

## 1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Entre las diferentes formas de evaluar la productividad potencial de un ecosistema se encuentran aquellas que elaboran índices de síntesis, capaces de cuantificar la influencia de los factores ecológicos que, incidiendo en un momento dado sobre dicho ecosistema, dan lugar a producciones variables para las diferentes estaciones y con diferentes especies forestales.

Claramente los factores ecológicos más importantes a considerar son los climáticos y los derivados de la distinta naturaleza del substrato litológico, como capaces de generar suelos con diferentes características y condicionamientos que permitan alcanzar altas producciones de las masas forestales instaladas o, por el contrario, limitando dichas producciones.

De acuerdo con lo anterior, en el año 1.977 se publicó el Mapa de Productividad Potencial Forestal de la España Peninsular (GANDULLO, J.M. y SERRADA, R.) a escala 1:1000.000. En dicho mapa se cuantifican los factores climáticos mediante la utilización del índice climático de Paterson (1.956), modificándose los valores obtenidos en dicho índice, en función de la presencia de diferentes substratos litológicos.

La aplicación evidente que, para la planificación y gestión territoriales, ha tenido el citado mapa, a diferentes niveles, es múltiple y muy importante, habiéndose considerado en diferentes trabajos de síntesis, al constituir una información básica del Medio Natural de primera magnitud. Cabe citar, entre otras, su inclusión en la elaboración del Mapa de Series de Vegetación de España de S. Rivas Martínez (1.987). En los últimos años, esta aplicación se ha acrecentado al producirse un incremento de la actividad forestal en relación con los planes de reforestación propiciados por la puesta en marcha del Real Decreto 387/1993, de 12 de marzo, por el que se establece un régimen de ayudas para fomentar inversiones forestales en explotaciones agrarias y acciones de desarrollo y aprovechamiento de los bosques en zonas rurales.

Sin embargo el citado mapa, realizado hace más de 20 años, utilizó, para su elaboración, los datos meteorológicos de la red nacional existente en ese momento, así como la cartografía litológica disponible a escala nacional.

Hoy se dispone de una red de observatorios meteorológicos aún insuficiente, pero considerablemente más numerosa que cuando se realizó el mapa citado. Por otra parte, existen publicados por el I.T.G.E. la totalidad de mapas geolitológicos a escala 1:200.000 y en algunas zonas a escala más detallada (1:50.000), incorporando una información mucho más precisa y extensa que en la cartografía anterior.

A lo anterior hay que añadir que el mapa citado solo cubre el territorio peninsular español y, por otra parte, se elaboró a la manera tradicional, mediante el dibujo de los recintos correspondientes en papel, lo cual dificulta su aplicación en el momento actual, donde es práctica común el uso de soportes digitales que permiten la integración de la variada información existente en diferentes Sistemas de Información Geográfica.

Consecuencia de todo lo anterior, se consideró factible e importante abordar la realización de una nueva cartografía de la productividad potencial forestal a una escala más detallada como es la 1:200.000, en el ámbito provincial, cubriendo todo el territorio español, en formato digital y basándose en los mismos esquemas metodológicos utilizados para el existente a escala 1:1.000.000, pero incorporando la mayor y mejor información de base disponible en el momento actual.

Para la realización de la citada cartografía, en el año 1994 se firmó un Convenio de Cooperación entre la Universidad Politécnica de Madrid (Departamento de Silvopascicultura) y el entonces Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ICONA), hoy Dirección General de Conservación de la Naturaleza del Ministerio de Medio Ambiente. A lo largo de cuatro años se llevó a cabo la elaboración de la cartografía de las 50 provincias que integran la totalidad del territorio español, a escala 1:200.000.

Esta publicación explica de forma resumida el trabajo realizado y pone a disposición de los usuarios que lo precisen los resultados de la mencionada cartografía en formato digital. Asimismo, incluye un mapa a escala 1:1000.000 de la Productividad Potencial Forestal de España.

## 2. ESQUEMA METODOLÓGICO

La metodología empleada para la elaboración de los mapas provinciales de la Productividad Potencial Forestal a escala 1:200.000 ha. sido básicamente la utilizada para el Mapa Nacional a escala 1:1.000.000 de Gandullo y Serrada ya referido. De acuerdo con ello, se parte del concepto de productividad potencial forestal como la máxima producción maderera que se puede llegar a obtener en un monte que cumpla las siguientes condiciones:

- a) Suelo estable, en equilibrio con el clima y evolucionado con arreglo al condicionamiento fijado por el substrato.
- b) Gestión técnica adecuada que suponga la ordenación de los aprovechamientos, la conservación de la espesura normal y la regeneración natural de la masa.
- c) Buen estado fitosanitario.
- d) Especie de mayor crecimiento y compatible con la estabilidad del medio.

Este concepto de productividad trata de unificar los factores de diversa índole (ecológicos y humanos) que inciden, en un momento dado, sobre el ecosistema forestal y que dan lugar a producciones variables para distintas estaciones y con distintas especies. De esta forma se convierte en un índice de síntesis, capaz de ser utilizado para establecer comparaciones entre diferentes áreas forestales.

Para cuantificar dicha productividad potencial la metodología empleada utiliza como base el índice climático de Paterson (1956), modificado en función de la presencia de distintos substratos litológicos, en el sentido de considerar a éstos como capaces de generar suelos con diferentes características y condicionamientos que permitan alcanzar altas producciones de las masas arbóreas instaladas o, por el contrario, limiten dichas producciones, tal como ya se ha expresado anteriormente.

De todo lo anterior se desprende la necesidad de realizar dos etapas fundamentales e independientes, previas a la realización de la cartografía definitiva de la productividad potencial forestal: la elaboración de la cartografía de la productividad climática y la definición y cartografía de las clases litológicas isoproductivas.

### 3. PRODUCTIVIDAD CLIMÁTICA

Esta fase incluye la confección del mapa de productividad climática, mediante la cartografía a escala 1:200.000 de zonas isoproductivas, de acuerdo con los valores alcanzados por el índice de Paterson.

Dicho índice tiene como expresión:

$$I = V.F.P.G/12.A$$

I: Valor del índice.

V: Temperatura media del mes más cálido, en °C.

A: Rango anual de temperaturas, estimado por la diferencia entre la media de las máximas del mes más cálido y la media de las mínimas del mes más frío, expresadas en °C.

P: Precipitación media anual, en mm.

F: Factor de insolación, estimado mediante el cociente:

$$2.500/(INSOL + 1.000)$$

en el que INSOL es la insolación media anual, expresada en horas.

G: Duración del período vegetativo. De acuerdo con el criterio de Gaussen, se considera como mes activo para la vegetación forestal aquél en el que la precipitación, expresada en mm, iguala o supera al doble de la temperatura media de ese mes, en °C, siempre que ésta sea igual o superior a 6 °C.

La productividad potencial, en m<sup>3</sup> de madera/Ha/año está ligada a este índice mediante la expresión logarítmica:

$$PROD = 5,3 \log I - 7,4$$

De acuerdo con los valores de este índice se establecen en general las clases de productividad potencial climática que aparecen en la Tabla 1:

Tabla 1  
Clases de Productividad Climática

| CLASE | PRODUCTIVIDAD<br>(m <sup>3</sup> /ha/año) |
|-------|---|
| I     | > 7,50                                    |
| II    | 6,00 - 7,50                               |
| III   | 4,50 - 6,00                               |
| IV    | 3,00 - 4,50                               |
| V     | 1,50 - 3,00                               |
| VI    | 0,50 - 1,50                               |
| VII   | < 0,50                                    |

**Datos meteorológicos utilizados.**

El material básico de partida para la elaboración de los índices de Paterson necesarios para el cálculo de la productividad ha sido el conjunto de datos climáticos medios proporcionados por la red de observatorios existente en toda el territorio español facilitados por el Instituto Nacional de Meteorología y con un número de años suficiente para garantizar, en lo posible, la fiabilidad de los valores medios. Las estaciones utilizadas han sido todas las de primer orden, las termopluviométricas y las pluviométricas. En total se han utilizado 2.924 estaciones, de las cuales 1.096 han sido termopluviométricas y las 1.828 restantes pluviométricas.

En el Anexo 1 de esta publicación figuran un conjunto de Cuadros con la relación de las estaciones utilizadas en el trabajo. Se han numerado correlativamente, por orden alfabético en bloques según la provincia a que pertenecen y la naturaleza (pluvio ó termopluviométrica) de cada una de ellas, figurando asimismo la situación geográfica correspondiente (coordenadas U.T.M. en kilómetros referidas al huso 30, excepto en las provincias canarias que se sitúan en el huso 28) y la altitud en metros sobre el nivel del mar.

**Asignación de datos climáticos.**

Con objeto de disponer de la mayor densidad de puntos en todo el territorio, con vistas a la obtención de líneas isoproductivas, se ha procedido a la asignación de los datos térmicos, necesarios para el cálculo del índice de Paterson, a las estaciones pluviométricas.

Esta asignación se ha realizado en la mayoría de los casos elaborando modelos de regresión lineal múltiple, obtenidos mediante el empleo del algoritmo paso a paso, tomando como variables independientes la altitud y los valores que determinan la posición geográfica de cada estación (coordenadas Xutm e Yutm) y como variable regresora cada una de las temperaturas mensuales, la temperatura media de las máximas del mes más cálido y la temperatura media de las mínimas del mes más frío.

En lo que se refiere al territorio peninsular español, para la obtención de los modelos, se ha considerado necesario dividir dicho territorio en recintos coincidentes con las cuencas hidrográficas principales, elaborándose los modelos de forma independiente para cada una de ellas. Esta división es la que aparece en la Figura 1.

La elección de las variables regresoras se ha realizado tras un examen previo univariable de la estructura de los datos disponibles, al nivel de correlaciones, entendiendo que la altitud es fundamental e indiscutible, pues no en vano ha sido casi siempre la utilizada para estos fines. Pero, teniendo en cuenta la amplitud que, en general, presentan, desde el punto de vista superficial, cada una de las cuencas a las que serán de aplicación los modelos a obtener, se ha considerado oportuno añadir a la altitud otras variables que aporten información al modelo, consecuencia de reflejar la posición geográfica de la estación dentro de la cuenca.

