo hasta temperaturas inferiores a su punto de congelación y que conduce a las células a un estado de subenfriamiento.
- formación instantánea de cristales de hielo extra e intracelularmente por choque térmico, mecánico y osmótico.
- engrosamiento de los cristales formados como consecuencia de la salida de jugos celulares y aporte de savia.
- destrucción de la célula por acción mecánica de los cristales de hielo.

La probabilidad de supervivencia de las plantas al frío será mayor cuanto mayor sea la resistencia de su órgano más vulnerable, cuanto antes sanen los daños producidos y cuanto menos frecuentes sean las temperaturas frías extremas.

De igual modo, la resistencia de las plantas a las bajas temperaturas está condicionada, además de por la especie y su grado de adaptación, por su estado de desarrollo, existiendo niveles de sensibilidad y tolerancia muy diferentes de acuerdo con él.

En términos generales, durante la parada invernal es cuando la resistencia al frío es acusadamente mayor, puesto que a medida que comienza el estado latente, el contenido de agua de los protoplasmas celulares se reduce y la mayoría de las especies forestales son capaces de sobrevivir a temperaturas de subcongelamiento sin daño. La sensibilidad comienza con el inicio de la primavera, cuando la planta sale del parón vegetativo por frío.

Temperaturas inferiores a 0 °C en la época de actividad vegetativa son especialmente desfavorables para el desarrollo vegetal, siendo, sobre todo en agronomía, bastante frecuente la distinción entre heladas blancas y heladas negras. En el primer caso hay formación de hielo tanto sobre el suelo como sobre la superficie de los vegetales, consecuencia inmediata de las condiciones a las que se está produciendo el enfriamiento. La capa de hielo formada ejerce una función favorable que protege la planta, contrariamente a lo que pudiera pensarse, reduciendo los daños por frío. Esta circunstancia se debe al intercambio de calor con la planta que se produce con el cambio de estado del agua (80 calorías-gramo por cada gramo de agua líquida solidificado que es cedido a la planta).

Las heladas negras, por el contrario, no presentan formación externa de cristales de hielo, dado que las condiciones atmosféricas no lo han permitido, si bien sus efectos son más graves y los daños al vegetal son claramente detectables.

Además de los efectos directos que las heladas puede provocar en los repoblados, se han descrito una serie de efectos indirectos asociados con las bajas temperaturas. En determinados períodos del final del invierno y principio de la primavera, en zonas donde todavía está helado el suelo, las temperaturas diurnas pueden ser lo suficientemente altas que inciten a las plantas a iniciar su actividad vegetativa, actividad que se ve limitada por la no disponibilidad de agua líquida en el suelo. Como consecuencia de ello, las plántulas presentan síntomas similares a los del stress hídrico estival.

Asimismo, cualquier efecto no letal de las bajas temperaturas que modifique el metabolismo de las plantas, puede llevar la actividad de las plántulas a un punto en el cual otros factores pueden llegar a ser letales.

## **2. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA BÁSICA**

De cara a evaluar el grado en el que una planta está amenazada por condiciones mete-

orológicas desfavorables, sería conveniente tener acceso a datos meteorológicos de la distribución, frecuencia y hora probable en que tienen lugar los valores poco usuales. Como lo más frecuente es no disponer de medidas de las variables de estudio en las plantas, se deberá hacer uso de los datos recogidos en las estaciones meteorológicas, que proporcionarán una estimación sensiblemente menos precisa. Estas estimaciones pueden ser útiles, pero no hay que olvidar que sería conveniente complementarlas con un análisis ecofisiológico cuantitativo (LARCHER, 1980).

El Instituto Nacional de Meteorología cuenta con una amplia red de observatorios, distribuidos por todo el territorio nacional, donde toda la información meteorológica recogida es ofrecida en diferentes formatos: fichas, listados de ordenador o soporte informático. La adquisición de todos estos productos ha sido recientemente regulada legalmente a través de una Orden Ministerial de 13 de enero de 1995 (BOE de 20 de enero de 1995).

Además de los Observatorios de I.N.M. también existen otros de propiedad muy diversa (Confederaciones Hidrográficas, Servicios Forestales, Empresas privadas, etc), que también ponen a disposición de los usuarios, en formas muy variadas, la información registrada.

La información requerida para el fin fijado en este trabajo, esta íntimamente relacionada con las principales variables meteorológicas que, en su variación temporal, pueden provocar situaciones desfavorables para el óptimo desarrollo de la vegetación instalada tras las tareas de repoblación, es decir, temperaturas extremas y disponibilidades hídricas.

