

LOS DIAGRAMAS BIOCLIMATICOS Y SU UTILIZACION FORESTAL

Les diagrammes bioclimatiques et leur utilisation forestière

par José GARCIA-SALMERON (*)

L'article qui suit est destiné à présenter aux techniciens forestiers, et spécialement aux Français, la signification du Diagramme bioclimatique, méthode d'étude du climat du point de vue biologique, ainsi que quelques-unes de ses applications forestières.

Cette méthode est exposée par ses auteurs, Montero de Burgos et Gonzalez Rebollar, dans leur ouvrage « Diagrammes bioclimatiques ». On y trouve, en outre, l'application de la méthode à la définition du climat de 225 stations météorologiques, à l'aide des données concernant les températures, les précipitations moyennes mensuelles, et des indices bioclimatiques; ces derniers sont élaborés pour quatre hypothèses fondamentales, combinant les valeurs de 0 % et de 30 % pour la pente du terrain, et de 0 mm et de 100 mm pour la capacité du sol de conserver l'eau d'un mois au suivant, avec des précipitations variant de 0,5 P à P, et à 1,5 P; P étant la précipitation moyenne annuelle en millimètres.

Chaque station fait ainsi l'objet de Diagrammes bioclimatiques correspondant aux quatre hypothèses fondamentales.



LOS DIAGRAMAS BIOCLIMATICOS Y SU UTILIZACION FORESTAL

Esta exposición la dividimos en dos partes :

- I. Breve y somera descripción del Diagrama Bioclimático y
- II. Utilización forestal del Diagrama Bioclimático.

I. – BREVE Y SOMERA DESCRIPCION DEL DIAGRAMA BIOCLIMATICO.

Los autores del Diagrama Bioclimático : Montero de Burgos y González Rebollar, ambos Ingenieros de Montes, preocupados por la idea de que los forestales, que generalmente desenvuelven su actividad en zonas de topografía marcadamente irregular, necesitan una mayor información climática, ya que en una zona agrícola los datos que suministra una Estación Meteorológica son aplicables al contorno circundante, con extensión considerablemente amplia, pues los cultivos se sitúan en terrenos más o menos llanos; pero no sucede lo mismo en una topografía montañosa : los datos de una Estación Meteorológica proxima a un monte solo reflejan, aproximadamente, lo que, climatológicamente ocurre en él. Las diferencias de altitud, pendiente y orientación producen variaciones climáticas muy sensibles : bastan 100 metros de diferencia de cota para que la vegetación cambie, luego el clima ha cambiado. Los forestales necesitamos un instrumento climatológico de una precisión que, ni remotamente, los índices existentes en 1973 proporcionaban a los autores.

Por otra parte, este instrumento climatológico debía tener una mayor significación fitológica, haciendo intervenir no la poligonal de precipitaciones sino la de disponibilidad de agua en el suelo y definir la sequía no por el periodo en el que el factor de Lang (P/T) sea menor de dos, sino por el momento en que se produce la perdida de turgencia celular. Además, se hacía preciso el poder cuantificar, climáticamente, los periodos de actividad vegetativa de cualquier signo.

El Diagrama Bioclimático es el resultado de llevar a un sistema de ejes coordinados : en abcisas el tiempo y en ordenadas las temperaturas, las disponibilidades hidráticas y las intensidades bioclimáticas, concepto, que más adelante definiremos. Se dibujan las poligonales de valores mensuales siguientes :

D. – Disponibilidad hidrática mensual, en milímetros, para lo cual hay que hacer un balance hidrático partiendo de :

a) P = precipitación media mensual, en milímetros, en su parte infiltrada, para lo cual se fija el % de escorrentía superficial (W).

b) CR = coeficiente de retención climática, que se define como la capacidad de transferencia de agua en el suelo de un mes al siguiente, expresada en milímetros.

c) E = evapotranspiración potencial, en milímetros.

d) e = evapotranspiración residual, concepto que podemos definir como la evapotranspiración a savia parada y es el valor a que se reduce la evapotranspiración cuando la actividad vegetativa se detiene por perdida de turgencia celular. Se toman como valores mensuales el 20 % de los correspondientes a E . Este porcentaje se considera constante y se ha determinado haciendo investigaciones en pastizales de secano ya que la hierba no tiene un periodo de recuperación de la turgencia celular sensible y empieza a crecer apenas se inician las primeras lluvias de otoño.

$D = P + S$ (S = superávit de agua del mes anterior)

Si $S > CR$ $D = P + CR$

Si $S < CR$ $D = P + S$

$Q = \sum (D - e) - \sum (e - D)$

Si $D > E$ $S = D - E$

Si $D < e$ habrá un periodo de compensación ($I - x$), en tanto por uno del mes,

$$x = \frac{Q}{D - e}$$

después habrá un sobrante $S = x(D - E)$.

Los casos que pueden presentarse son :

A) Las disponibilidades no cubren las exigencias mínimas ($D < e$) : la vegetación padece sequía y la actividad vegetativa está detenida. Hay un déficit de agua ($e - D$) que, añadido a los de meses anteriores, si los hubiere, habrá de ser compensado con posterioridad.

B) Las disponibilidades cubren las exigencias mínimas ($D > e$) : habrá un superávit de agua sobre el mínimo ($D - e$). Este exceso se puede emplear o usar de dos formas :

B₁) Si no hay sequía anterior se emplea, todo o parte, en la actividad vegetativa :

– Si $D > E$ habrá un excedente ($S = D - E$) del que no podrá pasar al mes siguiente más que el valor de CR .

– Si $D < E$ no hay excedente.

B₂) Si hay sequía anterior, el superávit se emplea en compensar el déficit anterior y lo que sobre (Q) estará disponible para nueva actividad vegetativa (x), en tanto por uno del mes, será :

$$x = \frac{Q}{D - e} \text{ y el sobrante } S = x(D - E) = \frac{D - E}{D - e} \cdot Q$$

Por supuesto que, cuando se hacen diagramas del clima medio, el balance ha de ser cerrado entre Diciembre y Enero. Para evitar repetir los cálculos, después de corregir, una o dos veces, la D de Enero, conviene empezar por un mes en el que no haya superávit del mes anterior, es decir $D = P$, como generalmente ocurre, en el área mediterránea española, en Agosto o Septiembre.

Presentamos tres gráficos : el de la Fig. 1 que presenta la forma general del Diagrama Bioclimático, la Fig. 2 que es el de un caso concreto en la hipótesis $CR = 0$ y $W = 0$, y la Fig. 3 que es el mismo caso, pero con la hipótesis $CR = 100 \text{ mm}$ y $w = 0$.

En la Fig. 1 aparecen cuatro áreas con distinto sombreado (o color); sus superficies representan intensidades bioclimáticas (IB) o capacidades, positivas o negativas, para producir actividad vegetativa, con distinta significación fitológica y que se miden en unidades bioclimáticas (UBC) (1 UBC = $1^\circ \text{C} \times 1 \text{ mes}$).

