

RELACIÓN ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS DEL AÑO DE PLANTACIÓN Y LOS RESULTADOS DE LAS REPOBLACIONES

JOSÉ ANTONIO ALLOZA* Y RAMÓN VALLEJO*

RESUMEN

La irregularidad, temporal y espacial con la que se producen las precipitaciones en las zonas mediterráneas, origina una importante variabilidad en los resultados obtenidos en las repoblaciones forestales. En este trabajo, se analiza la relación existente entre las características meteorológicas del año de plantación y los resultados de las repoblaciones, con la finalidad de determinar la metodología, de carácter extensivo y ámbito regional, que mejor se adapte a la evaluación y predicción de los resultados de las repoblaciones.

El análisis se ha efectuado con los datos recogidos en las parcelas experimentales que el CEAM estableció, en zonas con condiciones limitantes al desarrollo vegetal, durante el período 1992-94 en el centro y sur de la Comunidad Valenciana. Sobre dichas plantaciones, homogéneas en pendiente, exposición y ejecución, se dispone de una amplia documentación de las características de los plantones y suelos, así como de los resultados de supervivencia y crecimiento del repoblado.

La asignación de los datos meteorológicos a cada parcela se ha efectuado, previo análisis de la función variograma para la precipitación, mediante una triangulación según polígonos de Thiessen.

Los resultados obtenidos muestran una falta de adecuación de los valores estacionales y mensuales para determinar la influencia, en la aparición de marras, de la meteorología durante el año de plantación; se han ensayado diversos estimadores meteorológicos, entre los cuales la duración del período seco ha ofrecido los mejores resultados. Con 16 períodos secos de diferente duración, en un rango de 31 a 155 días, queda explicada más del 60% de la variabilidad de los resultados; en las condiciones analizadas, al menos en un 20% de los años se registran períodos secos superiores a los 100 días de duración, dando lugar a porcentajes de marras superiores al 50%.

Palabras clave: Repoblación forestal, marras, mortalidad, variograma, período seco.

SUMMARY

The spatial and temporal irregularity of the precipitation in the Mediterranean zones gives rise to an important variability in the results obtained in the forest plantations.

The present relation between the meteorological characteristics of the plantation year and the reforestation results is analysed, with the purpose of determining the methodology, of extensive character and regional scope, that best adapts to the evaluation and prediction of the forest plantation results.

* Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo. Parque Tecnológico. Calle Charles Darwin 14. Sector Oeste. 46980 PATERNA (Valencia). Email: jantonio@ceam.es

Recibido: 17/09/98.

Aceptado: 07/06/99.

The analysis is based on data gathered during the period 1992-1994, from the experimental plots established by CEAM in marginal zones for vegetable development, which are in the centre and south of the Valencian Community. On these plantations, homogenous in slope, exposition and execution, CEAM has ample documentation on the seedling and soil characteristics, as well as on the results of plant survival and growth.

The allocation of the meteorological data to each plot has taken place, after analysing the variogram function for rainfall on the basis of a triangulation according to Thiessen polygons.

The results of our attempt to determine the influence of meteorology during the year of plantation in the appearance of failed plants show a lack of adjustment between seasonal and monthly values; however, after trying diverse meteorological estimators, the best results were obtained from analysing the dry periods. With 16 dry periods of different duration, ranging from 31 to 155 days, more than 60% of the variability in the results is explained; under the analysed conditions, at least 20% of the years register dry periods of more than 100 days in duration, giving rise to percentages of failed plants greater above 50%.

Key words: Forest plantation, failed plants, variogram, dry period.

INTRODUCCIÓN

El Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo, por iniciativa de la Generalitat Valenciana, está desarrollando desde el año 1991 un programa de investigación en el ámbito de la restauración forestal de los montes valencianos. En el marco del mencionado programa, se está efectuando un seguimiento de las repoblaciones realizadas por la administración autonómica, a fin de evaluar los resultados de las mismas y analizar las causas que han condicionado su éxito o fracaso.

Dada la irregularidad temporal y espacial con la que se producen las precipitaciones en zonas mediterráneas (PÉREZ CUEVA 1982; MARTÍN VIDE 1984), los resultados de las repoblaciones han sido muy dispares, tanto para una misma zona en años distintos, como entre distintas zonas para un mismo ciclo hidrológico; los resultados disponibles en la actualidad, sobre repoblaciones efectuadas en el período 1993-1996, muestran porcentajes de marras que cubren un rango comprendido entre el 6% y 73% (CEAM 1998).

Si bien los factores que inciden en la producción de marras son numerosos (ALDER 1981), diversos estudios han mostrado que la disponibilidad hídrica constituye un factor de capital impor-

tancia en el establecimiento de los plantones, no sólo en medios áridos y semiáridos, sino también en ecosistemas de la zona templada (SQUIRE *et al.* 1987; HAASE & ROSE 1993). La sequía estival constituye el principal agente causante de mortalidad (MATNEY & HODGES 1991; VILAGROSA *et al.* 1997), siendo la fase de instalación posterior a las labores de repoblación cuando la vegetación es especialmente sensible (GÓMEZ & ELENA 1995); el agua es el principal factor limitante para el crecimiento de las plantas en climas mediterráneos (ROY 1985).

Por otra parte, desde el punto de vista climático y debido a la multiplicidad de causas y a la gran variedad de formas en que puede presentarse, la sequía es un concepto sin una definición comúnmente aceptada (PÉREZ CUEVA 1988). Dicha complejidad se traduce en una variada metodología de análisis e índices para su caracterización (una descripción de estos puede consultarse en National Drought Mitigation Center, 1998); pese a las claras repercusiones que las condiciones meteorológicas presentan en los resultados de las repoblaciones (el Real Decreto 152/1996 del 2 de febrero, para la ayuda a la forestación de superficies agrarias, recoge incrementos de hasta un 35% en las primas de mantenimiento ante situaciones meteorológicas adversas), ha habido pocos intentos sistemáticos de definir los efectos

del estrés hídrico en términos de patrones de crecimiento, uso de agua, y medida del estado hídrico del árbol, a lo largo de amplios períodos de tiempo (LANDSBERG 1986).

En el presente trabajo se pretende analizar la relación existente entre las características meteorológicas del año de plantación y los resultados de las repoblaciones, con la finalidad de determinar la metodología, de carácter extensivo y ámbito regional, que mejor se adapte a la evaluación y predicción de los resultados de las repoblaciones.

MATERIAL Y MÉTODOS

El análisis se ha efectuado con los datos recogidos en las parcelas experimentales que el CEAM estableció durante el período 1992-94 (figura 1). Sobre dichas plantaciones, homogéneas en pendiente, exposición y ejecución, se dispone de una amplia documentación tanto de las características de los plantones y suelos, como de los resultados (VILAGROSA *et al.* 1996).