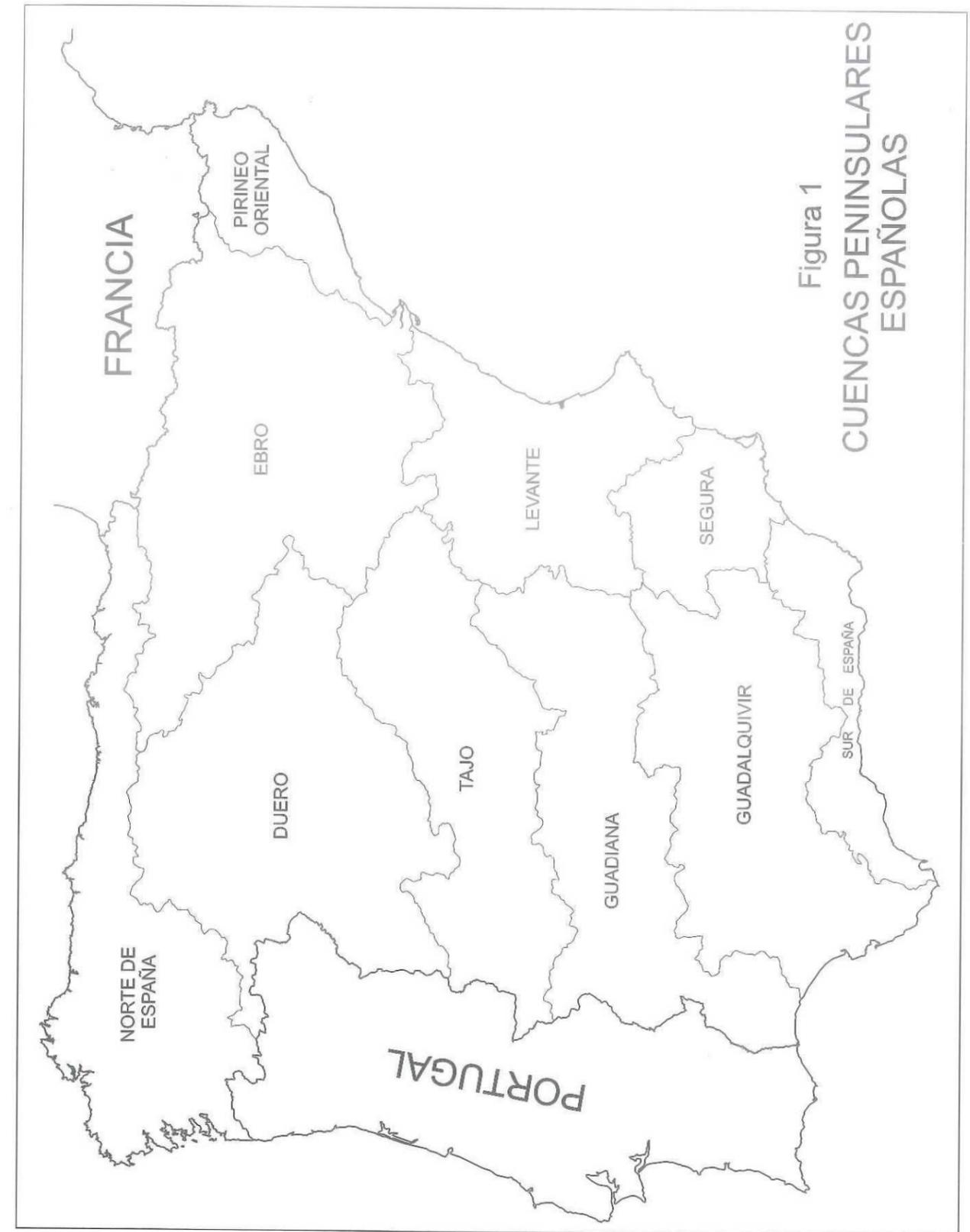


Figura 1  
CUENCAS PENINSULARES  
ESPAÑOLAS

Del examen de las variables regresoras antes referidas se ha considerado la posibilidad de que el modelo incluya alguna de estas mismas transformadas. Varios tanteos han sugerido que la transformación del cuadrado de la variable, en muchos casos puede aportar una mayor explicación que la variable simple.

Consecuencia de lo anterior, los modelos elaborados han sido del tipo:

$$T = a + b.(Altitud/10^3) + c.(Xutm/10^5) + d.(Yutm/10^5) + e.(Altitud/10^3)^2 + f.(Xutm/10^5)^2 + g.(Yutm/10^5)^2$$

La altitud y las coordenadas U.T.M se introducen, en el modelo, divididas respectivamente por 10<sup>3</sup> y 10<sup>5</sup>, dada las unidades utilizadas en estas variables.

Se han realizado estimaciones de temperaturas medias mensuales (TEN, TFB, ....., TDC), temperatura media de las máximas del mes más cálido (TMMAX) y media de las mínimas del mes más frío (TMMIN); es decir, 14 modelos para cada cuenca, lo que supone un total de 140 regresiones.

Los modelos finales obtenidos son los que siguen en las siguientes Tablas, de la 2 a la 11, para cada cuenca hidrográfica. En las Tablas citadas se reflejan, para cada valor climático, los coeficientes del modelo de regresión correspondiente, el coeficiente de determinación múltiple (ρ), el error standard de la estimación y el valor de la F de Snedecor para los grados de libertad (g.l) que aparecen entre paréntesis, así como su significación estadística (\*\*\*) 99,9%).

Para el territorio insular de Baleares, la asignación se ha realizado tras varios tanteos previos elaborando modelos de regresión simple, tomando como variable independiente la altitud de la estación y como variable regresora cada una de las temperaturas mensuales. Para la media de las máximas del mes más cálido y la media de las mínimas del mes más frío, los mejores ajustes se han obtenido por mínimos cuadrados, a partir de los datos existentes y fijando las pendientes de las rectas iguales a las obtenidas para las temperaturas medias de los meses de agosto y enero, respectivamente.

Los modelos obtenidos son del tipo T = a + b.Altitud y son los que figuran en la Tabla 12, donde también se expresan los valores del coeficiente de correlación (ρ), su significación estadística, el error estándar de la estimación y el valor de la F de Snedecor para los grados de libertad (g.l) que aparecen entre paréntesis, así como su significación estadística.

Para las Islas Canarias, el problema de la asignación climática es más complejo, habiéndonos basado en el análisis efectuado en el *Estudio Ecológico del pino canario* (BLANCO *et al*, 1989), al cual nos remitimos, por el que se procede a la elaboración de modelos por el método de los mínimos cuadrados, estableciendo previamente gradientes altitudinales diferentes según la orientación general de las estaciones, así como de las zonas altitudinales en que se encuentran. Se trata con ello de hacer patente la influencia que, en estas islas, sobre todo las más occidentales, tiene la presencia de los vientos alisios, capaces de provocar, en muchas épocas del año, permanentes mares de nubes, cuyo reflejo en las condiciones térmicas es evidente.

El número de horas de sol anual, necesario para el cálculo del parámetro F del índice de Paterson, solo lo suministran los escasos observatorios existentes de primer orden. La asignación a todo el conjunto de estaciones utilizadas se ha realizado mediante interpolación lineal a partir de los datos disponibles.

Tabla 2

CUENCA DEL NORTE DE ESPAÑA  
 MODELOS DE ESTIMACIÓN DE TEMPERATURAS  
 $T = a + b(Alt/10^3) + c(Xutm/10^5) + d(Yutm/10^5) + e(Alt/10^3)^2 + f(Xutm/10^5)^2 + g(Yutm/10^5)^2$

| MESES | a            | b         | c         | d           | e         | f         | g         | F      | g.l.    | Sig. | ρ    | Err.Std |
|-------|--------------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|--------|---------|------|------|---------|
| TEN   | 2490,958440  | -5,663332 | 0         | -104,458871 | 0         | 0         | 1,098909  | 155,78 | (3,118) | ***  | 0,89 | 0,90    |
| TFB   | 30,544423    | -5,932810 | 0         | -0,439418   | 0         | 0         | 0         | 262,37 | (2,119) | ***  | 0,90 | 0,83    |
| TMZ   | 39,914135    | -5,589881 | 0         | -0,603014   | 0         | 0         | 0         | 246,70 | (2,119) | ***  | 0,90 | 0,80    |
| TAB   | 46,409365    | -6,170081 | 0,483897  | 0           | 0         | -0,072438 | -0,015024 | 154,31 | (4,117) | ***  | 0,92 | 0,75    |
| TMY   | -2153,397447 | -5,603257 | 0,895498  | 92,930720   | 0         | -0,122752 | -0,995491 | 92,72  | (5,116) | ***  | 0,89 | 0,76    |
| TJN   | -2046,313453 | -3,559980 | 0,841722  | 88,993895   | -1,282501 | -0,098191 | -0,958976 | 57,45  | (6,115) | ***  | 0,87 | 0,84    |
| TJL   | -3143,277947 | -3,966475 | 0,828006  | 135,394826  | 0         | -0,098894 | -1,448604 | 40,36  | (5,116) | ***  | 0,80 | 0,94    |
| TAG   | -2157,006644 | -4,053201 | 0,861073  | 93,569384   | 0         | -0,109751 | -1,005212 | 36,58  | (5,116) | ***  | 0,78 | 0,93    |
| TSP   | 47,728660    | -3,796941 | 0,223324  | 0           | 0         | 0         | -0,013096 | 66,28  | (3,118) | ***  | 0,79 | 0,93    |
| TOC   | 27,989929    | -5,068665 | 0,139175  | 0           | 0         | 0         | -0,005629 | 151,59 | (3,118) | ***  | 0,89 | 0,79    |
| TNV   | 11,822962    | -7,709670 | 0         | 0           | 2,970852  | 0         | 0         | 115,61 | (2,119) | ***  | 0,81 | 1,03    |
| TDC   | 2747,940999  | -4,510704 | -0,711388 | -115,835701 | 0         | 0,104098  | 1,224930  | 58,20  | (5,116) | ***  | 0,85 | 1,02    |
| TMMAX | -6678,907889 | 0         | 1,623217  | 285,893931  | -3,297681 | -0,233071 | -3,047663 | 33,77  | (5,116) | ***  | 0,77 | 1,34    |
| TMMIN | 4281,911313  | -4,949582 | -0,838030 | -180,492069 | 0         | 0,122080  | 1,904250  | 41,08  | (5,116) | ***  | 0,80 | 1,36    |