En relación con las temperaturas extremas, éstas son recogidas diariamente en cada observatorio, e incluidas en los estados mensuales resumen donde suele figurar:

– **respecto a las Altas temperaturas**

- temperatura media de las máximas del mes: valor medio de todas las temperaturas máximas diarias del aire a lo largo del mes en cuestión.

- valor máximo de temperatura mensual: valor más elevado que alcanzó la temperatura del aire a lo largo del mes, con indicación del día en el que aconteció. Si dicho valor fue alcanzado en dos días, aparece en los resúmenes mensuales también la fecha del segundo máximo.

- número de días de temperatura máxima superior o igual a 25 °C a lo largo del mes.

- número de días de temperatura máxima superior o igual a 30 °C a lo largo del mes.

– **en relación a las Bajas temperaturas**

- temperatura media de las mínimas del mes: valor medio, a lo largo del mes, de todas las temperaturas mínimas diarias del aire.

- valor mínimo de temperatura mensual: valor más bajo registrado de la temperatura del aire a lo largo del mes, con indicación del día o días en el que aconteció.

- número de días de temperatura mínima inferior o igual a 0 °C a lo largo de mes.

- número de días de temperatura mínima inferior o igual a -5 °C a lo largo de mes.

En lo que hace referencia a las disponibilidades hídricas, la información recogida en los observatorios meteorológicos responde, casi exclusivamente, a la Precipitación, principal aporte de agua al sistema suelo-planta. La información disponible consiste en:

- precipitación mensual: suma de toda la precipitación recogida a lo largo del mes.

- precipitación máxima en 24 horas: máxima lluvia registrada en un día con indicación del día o días del mes en el que acontece.

- número de días en el mes con precipitación en forma de lluvia, nieve, granizo o pedrisco, tormenta, niebla, rocío y escarcha.

- número de días de precipitación inapreciable a lo largo del mes: días con precipitación que no alcanza los 0.1 mm.

- número de días en el mes de precipitación apreciable: días en los que la precipitación recogida es superior a 0.1 mm. Se distinguen entre ellos:



- días de precipitación superior o igual a 1 mm.
- días de precipitación superior o igual a 10 mm.
- días de precipitación superior o igual a 30 mm.

Asimismo, y a la hora de analizar el déficit hídrico que en un período de tiempo puede acontecer, es necesario además tener en cuenta lo siguiente:

- a) la humedad relativa del aire atenúa (valores altos) o incrementa (valores bajos) el stress hídrico, por lo que siempre que sus valores estén disponibles será aconsejable incluirlos en el estudio.
- b) la intensidad de viento participa de forma directa en las pérdidas por transpiración del vegetal, de tal forma que, sobre todo cuando venga asociado a temperaturas del aire elevadas y baja humedad relativa, habrá de ser tenido muy presente para el posible diagnóstico de golpe de calor.
- c) la variabilidad temporal y espacial de los datos recogidos en los observatorios relativos a humedad relativa, intensidad y dirección del viento, precipitaciones máximas en 24 horas, días al mes de precipitación y forma de las mismas, hace prácticamente imposible extrapolarlos a las zonas de repoblación. No obstante, pueden ser tenidos en cuenta como indicios de situaciones especiales. Asimismo, siempre que haya una constancia manifiesta de la ocurrencia de episodios especiales de tormentas o fuertes precipitaciones en el área de repoblación, también se han de tener en consideración, dado el posible daño mecánico que la lluvia intensa o el granizo puede causar sobre las plantaciones efectuadas.

Quizá el principal condicionante de la utilización de la información recogida en los observatorios meteorológicos sea el grado de fiabilidad de la misma. Este aspecto fundamental viene determinado por la calidad del observatorio elegido, o lo que es lo mismo, por:

- su grado de homologación climática al área de estudio, condicionado por una

adecuada elección del mismo. Las correcciones altitudinales que es necesario efectuar al carecer, en la práctica totalidad de los casos, de un observatorio meteorológico en la misma zona de repoblación, son otro elemento importante de distorsión. Los criterios usualmente utilizados en las correcciones altitudinales son en algunos casos excesivamente groseros, pudiendo llevar a conclusiones erróneas, por lo que su utilización deberá ser convenientemente matizada.

- el período de tiempo en el que ha venido funcionando, así como la existencia o no de lagunas temporales en la captura de datos. Largos períodos continuos de observación pueden ser indicadores de observatorios que cuidan adecuadamente la captura de datos.

Para concluir, se considera necesario advertir que en la información suministrada por los observatorios de I.N.M., las variables termométricas (°C) y pluviométricas (mm) vienen expresadas en décimas y no en unidades. Obviar este hecho lleva, lógicamente, a errores importantes.