Les diagrammes bioclimatiques et leur utilisation forestière

Cet exposé sera divisé en deux parties :

1. Brève et superficielle description des Diagrammes bioclimatiques et
2. Leur utilisation forestière.

I. Brève et superficielle description des diagrammes bioclimatiques.

Les auteurs des Diagrammes bioclimatiques : Montero de Burgos et González Rebollar, tous les deux Ingénieurs des Eaux et Forêts ont été préoccupés par l'idée que les forestiers développent en général leur activité dans des zones de topographie assez irrégulière et ont besoin d'une information climatique complète et spéciale. En effet dans une zone agricole, les données que fournit une Station Météorologique sont applicables aux environs avec une extension considérable, car on situe les cultures dans des terrains plus ou moins plats. Il n'en est pas de même dans une topographie montagneuse ou les données d'une Station proche d'une montagne ne reflètent qu'approximativement le climat. Les différences d'altitude, pente et orientation y produisent des variations climatiques très sensibles et s'il suffit de 100 mètres de différence d'altitude pour que la végétation change c'est que le climat lui-même a changé. Or les forestiers ont besoin d'un instrument climatologique de précision que les indices existant en 1973 sont loin de leur procurer. D'autre part cet instrument climatologique devrait avoir une plus grande signification phytologique en faisant intervenir, non pas la courbe des précipitations mais celle de la disponibilité en eau dans le sol et en définissant la sécheresse, non pas pour la période pour laquelle le facteur de *Lang* (*P/T*) est inférieur à deux, mais pour la période au cours de laquelle se produit la perte de turgescence cellulaire. De plus, il était nécessaire de pouvoir quantifier climatiquement les périodes d'activité végétative en distinguant celles qui sont positives et celles qui sont négatives.

Le Diagramme bioclimatique comporte dans un système d'axes de coordonnées, en abscisse, le temps et en ordonnées, les températures, les disponibilités hydriques et les intensités bioclimatiques, concept qu'on définira plus loin. Pour cela on dessine les courbes des valeurs mensuelles suivantes :

D. – Disponibilité hydrique mensuelle, pour cela il est nécessaire de faire un bilan hydrique en partant de :

- a) P = précipitation moyenne mensuelle infiltrée exprimée en millimètres, à cette fin on tient compte du pourcentage d'écoulement superficiel (W)
- b) CR = coefficient de rétention climatique, qu'on définit comme la capacité de conserver l'eau dans le sol d'un mois au suivant. Il est exprimé en millimètres.
- c) E = évapotranspiration potentielle exprimée en millimètres.

d) e = évapotranspiration résiduelle, concept qu'on peut définir comme l'évapotranspiration à sèvre arrêtée, c'est la valeur à laquelle se réduit l'évapotranspiration quand l'activité végétative s'arrête par perte de turgescence cellulaire. On prend comme valeurs mensuelles de e 20 % de celle de E . On considère ce pourcentage constant car on l'a déterminé en faisant des investigations dans des pâturages de terrain non irrigué où l'herbe n'a pas de période sensible de récupération de la turgescence cellulaire et commence à pousser dès que tombent les premières pluies d'automne.

D disponibilité = $P + S$ (S = excès d'eau restant du mois précédent)

Si $D > E$ $S = D - E$.

Si $S > CR$ $D = P + CR$

Si $S < CR$ $D = P + S$

$$Q = \sum (D - e) (1) - \sum (e - D) (2)$$

$$\text{Si } D < e \text{ en posant } x = - \frac{Q}{D - e}$$

il y aura une compensation $(1 - x)$ pour le mois, par la suite il y aura un reliquat $S = x(D - e)$.

Les cas qui peuvent se présenter sont :

A) Les disponibilités ne couvrent pas les exigences minimales ($D < e$) la végétation souffre de la sécheresse et l'activité végétative est arrêtée. Il y a un déficit d'eau ($e - D$) qui s'ajoute à celui qui peut exister pour les mois antérieurs; il faudra le compenser les mois suivants.

B) Les disponibilités couvrent les exigences minimales ($D < e$): il y aura un excès d'eau sur le minimum ($D - e$). Cet excès peut être pris en compte de deux façons :

B1) S'il n'y a pas de sécheresse antérieure il contribue en tout ou en partie à l'activité végétative :

Si $D > E$ il y aura un excédent ($S = D - E$) dont on ne pourra retenir pour le mois suivant que la valeur de CR .

Si $D < E$ il n'y a pas d'excédent.

B2) S'il y a de la sécheresse antérieure, on emploie l'excès à compenser le déficit antérieur, et ce qui reste (Q) sera disponible pour une nouvelle activité végétative. La période de cette nouvelle activité végétative (x) sera :

$$x = \frac{Q}{D - e}$$

et le reste

$$S = x(D - E) = \frac{D - E}{D - e} Q$$

Naturellement, quand on fait des diagrammes du climat moyen, le bilan doit être arrêté entre Décembre et Janvier. Pour éviter de répéter des calculs, après avoir corrigé, une ou deux fois, la D de Janvier, il est convenable de commencer par un mois où il n'y a pas excès du mois précédent, c'est-à-dire $D = P$ comme cela arrive généralement en Espagne méditerranéenne, en août ou septembre. On trouvera trois graphiques : le n° 1 présente la forme générale du Diagramme bioclimatique; le n° 2 est celui d'un cas concret pour l'hypothèse $CR = 0$ et $W = 0$ et le n° 3 le même cas mais avec l'hypothèse $CR = 100$ mm et $W = 0$.

Dans la figure 1 il y a quatre surfaces avec des ombres ou des couleurs différentes (3); ces surfaces représentent les Intensités bioclimatiques (IB), capacités positives ou négatives, pour produire une activité végétative, avec différente signification phytologique et qu'on mesure en unités bioclimatiques (ubc),

(1) Mois pour lesquels $D > e$.

(2) Mois pour lesquels $D < e$.

(3) Les couleurs sont indiquées pour le lecteur qui se reporterait à l'ouvrage de Montero de Burgos et González Rebollar.

En esta Fig. 1 las areas extremas punteadas (o de color azul) comprendidas entre la poligonal **T** y la horizontal a la altura, en el eje vertical de temperaturas, correspondiente a 7,5 °C, son Intensidades Bioclimáticas Fries y pueden ser representativas del grado o intensidad de la paralización vegetativa. El área punteada central (o de color rojo), cuya posición por debajo de la horizontal a 7,5 °C es convencional, representa la Intensidad Bioclimática Seca (IBS) y sus puntos límites corresponden a aquellos en que **D = e**. Las otras dos áreas rayadas (o de color verde) representan Intensidades Bioclimáticas Reales (IBR), es decir, capaces de producir actividad vegetativa. Ahora bien, entre los puntos en que **D = E** y **D = e** (x-y, z-v) la Intensidad Bioclimática viene limitada por las deficiencias hídricas y, por tanto, la línea que limita estas áreas se aparta de la poligonal **T**; Para valorar, en estos casos la Intensidad Bioclimática se introduce el concepto de Coeficiente de Pluviosidad :

$$(Cp = \frac{D - e}{E - e})$$

que, físicamente, significa la proporción, en tanto por uno, del agua que se emplea en la actividad vegetativa respecto a las exigencias de la actividad completa o total, una vez descontadas, de ambas, la evapotranspiración residual, que se corresponde con las exigencias de la simple vida latente. Multiplicando este coeficiente por la Intensidad Bioclimática Potencial (IBP) que es la capacidad de la actividad vegetativa por razones, exclusivamente térmicas y que es

$$IBP = \frac{T - 7,5}{5} \text{ ubc,}$$

tendremos la Intensidad Bioclimática Real

$$IBR = Cp \cdot IBP = \frac{D - e}{E - e} \cdot \frac{T - 7,5}{5} \text{ ubc}$$

Por supuesto que esta fórmula solo es de aplicación cuando $Cp \leq 1$, pues si $Cp > 1$, $IBR = IBP$ ya que el máximo posible es IBP.