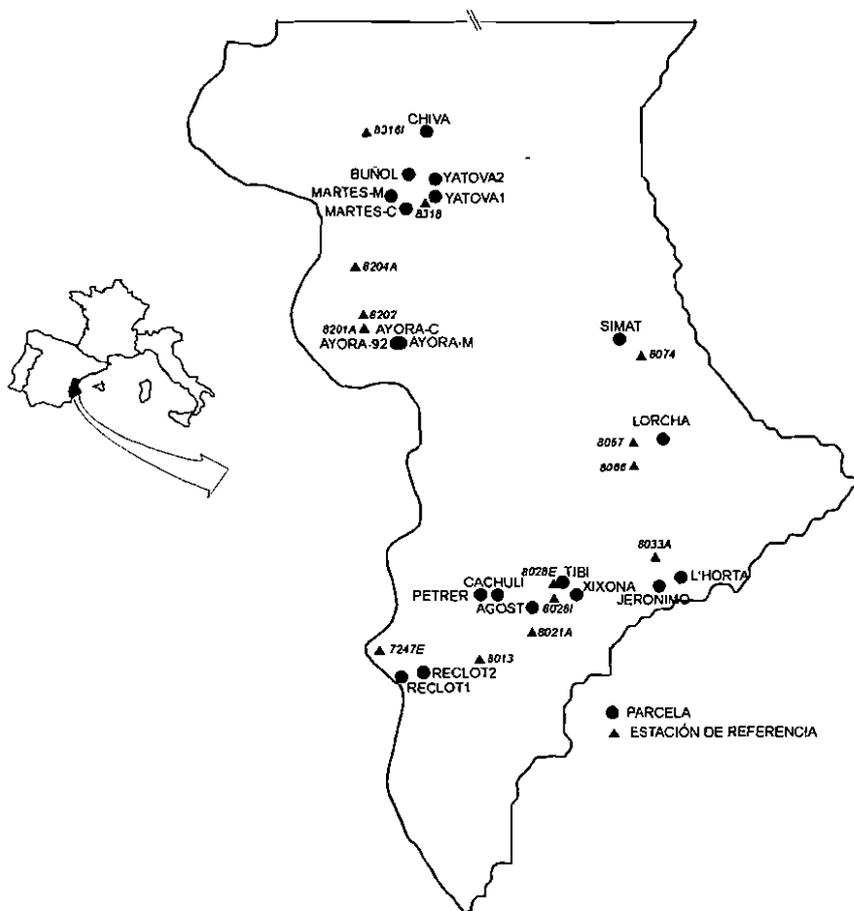


Fig. 1. Localización de las parcelas experimentales (*) y de las estaciones termo/pluviométricas (▲) asociadas a cada una de ellas. Códigos del I.N.M. 83161: Requena Rebollar; 8318: Embalse de Forata; 8204A: Jalance agromet.; 8202: Teresa de Cofrentes; 8074: Simat de Valldigna; 8067: Embalse de Beniarres; 8066: Almudaina; 8033A: Relleu CHJ; 8026E: Tibi, casa Taleca; 80281A: Agost, escola; 8013: Novelda; 7247E: El Pinos C.P. Santa Catalina. [Location of the experimental plots and the termo/pluviometric stations associated to each of them.]

Las parcelas se localizaron en zonas con condiciones limitantes al desarrollo vegetal: vertientes en solana y pendientes moderadas (15-35%) y sobre suelos degradados. Además, los años en los que se han realizado los ensayos han sido representativos de condiciones más bien secas y, por tanto, los resultados obtenidos se pueden considerar como valores mínimos en proyectos de restauración forestal para la zona.

Parcelas

Se seleccionaron áreas de experimentación que representan las principales situaciones ambientales existentes en la Comunidad Valenciana. Se ha trabajado con dos grandes grupos de zonas, correspondientes a climatología y problemática distintas: áreas de ombroclima seco que han sufrido incendios forestales recientes y áreas de ambiente semiárido que presentan un proceso de degradación por la combinación de la presión antrópica secular y limitaciones climáticas.

El ambiente seco se caracteriza por una precipitación media anual de entre 350 y 600 mm, y el ambiente semiárido entre 200 y 350 mm. Ambos presentan dos termoclimas, termomediterráneo, con una temperatura media anual entre 17 y 19 °C y mesomediterráneo, entre 13 y 17 °C (COSTA 1986).

La litología tiene una gran influencia en las propiedades de los suelos mediterráneos. En los casos escogidos, calizas y margas, la litología refleja grupos de suelos de características próximas y relevantes para el crecimiento vegetal; las calizas presentan suelos pardo-rojizos fisurales, con diferente grado de descarbonatación, pedregosos, bien estructurados y poco erosionables (*Leptosoles*, *Cambisoles* y *Luvisoles*). Sobre margas se desarrollan suelos carbonatados, más compactos y fácilmente erosionables (mayoritariamente de tipo *Cambisol* y *Regosol calcáreo*).

Plantaciones

La preparación del terreno se efectuó con ahoyado manual de dimensiones 40*40 cm y un marco de plantación entre 1000-1750 pies por ha.

El control de las plantaciones se realizó dos veces al año, a finales de primavera y a finales de otoño. Una descripción detallada de las características de los plantones y substratos, puede consultarse en VILAGROSA *et al.* 1996.

Como referencia de mortalidad se ha tomado, para las tres especies con mayor representatividad espacial y temporal, los porcentajes de marras al final del primer verano de la plantación, discriminando por parcela, litología y vivero de origen; se han excluido los ensayos en los cuales se ha efectuado algún tratamiento adicional a los plantones (micorrización, fertilización, etc.). Los promedios figuran en la tabla 1.

Datos meteorológicos

Los datos meteorológicos utilizados proceden de la red de estaciones termo y pluviométricas que el Instituto Nacional de Meteorología tiene en la Comunidad Valenciana. Se ha trabajado con los registros diarios, para el período 1991-1995, de los observatorios con series anuales completas. Para los promedios de la serie histórica se ha tomado como referencia los valores de la serie comprendida entre 1961-1990 del Atlas Climático de la Comunidad Valenciana (PÉREZ-CUEVA 1994).

En cuanto a temperatura, con una red de estaciones menos densa que para precipitación, los datos disponibles son las temperaturas extremas del día, máxima y mínima. A partir de estos valores se calcula, como la semisuma de las dos anteriores, la temperatura media del día.

Asignación de estaciones de referencia

Una de las principales dificultades en estudios de este tipo es la falta de datos sobre la precipitación registrada en las zonas de muestreo. Ello obliga a recurrir a medidas realizadas en observatorios alejados de las actuaciones, con las consiguientes interpolaciones.