Tabla 3

CUENCA DEL DUERO  
 MODELOS DE ESTIMACION DE TEMPERATURAS  
 $T = a + b(\text{Alt}/10^3) + c(\text{Xutm}/10^5) + d(\text{Yutm}/10^5) + e(\text{Alt}/10^3)^2 + g(\text{Yutm}/10^5)^2$

| MESES | a          | b         | c         | d          | e        | g         | F      | g.l.    | Sig. | $\rho$ | Err.Std |
|-------|------------|-----------|-----------|------------|----------|-----------|--------|---------|------|--------|---------|
| TEN   | 29,714837  | -4,334746 | -0,263726 | -0,475319  | 0        | 0         | 88,88  | (3,112) | ***  | 0,84   | 0,76    |
| TFB   | 29,537115  | -5,537109 | 0         | -0,442442  | 0        | 0         | 198,35 | (2,113) | ***  | 0,88   | 0,69    |
| TMZ   | 693,035615 | -6,397453 | 0         | -29,132888 | 0        | 0,311700  | 109,83 | (3,112) | ***  | 0,86   | 0,79    |
| TAB   | 737,618711 | -7,106829 | 0         | -30,921697 | 0        | 0,330953  | 122,65 | (3,112) | ***  | 0,88   | 0,83    |
| TMY   | 48,913713  | -6,677688 | 0         | -0,649898  | 0        | 0         | 185,16 | (2,113) | ***  | 0,88   | 0,88    |
| TJN   | 40,152528  | -7,118444 | 0         | 0          | 0        | -0,007830 | 190,05 | (2,113) | ***  | 0,88   | 0,94    |
| TJL   | 50,588035  | -6,830046 | 0         | 0          | 0        | -0,011321 | 150,37 | (2,113) | ***  | 0,85   | 1,11    |
| TAG   | 48,588957  | -6,459733 | 0         | 0          | 0        | -0,010770 | 169,39 | (2,113) | ***  | 0,87   | 0,99    |
| TSP   | 55,269434  | -6,483637 | 0         | -0,708510  | 0        | 0         | 139,12 | (2,113) | ***  | 0,84   | 1,01    |
| TOC   | 721,928131 | -9,930666 | 0         | -30,028658 | 1,500814 | 0,320782  | 98,41  | (4,111) | ***  | 0,88   | 0,80    |
| TNV   | 921,844845 | -8,586070 | 0         | -39,035225 | 1,419162 | 0,418997  | 5,81   | (4,111) | ***  | 0,86   | 0,74    |
| TDC   | 685,126014 | -7,791349 | 0         | -28,979921 | 1,497192 | 0,310367  | 50,65  | (4,111) | ***  | 0,80   | 0,77    |
| TMMAX | 56,331922  | -7,493341 | 0         | 0          | 0        | -0,009784 | 90,57  | (2,113) | ***  | 0,78   | 1,48    |
| TMMIN | 29,333022  | -9,832808 | 0         | -0,524893  | 2,600537 | 0         | 51,37  | (3,112) | ***  | 0,76   | 1,02    |

Tabla 4

CUENCA DEL TAJO  
 MODELOS DE ESTIMACION DE TEMPERATURAS  
 $T = a + b(\text{Alt}/10^3) + c(\text{Xutm}/10^5) + e(\text{Alt}/10^3)^2 + f(\text{Xutm}/10^5)^2 + g(\text{Yutm}/10^5)$

| MESES | a         | b          | c         | e         | f        | g         | F      | g.l.    | Sig. | $\rho$ | Err.Std |
|-------|-----------|------------|-----------|-----------|----------|-----------|--------|---------|------|--------|---------|
| TEN   | 12,593437 | -4,692297  | -1,609720 | 0         | 0,137228 | 0         | 173,86 | (3,102) | ***  | 0,91   | 0,83    |
| TFB   | 11,815516 | -5,627613  | -0,405808 | 0         | 0        | 0         | 291,13 | (2,103) | ***  | 0,92   | 0,85    |
| TMZ   | 32,448591 | 0          | -1,959616 | -2,997380 | 0,208294 | -0,008893 | 144,49 | (4,101) | ***  | 0,92   | 0,93    |
| TAB   | 36,745662 | 0          | -1,807427 | -3,250710 | 0,190937 | -0,009742 | 145,69 | (4,101) | ***  | 0,92   | 0,99    |
| TMY   | 23,648607 | -7,150828  | -1,528626 | 0         | 0,176913 | 0         | 172,45 | (3,102) | ***  | 0,91   | 1,04    |
| TJN   | 25,536020 | -7,973244  | 0         | 0         | 0        | 0         | 490,28 | (1,104) | ***  | 0,91   | 1,14    |
| TJL   | 68,223819 | 0          | 0         | -3,181860 | 0        | -0,021282 | 121,24 | (2,103) | ***  | 0,84   | 1,61    |
| TAG   | 63,320322 | 0          | 0         | -3,244236 | 0        | -0,019053 | 188,75 | (2,103) | ***  | 0,89   | 1,27    |
| TSP   | 28,129225 | -6,786808  | -1,800617 | 0         | 0,199931 | 0         | 101,11 | (3,102) | ***  | 0,87   | 1,33    |
| TOC   | 23,926556 | -6,362215  | -2,449002 | 0         | 0,265505 | 0         | 174,78 | (3,102) | ***  | 0,91   | 1,00    |
| TNV   | 30,327577 | 0          | -1,914414 | -2,458777 | 0,189947 | -0,008048 | 130,46 | (4,101) | ***  | 0,92   | 0,86    |
| TDC   | 8,976903  | 0          | -0,602913 | -2,410326 | 0        | 0         | 221,33 | (2,103) | ***  | 0,90   | 0,85    |
| TMMAX | 42,458517 | -10,067517 | -1,985009 | 0         | 0,298425 | 0         | 88,71  | (3,102) | ***  | 0,85   | 1,85    |
| TMMIN | 4,873938  | 0          | -0,910962 | -1,706673 | 0        | 0         | 107,68 | (2,103) | ***  | 0,82   | 1,15    |

Tabla 5

**CUENCA DEL GUADIANA  
MODELOS DE ESTIMACIÓN DE TEMPERATURAS**

$$T = a + b(\text{Alt}/10^3) + c(\text{Xutm}/10^5) + d(\text{Yutm}/10^5) + e(\text{Alt}/10^3)^2 + f(\text{Xutm}/10^5)^2 + g(\text{Yutm}/10^5)^2$$

| MESES | a            | b         | c         | d          | e         | f         | g         | F      | g.l.   | Sig. | ρ    | Err.Std |
|-------|--------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|--------|--------|------|------|---------|
| TEN   | 874,275208   | -4,707420 | 0         | -39,579144 | 0         | -0,062897 | 0,453138  | 126,36 | (4,70) | ***  | 0,94 | 0,74    |
| TFB   | 40,140627    | -5,012988 | -0,286064 | -0,659543  | 0         | 0         | 0         | 158,62 | (3,71) | ***  | 0,93 | 0,70    |
| TMZ   | 14,568120    | -5,106187 | -0,400089 | 0          | 0         | 0         | 0         | 182,24 | (2,72) | ***  | 0,91 | 0,74    |
| TAB   | 17,168476    | -5,160292 | -0,341951 | 0          | 0         | 0         | 0         | 137,96 | (2,72) | ***  | 0,89 | 0,82    |
| TMY   | 29,614402    | -5,361578 | 0         | 0          | 0         | 0         | -0,005101 | 71,33  | (2,72) | ***  | 0,82 | 1,00    |
| TJN   | 23,185630    | 0         | 0         | 0          | -4,636777 | 0         | 0         | 119,31 | (1,73) | ***  | 0,79 | 0,89    |
| TJL   | -1361,217471 | 0         | 0         | 65,007863  | -2,575674 | 0         | -0,761104 | 23,75  | (3,71) | ***  | 0,71 | 0,91    |
| TAG   | -1256,031159 | 0         | 0         | 60,302143  | -2,020254 | 0         | -0,708879 | 18,26  | (3,71) | ***  | 0,66 | 0,98    |
| TSP   | 36,926871    | -3,223020 | 1,219015  | 0          | 0         | -0,195834 | -0,008134 | 38,04  | (4,70) | ***  | 0,83 | 0,83    |
| TOC   | 37,969089    | -4,372805 | 0         | -0,432838  | 0         | -0,057169 | 0         | 87,14  | (3,71) | ***  | 0,89 | 0,88    |
| TNV   | 909,824059   | -3,737769 | 0         | -41,319295 | 0         | -0,090568 | -0,476149 | 112,01 | (4,70) | ***  | 0,93 | 0,76    |
| TDC   | 1683,011892  | 0         | -0,336028 | -77,069497 | -3,098999 | 0         | 0,886835  | 106,08 | (4,70) | ***  | 0,93 | 0,74    |
| TMMAX | -1540,114700 | 0         | 0,755761  | 74,442242  | -4,178991 | 0         | -0,880186 | 11,53  | (4,70) | ***  | 0,63 | 1,25    |
| TMMIN | 768,926942   | -1,709585 | -0,932633 | -34,825897 | 0         | 0         | 0,397227  | 78,78  | (4,70) | ***  | 0,90 | 1,00    |