En definitiva, existen cuatro Intensidades Bioclimáticas :

- Intensidad Bioclimática Potencial (IBP) que es la que existiría si no hubiese restricciones hídricas y puede ser un índice que mida la actividad vegetativa climática en régimen (por ejemplo en una chopera).
- Intensidad Bioclimática Real (IBR) que es la que, realmente, existe.
- Intensidad Bioclimática Libre (IBL) que es la parte de la IBR que no está condicionada por la sequía anterior, es decir, la IBR en primavera (en los climas mediterráneos); en otoño $IBR = IBL + IBC$, siendo IBC la Intensidad Condicio-

nada que es la utilizada en recuperar la turgencia celular.

Todas estas intensidades bioclimáticas pueden presentarse por encima de $T = 7,5$ °C o por debajo; en el primer caso se denominan calidas y en el segundo frias.

Para cada una de estas Intensidades Bioclimáticas existe una temperatura, la correspondiente al centro de gravedad del área, denominada Temperatura Básica (Tm)

$$Tm = \frac{\sum Ti li}{\sum li}$$

Tm = temperatura básica del periodo

Ti = temperatura media de cada periodo parcial (mes)

li = intensidad bioclimática de cada periodo parcial (mes)

El Diagrama Bioclimático y, por tanto, los valores de sus índices, varían por causas extraclimáticas. Así, si varía la pendiente o las condiciones superficiales del suelo (vegetación o permeabilidad superficial) varía lo que hemos llamado escorrentía (W) pero que hemos utilizado como concepto puramente climático al interpretarla y entenderla como el % de las precipitaciones que se pierden sin haber penetrado en el suelo (precipitaciones útiles); o si varía la capacidad de retención climática (CR) que también es un concepto climático al considerarlo como la máxima cantidad de agua que puede transferirse de un mes al siguiente; o ambas cosas a la vez.

Pues bien, si con la hipótesis $W=0$ se aumenta progresivamente la CR, es decir en terreno llano se aumenta la capacidad de campo y se mejora la estructura del suelo, llega un momento en que la respuesta de los índices bioclimáticos es nula. Dicho de otra manera, para valores igual o superiores a este valor típico (CRT) el Diagrama Bioclimático permanece invariable y los índices bioclimáticos indican a lo más que, biológicamente, puede llegar, sin acudir al riego, un clima : se alcanza el techo de la actividad vegetativa. A este respecto hay que considerar dos casos :

$\sum P \geq \sum E$: clima saturado; en este caso la CRT es la suma de los déficits hídricos mensuales, en la hipótesis $CR=0$, $W=0$

$\sum P < \sum E$: clima insaturado; la CRT es igual al máximo sobrante ($D-E$) mensual en el balance hídrico que resulte con $CR=0$, $W=0$.

En el primer caso con una CRT suficiente puede llegar a conseguirse que $IBL = IBP$. En el segundo, siempre resultará, aun con $RC = \infty$ que $IBL < IBP$.

Con $CR=CRT$ y $W=0$ se determinan las IBR, IBL, IBC e IBS típicas, así como sus temperaturas básicas.

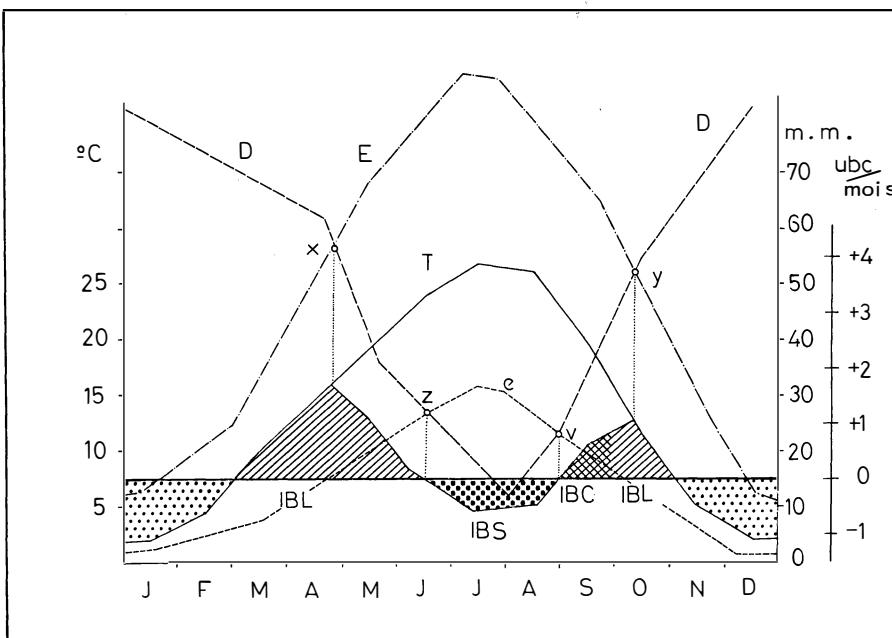


Fig. 1. — Diagramme bio-climatique de Montero de Burgos et Gonzalez Re-bollar.

(1 ubc = 1 °C × 1 mois). Sur le diagramme, les surfaces extrêmes pointillées (ou en bleu) (3) comprises entre la courbe T et la droite horizontale correspondant à 7,5 °C, sont des Intensités bioclimatiques froides et elles peuvent être représentatives du degré ou intensité du repos végétatif.

La surface pointillée (3) centrale, dont la position au-dessous de l'horizontale 7,5 °C est conventionnelle, représente les Intensités bioclimatiques sèches (IBS) et ses points limites correspondent à ceux où $D = e$. Les deux autres surfaces rayées (3) représentent les Intensités bioclimatiques réelles (IBR), c'est-à-dire correspondant à l'activité végétative. Or entre les points où $D = e$ (x,y) et $D = e$ (z,v) l'intensité bioclimatique est limitée par les insuffisances hydriques et, par conséquent, la ligne qui délimite ces surfaces s'éloigne de la courbe T. Pour évaluer, en ces cas, l'intensité bioclimatique on introduit le concept de coefficient de pluviosité

$$(C_p = \frac{D - e}{E - e})$$

qui physiquement signifie la proportion de l'eau disponible par rapport aux exigences de l'activité complète ou totale, une fois déduites des deux l'évapotranspiration résiduelle qui correspond aux exigences de la simple vie latente.

En multipliant ce coefficient par l'intensité bioclimatique potentielle (IBP) qui est la capacité de l'activité végétative par des raisons exclusivement thermiques et qui est

$$IBP = \frac{T - 7,5}{5} \text{ ubc},$$

on aura l'intensité bioclimatique réelle

$$IBR = CP \times IBP = \frac{D - e}{E - e} \cdot \frac{T - 7,5}{5} \text{ ubc}$$

Naturellement cette formule ne peut être appliquée que quand $C_p \leq 1$, car si $C_p > 1$, $IBR = IBP$ puisque le maximum possible est IBP .

En définitive, il existe quatre Intensités bioclimatiques :

— Intensité bioclimatique potentielle (IBP). C'est celle qui existerait s'il n'y avait pas de restriction hydrique et elle peut être un indice qui mesure l'activité végétative climatique en terrain d'irrigation, par exemple dans une peupleraie.

— Intensité bioclimatique réelle (IBR). C'est celle qui existe.

— Intensité bioclimatique libre (IBL). C'est la partie de la IBR qui n'est pas conditionnée par la sécheresse antérieure, c'est-à-dire, IBR au printemps (Pour des climats méditerranéens); en automne IBR = IBL + IBC, IBC étant l'intensité conditionnée celle qui est utilisée pour récupérer la turgescence cellulaire.