La geoestadística aporta una serie de métodos para el análisis de variables espaciales. Uno de los más simples, polígonos de Thiessen, asigna

TABLA 1

PORCENTAJE DE MARRAS AL FINALIZAR EL AÑO DE PLANTACIÓN DESGLOSADO POR PARCELA, AÑO DE PLANTACIÓN Y ESPECIE; PROMEDIOS ANUALES GLOBALES (TODAS LAS ESPECIES) POR PARCELA. DURANTE EL AÑO 1992 NO SE EFECTUARON PLANTACIONES DE *QUERCUS COCCIFERA*, AL IGUAL QUE EN 1994 PARA *PINUS HALEPENSIS*. (PERCENTAGE OF FAILED PLANTS ONE YEAR AFTER PLANTATION, CLASSIFIED BY PLOT, YEAR OF PLANTATION AND SPECIES; GLOBAL ANNUAL AVERAGES (ALL SPECIES) BY PLOT. IN 1992 NO PLANTATIONS OF *QUERCUS COCCIFERA* TOOK PLACE, AND IN 1994 THERE WERE NO *PINUS HALEPENSIS* PLANTATIONS.)

Parcela	Promedios anuales por especie						Promedio global			
	1992		1993			1994		Anual		
	<i>Pinus halepensis</i>	<i>Q. ilex spp ballota</i>	<i>Pinus halepensis</i>	<i>Quercus coccifera</i>	<i>Q. ilex spp ballota</i>	<i>Quercus coccifera</i>	<i>Q. ilex spp ballota</i>	1992	1993	1994
Simat			8,0		19,3		91,7	15,6		91,7
Lorcha			28,1		61,1		86,7	50,1		86,7
Yatova1			11,7		36,2			28,0		
Yatova2			12,2		43,2			32,9		
Martes-M	38,5	23,3	7,1	30,0	33,3		70,7	30,9	23,5	70,7
Ayora-M			29,7	32,0	28,8		80,0		30,2	80,0
Buñol	34,7	56,8	36,2		63,5		100,0	45,7	49,9	100,0
Ayora-C				40,8					40,8	
Martes-C	39,4	43,1	27,4		38,4		98,3	41,2	32,9	98,3
Ayora-92	13,3	45,3						29,3		
Chiva				85,7					85,7	
Reclor1			75,0	92,9	68,4	100,0		77,8		100,0
Reclor2			62,9	87,8	94,7	99,0		77,0		99,0
Tíbi		8,9		30,7	100,0			16,1	100,0	
Petrer						96,0				96,0
Cachuli			14,4		63,5				30,8	
Agost			19,2	63,0					33,8	
Xixona			0,0	52,0		100,0			17,3	100,0
L'horta			32,0			100,0			32,0	100,0
Jerónimo			55,5						55,5	
Promedio	31,5	42,1	29,0	60,5	46,3	99,3	89,3	36,8	40,0	94,0

a cada punto el valor del punto muestral que está más próximo, generando áreas homogéneas en función de la distancia a la estación de referencia; como inconvenientes del método figuran el mantener una homogeneidad ficticia dentro de cada unidad y fijar todos los cambios en los límites (BURROUGH 1996). Por otro lado, el kriging, método de interpolación óptimo en sentido estadístico (BOSQUE SENDRA 1992; BURROUGH 1996), analiza la autocorrelación en base a un variograma (función matemática que mide la variabilidad de una variable cuando sus valores se observan en puntos que están separados una distancia concreta).

La representación de los variogramas ($\gamma(h)$) correspondientes a la precipitación media de

200 estaciones de la Comunidad Valenciana, en las direcciones Norte-Sur y Este-Oeste, pueden observarse en la figura 2. Se comprueba que a partir de 70 Km en la dirección Norte y de 60 en la Este-Oeste cesa la autocorrelación; el ajuste para las distancias comprendidas en el alcance del variograma, en ambas direcciones, presenta un R^2 superior a 0.8, por el contrario, los ajustes lineales entre precipitación y gradiente longitudinal o latitudinal son muy bajos ($R^2 = 0,222$ y $0,106$ respectivamente). Con la globalidad de las estaciones analizadas, no se detecta ninguna relación lineal entre precipitación y altitud (regresión no significativa), aunque sí que puede producirse en sectores determinados (PÉREZ CUEVAS 1994). En cuanto a temperaturas, únicamente se mantiene un buen

ajuste con la altitud, en un gradiente del 0.5% ($R^2 = 0.715$).

Dado que el krigado requiere un importante volumen de cálculos para su ejecución (software específico), se ha efectuado una comparación entre esta técnica y la triangulación. Los resultados obtenidos son muy similares, con diferencias máximas inferiores a 50 mm (datos no presentados). Por otro lado, las distancias máximas

entre las estación asignada según la triangulación Thiessen y las parcelas varían entre 29 y 13 km en dirección N-S y E-O respectivamente, aunque la distancia media es de 6 km en ambas direcciones (en el 60% de las asignaciones la distancia es inferior a 6 Km).

CHICA OLMO (1986; tomado de BELDA, F. 1997) compara los métodos Thiessen y Krigado simple, demostrando que la ventaja que