Tabla 6

**CUENCA DEL GUADALQUIVIR  
MODELOS DE ESTIMACIÓN DE TEMPERATURAS**

$$T = a + b(\text{Alt}/10^3) + c(\text{Xutm}/10^5) + d(\text{Yutm}/10^5) + e(\text{Alt}/10^3)^2 + f(\text{Xutm}/10^5)^2 + g(\text{Yutm}/10^5)^2$$

| MESES | a            | b         | c        | d          | e         | f         | g         | F      | g.l.   | Sig. | ρ    | Err.Std |
|-------|--------------|-----------|----------|------------|-----------|-----------|-----------|--------|--------|------|------|---------|
| TEN   | 53,019359    | -4,156187 | 0        | -1,026544  | 0         | 0         | 0         | 233,80 | (2,83) | ***  | 0,92 | 0,71    |
| TFB   | 28,093263    | -4,043405 | 0        | 0          | 0         | 0         | -0,009643 | 224,45 | (2,83) | ***  | 0,92 | 0,67    |
| TMZ   | 25,540681    | -4,696751 | 0,380711 | 0          | 0         | 0         | -0,007485 | 74,85  | (3,82) | ***  | 0,86 | 0,82    |
| TAB   | 16,120830    | -4,000820 | 0        | 0          | 0         | 0         | 0         | 160,30 | (1,84) | ***  | 0,81 | 0,93    |
| TMY   | -1718,271491 | 0         | 0,782471 | 84,021768  | -5,090679 | 0         | -1,016894 | 30,06  | (4,81) | ***  | 0,77 | 1,02    |
| TJN   | -1141,973214 | -4,788162 | 3,393073 | 55,501532  | 0         | -0,348093 | -0,664313 | 19,04  | (5,80) | ***  | 0,74 | 1,07    |
| TJL   | -1687,379385 | -4,254454 | 3,578642 | 81,708594  | 0         | -0,346026 | -0,977352 | 22,19  | (5,80) | ***  | 0,76 | 1,04    |
| TAG   | -1945,581903 | 0         | 1,116123 | 94,947407  | -4,478583 | 0         | -1,144468 | 23,80  | (4,81) | ***  | 0,73 | 1,02    |
| TSP   | -926,935542  | -4,777183 | 2,901123 | 45,530917  | 0         | -0,308834 | -0,548065 | 25,70  | (5,80) | ***  | 0,79 | 0,91    |
| TOC   | 26,520967    | -4,752375 | 1,655806 | 0          | 0         | -0,191986 | -0,005982 | 69,41  | (4,81) | ***  | 0,88 | 0,78    |
| TNV   | 49,585367    | -4,018269 | 0        | -0,858041  | 0         | 0         | 0         | 145,68 | (2,83) | ***  | 0,88 | 0,84    |
| TDC   | 58,821290    | -4,189543 | 0        | -1,160059  | 0         | 0         | 0         | 229,66 | (2,83) | ***  | 0,92 | 0,74    |
| TMMAX | -3755,554160 | -5,011896 | 4,153886 | 181,294814 | 0         | -0,442064 | -2,171434 | 25,61  | (5,80) | ***  | 0,78 | 1,32    |
| TMMIN | 1396,336903  | -2,764774 | 0        | -65,878582 | 0         | 0         | 0,779488  | 39,62  | (3,82) | ***  | 0,77 | 1,17    |

Tabla 7

**CUENCA DEL SUR DE ESPAÑA**  
**MODELOS DE ESTIMACIÓN DE TEMPERATURAS**  
 $T = a + b(\text{Alt}/10^3) + d(\text{Yutm}/10^5) + e(\text{Alt}/10^3)^2 + g(\text{Yutm}/10^5)^2$

| MESES | a            | b         | d          | e         | g         | F      | g.l.   | Sig. | $\rho$ | Err.Std |
|-------|--------------|-----------|------------|-----------|-----------|--------|--------|------|--------|---------|
| TEN   | -4409,698016 | -4,784181 | 217,541457 | 0         | -2,675334 | 58,52  | (3,38) | ***  | 0,91   | 0,98    |
| TFB   | 12,902648    | -4,742715 | 0          | 0         | 0         | 175,86 | (1,40) | ***  | 0,90   | 0,94    |
| TMZ   | 14,549467    | -4,840975 | 0          | 0         | 0         | 168,52 | (1,40) | ***  | 0,90   | 0,98    |
| TAB   | 16,515179    | -4,833975 | 0          | 0         | 0         | 157,01 | (1,40) | ***  | 0,89   | 1,02    |
| TMY   | 18,561394    | 0         | 0          | -2,765679 | 0         | 99,67  | (1,40) | ***  | 0,84   | 1,10    |
| TJN   | 21,780202    | 0         | 0          | -2,431332 | 0         | 56,94  | (1,40) | ***  | 0,77   | 1,28    |
| TJL   | -63,470460   | 0         | 2,172353   | -2,038328 | 0         | 24,65  | (2,39) | ***  | 0,75   | 1,14    |
| TAG   | -43,297631   | 0         | 1,687877   | -2,148911 | 0         | 28,23  | (2,39) | ***  | 0,77   | 1,10    |
| TSP   | 22,830398    | 0         | 0          | -2,522846 | 0         | 85,05  | (1,40) | ***  | 0,82   | 1,09    |
| TOC   | 19,662254    | -4,712905 | 0          | 0         | 0         | 156,59 | (1,40) | ***  | 0,89   | 0,99    |
| TNV   | 15,488424    | -4,792815 | 0          | 0         | 0         | 134,03 | (1,40) | ***  | 0,88   | 1,09    |
| TDC   | 12,832897    | -4,876158 | 0          | 0         | 0         | 112,73 | (1,40) | ***  | 0,86   | 1,21    |
| TMMAX | -147,990681  | 0         | 4,389427   | -2,118540 | 0         | 16,90  | (2,39) | ***  | 0,68   | 1,67    |
| TMMIN | -7232,857289 | -4,121294 | 357,117174 | 0         | -4,402931 | 28,20  | (3,38) | ***  | 0,83   | 1,39    |

Tabla 8

**CUENCA DEL SEGURA**  
**MODELOS DE ESTIMACIÓN DE TEMPERATURAS**  
 $T = a + b(\text{Alt}/10^3) + c(\text{Xutm}/10^5) + d(\text{Yutm}/10^5) + e(\text{Alt}/10^3)^2 + f(\text{Xutm}/10^5)^2 + g(\text{Yutm}/10^5)^2$

| MESES | a           | b         | c         | d         | e         | f         | g         | F      | g.l.   | Sig. | $\rho$ | Err.Std |
|-------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|--------|------|--------|---------|
| TEN   | 45,703621   | -4,793559 | 0         | 0         | 0         | 0         | -0,019824 | 181,20 | (2,70) | ***  | 0,92   | 0,96    |
| TFB   | -19,609543  | -4,245295 | 16,480268 | 0         | 0         | -1,276485 | -0,012323 | 101,31 | (4,68) | ***  | 0,93   | 0,91    |
| TMZ   | -34,977020  | -4,094392 | 19,559643 | 0         | 0         | -1,521163 | -0,007909 | 108,02 | (4,68) | ***  | 0,93   | 0,85    |
| TAB   | -47,465428  | -4,255603 | 20,173762 | 0         | 0         | -1,595689 | 0         | 174,49 | (3,69) | ***  | 0,94   | 0,73    |
| TMY   | 19,189410   | -1,563331 | 0         | 0         | -2,346497 | 0         | 0         | 211,95 | (2,70) | ***  | 0,93   | 0,77    |
| TJN   | -99,885889  | -4,216385 | 27,383653 | 0,939840  | 0         | -2,227558 | 0         | 102,15 | (4,68) | ***  | 0,93   | 0,72    |
| TJL   | -105,888478 | -3,529654 | 27,880241 | 1,138610  | 0         | -2,286390 | 0         | 57,24  | (4,68) | ***  | 0,88   | 0,78    |
| TAG   | -71,649041  | -4,290041 | 24,192571 | 0,608416  | 0         | -1,992192 | 0         | 83,88  | (4,68) | ***  | 0,91   | 0,76    |
| TSP   | 23,581088   | -2,449006 | 0         | 0         | -1,989099 | 0         | 0         | 231,66 | (2,70) | ***  | 0,93   | 0,80    |
| TOC   | 13,031210   | -5,121771 | 14,591476 | -0,928816 | 0         | -1,172019 | 0         | 138,16 | (4,68) | ***  | 0,94   | 0,81    |
| TNV   | 76,429348   | -5,074643 | 0         | -1,471169 | 0         | 0         | 0         | 182,03 | (2,70) | ***  | 0,92   | 1,00    |
| TDC   | 84,281364   | -4,955226 | 0         | -1,735994 | 0         | 0         | 0         | 157,16 | (2,70) | ***  | 0,90   | 1,07    |
| TMMAX | -41,346870  | 0         | 0         | 1,765015  | -2,311448 | 0         | 0         | 29,27  | (2,70) | ***  | 0,67   | 1,45    |
| TMMIN | 56,575569   | -3,870106 | 0         | -1,217054 | 0         | 0         | 0         | 60,49  | (2,70) | ***  | 0,80   | 1,33    |

Tabla 9

**CUENCA DE LEVANTE**  
**MODELOS DE ESTIMACIÓN DE TEMPERATURAS**  
 $T = a + b(\text{Alt}/10^3) + c(\text{Xutm}/10^5) + d(\text{Yutm}/10^5) + e(\text{Alt}/10^3)^2 + f(\text{Xutm}/10^5)^2 + g(\text{Yutm}/10^5)^2$