### 3. HIPÓTESIS BÁSICAS

Revisados los efectos meteorológicos más desfavorables para la instalación y persistencia del regenerado, y analizada la información meteorológica disponible, se fijan a continuación las hipótesis básicas que sustentan la propuesta metodológica que para el estudio de marras achacables a factores meteorológicos se presenta:

1. La especie o especies implantadas encuentran su óptimo de desarrollo dentro de las condiciones climáticas normales de la zona. La viabilidad de la repoblación está ya comprometida si esta circunstancia no se cumple.
2. El mayor efecto de las situaciones meteorológicas desfavorables para la instalación y desarrollo de la repoblación se presenta durante el período vegetativo de la misma. Siguiendo el criterio de GAUSSEN, se considera que la vegetación sale

del parón vegetativo por frío cuando la temperatura media mensual supera los 6 °C.

3. Las precipitaciones constituyen la principal fuente de entrada de agua al sistema ecológico, determinando, por consiguiente, las disponibilidades hídricas globales.

4. Se considera que una precipitación en período vegetativo inferior en un 30% (50% si se trata del Levante o Sureste) de la media observada para dicho período en un intervalo de tiempo suficientemente amplio, determina déficits hídricos importantes que comprometen seriamente la persistencia de la repoblación efectuada.

5. Valores desfavorables de déficit hídrico se consideran aquéllos en los que la suma de déficits en el período vegetativo según el criterio de GAUSSEN (diferencia entre el doble de la temperatura media mensual y la precipitación media en ese mes, expresado en mm) es superior en un 50% a los del régimen normal.

6. Temperaturas máximas absolutas superiores a 40 °C, comprometen la pervivencia del repoblado, al alterar sus procesos metabólicos normales.

7. En período vegetativo, temperaturas inferiores a 0 °C dan lugar a situaciones de riesgo en la vegetación instalada. Si la situación se prolonga en el tiempo, los efectos pueden llegar a ser difícilmente reparables para los pies del repoblado más expuestos.

8. Situaciones de temperaturas inferiores a -5 °C en período vegetativo (heladas severas), pueden conllevar daños irreversibles que comprometen seriamente el futuro de la repoblación.

#### 4. PROPUESTA METODOLÓGICA

La propuesta que se presenta consiste en estudiar el posible acontecer de situaciones meteorológicas anormales a lo largo de toda la fase de reposición de marras, establecida en las directrices del proyecto de repobla-

ción, y que pueden comprometer la viabilidad de la misma.

Dentro de dicha fase, se propone como período de estudio aquellos intervalos de tiempo en los que las temperaturas medias mensuales superen el valor de 6 °C, a partir del cual, según criterio de GAUSSEN, la vegetación abandona del estado de quiescencia y entra en actividad vegetativa plena.

El estudio de situaciones meteorológicas anormales se desarrolla a través de las siguientes fases o etapas:

##### 1ª Fase. Caracterización del régimen real del período/s de estudio dentro de la fase de reposición de marras establecida.

Tomando como punto de partida la información recogida durante los meses inmediatos a la plantación, en el observatorio meteorológico utilizado en el Proyecto de repoblación para la caracterización climática del área repoblada, se analiza el régimen de variación real de las siguientes variables meteorológicas, a lo largo de los períodos vegetativos incluidos en la fase de reposición de marras. Para cada uno de los períodos vegetativos se recopila la información siguiente:

- $t_i$ : Temperaturas medias mensuales en °C.
- $taM_i$ : Temperaturas mensuales máximas absolutas en °C.
- $tmM_i$ : Temperaturas medias mensuales de las máximas en °C.
- $dtM30_i$ : Días con temperatura máxima superior a 30 °C.
- $tam_i$ : Temperaturas mensuales mínimas absolutas en °C.
- $tmm_i$ : Temperaturas medias mensuales de las mínimas en °C.
- $dtm0_i$ : Días con temperatura mínima inferior a -0 °C.
- $dtm-5_i$ : Días con temperatura mínima inferior a -5 °C.
- $p$ : Suma de la precipitación recogida en el período/s de estudio, en mm.