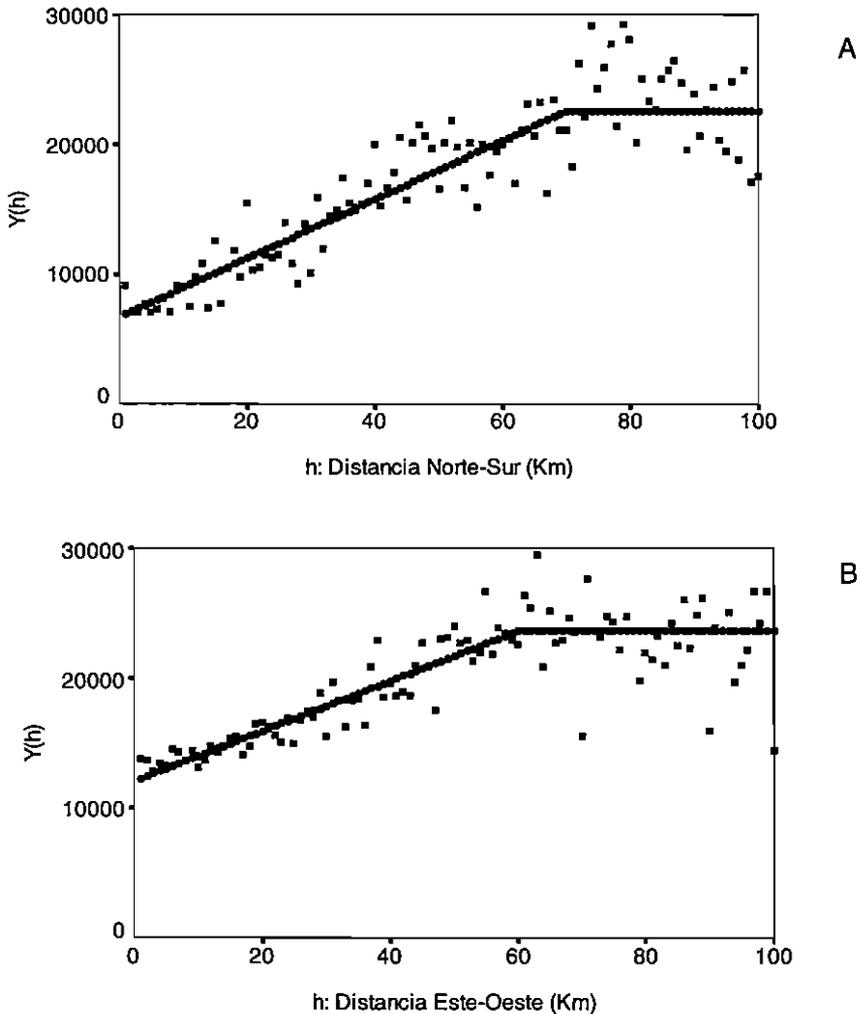


Fig. 2. Representación de la función variograma ($\gamma(h)$) del promedio de la precipitación media anual (mm) según la distancia (h, en kilómetros). A) Dirección Norte-Sur. B) Dirección Este-Oeste. [Representation of the variogram function of the annual average rainfall (mm) according to the distance (kilometres). A) North-South direction. B) East-West direction.]

supone el krigeado no es muy importante; igualmente, la asignación de la estación más representativa por medio de polígonos de Thiessen es una técnica comúnmente utilizada en este tipo de estudios (RAMOS & PORTA 1993; PIERVITALI *et al.* 1997).

En base a estas consideraciones, se ha efectuado la asignación de los datos meteorológicos a cada parcela por medio de polígonos de Thiessen. Las características meteorológicas registradas durante el primer año de la plantación, así como los promedios de la serie histórica, quedan recogidas en la tabla 2.

Variables meteorológicas y metodologías analizadas

Inicialmente se ha considerado la metodología establecida por GÓMEZ & ELENA (1997) para el análisis de la influencia de los agentes meteorológicos en la aparición de marras. Este procedi-

miento se ajusta a los objetivos previstos, tanto por su fácil utilización como por la información requerida; el modelo asigna cuatro situaciones con gradación de la influencia de los factores meteorológicos, en función de la intensidad del período seco, temperaturas mínimas y máximas absolutas registradas durante el verano de la plantación.

El análisis se ha completado, manteniendo el criterio de sencillez y disponibilidad de datos meteorológicos, analizando las posibles relaciones lineales entre el porcentaje de marras y las siguientes variables:

- Precipitación, tanto anual como la registrada en los meses de verano (junio-agosto).
- Déficit de Gaussen.
- Déficit hídrico, en base a la ETP y reserva del suelo.

TABLA 2

VALORES ANUALES DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA MEDIA, PARA LOS AÑOS 1992, 1993 Y 1994, ASÍ COMO EL PROMEDIO REGISTRADO EN EL PERÍODO 1961-1990. DURACIÓN DEL MÁXIMO PERÍODO SECO REGISTRADO DURANTE EL PRIMER AÑO DESPUÉS DE LA PLANTACIÓN. [ANNUAL VALUES FOR RAINFALL AND AVERAGE TEMPERATURE, FOR THE YEARS 1992, 1993 AND 1994, AS WELL AS THE AVERAGES REGISTERED IN THE 1961-1990 PERIOD. DURATION OF THE MAXIMUM DRY PERIOD REGISTERED IN THE FIRST YEAR AFTER THE PLANTATION.]

Parcela	Precipitación (mm)				Período seco (días)			Temperatura (°C)			
	Media	1992	1993	1994	1992	1993	1994	Media	1992	1993	1994
SIMAT	777		1099	342		36	136	17,3		16,5	16,2
LORCHA	684		1146	260		65	130	17,2		17,2	18,4
YATOVA1	433		501			63		19,5		15,4	
YATOVA2	433		501			63		19,5		15,4	
MARTES-M	433	321	501	320	80	63	122	19,5	16,0	15,4	16,6
AYORA-M	496		473	263		34	122	18,2		12,2	16,6
BUÑOL	496	530	501	320	77	63	122	18,2	16,0	15,4	16,6
AYORA-C	496		473			34		18,2		12,2	
MARTES-C	496	321	501	320	80	63	122	18,2	16,0	15,4	16,6
AYORA-92	537	404			37			14,2	11,6		
CHIVA	600		282			63		14,2		15,4	
RECLOT1	277		284	136		115	122	15,8		15,9	15,7
RECLOT2	355		284	136		115	122	15,8		15,9	15,7
TIBI	385		386	131		46	127	15,2		18,2	18,5
PETREER	315			203			122	17,3			16,4
CACHULI	335		267			69		18,3		15,2	
AGOST	302		267			69		18,2		18,2	
XIXONA	385		358	131		69	122	15,2		18,2	18,5
L'HORTA	385		326	143		81	155	15,2		17,3	18,5
JERONIMO	385		326			81		15,2		17,3	

- Duración del período seco.
- Temperatura media, mínima y máxima absoluta.

El cálculo de la ETP se ha realizado aplicando la fórmula de Thornthwaite (THORNTHWAITE 1948) ya que únicamente se requieren datos de temperatura y precipitación, motivo por el cual es ampliamente utilizada en estudios regionales (PÉREZ CUEVA 1994). Los resultados que ofrece este método pueden ser de aplicación discutida en las regiones de clima mediterráneo típico, donde la variabilidad de la precipitación es grande y juegan un papel relevante las temperaturas y la irradiación; Palutikof ha constatado (PALUTIKOF *et al.* 1994), para la Cuenca Mediterránea, una importante subestimación en los valores de evapotranspiración obtenidos por esta fórmula, frente a los obtenidos por la ecuación de Penman y Blaney & Criddle.

La determinación del período seco basándose en el criterio de Gaussen, expresado como el resultado de acumular la resta (cuando es negativa) del doble de la temperatura con la precipitación del mes respectivo, resulta bastante simple (NAHAL 1981; ALLUE 1993; MONTERO DE BURGOS 1983). Es más general la ecuación básica que describe la conservación del agua (LANDSBERG 1986):

$$P - E - qd - qr - Z = 0$$

P: precipitación

E: evapotranspiración

qd: drenaje

qr: escorrentía

Z: Cambio en el contenido de agua del suelo en el intervalo considerado

La introducción del «balance de agua» en la definición y análisis de las sequías precisa mucho más el concepto de las mismas (PÉREZ CUEVA 1988) y es la mejor forma de definir el período seco al determinar el período en el cual las pérdidas de agua, a través de la evapotranspiración desde el suelo y la vegetación, son mayores que los aportes por la precipitación (NAHAL 1981).