| MESES | a         | b         | c         | d         | e         | f        | g         | F      | g.l.   | Sig. | ρ    | Err.Std |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|--------|--------|------|------|---------|
| TEN   | 12,821482 | -7,407405 | 0,959440  | 0         | 1,765520  | 0        | -0,004763 | 278,74 | (4,92) | ***  | 0,96 | 0,82    |
| TFB   | 21,147441 | -5,587754 | 0,665409  | -0,334985 | 0         | 0        | 0         | 373,70 | (3,93) | ***  | 0,96 | 0,80    |
| TMZ   | 27,477568 | -5,670064 | 0         | -0,323810 | 0         | 0        | 0         | 382,60 | (2,94) | ***  | 0,94 | 0,87    |
| TAB   | 15,313475 | -3,488021 | 0         | 0         | -1,909497 | 0        | 0         | 407,34 | (2,94) | ***  | 0,95 | 0,82    |
| TMY   | 26,078370 | -2,670413 | 0         | 0         | -1,939255 | 0        | -0,003969 | 178,03 | (3,93) | ***  | 0,92 | 0,93    |
| TJN   | 29,677799 | -2,084738 | -1,058900 | 0         | -3,067171 | 0        | 0         | 157,82 | (3,93) | ***  | 0,91 | 0,92    |
| TJL   | 41,708579 | 0         | -1,102735 | 0         | -3,605555 | 0        | -0,004705 | 88,54  | (3,93) | ***  | 0,86 | 0,99    |
| TAG   | 42,421563 | -1,943452 | -0,995442 | 0         | -2,503626 | 0        | -0,005183 | 83,96  | (4,92) | ***  | 0,89 | 1,01    |
| TSP   | 31,098715 | -3,336605 | 0         | 0         | -1,441202 | 0        | -0,004262 | 163,68 | (3,93) | ***  | 0,92 | 0,98    |
| TOC   | 18,918586 | -6,257949 | 0         | 0         | 0         | 0        | 0         | 920,92 | (1,95) | ***  | 0,95 | 0,84    |
| TNV   | 25,231312 | -5,660324 | 0,792581  | -0,384162 | 0         | 0        | 0         | 292,77 | (3,93) | ***  | 0,95 | 0,93    |
| TDC   | 17,553218 | -5,380956 | 1,176156  | -0,344215 | 0         | 0        | 0         | 299,89 | (3,93) | ***  | 0,95 | 0,94    |
| TMMAX | 62,929565 | 0         | -2,851558 | 0         | -3,144141 | 0        | -0,005955 | 38,95  | (3,93) | ***  | 0,75 | 1,39    |
| TMMIN | 12,598733 | -4,388766 | 0         | 0         | 0         | 0,129194 | 0,007339  | 153,01 | (3,93) | ***  | 0,91 | 1,30    |

Tabla 10

**CUENCA DEL PIRINEO ORIENTAL**  
**MODELOS DE ESTIMACIÓN DE TEMPERATURAS**  
 $T = a + b(\text{Alt}/10^3) + c(\text{Xutm}/10^5) + d(\text{Yutm}/10^5) + f(\text{Xutm}/10^5)^2 + g(\text{Yutm}/10^5)^2$

| MESES | a                         | b         | c         | d           | f         | g         | F      | g.l.   | Sig. | ρ    | Err.Std |
|-------|---------------------------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|--------|--------|------|------|---------|
| TEN   | 7906,952157               | -3,642700 | 0         | -338,724853 | 0,145694  | 3,624835  | 68,65  | (4,63) | ***  | 0,90 | 1,01    |
| TFB   | 4877,628885               | -4,718279 | 0         | -208,783376 | 0,080650  | 2,234854  | 116,80 | (4,63) | ***  | 0,94 | 0,79    |
| TMZ   | 11,699748                 | -5,468818 | 0         | 0           | 0         | 0         | 554,30 | (1,66) | ***  | 0,95 | 0,67    |
| TAB   | 14,085617                 | -5,334381 | 0         | 0           | 0         | 0         | 361,63 | (1,66) | ***  | 0,92 | 0,81    |
| TMY   | -3730,353490              | -5,681560 | -0,895150 | 161,002760  | 0         | -1,724980 | 81,33  | (4,63) | ***  | 0,92 | 0,81    |
| TJN   | -5022,399744              | -5,828182 | -1,199782 | 216,939977  | 0         | -2,327290 | 91,49  | (4,63) | ***  | 0,92 | 0,78    |
| TJL   | -5172,375877              | -5,817617 | 0         | 223,096860  | -0,077095 | -2,391024 | 74,82  | (4,63) | ***  | 0,91 | 0,84    |
| TAG   | -4649,972005              | -5,882545 | -1,453530 | 201,284181  | 0         | -2,160495 | 102,09 | (4,63) | ***  | 0,93 | 0,76    |
| TSP   | 21,521560                 | -5,395801 | 0         | 0           | 0         | 0         | 407,28 | (1,66) | ***  | 0,93 | 0,77    |
| TOC   | 17,128088                 | -5,797464 | 0         | 0           | 0         | 0         | 393,08 | (1,66) | ***  | 0,93 | 0,84    |
| TNV   | 5689,619463               | -4,109285 | 0         | -243,114991 | 0,123216  | 2,596983  | 89,74  | (4,63) | ***  | 0,92 | 0,90    |
| TDC   | 9192,907600               | -3,782287 | 0         | -394,180722 | 0,150860  | 4,222785  | 79,61  | (4,63) | ***  | 0,91 | 0,98    |
| TMMAX | -1,674019.10 <sup>4</sup> | -7,903393 | 0         | 719,483578  | -0,276624 | -7,704466 | 52,08  | (4,63) | ***  | 0,88 | 1,24    |
| TMMIN | 13320,016728              | -2,091713 | 0         | -570,820864 | 0,216749  | 6,107141  | 31,58  | (4,63) | ***  | 0,82 | 1,61    |

Tabla 11

**CUENCA DEL EBRO**  
**MODELOS DE ESTIMACIÓN DE TEMPERATURAS**  
 $T = a + b(\text{Alt}/10^3) + c(\text{Xutm}/10^5) + d(\text{Yutm}/10^5) + e(\text{Alt}/10^3)^2 + f(\text{Xutm}/10^5)^2 + g(\text{Yutm}/10^5)^2$

| MESES | a            | b         | c        | d          | e         | f         | g         | F      | g.l.    | Sig. | p    | Err.Std |
|-------|--------------|-----------|----------|------------|-----------|-----------|-----------|--------|---------|------|------|---------|
| TEN   | 35,793346    | -3,825303 | 0        | -0,609265  | 0         | -0,019754 | 0         | 218,63 | (3,203) | ***  | 0,87 | 0,89    |
| TFB   | 37,622229    | -4,984491 | 0        | -0,626284  | 0         | 0         | 0         | 576,92 | (2,204) | ***  | 0,92 | 0,83    |
| TMZ   | -1095,961966 | -4,926197 | 0        | 48,627724  | 0         | 0         | -0,533597 | 446,16 | (3,203) | ***  | 0,93 | 0,84    |
| TAB   | -1614,576987 | -4,218109 | 0,261995 | 71,223110  | -0,697439 | 0         | -0,779305 | 283,72 | (5,201) | ***  | 0,94 | 0,94    |
| TMY   | -2024,603955 | -5,435869 | 0,343097 | 89,244722  | 0         | 0         | -0,975539 | 419,08 | (4,202) | ***  | 0,94 | 0,93    |
| TJN   | -2536,324910 | -4,128526 | 2,448187 | 111,311824 | -0,675834 | -0,155332 | -1,214978 | 299,76 | (6,200) | ***  | 0,95 | 0,94    |
| TJL   | -2920,853015 | -3,654538 | 2,533799 | 128,170034 | -0,828038 | -0,153511 | -1,398574 | 233,59 | (6,200) | ***  | 0,94 | 1,10    |
| TAG   | -2829,093378 | -3,637906 | 0,263888 | 124,626291 | -0,855780 | 0         | -1,361204 | 310,21 | (5,201) | ***  | 0,94 | 1,02    |
| TSP   | -1981,929776 | -5,023314 | 0        | 87,655030  | 0         | 0         | -0,958364 | 503,39 | (3,203) | ***  | 0,94 | 0,90    |
| TOC   | -624,356133  | -5,069230 | 0,159209 | 28,420127  | 0         | 0         | -0,315309 | 306,16 | (4,202) | ***  | 0,93 | 0,88    |
| TNV   | 49,516199    | -4,092223 | 0        | -0,831445  | 0         | -0,009244 | 0         | 353,32 | (3,203) | ***  | 0,92 | 0,76    |
| TDC   | 33,950437    | -3,612406 | 0        | -0,550780  | 0         | -0,028465 | 0         | 243,57 | (3,203) | ***  | 0,88 | 0,82    |
| TMMAX | -4624,675930 | 0         | 3,066433 | 202,143597 | -2,993020 | -0,191390 | -2,199175 | 222,07 | (5,201) | ***  | 0,92 | 1,41    |
| TMMIN | 27,298032    | -5,414809 | 0        | -0,474874  | 0,885028  | -0,054089 | 0         | 97,01  | (4,202) | ***  | 0,81 | 1,29    |

Tabla 12

**BALEARES**  
**MODELOS DE ESTIMACIÓN DE TEMPERATURAS**  
 $T = a + b.Alt$

| MESES | a       | b         | p     | Sig. | Err.Std | g.l.    | F     | Sig. |
|-------|---------|-----------|-------|------|---------|---------|-------|------|
| TEN   | 10,3019 | -0,006507 | -0,82 | ***  | 0,64    | (1,12)  | 23,83 | ***  |
| TFB   | 10,5201 | -0,006911 | -0,81 | ***  | 0,70    | (1,12)  | 22,27 | ***  |
| TMZ   | 12,2266 | -0,005216 | -0,72 | ***  | 0,70    | (1,12)  | 12,77 | ***  |
| TAB   | 14,2944 | -0,004549 | -0,73 | ***  | 0,59    | (1,12)  | 13,72 | ***  |
| TMY   | 17,7920 | -0,004874 | -0,83 | ***  | 0,45    | (1,12)  | 26,73 | ***  |
| TJN   | 21,5432 | -0,004356 | -0,75 | ***  | 0,54    | (1,12)  | 15,04 | ***  |
| TJL   | 24,4497 | -0,004526 | -0,79 | ***  | 0,48    | (1,12)  | 20,31 | ***  |
| TAG   | 24,9384 | -0,005717 | -0,88 | ***  | 0,42    | (1,12)  | 42,98 | ***  |
| TSP   | 22,8338 | -0,006282 | -0,88 | ***  | 0,48    | (1,12)  | 40,08 | ***  |
| TOC   | 18,5764 | -0,006988 | -0,87 | ***  | 0,55    | (1,12)  | 37,64 | ***  |
| TNV   | 14,3724 | -0,006584 | -0,82 | ***  | 0,63    | (1,125) | 25,35 | ***  |
| TDC   | 11,7895 | -0,006619 | -0,85 | ***  | 0,57    | (1,12)  | 31,02 | ***  |
| TMMAX | 29,8597 | -0,005717 | -     | -    | -       | -       | -     | -    |
| TMMIN | 6,3233  | -0,006507 | -     | -    | -       | -       | -     | -    |

**Cartografía de la Productividad Potencial Climática.**

La asignación, para todas las estaciones disponibles, de los valores climáticos antes referidos ha permitido la obtención de los parámetros necesarios para el cálculo del índice de Paterson y, en consecuencia, de la Productividad Potencial Climática correspondiente. Los valores calculados son los que figuran en los cuadros del Anexo 2.