Toutes ces intensités bioclimatiques peuvent se présenter par dessus la droite $T = 7,5$ °C ou par dessous; dans le premier cas, elles s'appellent chaudes et dans le deuxième, froides.

Pour chacune de ces intensités bioclimatiques, il existe une température celle qui correspond au centre de gravité de la surface, nommée Température Basique (Tm).

$$Tm = \frac{\sum T_i \cdot i}{\sum i}$$

Tm = température basique de la période
Ti = température moyenne de chaque période partielle (mois)

li = intensité bioclimatique de chaque période partielle (mois)

Le Diagramme bioclimatique et, par conséquent, les valeurs de ses indices, varient pour des causes extra-climatiques. Ainsi, si la pente ou les conditions superficielles du sol varient (végétation ou perméabilité superficielle) le coefficient que l'on a appelé d'écoulement (W) varie également mais on l'a utilisé comme concept nettement climatique en l'interprétant et en le comprenant comme la fraction des précipitations qui se perdent sans avoir pénétré dans le sol; si la capacité de rétention climatique (CR) varie elle peut être considérée comme un concept climatique qui indique la quantité d'eau maximum qui sera transférée d'un mois au suivant.

Or si avec l'hypothèse $W = 0$ (terrain plat) on augmente progressivement la capacité de rétention du sol ce qui équivaut à une amélioration de la structure du sol, il arrive un moment où la réponse des indices bioclimatiques est nulle. Autrement dit, pour des valeurs égales ou supérieures à cette valeur typique (CRT) le Diagramme Bioclimatique reste invariable et les indices bioclimatiques indiquent les plus hauts degrés que peut atteindre un climat biologiquement, sans irrigation: c'est le plafond de l'activité végétative. A cet égard, il faut considérer deux cas :

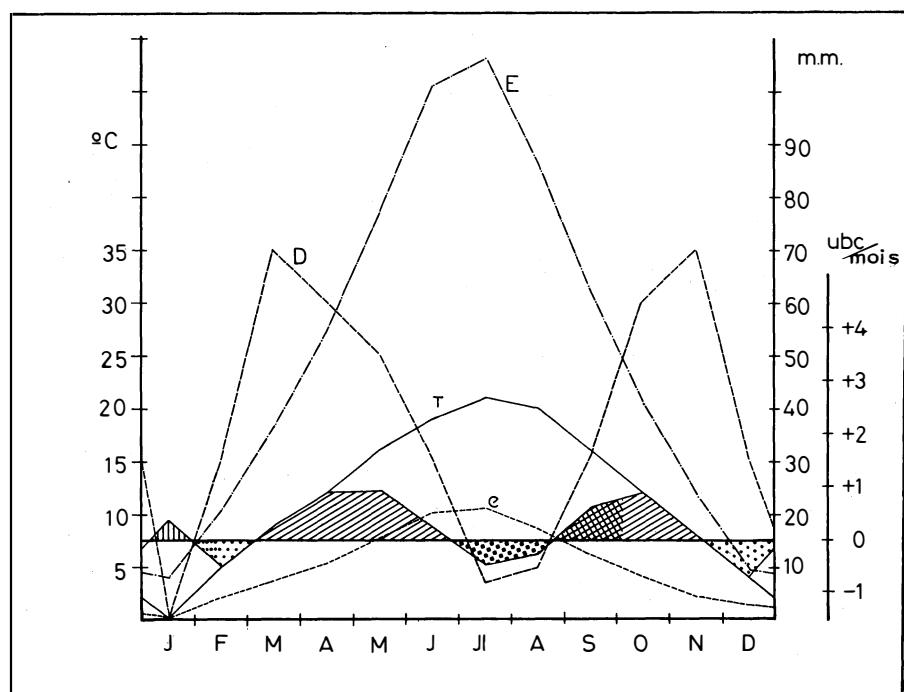
$\sum P \geq E$: climat saturé; dans ce cas la CRT est l'addition des déficits hydriques mensuels dans l'hypothèse $CR = 0$, $W = 0$.

$\sum P < \sum E$: climat insaturé; CR est égale au maximum restant ($D - E$) mensuel dans le bilan hydrique qui résulte avec $CR = 0$, $W = 0$.

Dans le premier cas avec une CR suffisante on peut obtenir que $IBL = IBP$.

Dans le deuxième, il résultera toujours, même avec $CR = \infty$ que $IBL < IBP$. Avec $CR = CRT$ et $W = 0$ on détermine les IBR, IBL, IBC et IBS typiques, ainsi que leurs températures basiques.

Fig. 2. – Diagramme bio-climatique de Montero de Burgos et Gonzalez Re-bollar.



En la Fig. 2 se representa el Diagrama Bioclimatico, para los datos basicos, imaginarios, siguientes :

mes/	E	F	M	A	M	J	Jl	Ag.	S	O	N	D
P	0	30	70	60	50	30	7	10	30	60	70	30
T	0	5	9	12	16	19	21	20	16	12	8	4
K	1	2	3	4	5	6	6	5	4	3	2	1

Los valores de E se determinan por la formula de Blaney-Criddle : $E = K(0,457 T + 8,13)$ y los de e por $e = 0,20E$. En este ejemplo se aplica la hipotesis $CR = 0$ $W = 0$ y se obtienen los valores siguientes :

IBLc = Intensidad Bioclimatica Libre, en el periodo cálido (rayado inclinado o color verde oscuro) = 3,36 ubc

IBLf = Intensidad Bioclimatica Libre, en el periodo frio (punteado poco denso o color azul oscuro) = 0,90 ubc

IBSc = Intensidad Bioclimatica Seca, en el periodo cálido (punteado grueso o color rojo) = 0,74 ubc

IBSf = Intensidad Bioclimatica Seca, en el periodo frio (rayado vertical o color amarillo) = 0,38 ubc

IBCc = Intensidad Bioclimatica Condicionada, en el periodo cálido (rayado cruzado o color verde claro) = 0,68 ubc

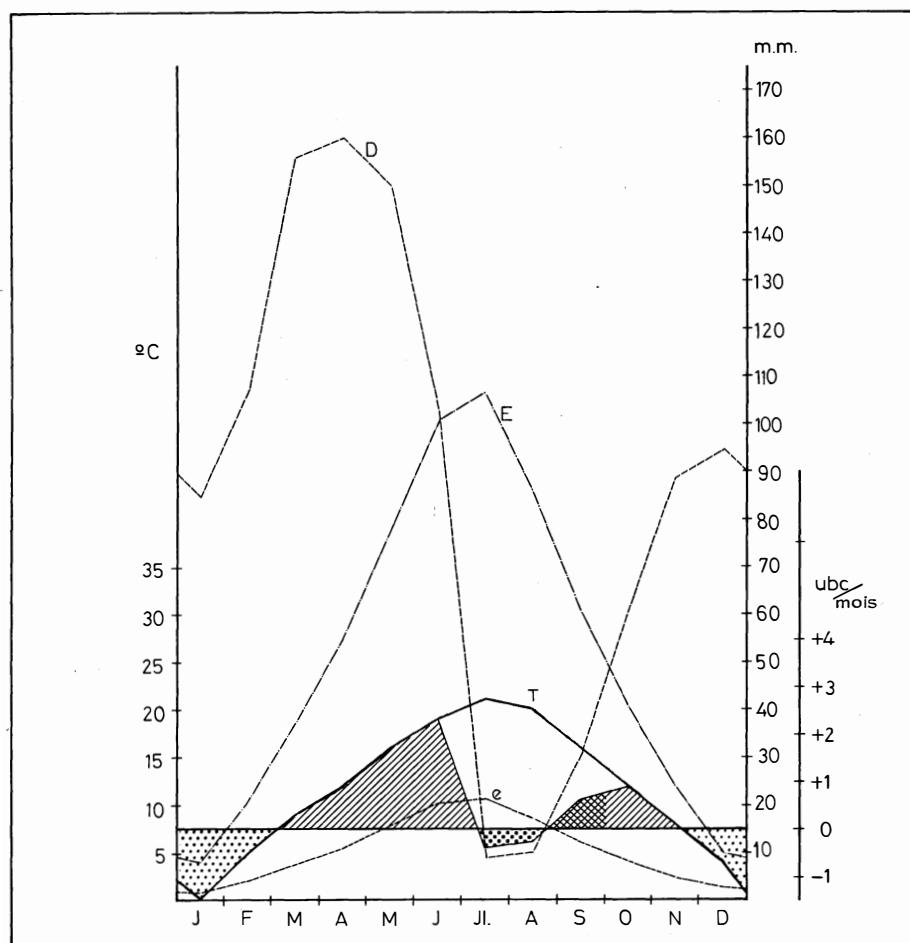
IBCf = Intensidad Bioclimatica Condicionada, en el periodo frio (punteado denso o color azul claro) = 0,22 ubc
Tm libre, en el periodo cálido = 15,4°C