Con los valores mensuales de precipitación y ETP se han calculado, de forma continua desde 1991, los balances hídricos considerando dos supuestos de forma independiente:

- a) asignando una reserva estándar al suelo de 50 mm para calizas y 75 mm para margas. Estos valores son inferiores a los utilizados por otros autores (G. SALMERÓN 1990) pero reflejan la escasa profundidad de los suelos forestales estudiados.
- b) determinando el valor de la reserva del suelo en función de la textura, contenido en materia orgánica, pedregosidad y profundidad (RAWLS *et al.* 1992).

Con ambos supuestos se ha determinado el total anual y el correspondiente a los meses de verano.

En el ámbito mediterráneo es tan importante estudiar la duración de la sequía como su intensidad; aunque las metodologías adoptadas al definir una sequía se han centrado mayoritariamente en la intensidad (PÉREZ CUEVAS 1982), existen métodos que han utilizado la longitud de las secuencias de días consecutivos sin lluvias (DOUGUEDROIT 1980; tomado de BELDA, F. 1997). Se ha analizado la duración del máximo período seco, considerando el máximo número de días consecutivos con precipitación igual o inferior a 5 mm (considerada esta última como límite de precipitación efectiva).

RESULTADOS

Analizando globalmente los promedios de mortalidad asociados a cada una de las situaciones definidas en el modelo de GÓMEZ & ELENA (1997), se comprueba (tabla 3) que las situaciones con déficit hídrico (con o sin presencia de bajas temperaturas) presentan los porcentajes de mortalidad más elevados, aunque con porcentajes muy diferentes entre años y parcelas (en un rango comprendido entre el 15-100%); aplicando el test de Kruskal-Wallis, no se detectan diferencias significativas entre las distintas categorías.

Los resultados obtenidos en las relaciones lineales entre porcentaje de marras y las variables

TABLA 3
PROMEDIOS ANUALES DEL PORCENTAJE DE MARRAS Y NÚMERO DE PARCELAS (ENTRE PARÉNTESIS), PARA CADA UNA DE LAS SITUACIONES CONSIDERADAS SEGÚN LA METODOLOGÍA DE GÓMEZ Y ELENA (1997). [ANNUAL AVERAGES OF THE PERCENTAGE OF FAILED PLANTS FOR EACH OF THE SITUATIONS CONSIDERED ACCORDING TO THE METHODOLOGY OF GOMEZ & ELENA (1997).]

SITUACIÓN	92	93	94	Total parcelas
Déficit hídrico y temperaturas bajas	39.3 (3)	55.6 (7)	91.4 (9)	70.0 (19)
Déficit hídrico sin incidencia de bajas temperaturas		30.9 (5)	100.0 (3)	56.8 (8)
Temperaturas extremas (altas y bajas)		28.1 (3)		28.1 (3)
Temperaturas bajas	29.3 (1)	30.8 (1)		30.1 (2)
Sin valores meteorológicos anormales		35.5 (2)		35.5 (2)
Total parcelas	36.8 (4)	40.6 (18)	93.5 (12)	58.8 (34)

meteorológicas consideradas se pueden observar en la tabla 4.

Destacan los bajos ajustes, tanto con valores mensuales como estacionales, de las principales variables meteorológicas consideradas de forma independiente (temperatura y precipitación). También con muy bajos ajustes se presentan los balances, tanto según el criterio Gausson como considerando la reserva y ETP. Se puede aducir una falta de adecuación en el cálculo de la ETP y reserva del suelo, así como una escasa sensibilidad de los valores mensuales:

- El factor que controla el proceso de evaporación es la sequedad de la atmósfera (el con-

tenido absoluto de humedad del aire para llegar a saturación se incrementa exponencialmente con la temperatura). Dado que la evaporación de agua del suelo es muy lenta, el aire presenta, en cortos períodos de tiempo, variaciones muy importantes en el contenido de humedad.

- Las temperaturas cerca del suelo son notablemente más altas que las registradas pocos centímetros más arriba, con diferencias de 10 °C en un metro (GHOLZ 1991), lo cual incide negativamente en el pequeño plánton.
- La pedregosidad superficial juega un importante papel como regulador del contenido de humedad de los suelos (POESSEN 1997).

TABLA 4
COEFICIENTE DE REGRESIÓN LINEAL Y NIVEL DE SIGNIFICACIÓN ENTRE EL PORCENTAJE DE MARRAS Y LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS ANALIZADAS, PARA 71 GRADOS DE LIBERTAD. [LINEAR REGRESSION COEFFICIENT BETWEEN THE PERCENTAGE OF FAILED PLANTS AND THE ANALYSED METEOROLOGICAL VARIABLES, FOR 71 DEGREES OF FREEDOM.]

	R ²	Sigf	b0	b1
Período seco	0.673	0.000	39.1978	0.8303
Precipitación anual	0.001	0.821	499.311	-0.2278
Precipitación verano	0.098	0.007	53.7831	-0.3531
Déficit anual (reserva estándar)	0.196	0.000	452.859	1.5873
Déficit estival (reserva estándar)	0.104	0.005	367.474	0.5939
Déficit anual (reserva calculada)	0.003	0.656	488.72	0.1782
Déficit estival (reserva calculada)	0.152	0.001	327.095	0.8283
Déficit Gausson anual	0.298	0.000	147.573	1.0367
Déficit Gausson estival	0.296	0.000	96.1629	0.4169
Temperatura media anual	0.001	0.834	15.8628	0.0013
Temperatura mínima absoluta	0.009	0.414	49.2709	-1.5086
Temperatura máxima absoluta	0.034	0.118	-4.9879	1.4699

- Debido a la escasa longitud del sistema radicular de los plántones, en el primer año de la plantación la disponibilidad de agua está igualmente condicionada por el comportamiento hídrico del sustrato procedente del vivero.

De todas las relaciones analizadas, la que ha presentado los mejores ajustes, tanto para la globalidad de los datos, como para cada una de las tres especies individualmente, ha sido la duración del período seco. Con 16 períodos diferentes, en un rango de 31 a 155 días, queda explicada más del 60% de la variabilidad de los resultados (figura 3).

Analizando la época de inicio, todos los períodos, excepto los correspondientes a 1994, comienzan hacia finales de la primavera o principios de verano; en el 94 el período seco se inicia en el momento de la plantación, o pocos días después, dando lugar a mortalidades muy altas a los pocos meses (muestreo de primavera). Excluyendo la mortalidad debida a la implanta-

ción, la relación entre el período seco y la mortalidad registrada desde el inicio del mismo presenta un $R^2 = 0.789$.

Diferenciando por sustratos, las calizas presentan un mejor ajuste ($R^2 = 0.729$) que las margas ($R^2 = 0.550$), lo cual puede ser debido a la menor, pero más homogénea, profundidad de los suelos desarrollados sobre calizas (inferior a 40 cm). No obstante, si la comparación se efectúa por duraciones del máximo período seco (figura 4), únicamente se detectan diferencias significativas entre calizas y margas para una duración de 60-90 días; para duraciones inferiores a 60 días y superiores a 120 días la litología no afecta a los resultados.