Con los valores anteriores se ha abordado la cartografía de la productividad climática correspondiente mediante la obtención de las isolíneas fronteras de las clases.

El procedimiento utilizado ha sido el de interpolación utilizando el método "Kriging", mediante el cual se estiman los valores correspondientes a los puntos de una malla rectangular, envolvente de la superficie total. El algoritmo utilizado se basa en el análisis de autocorrelación espacial por medio del uso del variograma. Para estos cálculos se ha utilizado el software incluido en el paquete informático SURFER versión 5.00 de Golden Software Inc. 1993-94.

El resultado de esta interpolación se ha integrado en el S.I.G. ARCINFO en formato vectorial, generándose un conjunto de coberturas de polígonos, fronteras de separación de clases de productividad para cada provincia. Con objeto de hacer patente un mayor detalle, se han considerado subdivisiones de las clases de productividad climática inicialmente consideradas, estableciendo intervalos de media clase de productividad para las clases II a la VI, y tres subclases para la clase I. Para la clase VII, con menos de 0,5 m<sup>3</sup>/ha/año, no procede la subdivisión.

Consecuencia de lo anterior, los intervalos de las clases de productividad climática quedan establecidos de acuerdo con lo expresado en la Tabla 13.

Tabla 13  
Clases subdivididas de Productividad Climática

| CLASE | PRODUCTIVIDAD CLIMÁTICA (m <sup>3</sup> /ha/año) |
|-------|--|
| Ia    | > 9,00   |
| Ib    | 8,25 - 9,00                                      |
| Ic    | 7,50 - 8,25                                      |
| IIa   | 6,75 - 7,50                                      |
| IIb   | 6,00 - 6,75                                      |
| IIIa  | 5,25 - 6,00                                      |
| IIIb  | 4,50 - 5,25                                      |
| IVa   | 3,75 - 4,50                                      |
| IVb   | 3,00 - 3,75                                      |
| Va    | 2,25 - 3,00                                      |
| Vb    | 1,50 - 2,25                                      |
| VIa   | 1,00 - 1,50                                      |
| VIb   | 0,50 - 1,00                                      |
| VII   | < 0,50   |

A escala reducida se presenta en la Figura 2 un mapa de las clases de productividad potencial climática para todo el territorio español.

Interesa destacar que la presencia de la clase VII, de productividad prácticamente nula, corresponde, por una parte a las áreas que reúnen las condiciones climáticas más desfavorables para la existencia de bosques productivos y que han quedado establecidas por el correspondiente valor del índice de Paterson. Pero este índice no refleja claramente el límite altitudinal del bosque, es decir, aquellas zonas de cotas elevadas en las que la presencia de vegetación arbórea susceptible de producir madera se reduce al mínimo o claramente se anula. Hemos creído conveniente segregar estas áreas, fijando dicho límite altitudinal, en función de las temperaturas estivales, cuando el valor medio de estas es inferior a los 10°C e incluyéndolas dentro de esta clase VII.

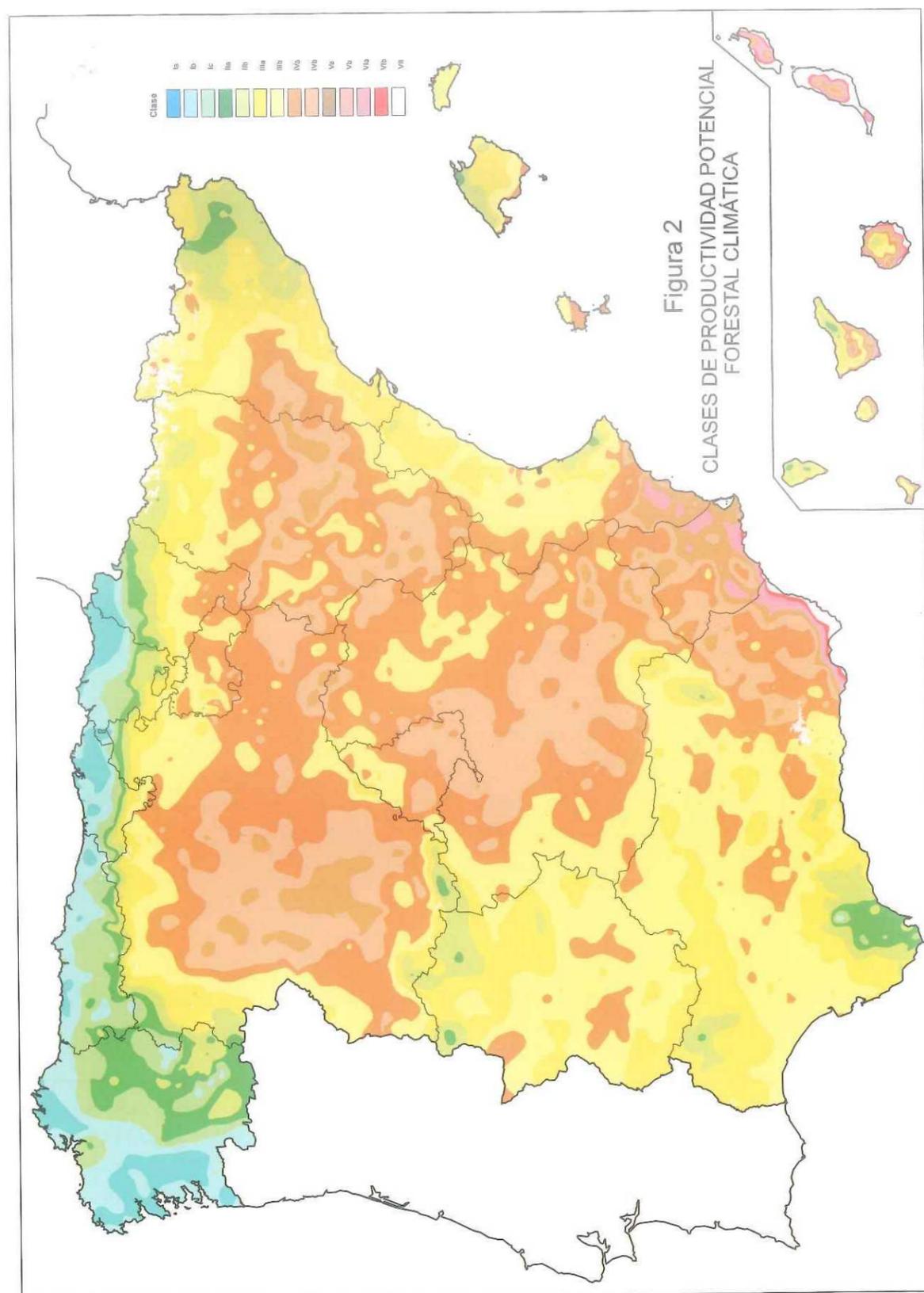


Figura 2  
CLASES DE PRODUCTIVIDAD POTENCIAL FORESTAL CLIMÁTICA

#### 4. CLASES LITOLÓGICAS ISOPRODUCTIVAS

Como se dijo anteriormente, de acuerdo con el método propuesto en la confección del mapa nacional a escala 1:1.000.000, la realización de un mapa de productividad forestal potencial se basa en la combinación del empleo de índices climáticos y de la evaluación de las diferentes litofacies en cuanto a su acción como formadores del suelo. Este segundo aspecto se refiere al establecimiento de la influencia que los distintos substratos litológicos ejercen sobre la mayor o menor producción de las masas arbóreas, como consecuencia de dar lugar a suelos de diferentes características.

Esta influencia se pone de manifiesto mediante el establecimiento de una clasificación de litofacies, con arreglo a las características productivas de los suelos a los que dan lugar. Dicha clasificación consiste en la asignación de cada unidad litológica a una clase litológica isoproductiva.

El material de trabajo lo ha constituido, por una parte las hojas del Mapa de Síntesis Geológica de España, publicado en su totalidad para todo el territorio nacional a escala 1:200.000, como síntesis de toda la cartografía existente, por el I.G.M.E (Instituto Geológico y Minero de España), actualmente denominado I.T.G.E (Instituto Tecnológico Geominero de España). Asimismo han sido utilizadas las hojas que recientemente se han publicado por el mismo Organismo, del Mapa Geológico de España a la misma escala. Esta cartografía substituye, a medida que se va publicando, al anteriormente citado, y está basada en las hojas publicadas del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000, con la consiguiente unificación de criterios y de leyenda para todo el territorio nacional.

Para el establecimiento de la homologación isoproductiva de las diferentes litologías, se ha partido del conjunto de unidades litológicas recogidas en la cartografía disponible, procediéndose a agruparlas de acuerdo con criterios de semejanza en relación con las siguientes características:

- a) Homogeneidad total de litofacies, independientemente de su edad y características genéticas.
- b) Asimilación de unidades heterogéneas, de alternancia de bancos de diferentes litofacies, con unidades compuestas de litofacies mezcla de las mismas componentes, con características equivalentes.
- c) Semejanzas de litofacies en relación con los componentes minerales, así como en la consistencia de los sedimentos presentes.
- d) Semejanzas en relación con las características de los posibles suelos ideales que los diferentes substratos litológicos pueden originar, en cuanto a su influencia en la producción forestal. Estas características estarán marcadas fundamentalmente por factores edáficos relativos a la pedregosidad, capacidad de retención de agua, posibilidad de encharcamiento, fertilidad mineral, contenido en caliza activa y reacción del suelo.