En la Fig. 3 se representa el Diagrama, confeccionado con los mismos datos basicos pero con la hipotesis $CR = 100$ mm y $W = 0$, para que se observe cómo la variacion de la poligonal D (disponibilidades hidricas) hace variar la forma de las distintas areas y sus superficies, es decir, los indices bioclimaticos. Así :

IBLc = 6,16 ; IBLf = 2,70 ; IBSc = 0,69 ; IBSf = 0 ; IBCc = 0,65 ; IBCf = 0

Tm libre, en el periodo calido = 15,4°C.

Fig. 3.



La figure 2 présente le Diagramme Bioclimatique pour les données de base suivants :

mois/	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
P,mm	0	30	70	60	50	30	7	10	30	60	70	30
T,°C	0	5	9	12	16	19	21	20	16	12	8	4
K	1	2	3	4	5	6	6	5	4	3	2	1

Les valeurs de **E** sont déterminées par la formule de Blaney-Criddle :

$$E = K (0,457 T + 8,13)$$
 et **e** par

$$e = 0,20E$$

Dans cet exemple on applique l'hypothèse $CR = 0$, $W = 0$ et on obtient les valeurs suivantes :

IBLc = Intensité Bioclimatique Libre, dans la période chaude (rayé incliné ou en couleur vert foncé) = 3,36 ubc.

IBLf = Intensité Bioclimatique Libre, dans la période froide (pointillé léger ou bleu foncé) = 0,90 ubc.

IBSc = Intensité Bioclimatique Sèche, dans la période chaude (pointillé fort ou rouge) = 0,74 ubc.

IBSf = Intensité Bioclimatique Sèche, dans la période froide (rayé vertical ou jaune) = 0,38 ubc.

IBCc = Intensité Bioclimatique Conditionnée, dans la période chaude (quadrillé ou vert clair) = 0,68 ubc.

IBCf = Intensité Bioclimatique Conditionnée, dans la période froide (pointillé dense ou bleu clair) = 0,22 ubc.

Tm libre = Température de base, dans la période chaude = 15,2°C.

La figure 3 présente le Diagramme réalisé avec les mêmes données de base mais dans l'hypothèse $CR = 100$ mm et $W = 0$ et l'on observe comment les variations de la courbe **D** (disponibilités hydriques) font varier la forme des différentes surfaces et leurs superficies, c'est-à-dire, les indices bioclimatiques. Ainsi :

IBLc = 6,16; **IBLf** = 2,70; **IBSc** = 0,69; **IBSf** = 0,65; **IBCf** = 0.

Tm libre = 15,4°C.

II. - UTILIZACION FORESTAL DEL DIAGRAMA BIOCLIMATICO

El Diagrama Bioclimatico se estudio pensando, de preferencia, en su utilizacion para estudios forestales en la zona mediterranea y, precisamente porque el clima mediterraneo viene definido por la escasez y mala distribucion de las precipitaciones es por lo que, sus autores, trataron de crear una tecnica de analisis climatico con fundamento biologico y énfasis en el balance de agua.

Hemos visto, en la primera parte, que, en cada estacion, en funcion de la capacidad del suelo para ceder agua (CR) y de la escorrentia (W) puede calcularse un Diagrama.

Para la zona mediterranea española hemos operado, hasta ahora, con cuatro hipotesis: 1 (CR = 0, W = 0), 2 (CR = 100 mm, W = 0), 3 (CR = 0, W = 30 %) y 4 (CR = 100 mm, W = 30 %), por la razon de que en los montes de esta zona la escasa calidad del suelo no permite valores de CR mayores de 100 mm y, por otro lado, la cifra del 30 % como valor de la escorrentia parece un valor medio adecuado para las pendientes mas frecuentes, regimen pluviometrico y cubierta vegetal. Asimismo se ha comprobado que la construccion de terrazas, con la anchura dada a la plataforma y la ligera contrapendiente de esta, supone hacer W = 0, asi como el subsolado de la plataforma a una profundidad superior a 60 cm supone un CR = 100 mm.

A continuacion exponemos algunas utilizaciones forestales, aunque de forma muy escueta y breve.

II.1.1. - Elección de especie

Los factores de decision en la elección de especie son tres: el *factor de sequia*, representado por la IBS del periodo calido y que es limitante e influye en la mayor o menor estabilidad de la especie; el *factor térmico*, representado por la Tm(IBL) e influye en la competitividad de una especie respecto a la de habitat proximo, con repercusiones en la estabilidad; y el *factor de produccion*, que influye en los aspectos economicos con influencia en la competitividad y representado por el producto de la IBL, en el periodo calido, por el *Coeficiente de Transformacion* (CT) de la unidad bioclimatica libre en materia leñosa, medido en $m^3/ha/año$ y que, con caracter especifico, sigue una ley biologica de curva en campana cuando se lleva, en un sistema coordenado y en el eje de abcisas, los valores de la Tm libre.

Analizando los Diagramas Bioclimaticos de numerosas estaciones se han establecido los valores de la IBS maximos tolerables, la Tm libre optima y el CT para la Tm optima, para cada una de las especies del genero *Pinus* utilizadas en la zona mediterranea española. Por supuesto, que estos valores que consignamos, son susceptibles de una mayor precision, pero un numero muy elevado de estudios han demostrado su vigencia.

Especie <i>Espèce</i>	IBS max. admisible <i>admissible</i> (ubc)	Tm libre optima <i>optimum</i> °C	CT $m^3/ha/año$ $m^3/ha/an$
<i>Pinus halepensis</i>	2,3	13,5	0,7
<i>pinea</i>	2,0	14,0	0,8
<i>pinaster</i>	1,7	14,0	1,0
<i>nigra</i> ssp. <i>nigricans</i>	1,8	13,0	0,9
<i>nigra</i> ssp. <i>clusiana</i>	1,5	12,0	0,8
<i>sylvestris</i>	0,8	12,0	0,8
<i>uncinata</i>	0,4	10,5	0,7

II.1. - Estudios de tecnicas de repoblacion

El *handicap* ecologico de la escasez y mala distribucion de las precipitaciones hacen que toda la tecnica repobladora se inspire en poner a disposicion de la planta el minimo de humedad para lograr, primero, su arraigo y despues para satisfacer sus necesidades minimas de agua. Esto lleva consigo tres actuaciones:

a) Desbroce o eliminacion, parcial o total, de la vegetacion espontanea competitiva.

b) Preparacion del suelo para mejorar la infiltracion o retencion de agua y su estructura, actuando, de forma aislada o combinada, sobre la pendiente y el laboreo.

c) Elección del tipo de planta (con envase o a raiz desnuda), en la plantacion.