Para valorar la representatividad temporal de los resultados, se ha analizado la distribución de frecuencias en aquellas estaciones con un número de años próximo o superior a 30; se ha comprobado que una duración del máximo período seco inferior a 90 días se produce en un porcentaje de años que varía, según observato-

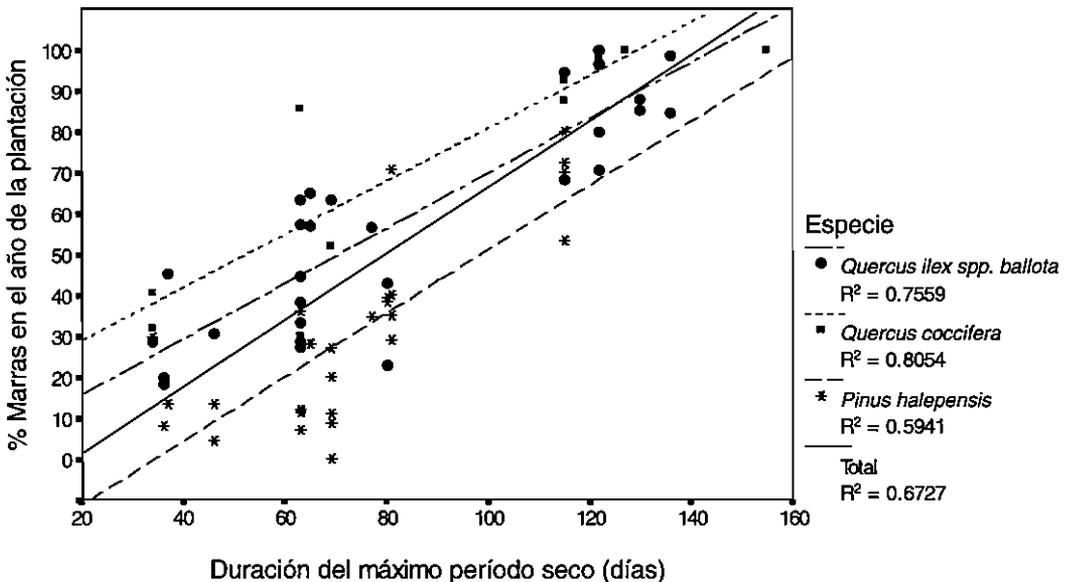


Fig. 3. Porcentaje de marras durante el año de la plantación en función del máximo número de días consecutivos sin precipitación superior a 5 mm. Diferentes símbolos representan las especies consideradas. [Percentage of failed plants during the plantation year based on the maximum number of consecutive days without a rainfall greater than 5 mm. Different symbols represent the species considered.]

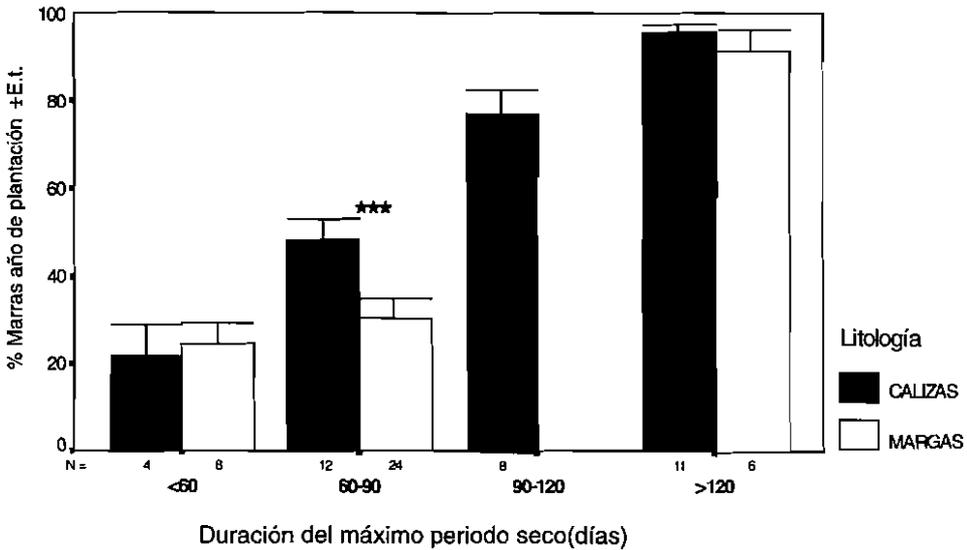


Fig. 4. Porcentajes de marras durante el primer año de la plantación, en función de la litología y duración del máximo periodo seco (días consecutivos sin precipitación superior a 5 mm.). *** Diferencias significativas ($p < 0.05$). [Percentage of failed plants during the first year of the plantation, in relation to the lithology and duration of the maximum dry period (consecutive days without rainfall greater than 5 mm). *** significant differences ($p < 0.05$).]

rios, entre el 50 y el 70%; duraciones superiores a 100 días se manifiestan en un porcentaje comprendido entre el 20-30% de los años. En un análisis de la duración del período seco en Cataluña (LANA & BURGUEÑO 1998), considerando el número de días con menos de 0.1 mm, han evaluado que para una duración de 140 días el período de retorno es de 50 años (sur de Tarragona), para la misma zona y un periodo de retorno de 2 años, la duración del período seco es de 50 días.

El comportamiento para cada una de las especies consideradas puede observarse en la Figura 3. Para un mismo período de sequía, la especie que presenta un mayor porcentaje de marras es *Q. coccifera* y la menos sensible *Pinus halepensis*, sin embargo esta última especie es la que presenta un peor ajuste.

La mayor variabilidad tiene lugar para duraciones intermedias del período seco (60-90 días), situaciones en las cuales se manifiestan con mayor claridad el resto de factores ambientales y técnicos que inciden en el resultado de la repoblación.

Al igual que con la globalidad de los datos, *Pinus halepensis* presenta la mayor variabilidad en los periodos secos menos extremos. El distinto origen de los plantones no es la causa de dicha variabilidad ya que, tanto para esta duración, como para la globalidad de los datos, no existen diferencias significativas entre los distintos viveros. Los datos disponibles parecen indicar un peor comportamiento de los plantones que presentan una menor biomasa radicular, independientemente de la biomasa aérea (tabla 5). En relación con la disponibilidad hídrica del suelo, uno de los factores que parecen influir en la aparición de marras en *Pinus halepensis* es el contenido en limos finos y arcillas (figura 5). La relación existente entre el porcentaje de marras de esta especie y el contenido en limo fino + arcillas del suelo, para los periodos secos intermedios (entre 60 y 90 días) presenta un $R^2 = 0.374$ (sig F = 0.005 y 17 g.l.).