Según SERRADA (1976), todas estas características son las que determinan el tipo de suelo al que da lugar una litofacies, si bien, es necesario tener en cuenta la influencia del clima en los procesos pedogenéticos. Por consiguiente, es necesario distinguir, a la hora de la clasificación de litofacies, el tipo de clima que va a intervenir en la formación del suelo forestal. Con este fin, se ha establecido una separación entre las zonas de clima seco y húmedo de las comarcas implicadas, basada en la clasificación fitoclimática de ALLUE, J.L. (1990). Siguiendo este criterio se consideran como de clima húmedo las clases VI(IV)<sub>4</sub>, VI(VII), VI(V), VI, VIII(VI), y X(IX)<sub>1</sub>, en las que no hay un periodo sensible de aridez (sequía de duración inferior a 1,25 meses o nula). El resto del territorio corresponderá a un clima seco, con una época apreciable de sequía estival. En la Figura 3 se presentan, aproximadamente, las zonas correspondientes a cada tipo de clima para todo el territorio español.

A continuación se hace una breve referencia a la influencia de las litofacies en las diferentes propiedades del suelo, de acuerdo con la metodología de SERRADA (1976).

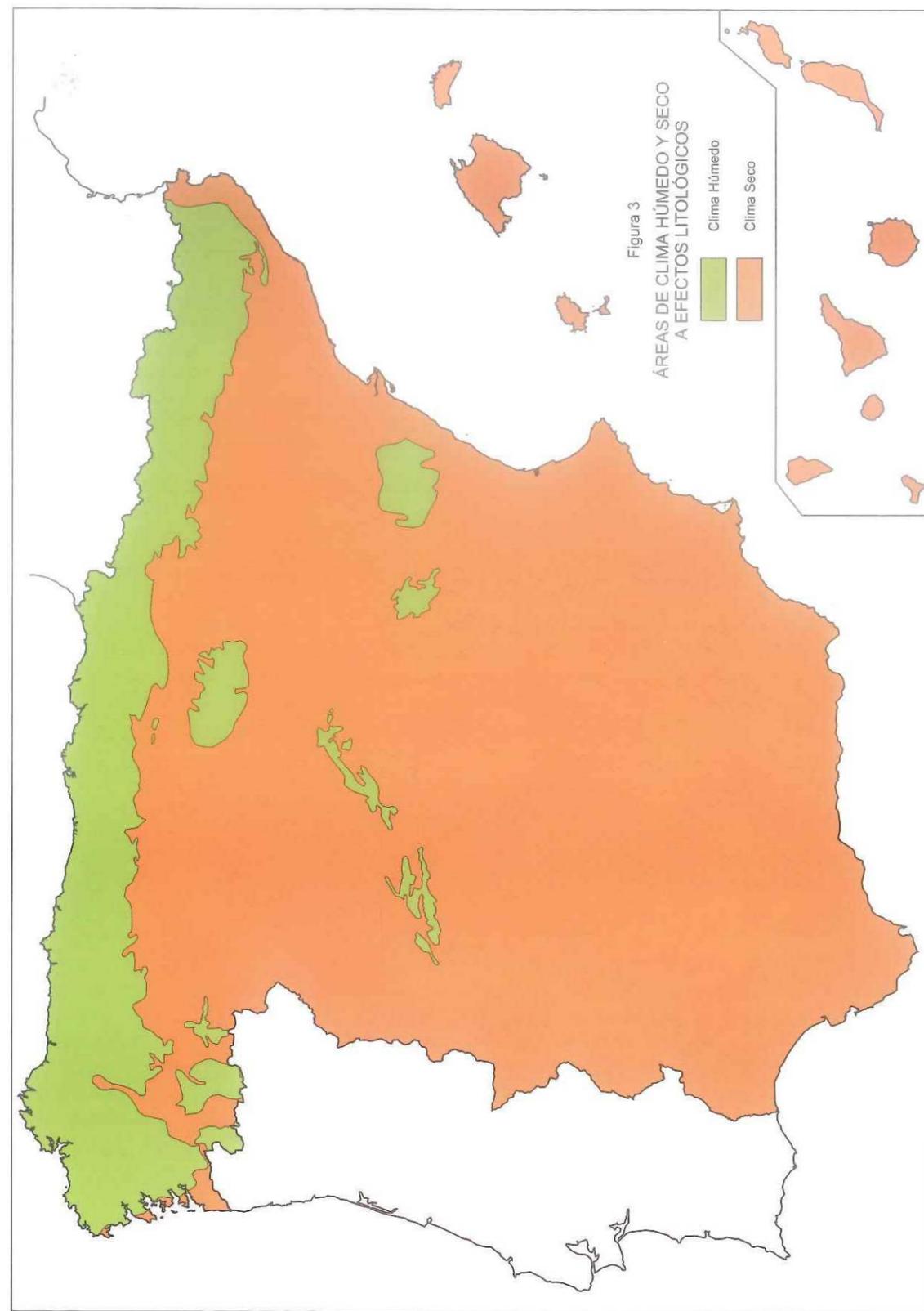


Figura 3  
ÁREAS DE CLIMA HÚMEDO Y SECO  
A EFECTOS LITOLÓGICOS

Clima Húmedo  
Clima Seco

### Pedregosidad

La pedregosidad del suelo resultante dependerá de la pedregosidad intrínseca de la litofacies (p. ej. aluviones, gravas, arenales), o de su facilidad para disgregarse, bien sea en función de su grado de consolidación original, de su estructura, o de su comportamiento ante ataques químicos. De este modo, una pizarra o un esquistos se disgregarán más fácilmente que una roca de similar consolidación, pero de estructura más isotropa. Por otra parte, una roca carbonatada, a igualdad de otras circunstancias, se disgregará más fácilmente que una roca silíceas, más resistente a las reacciones químicas más comunes. La acción del clima determina que la disgregación sea más fácil en clima húmedo que en clima seco, con lo que, una caliza, por ejemplo, será más fácilmente disgregable, y dará lugar a suelos menos pedregosos, en un clima húmedo que en un clima seco.

### Textura

Al igual que en el factor anterior, la textura del suelo resultante dependerá de un factor intrínseco de la litofacies original (tamaño de grano), y de otro factor externo, como es la facilidad de alteración de sus componentes. La textura óptima de un suelo sería aquella que conllevara una buena capacidad de retención de agua, pero sin problemas acusados de encharcamiento. Los peores suelos serían, por un lado, los que carecen de capacidad de retención de agua (graveras), y por otro, con características aún más negativas, los que presentan una textura que favorece el encharcamiento en épocas húmedas y la desecación y endurecimiento en época de sequía (arcillas y margas). La influencia del clima, en este caso, se basa en el mayor peligro de encharcamiento bajo clima húmedo, además de la mayor facilidad de alteración de los componentes de la litofacies.

### Fertilidad potencial

Depende de la presencia de macronutrientes en la roca y de su persistencia durante los procesos de formación del suelo, así como de la ausencia de elementos limitantes de los procesos bióticos, como sales solubles (yeso, sal gema, etc.). Así pues, la fertilidad del suelo será mayor cuanto más equilibrada sea la presencia de nutrientes, y cuanto menor sea la proporción de compuestos inertes, como los minerales silíceos. Un factor fundamental en la persistencia de los nutrientes en el suelo será la intensidad de los fenómenos de lavado, que estarán en función, tanto del clima como de la permeabilidad de la roca.

### pH y caliza activa

En esta propiedad es donde la influencia del clima es más determinante. Así, en un clima seco, las litofacies más favorables serán las silíceas con no demasiado cuarzo, que darán lugar a suelos moderadamente ácidos. A medida que se incrementa el contenido en cuarzo, el suelo resultante va aumentando en acidez y en relación carbono/nitrógeno, y su calidad va disminuyendo. Las litofacies calizas o similares serán las de peor calidad, debido fundamentalmente a que originan suelos con pH muy básico.

Sin embargo, en un clima húmedo, al favorecerse la descarbonatación, los suelos procedentes de litofacies calizas reducen la presencia de caliza activa en sus suelos, y dan lugar a pH neutros o moderadamente ácidos. Las litofacies silíceas, por el contrario, pasarán a ser de peor calidad, por su mayor acidez, que puede verse muy incrementada si se generalizan los procesos de lavado.

**Agrupaciones litológicas isoproductivas**

Todos los factores anteriormente reseñados son los que influyen, con mayor o menor peso, según los casos, en la clasificación final de las litofacies, que será diferente, como se ha visto, en función de que el clima sea húmedo o seco. Las ocho clases definidas son equivalentes a las establecidas con carácter general en el anterior mapa de Gandullo y Serrada a escala 1:1.000.000, aplicándoseles los mismos criterios de cuantificación de los efectos en la productividad climática obtenida. Si acudimos a la metodología general por la que se establecen estas clases, recordemos que las características que las definen vienen marcadas por los siguientes rasgos:

**CLASE A**

Corresponde a litologías que dan lugar a suelos que se pueden considerar como óptimos para la producción forestal. No tienen limitaciones considerables en ninguna de sus características

**CLASE B**

Dan lugar a suelos muy adecuados para la producción forestal, si bien pueden presentar alguna característica limitante, que generalmente es una alta pedregosidad potencial, que obliga a distinguir las de las de la clase anterior.

**CLASE C**

Estas litofacies dan lugar a suelos aceptables para la producción, aunque presentan limitaciones en algunas de sus características, que, en ningún caso, llegan a ser excesivas.

**CLASE D**

Los suelos generados por estas litofacies se pueden considerar como mediocres para la producción forestal, por presentar limitaciones sensibles en algunas o varias de las cuatro características consideradas. Estas limitaciones son muy acusadas en una de las características.

**CLASE E**

Suelos deficientes para la producción forestal. Se diferencian de las litofacies de la clase anterior en que la característica más limitante lo es en mucho mayor grado.

**CLASE F**

Suelos muy deficientes para la producción forestal, por presentar una característica limitante en grado extremo, o bien dos fuertemente limitantes, pudiéndose destacar la presencia de sales solubles.

**CLASE G**

Suelos prácticamente improductivos, o litologías que no dan lugar a la creación de suelos.

**CLASE H**

Esta clase está reservada a las zonas con encharcamiento permanente o semipermanente, que se consideran totalmente improductivas desde el punto de vista forestal, por impedir la presencia de vegetación arbórea. En ella hemos incluido, aquellas superficies ocupadas por embalses, lagos, lagunas o marismas de suficiente extensión.