- dh: Suma de déficits hídricos, en mm, acontecidos en el período/s de estudio (suma de las diferencias mensuales entre Evapotranspiración -dos veces la temperatura media mensual- y Precipitación).
- pM24<sub>i</sub>: Precipitación máxima en 24 horas al mes, en mm, con fecha de observación.
- ndt<sub>i</sub>: Número de días por mes de tormenta.
- ndg<sub>i</sub>: Número de días por mes con precipitación en forma de granizo o pedrisco.
- hr<sub>i</sub>: Humedad relativa del aire mensual en % (si está disponible)

**2ª Fase. Caracterización del año meteorológico normal**

En la caracterización climática del área a repoblar, incluida en la memoria del proyecto, se hubo de elaborar un cuadro resumen, definitorio del régimen normal de variación de las variables meteorológicas a lo largo de un período de tiempo lo suficientemente amplio como para que sea estadísticamente representativo. De dicho cuadro resumen es

- TAM<sub>i</sub>: Temperaturas mínimas absolutas mensuales en °C.
- TMM<sub>i</sub>: Temperaturas medias de las mínimas mensuales en °C.
- PM : Suma de las precipitaciones medias en mm, a lo largo de los meses del período de estudio.
- DH: Suma de los déficits hídricos en mm a lo largo de los meses del período de estudio (suma de las diferencias mensuales entre Evapotranspiración -dos veces la temperatura media mensual- y Precipitación)
- HR<sub>i</sub>: Humedad relativa del aire mensual en % (si está disponible)

**3ª Fase. Determinación de valores no usuales de las variables meteorológicas**

La determinación de estos valores anormales se desarrolla por comparación con los valores relativos al régimen climático normal, lo que lleva a la determinación de las situaciones siguientes:

		Algún mes con tam <sub>i</sub> < 0°C	Todos los meses con tami > 0°C
<b>dh &gt; 1.5 • DH o p &lt; 0.7 • PM *</b>		Situación 1A	Situación 1B
<b>dh &lt; 1.5 • DH y p &gt; 0.7 • PM *</b>	<b>Algún i con taM<sub>i</sub> &gt; 40 °C</b>	Situación 2A	Situación 3
	<b>Todos los i con taM<sub>i</sub> &lt; 40 °C</b>	Situación 2B	Situación 4
(*) Para Levante y Sureste español se utilizará 0.5 • PM.			

necesario rescatar los valores mensuales de las siguientes variables meteorológicas en el año medio o normal:

- T<sub>i</sub>: Temperatura media mensual en °C.
- TAM<sub>i</sub>: Temperaturas máximas absolutas mensuales en °C.
- TMM<sub>i</sub>: Temperaturas medias de las máximas mensuales en °C.

**4ª Fase. Diagnósis de la situación o situaciones determinadas**

La situación o situaciones identificadas en el período de estudio, pueden ser caracterizadas globalmente de la forma siguiente:

**Sit. 1.** La probabilidad de existencia de déficit hídrico manifiesto en el período de estudio es muy elevada, por lo que es

presumible que un buen número de las marras aparecidas respondan a esta causa.

En los meses donde la  $tmM_i$  sea mayor que la  $TMM_i$ , las pérdidas por evapotranspiración han sido inusualmente elevadas, favoreciendo la situación de déficit hídrico.

*Sit. 1A.* A estos hechos hay que unir también la presencia de temperaturas especialmente bajas que han podido ocasionar desequilibrios metabólicos que hayan llevado directa o indirectamente (acción conjunta con el déficit hídrico) a la aparición de marras.

Los efectos negativos de las bajas temperaturas son tanto más acusados cuanto mayor sea el período de presencia de heladas severas (número de días con  $t_i < -5\text{ °C}$ ,  $dm-5_i$ ).

*Sit. 1B.* No se observan valores desfavorables en cuanto a temperaturas bajas durante el período de estudio. Las marras aparecidas únicamente pueden achacarse al stress hídrico prolongado en el tiempo.

*Sit. 2.* En el período de estudio han ocurrido temperaturas bajas no usuales que pudieran haber comprometido la pervivencia de la repoblación efectuada. No es posible, sin embargo, establecer con certeza el acontecer de déficit hídrico patente.

La probabilidad de daños causados por temperaturas bajas que lleven a la aparición de marras es, por tanto, elevada, tanto más cuando mayor sea el período de presencia de heladas severas (número de días con  $t_i < -5\text{ °C}$ ,  $dm-5_i$ ).

*Sit. 2A.* A lo largo del período de estudio, el repoblado se ha visto sometido a temperaturas extremas anormales, tanto altas como bajas, que pueden haber comprometido su persistencia.

Las alteraciones metabólicas provocadas pueden haber llevado a los pies a situaciones límites que comprometan su pervivencia. La duración de las situaciones térmicas anormales (nº de días con temperatura máxima superior a  $30\text{ °C}$ ,

$dt30_i$  y número de días con  $t_i < -5\text{ °C}$ ,  $dm-5_i$ ) determina de forma directa la cuantía del efecto desfavorable.