Evidentemente que las especies citadas pueden vivir en climas cuyo indice IBS sea superior a los valores limites especificos consignados pero, en este caso, su estabilidad biologica es bajisima aunque sus crecimientos puedan ser apreciables por tratarse de una estacion con IBL calida alta. Por otra parte, la function protectora y, por supuesto, la de produccion, solo se logra, satisfactoriamente, con una vitalidad minima; es decir, si la IBL calida adquiere valores umbrales, tambien de caracter especifico. Pero, hasta ahora, solo podemos citar, con seguridad, los valores minimos aceptables de la IBL calida para las especies: *P.pinea* 1,5 ubc y *P.pinaster* 2,0 ubc. Para ver la forma de operar creemos, que lo mejor es poner un ejemplo: el de Esfiliana (provincia de Granada). Calculamos los valores de IBS e IBL calidas y de Tm libre correspondientes a la Estacion Meteorologica (993 m de altitud) y para 1200 m y 1600 m, teniendo en cuenta que los gradientes con la altitud son: el de precipitaciones 50 mm/100 m y el térmico 0,5 °C/100 m, para las cuatro hipotesis citadas al principio de esta segunda parte:

II. Utilisation forestière des diagrammes bioclimatiques

On a étudié les Diagrammes Bioclimatiques en pensant, en priorité, à leur utilisation pour les études forestières dans la zone méditerranéenne et, précisément parce que le climat méditerranéen est caractérisé par le manque et la mauvaise distribution des précipitations. C'est pour cela que les auteurs ont créé une technique d'analyse climatique sur une base biologique en liaison avec le bilan hydrique.

Nous avons vu, dans la première partie que, dans chaque station, en fonction de la capacité des sols pour céder de l'eau (CR) et de l'écoulement (W) on peut calculer un Diagramme.

Pour la zone méditerranéenne espagnole nous avons opéré, jusqu'à présent, avec quatre hypothèses : 1 (CR = 0, W = 0), 2 (CR = 100 mm, W = 0), 3 (CR = 0, W = 30 %) et 4 (CR = 0, W = 30 %) et 4 (CR = 100 mm, W = 30 %). Car les conditions sont telles que la mauvaise qualité du sol ne permet pas des valeurs de CR supérieures à 100 mm et, d'autre part, le chiffre de 30 % comme valeur de l'écoulement paraît être une valeur moyenne appropriée pour les pentes les plus fréquentes et notre régime pluviométrique. Également on a vérifié que la construction de terrasses avec plateforme et légère contre-pente de celle-ci correspond à W = 0 %, ainsi que le sous-solage de la plateforme à une profondeur supérieure à 60 cm correspond à CR = 100 mm.

Ci-après nous exposons d'une façon très simple et brève quelques utilisations forestières des diagrammes bioclimatiques.

II.1. Études de techniques de reboisement

Le handicap écologique du déficit et de la mauvaise distribution des précipitations fait que toute la technique du reboisement est prévue pour mettre à la disposition de la plante le minimum d'humidité afin d'obtenir, premièrement son enracinement et ensuite pour satisfaire ses exigences minimales en eau.

Cela comporte trois méthodes :

- Débroussaillage ou élimination, partielle ou totale, de la végétation spontanée compétitive.
- Préparation du sol pour améliorer sa perméabilité, sa rétention d'eau et sa structure, en agissant, de façon isolée ou combinée, sur la pente et l'ameublement.
- Choix de l'espèce plantée (avec godets ou à racine nue).

II.1.1. Choix d'espèce

Il y a trois facteurs de décision dans le choix de l'espèce : le *facteur sécheresse*, représenté par la IBS de la période chaude et qui est limitant et influe sur la plus grande ou plus petite stabilité de l'espèce; le *facteur thermique*, représenté par la Tm (IBL) il influe sur la compétitivité d'une espèce par rapport à celle d'habitats prochains avec répercussions sur la stabilité; et le *facteur de production* qui influe sur les aspects économiques et la compétitivité il est représenté par le produit de la IBL dans la période chaude par un *coefficent de transformation* (CT) que

l'on définit comme la capacité de transformation de l'unité bioclimatique libre en matière ligneuse mesuré en $m^3/ha/année$. Ce facteur suit une loi biologique de courbe en cloche quand dans un système de coordonnées on porte sur l'axe des abscisses les valeurs de Tm libre. En analysant les Diagrammes Bioclimatiques de nombreuses stations on a établi les valeurs de IBS maximum tolérables, Tm libre optimum et CT pour la Tm libre optimum pour chacune des espèces du genre *Pinus* utilisées dans la zone méditerranéenne espagnole. Naturellement ces valeurs que nous indiquons sont susceptibles d'une plus grande précision, mais un nombre très élevé d'études a démontré leur valeur (cf. tableau page ci-contre).

Évidemment les espèces citées peuvent vivre dans des climats dont les indices IBS sont supérieurs aux valeurs limites spécifiques indiquées mais, dans ce cas, leur stabilité biologique est très précaire quoique leur croissance puisse être appréciable pour une station avec IBL chaude élevée. D'autre part la fonction de protection et naturellement la fonction de production ne sont satisfaisantes qu'avec un minimum de vitalité, c'est-à-dire si la IBL chaude atteint des valeurs seuils de caractère spécifique. Mais jusqu'à présent on ne peut citer avec sûreté que les valeurs minimales acceptables de la IBL chaude pour les espèces *P. pinea* (1,5 ubc) et *P. pinaster* (2,0 ubc).

Pour voir la façon d'opérer, nous croyons que le mieux est de donner un exemple : celui de Esfiliana (province de Granada).

Nous calculons les valeurs de IBS, IBL et Tm libre chaudes correspondantes à la Station Météorologique (993 m d'altitude) et pour 1 200 m et 1 600 m d'altitude en tenant compte des gradients d'altitude : celui des précipitations 50 mm/100 et celui des températures 0,5°C/100 m, avec les quatre hypothèses citées au commencement de cette deuxième partie :

Altitud m Altitude	CR mm	W %	IBS calida chaude ubc	IBL calida chaude ubc	Tm libre °C
993	0	0	2,04	0,80	12,7
	100	0	2,04	1,09	12,1
	0	30	2,21	0,28	12,1
	100	30	2,21	0,28	12,1
	0	0	1,77	1,42	11,9
	100	0	1,77	2,48	12,4
1 200	0	30	1,93	0,57	11,8
	100	30	1,93	0,71	11,5
	0	0	1,27	1,91	11,2
	100	0	1,05	3,57	13,6
	0	30	1,53	0,84	10,7
	100	30	1,35	1,90	11,6
1 600	0	0	1,27	1,91	11,2
	100	0	1,05	3,57	13,6
	0	30	1,53	0,84	10,7
	100	30	1,35	1,90	11,6
	0	0	1,27	1,91	11,2
	100	0	1,05	3,57	13,6

Para ayudar a la explicacion, llevamos a un sistema de ejes coordenados los valores de la IBS calida en ordenadas y de IBL calida en abcisas, para cada altitud e hipotesis : Fig. 4.