En la carrasca tampoco se detectan diferencias significativas entre viveros (en esta especie las diferencias entre los mismos son menos contrastadas que en *Pinus halepensis*). En los plantones de carrasca, junto al desarrollo del sistema radi-

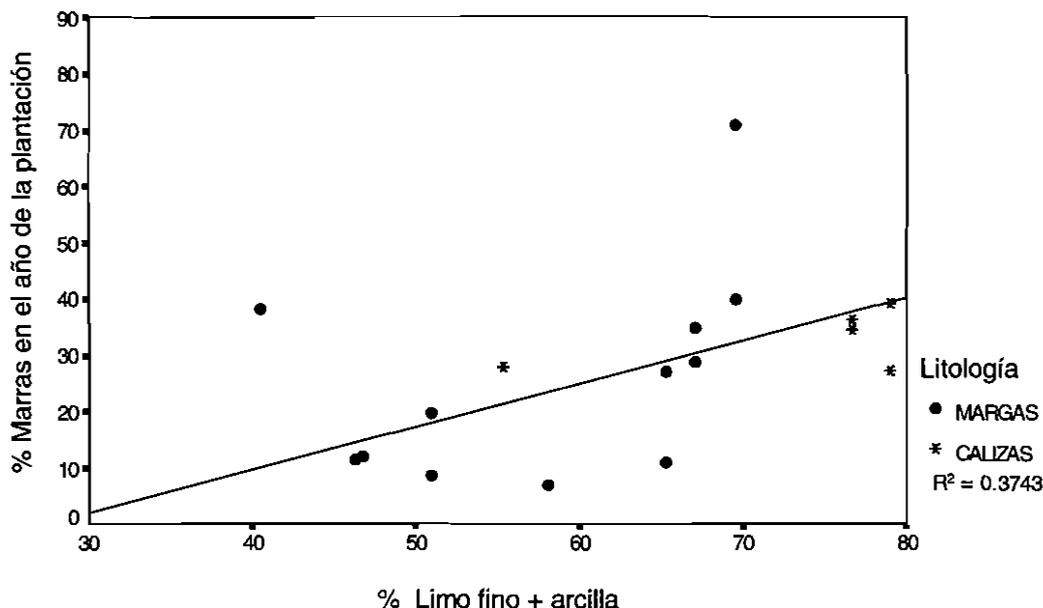


Fig. 5. Porcentajes de marras de *Pinus halepensis*, durante el año de la plantación y en función del contenido en limo fino+arcilla del suelo, en las parcelas con un período seco comprendido entre 60 y 90 días. [Percentage of failed plants of *Pinus halepensis*, during the first year of the plantation, in relation to the fine silt + clay content of the soil, in the plots experiencing a dry period of between 60 and 90 days.]

TABLA 5
PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS PLANTONES UTILIZADOS POR VIVERO DE PROCEDENCIA (LAS SIGLAS DEL VIVERO SE UTILIZAN COMO CRITERIO DE DIFERENCIACIÓN) Y PORCENTAJES DE MARRAS EN FUNCIÓN DE LA DURACIÓN DEL PERIODO SECO. [MAIN CHARACTERISTICS OF THE SEEDLINGS BY NURSERY (THE NURSERY ABBREVIATIONS ARE USED AS DIFFERENTIATION CRITERIA) AND PERCENTAGE OF FAILED PLANTS BASED ON THE DURATION OF THE DRY PERIOD.]

Especie	Año	Características medias de los plantones								% Marras		
		Vivero	Contenedor	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Esbeltez	Biomasa Aérea gr	Biomasa Subt. gr	B. Subt./ B. aérea	Duración período seco (días)		
										<60	60-90	>90
<i>Pinus halepensis</i>	92	A								13.3	37.5	
	93	B	Forest-pot	28.4	0.34	83.53	2.29	1.66	0.72	4.4	8.9	66.7
		C	Bolsa	8.1	0.22	36.82	0.82	1.35	1.65		21.5	
		D	Bolsa	5.3	0.14	37.86	0.23	0.23	1.00	17.0	24.5	71.2
<i>Quercus coccifera</i>	93	E	Forest-pot	5.8	0.25	23.20	1.63	1.55	0.95	36.4	57.7	90.3
	94	F	Bolsa	11.3	0.17	66.47	1.02	1.33	1.30			100.0
		E	Forest-pot	13.2	0.22	60.00	0.95	1.77	1.86			99.0
<i>Quercus ilex</i> spp. ballota	92	G	Bolsa	8.1			1.16	2.30	1.98	45.3	41.0	
	93	C	Bolsa	18.1	0.32	56.56	1.78	2.68	1.51	30.7	63.5	81.5
		G	Bolsa	9.0	0.23	39.13	1.08	2.08	1.93	23.7	44.4	
		H								20.0	50.0	
		E	Bolsa	10.5	0.2	52.50	0.90	1.73	1.92			89.6
94	E	Forest-pot	16.3	0.21	77.62	1.47	1.40	0.95			90.0	
	E	Super-leach	10.7	0.21	50.95	1.13	1.97	1.74			82.5	

cular parece influir, en este caso de manera negativa, el desarrollo de la parte aérea, aunque los datos disponibles no son suficientes para extraer conclusiones definitivas.

CONCLUSIONES

Se constata una falta de adecuación de los valores estacionales y mensuales para determinar la influencia de la meteorología en la aparición de marras durante el año de plantación. La insensibilidad de dichos valores no permite reflejar la incidencia que efectos puntuales (especialmente altas temperaturas en cortos períodos) pueden tener en los plantones.

Igualmente, las metodologías de balance hídrico tampoco tienen suficiente sensibilidad para recoger la variabilidad mensual, ni engloban variables que presentan una importante incidencia en estos procesos.

Por el contrario, en estudios regionales que cubran un amplio abanico de condiciones meteorológicas, la duración del período seco permite, de una manera relativamente sencilla, analizar la influencia de las condiciones meteorológicas en la aparición de marras, explicando más del 60% de la variabilidad registrada.

En las condiciones analizadas, Centro y Sur de la Comunidad Valenciana, al menos en un 20%

de los años se registran períodos secos superiores a los 100 días de duración, dando lugar a porcentajes de marras superiores al 50%.

Para un año concreto, en situaciones consideradas normales (períodos inferiores a 3 meses sin precipitaciones) existen otros factores como la litología, calidad de planta, características de ejecución, etc., que aportan mayor variabilidad en los resultados:

- Para situaciones intermedias (60-90 días sin precipitaciones superiores a 5 mm), la litología influye significativamente en los resultados, debido a la distinta profundidad (inferior en calizas) y, para pino carrasco, en función del contenido en elementos finos (limos y arcillas).
- El desarrollo del sistema radicular y, para la carrasca la altura de los plantones, ejercen una notable influencia en los resultados.