Si la información sobre humedad relativa y velocidad del viento está disponible, se ha tener en cuenta a la hora de determinar la posible concurrencia de golpes de calor cuando se haya dado viento de humedad relativa escasa.

*Sit. 2B.* Únicamente hay indicios para poder asociar las marras aparecidas con la presencia no usual, en período vegetativo, de bajas temperaturas que pueden haber provocado desarreglos metabólicos y déficits hídricos puntuales.

*Sit. 3.* No se presentan situaciones anormales de déficits hídricos, ni bajos valores termométricos que puedan comprometer el repoblado.

Durante el período de estudio, la única circunstancia meteorológica no usual aparecida ha sido la ocurrencia de altas temperaturas que pueden haber provocado desequilibrios fisiológicos que hayan llevado a la aparición de marras. La probabilidad de tal circunstancia es más elevada cuanto mayor sea la duración de las situaciones térmicas anormales (nº de días con temperatura máxima superior a  $30\text{ °C}$ ,  $dt30_i$ ).

*Sit. 4.* No existen indicios fehacientes para poder achacar a causas meteorológicas la aparición general de marras. A lo largo del período de estudio, no han existido situaciones anormales desde un punto de vista meteorológico que hayan podido comprometer la persistencia del repoblado, por lo que en ningún caso las marras presentes se pueden achacar de forma inequívoca a dichas causas.

En cualquiera de las situaciones comentadas, si se tiene la certeza de la ocurrencia durante el período de estudio de episodios de precipitación muy intensos o tormentas de granizo o pedrisco, se ha de considerar además la posibilidad de daños físicos en el

regenerado que puedan haber comprometido la viabilidad de algún individuo.

Antes de finalizar con la presente ponencia, se considera necesario recordar que el ámbito de aplicabilidad de esta propuesta es exclusivamente meteorológico, y desde un punto de vista geográfico, cubre todo aquel territorio en el que los datos meteorológicos sean de aplicación.

Como se apuntó inicialmente, con este trabajo se propone una primera aproximación a la investigación de las marras causadas por factores ecológicos de naturaleza meteorológica. Avances sucesivos deberán ir enfocados en un mayor ajuste del método, incluyendo en él el efecto de factores como:

1. especie/es empleada/s en la repoblación (en especial de su ecofisiología)
2. condiciones fisiográficas
3. características edáficas
4. trabajos de preparación del suelo llevados a cabo.

Un método de estas características supondría una herramienta muy útil para la mejor aplicación, entre otras cosas, de las primas que el Real Decreto de ayuda a la reforestación de terrenos agrícolas abandonados establece.

## BIBLIOGRAFÍA

ALEXANDROV, V.; 1977. *Cells, molecules and temperature. Ecological Studies*. Vol 21. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, New York.

ALLUÉ ANDRADE, J.L.; 1995. El cambio climático y los montes españoles. En

*Cuadernos de la S.E.C.F.*, N.º 2, PP 35-64. Madrid.

BARCELÓ COLL, J.; NICOLÁS RODRIGO, G.; SABATER GARCÍA, B. & SÁNCHEZ TAMES, R.; 1988. *Fisiología vegetal*. Ediciones Pirámide, S.A. Madrid.

ECAL, F.; 1962. La lutte contre les gelées en agriculture. *Beziers*

GANDULLO, J.M.; 1994. *Climatología y ciencia del suelo*. Fundación Conde del Valle del Salazar. E.T.S.I. de Montes. Madrid.

HSIAO, T.C.; 1976. *Stomatal Ion Transport, en Encyclopedia of Plant Physiology*, New Series, vol 2. Springer-Verlag, Berlin.

KIMMINS, J.P.; 1987. *Forest ecology*. Macmillan Publishing Company. New York.

LEVITT, J.; 1958. *Frost, Drought and Heat Resistance*. Springer Wien.

LARCHER, W.; 1980. *Physiological Plant Ecology*. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg New York.

MARTÍNEZ DE AZAGRA PAREDES, A.; 1995. *Modelo para la estimación de las disponibilidades hídricas en ladera*. Tesis Doctoral. E.T.S. de Ingenieros de Montes.

OLCINA, J.; 1994. *Riesgos climáticos en la Península Ibérica*. Libros PENTHALON. Madrid.

SPURR S.H; BARNES, B.V.; 1980. *Ecología forestal*. AGT Editor S.A. México D.F.

THORNTHWAITE C.W.; 1948. An approach to a rational classification of climate. *Geog. Rev.* (38):55-94.

URBANO TERRÓN, P.; 1991. *Tratado de fitotecnia general*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.