– A la altitud de 993 m (poligono superior) como el factor de sequia es limitante y, con cualquiera de las cuatro hipotesis, $2,3 > IBS > 2,0$ no hay opcion posible : solo podemos utilizar el *P. halepensis*. El problema se reduce a tomar una decision sobre la preparacion del suelo, es decir : plantar en hoyos de dimensiones minimas para albergar la planta (hipotesis 3), subsolar solamente (hipotesis 4), aterrazar (hipotesis 1) o aterrazar y subsolar (hipotesis 2).

Observaremos que el aumento de la capacidad de retencion de agua para $W = 30\%$ no altera ni la IBS ni la IBL lo que ha de interpretarse, practicamente, en el sentido de que si no se ha controlado la escorrentia el subsolado o, en terminos generales, el aumento de retencion de agua, es inutil. Al disminuir la escorrentia, paso de 3-4 a 1 supone que la IBL pasa de 0,28 ubc₃ a 0,80 ubc, es decir, la produccion pasa de $0,28 \times 0,7 = 0,196 \text{ m}^3/\text{ha/año}$ a $0,80 \times 0,7 = 0,560 \text{ m}^3/\text{ha/año}$ si no hubiese variado la Tm libre, pero como tambien esta ha pasado de 12,1°C a 12,7°C, el aumento real de la produccion seria de $0,196 \times 12,1/13,5 = 0,176 \text{ m}^3/\text{ha/año}$ a $0,560 \times 12,7/13,5 = 0,526 \text{ m}^3/\text{ha/año}$, sustituyendo, sin gran error, la curva que liga CT y Tm libre, por un triangulo.

Termicamente la hipotesis 1 es la que nos proporciona mayor estabilidad biologica pues su Tm libre es la mas proxima a la optima de la especie : $13,5 - 12,7 < 13,5 - 12,1$. En definitiva, el problema queda reducido a saber si la mayor produccion que supone el paso de la hipotesis 1 a la 2 (subsolado despues de aterrazar) compensa los gastos que esta operacion supone.

– Al subir a 1200 m de altitud no solo varian los indices bioclimaticos de forma absoluta, sino que su respuesta a las variaciones de CR y W son, tambien, diferentes.

Con las hipotesis 3 y 4 la eleccion es entre el *P. halepensis* y el *P. pinea* ya que la IBS es menor de 2,0 y en la 1 y 2, con IBS = 1,77 ubc entre el *P. halepensis*, *P. pinea* y *P. nigra ssp nigricans*. En el primer caso debe eliminarse el *P. pinea* por las razones :

a) la IBL es 0,570 ubc y 0,710 ubc, en ambas hipotesis, respectivamente, cifras muy bajas para el *P. pinea*.

b) la Tm libre es 11,8°C en la hipotesis 3 y 11,5°C en la hipotesis 4; en cualquier caso la desviacion de la optima

(14,0°C) es muy grande (en Espana el *P. pinea* en masas naturales, aunque claras, no sube, en terminos generales, mas de 1000 m) pues es 2,2°C y 2,5°C.

Tambien por razones termicas el *P. halepensis* tiene una estabilidad biologica muy pequena, pues su desviacion del optimo es $13,5 - 11,8 = 1,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ en la hipotesis 3 y $13,5 - 11,5 = 2,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ en la hipotesis 4. Eso quiere decir, practicamente, que no hay mas remedio que construir terrazas y pasar a la hipotesis 1, si queremos repoblar con nuestra conifera mas frugal.

Hipotesis 1. – Se elige el *P. nigra ssp nigricans* pues la desviacion de su Tm libre optima sobre la de la estacion es la menor de los tres pinosopcionales por razones de sequia : $13,0 - 11,9 = 1,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Sin embargo hemos de señalar que esta desviacion por ser mayor de 1 °C no es satisfactoria. Habria que pensar, en una especie exotica, que soportando una sequia representada por IBS > 1,93 ubc, es decir, de exigencias hidricas parecidas al *P. halepensis* fuese menos exigente termicamente. Esta especie podria ser el *Pinus brutia*. Tenore.

Hipotesis 2. – La eleccion recae en el *P. nigra ssp nigricans* por tener la menor desviacion termica : $13,5 - 12,4 = 0,60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ya que el *P. halepensis* la tiene de $1,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y el *P. pinea* de $1,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

– Al subir a 1600 m de altitud la variacion de los indices es todavia mas acusada. Fig. 4 (poligono inferior).

Por razones de sequia la opcion es, en la hipotesis 3 : *P. halepensis*, *P. pinea*, *P. pinaster* y *P. nigra ssp nigricans*, y en las hipotesis 1, 3 y 4 las especies anteriores mas el *P. nigra ssp clusiana*.

Hipotesis 3. – Las desviaciones termicas son :

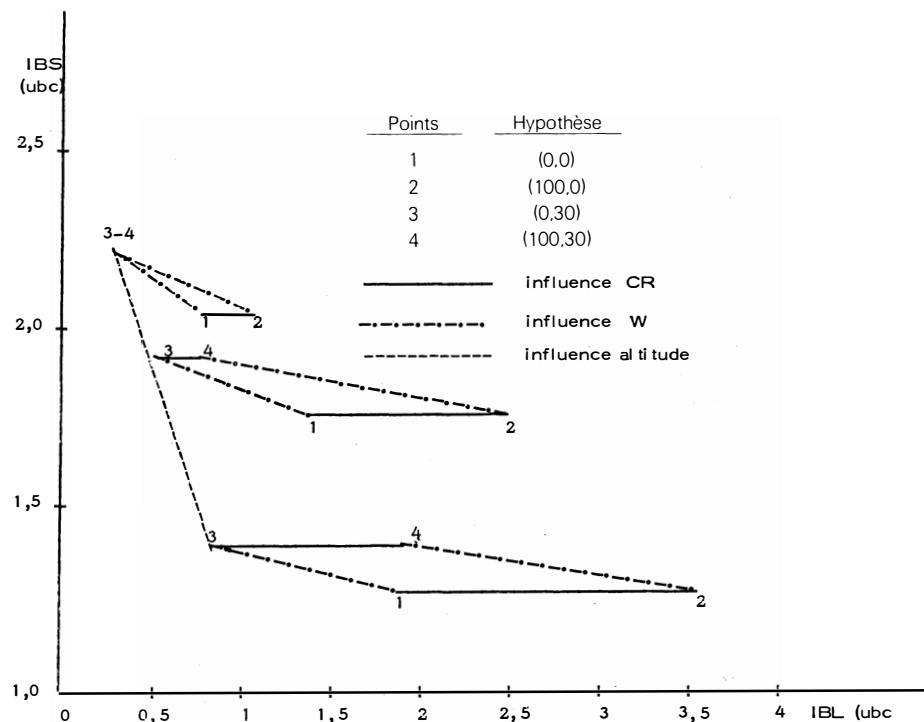
<i>P. halepensis</i>	$13,5 - 10,7 = 2,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$
<i>P. pinea</i>	$14,0 - 10,7 = 3,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$
<i>P. pinaster</i>	$14,0 - 10,7 = 3,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$
<i>P. nigra ssp nigricans</i>	$13,0 - 10,7 = 2,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$

todas ellas lo suficientemente elevadas para impedir la utilizacion de estas especies. Practicamente ello quiere decir, que no hay mas solucion que pasar a la hipotesis 4, subsolando, o pasar a la hipotesis 1, aterrazando.