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo del programa de investigación en el que se basa este artículo ha sido posible gracias a la financiación de la Conselleria de Medio Ambiente de la Generalitat Valenciana y, complementariamente, de la Comisión Europea a través del proyecto REMECOS (EC5V-CT94:0475) del programa de Medio Ambiente y Clima.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDER, D.; 1981. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. Vol. 2. FAO. Roma.
- ALLUÉ ANDRADE, J. L.; FERNÁNDEZ CANCIO, A.; 1993. Estado actual y expectativas de la fitoclimatología forestal. Aspectos fitológicos y dendrológicos. In Congreso forestal español. Tomo I. Lourizan. pp 71-85.
- BELDA, F. 1997. Climatología y Teledetección en zonas forestales de la provincia de Alicante. Aplicación a zonas incendiadas. Tesis Doctoral.
- BOSQUE SENDRA, J. 1992. Sistemas de Información Geográfica. Ed. Rialp. 451 pp.
- BURROUGH, P.A. 1996. Introduction to geostatistical interpolation. Faculty of Geographical Sciences, Utrecht University.

- CEAM; 1998. Programa de Investigación y Desarrollo en relación con la restauración de la cubierta vegetal. Informe de la Reunión de Coordinación 1998.
- COSTA M.; 1986. La vegetació al País Valencià. Universitat de València. Secretariat de Publicacions.
- CHICA-OLMO, M., VIVES E. & ABARCA E.; 1986. Métodos geoestadísticos aplicados al análisis de variables espaciales en teledetección. Teledetección y Medio Ambiente. V Reunión Científica Asociación Española de Teledetección. pp 173-178.
- DOUGUEDROIT, A. (1980). La sécheresse estivale dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Méditerranée, pp. 13-21. Tomado de BELDA 1997
- GARCÍA SALMERÓN, J.; 1991. Manual de repoblaciones forestales. Tomo I. Fundación Conde del Valle de Salazar.
- GOLZ HENRY & BORING R. Characterizing the site: Environment, associated vegetation, and site potential. In: Forest regeneration manual. Duryea, M.L. & Dougherty, P.M.(eds.), 163-182. Kluwer. Dordrecht.
- GÓMEZ-SANZ V. & ELENA R.; 1997. Investigación de las marras causadas por factores ecológicos de naturaleza meteorológica. 1ª Reunión del Grupo de Trabajo sobre Repoblación Forestal de la S.E.C.F. Madrid. pp. 13-25
- HAASE D.L. & ROSE, R.; 1993. Soil moisture stress induces transplant shock in stored and unstored 2+0 Douglas-fir seedlings of varying root volumes. *Forest Sci.*, 39: 275-294.
- LANA X. & BURGUEÑO A.; 1998. Spatial and temporal characterization of annual extreme droughts in Catalonia (Northeast Spain). *International Journal of Climatology*, Vol 18, 93-110.
- LANDSBERG, J.; 1986. *Physiological Ecology of Forest Production*. Academic Press.
- MARTIN VIDE, J.; 1984. Análisis de la irregularidad de la precipitación diaria en el litoral mediterráneo de la Península Ibérica. *Rev. de Geofísica* 40. pp 101-106.
- MATNEY T.G. & HODGES J.D.; 1991. Evaluating regeneration success. In: *Forest regeneration manual*. Duryea, M.L., Dougherty, P. M. edit. Kluwer. 321-331.
- MONTERO DE BURGOS J.L. & GONZÁLEZ REBOLLAR J.L.; 1983. Diagramas bioclimáticos. Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza.
- NAHAL I.; 1981. The mediterranean climate from a biological viewpoint. In *Ecosystems of the World*, Vol 11: Mediterranean-type shrublands. Di Castri, F.; Goodall D. y Specht R. Edit. Elsevier. 63-86
- NATIONAL DROUGHT MITIGATION CENTER; 1998. *Drought Indices*. University of Nebraska-Lincoln.
- PALUTIKOF, J.P.; CONTE M.; CASIMIRO MENDES, J.; GOODESS, C.M. & ESPIRITO SANTO, F.; 1996. Climate and climatic change. In: *Mediterranean desertification and land use*. C.J. Brandt & J.B. Thornes ed. pp 43-86.
- PÉREZ CUEVA A.J. & ESCRIVÁ ORTEGA J.L.; 1982. Aspectos climáticos de las sequías en el ámbito mediterráneo. *Cuad. de Geogr.* 30, 1-12.
- PÉREZ CUEVA, A. J.; 1988. Notas sobre el concepto, los métodos de estudio y la génesis de las sequías. *Cuad. de Geogr.* 44. 139-144.
- PÉREZ CUEVA, A. J.; 1994. Atlas climático de la Comunidad Valenciana, 1961-1990. Serie publicaciones de Divulgación Técnica. Colección Territori N.º 4. Generalitat Valenciana.

- PIERVITALI E., COLACINO M. & CONTE M.; 1997. Space-time precipitation patterns in the western-central mediterranean basin. INM/WMO International Symposium on Cyclones and Hazardous Weather in Mediterranean. pp. 589-592.
- POESEN J., WESEMAEL B. & BUNTE K.; 1997. Soils containing rock fragments and their response to desertification. In Atlas of Mediterranean Environments in Europe Ed. Mairota P., Thornes B. & Geeson N.Wiley. pp. 126-128.
- RAMOS, M.C. & PORTA J.; 1993. Modelos de distribución espacio-temporal de las lluvias en la zona mediterránea del Anioia-Penedes. Influencia en la sostenibilidad de los cultivos de la zona. Ecología, N.º 7, pp. 47-56.
- RAWL, W.J., AHUJA, L.R. & BRAKENSIEK, D.L.; 1992. Estimating soil hydraulic properties from soils data. In: Van Genuchten, M.T., Leij, F.J. & Lund, L.J. (eds.). Indirect methods for estimating the hydraulic properties of unsaturated soils. University of California, Riverside. pp. 329-340.
- ROY J., GARBNIER E. & JACKSON E.; 1985. Response of two perennial grasses to water availability in different habitats related to successional change under Mediterranean climate conditions. In Plant Response to Stress. Funtional analysis in Mediterranean Ecosystems. Tenhunen, J.D., Catarino, F.M., Lange O. l., Oechel W. edit. Springer Verlag. pp. 175-190
- SQUIRE, R.O., ATTIWILL, P.M. & NEALES T.F.; 1987, Effects of changes of available water and nutrients on growth, root development and water use in *Pinus radiata* seedlings. Aust. For. Res., 17:99-11
- THORNTHWAITE, C.W. 1948. An approach towards a rational classification of climate. Geographical Review, 38:55-94
- VILAGROSA A., SEVA J.P., VALDECANTOS A., CORTINA J., ALLOZA J. A., SERRASOLSAS I., ABRIL M., DIEGO V., BELLOT J. & VALLEJO, V.R.; 1996. Plantaciones para la restauración forestal en la Comunidad Valenciana. In: La Restauración de la Cubierta Vegetal en la Comunidad Valenciana. Fundación CEAM. 435-546.