La relación de unidades existentes y la clase litológica correspondiente figura en los Cuadros incluidos en el Anexo 3 de esta publicación. La relación presentada está ordenada por el número de la hoja del mapa litológico 1:200.000 de donde procede la información litológica. Para el caso de Canarias, la falta de uniformidad en la información existente a impedido recoger esta con el mismo detalle que en el resto del territorio, habiéndose optado por la información que figura en el mapa existente a escala 1:1000.000. La relación correspondiente figura al final del citado Anexo 3.

La cuantificación de los efectos, a que antes nos hemos referido, en relación con presencia de una u otra clase litológica, en la productividad climática obtenida, implica la asignación de coeficientes para cada clase litológica que evalúa, en condiciones isoclimáticas, el referido impacto del suelo maduro sobre la productividad potencial. Dichos coeficientes son los que figuran en la siguiente Tabla 14:

Tabla 14  
Asignación de coeficientes a las Clases Litológicas

| CLASE LITOLÓGICA | COEFICIENTE |
|------------------|-------------|
| A                | 1,66        |
| B                | 1,44        |
| C                | 1,22        |
| D                | 1,00        |
| E                | 0,77        |
| F                | 0,55        |
| G                | 0,33        |
| H                | 0,00        |

Estos coeficientes aplicados al valor de la productividad climática correspondiente, conducen a la obtención del valor final de productividad forestal potencial, que es el que se usará para la clasificación definitiva. Como se puede apreciar, las clases 1 a 3 incrementan la productividad climática, por lo que pueden hacer subir alguna clase en la clasificación final, mientras que las clases 5 a 7, por dar lugar a suelos de baja calidad, pueden hacer bajar incluso más de una clase. La clase 4 se considera neutra, y mantiene la productividad climática, mientras que la clase 8 anula el valor de la productividad climática obtenida, y clasifica automáticamente la zona como improductiva.

Toda la información litológica agrupada en clases, tal como se ha descrito anteriormente, se ha plasmado en un conjunto de coberturas provinciales en formato vectorial de ARCINFO, tras la digitalización de las líneas que separan las diferentes clases. De esta forma disponemos de las bases digitales necesarias para efectuar la integración que conducirá a los mapas definitivos de productividad potencial forestal.

## 5. CARTOGRAFÍA DE LA PRODUCTIVIDAD POTENCIAL FORESTAL

La superposición de la información elaborada con anterioridad, tanto de la productividad potencial climática como de las clases litológicas isoproductivas ha permitido la obtención de la productividad potencial forestal definitiva. Disponemos así de dicha información en formato digital, para cada una de las provincias españolas.

Para todo el territorio español, se refleja en la Figura 4 el reparto superficial de las clases de productividad consideradas. Asimismo, en las Figuras 5 a 11 se representan, de forma separada, sendos mapas simplificados, donde aparece la distribución de cada una de las clases de productividad, agrupando las subdivisiones realizadas en cada una de ellas.

A la vistas de los resultados anteriores, pueden hacerse unos breves comentarios, en relación con la distribución de las clases de productividad para el conjunto de todo el territorio español:

### *Clase I: Tierras que no tienen limitaciones para el crecimiento de bosques productivos.*

Esta clase tiene una aceptable representación en el territorio peninsular español. Sus localizaciones más importantes aparecen formando manchas de gran extensión repartidas por toda la Cornisa Cantábrica y Galicia. En manchas algo más dispersas, continua esta clase por el Pirineo y el tercio este de Cataluña. Todas estas manifestaciones corresponden a áreas con una productividad climática alta.

No obstante, esta clase presenta una mayor extensión que la que corresponde a la misma clase climática, consecuencia de la presencia dispersa en todo el territorio de litologías favorables o muy favorables. De este modo, se localizan muy frecuentemente manchas lineares en proximidades a algunos cursos fluviales de cierta importancia.

Destaca, por último, la presencia relativamente importante en Andalucía occidental, con una densidad apreciable en el noroeste de Huelva.

En los territorios insulares de Baleares y Canarias, esta clase tiene una mínima representación, siempre consecuencia de litologías muy favorables.

### *Clase II: Tierras que tienen limitaciones débiles para el crecimiento de bosques productivos.*

Como en la clase anterior, esta mantiene una aceptable representación en el territorio peninsular español, subrayando, en la mayoría de los casos, la Clase I, dentro del ámbito de la clase climática correspondiente.

En conjunto se aprecia su presencia formando recintos de amplia extensión en las laderas montañosas de los macizos galaicos, cordillera Cantábrica, áreas prepirenaicas y sierras catalanas. También destacan amplias manchas en el Sistema Central y Gredos, con prolongaciones en las sierras extremeñas y en Sierra Morena, así como en los montes gaditanos y en la Penibética.

Como se ponía de manifiesto en la clase anterior, también en esta clase se produce el beneficio de litologías favorables, dando lugar a su presencia en manchas lineares a lo largo de cursos de ríos importantes.

En Baleares, esta clase tiene una representación escasa, ocupando algunos recintos en el norte y oeste de la isla de Mallorca.

En Canarias la presencia relativa de esta clase es alta, ocupando manchas importantes en las islas occidentales.

*Clase III: Tierras que tienen limitaciones moderadas para el crecimiento de bosques productivos:*

Esta clase, muy bien representada en todo el territorio peninsular, se reparte ampliamente ocupando de forma bastante fragmentada las áreas correspondientes a la misma clase climática. Las mayores densidades se sitúan en los bordes de las cuencas del Duero y Ebro, en el centro y sur de Extremadura, en las laderas meridionales del Sistema Central y Gredos, en Sierra Morena, Sistema Penibético y Sistema Ibérico.

En las islas Baleares, esta clase ocupa más de la mitad del territorio, centrándose en las islas de Mallorca y Menorca.

En Canarias su representación relativa es también elevada, ocupando manchas en las laderas montañosas de las islas occidentales, con una mínima representación en las cotas más elevadas de la isla de Fuerteventura.

*Clase IV: Tierras que tienen limitaciones moderadamente graves para el crecimiento de bosques productivos:*

Esta clase y la siguiente son las que ocupan mayor extensión en todo el territorio peninsular español. La amplia presencia de la clase IV corresponde esencialmente, como en el caso anterior, a áreas fragmentadas de la misma clase climática, generalmente colindantes con la clase III, ocupando territorios próximos a la periferia de las cuencas del Duero y Ebro, así como en las laderas septentrionales del Sistema Central y Gredos.

Su representación también es notable en el Sistema Ibérico y en la mitad sur de Andalucía. En estos casos su abundancia muchas veces se corresponde con una presencia mayoritaria de litologías desfavorables.

En Baleares, esta clase está muy bien representada en Mallorca e Ibiza. En Canarias su representación relativa es aceptable, apareciendo adosada a las manifestaciones de la clase anterior, con algunas pequeñas representaciones en Lanzarote.

*Clase V: Tierras que tienen limitaciones graves para el crecimiento de bosques productivos:*

Esta clase superficialmente es la más representada en todo el conjunto del territorio español. Son amplias y extensas las manchas presentes en las partes centrales de las cuencas del Duero y Ebro, así como en la submeseta meridional. En Andalucía oriental y en la región murciana se encuentran áreas de gran presencia de esta clase.

En conjunto las representaciones de esta clase corresponden a superficies pertenecientes a áreas de productividad climática superiores en una o dos clases, pero penalizadas por la presencia de litologías desfavorables.

En Baleares, esta clase tiene una presencia muy pequeña, al sur de Mallorca y Formentera, consecuencia de litologías desfavorables tal como se ha expresado.

En el caso de Canarias, la representación de esta clase es apreciable, en laderas bajas, coincidiendo con la clase de productividad climática correspondiente.

*Clase VI: Tierras que tienen limitaciones muy graves para el crecimiento de bosques productivos:*

Esta clase presenta una distribución muy escasa en el conjunto del territorio. Su presencia más abundante corresponde al sudeste peninsular, dentro de las áreas propias de la misma clase climática. Presencia de litologías muy desfavorables propician, además, la aparición de manchas dispersas en el centro de las cuencas del Duero y Ebro, sur de Castilla la Mancha y centro de la Comunidad Valenciana.

En Canarias ocupa manchas de apreciable extensión, fundamentalmente localizadas en las islas orientales.

*Clase VII: Tierras con limitaciones suficientemente graves como para impedir el crecimiento de bosques productivos.*

Esta clase, con una representación muy escasa y dispersa por todo el territorio, corresponde a manifestaciones climáticas localizadas en cotas bajas del sudeste peninsular. A estas manchas hay que añadir, por una parte, las áreas ocupadas por pantanos, embalses y marismas, calificadas en las clases litológicas definidas anteriormente dentro de la categoría H (zonas semiencharcadas). Por otro lado se incluyen además las áreas de alta montaña ya definidas en la clase climática correspondiente.

En Canarias la presencia de esta clase es relativamente alta, ocupando una parte importante del territorio de las islas orientales, consecuencia de las condiciones climáticas existentes.

En las Figuras 12 a 28 se presentan, por Comunidades Autónomas, sendos esquemas con el reparto superficial y la distribución de las diferentes clases de productividad.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLUE, J.L., 1990. Atlas Fitoclimático de España. Taxonomías. INIA. Madrid.
- BLANCO, A. *et alt.*, 1989. *Estudio ecológico del Pino Canario*. ICONA. Serie Técnica. N° 6. Madrid. 190 pp.
- GANDULLO, J.M., SERRADA, R., 1977. Mapa de Productividad Potencial Forestal de la España Peninsular. INIA. Madrid.
- ITGE., Varios años. Mapa Geológico de España E. 1:200.000. Madrid.
- ITGE., 1980. Mapa Geológico de la Península Ibérica, Baleares y Canarias a escala 1:1000.000. Madrid.
- MAPA. Varios años. Caracterizaciones agroclimáticas de las diferentes provincias españolas. Madrid.
- PATERSON, S.S., 1956. *The Forest Area of the World and its Potential Productivity*. Göteborg University. Göteborg.
- SERRADA, R., 1976. Método para la evaluación con base ecológica de la Productividad Potencial de las Masas Forestales y su aplicación a la España Peninsular. Tesis Doctoral, U.P.M., Madrid.