En el primer caso la Tm libre sube de $10,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a $11,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y la IBL calida sube de 0,84 ubc a 1,90 ubc mientras que la IBS calida baja de 1,53 ubc a 1,35 ubc con lo que entra en la opcion, por razones de sequia el *P. nigra ssp clusiana*.

En el segundo caso la Tm libre sube a $11,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, la IBL sube a 1,91 ubc y la IBS baja a 1,27 ubc, con lo que, tambien entra en la opcion el *P. nigra ssp clusiana*.

Fig. 4. – Graphique IBL-IBS pour Esfiana.



Pour aider à comprendre on porte sur un système d'axes de coordonnées les valeurs de IBS chaude en ordonnées et IBL chaude en abscise, pour chaque altitude et hypothèse : Figure 4.

– A l'altitude de 993 m (polygone supérieur) on est limité par le facteur de sécheresse et avec n'importe quelle des quatre hypothèses $2,3 > IBS > 2,0$ il n'y a pas d'option possible : on ne peut utiliser que le *P. halepensis*. Le problème se réduit à prendre une décision pour la préparation du sol, c'est-à-dire choisir entre planter dans des trous de dimensions minimales pour loger le plant (hypothèse 3), soussouler seulement (hypothèse 4), terrasser (hypothèse 1), terrasser et soussouler (hypothèse 2).

Nous verrons que l'augmentation de la capacité de rétention de l'eau pour $W = 30\%$ n'agit pratiquement que si l'on n'a pas contrôlé l'écoulement. Le soussoulage ou en termes généraux l'augmentation de la rétention de l'eau est inutile. En diminuant l'écoulement de 3 ou 4 à 1, la IBL chaude passe de 0,28 ubc à 0,80 ubc, c'est-à-dire, la production passe de $0,28 \times 0,7 = 0,196 \text{ m}^3/\text{ha/an}$ à $0,80 \times 0,7 = 0,560 \text{ m}^3/\text{ha/an}$. Mais comme en outre la Tm libre passée de 12,1°C à 12,7°C l'augmentation réelle de production passera de $0,196 \times 12,1/13,5 = 0,176 \text{ m}^3/\text{ha/an}$ en substituant sans grande erreur la courbe qui lie CT et Tm libre par un triangle. Pour la température l'hypothèse 1 est celle qui nous procure la plus grande stabilité biologique, car son Tm libre est la plus proche de l'optimum de l'espèce : $13,5 - 12,7, 13,5 - 12,1$. En définitive le problème se ramène à savoir si la plus grande production que suppose le passage de l'hypothèse 1 à l'hypothèse 2

(soussouler après avoir terrassé) compense les dépenses que cette opération suppose.

– Quand on passe à 1200 m d'altitude les indices bioclimatiques changent et l'influence des variations de CR et W est également différente.

Avec les hypothèses 3 et 4, le choix est entre le *P. pinea* et le *P. halepensis* puisque la IBS chaude est plus faible de 2,0 ubc, et dans les hypothèses 1 et 2 avec IBS chaude = 1,77 ubc le choix est possible entre le *P. halepensis*, *P. pinea* et *P. nigra ssp nigricans*. Dans le premier cas, on doit éliminer le *P. pinea* pour les raisons suivantes :

a) La IBL chaude est 0,57 ubc et 0,71 ubc respectivement, dans les deux hypothèses, chiffres très faibles pour le *P. pinea*.

b) La Tm libre est 11,8°C pour l'hypothèse 3 et 11,5°C pour l'hypothèse 4; dans les deux cas l'écart avec la température optimum (14°C) est trop grand (en Espagne le *P. pinea* dans des formations naturelles, quoique claires, ne supporte pas plus de 2,2°C à 2,5°C d'écart dans des conditions naturelles et à plus de 1 000 m.

Hypothèse 1. – On choisit le *P. nigra ssp nigricans* car l'écart de son Tm libre optimum avec celui de la station est le plus faible des trois pins possibles, pour des raisons de sécheresse : $13,0 - 11,9 = 1,1^\circ\text{C}$. Cependant nous devons remarquer que cet écart pour être plus élevé de 1°C n'est pas satisfaisant; il faudrait une espèce exotique capable de tolérer une sécheresse représentée par $IBS > 1,93$

ubc c'est-à-dire, d'exigences hydriques semblables à celle de *P. halepensis* et même moins exigeante thermiquement : par exemple le *Pinus brutia* Tenore.

Hypothèse 2. – Le choix tombe sur le *P. nigra ssp nigricans* pour avoir le plus petit écart thermique :

$$13,5 - 12,4 = 0,60^\circ\text{C}$$

alors que le *P. halepensis* a un écart de $1,1^\circ\text{C}$ et le *P. pinea* un écart de $1,6^\circ\text{C}$.

– Quand on monte à 1600 m d'altitude la variation des indices est encore plus accusée.

En raison de la sécheresse l'option est, pour l'hypothèse 3 : *P. halepensis*, *P. pinea*, *P. pinaster* et *P. nigra ssp nigricans* et pour les hypothèses 1, 2 et 4 les espèces antérieures plus le *P. nigra ssp clusiana*.

Hypothèse 3. – Les écarts thermiques sont :

<i>P. halepensis</i>	$13,5 - 10,7 = 2,8^\circ\text{C}$
<i>P. pinea</i>	$14,0 - 10,7 = 3,3^\circ\text{C}$
<i>P. pinaster</i>	$14,0 - 10,7 = 3,3^\circ\text{C}$
<i>P. nigra ssp nigricans</i>	$13,0 - 10,7 = 2,3^\circ\text{C}$

Tous suffisamment élevés pour empêcher l'utilisation de ces espèces. Pratiquement, cela veut dire, qu'il n'y a d'autre solution que passer à l'hypothèse 4 en soussolant, ou de passer à l'hypothèse 1 en terrassant. Dans le premier cas, la Tm libre monte de $10,7^\circ\text{C}$ à $11,6^\circ\text{C}$ et la IBL monte de 0,84 ubc à 1,90 ubc, pendant que la IBS descend de 1,53 ubc à 1,35 ubc, on est donc pour des raisons de sécheresse dans l'option *P. nigra ssp clusiana*. Dans le deuxième cas la Tm libre monte à $11,2^\circ\text{C}$.

La IBL monte à 1,91 ubc et la IBS descend à 1,27 ubc. On entre aussi dans l'option du *P. nigra ssp clusiana*.

Veamos lo que ocurre termicamente :

Hipotesis 4. – Las desviaciones termicas son :

<i>P. halepensis</i>	13,5-11,6 = 1,9 °C
<i>P. pinea</i>	14,0-11,6 = 2,4 °C
<i>P. pinaster</i>	14,0-11,6 = 2,4 °C
<i>P. nigra</i> ssp <i>nigricans</i>	13,0-11,6 = 1,4 °C
<i>P. nigra</i> ssp <i>clusiana</i>	12,0-11,6 = 0,4 °C

No hay mas opcion que la del *P. nigra* ssp *clusiana* pues las desviaciones superiores a 1 °C son peligrosas. Esto viene confirmado por el hecho de que, en Espana el techo altitudinal del *P. nigra* ssp *nigricans* es 1500 m y el del *P. nigra* ssp *clusiana* 1800 m.

Hipotesis 1. – Las desviaciones termicas son :

<i>P. halepensis</i>	13,5-11,2 = 2,3 °C
<i>P. pinea</i>	14,0-11,2 = 2,8 °C
<i>P. pinaster</i>	14,0-11,2 = 2,8 °C
<i>P. nigra</i> ssp <i>nigricans</i>	13,0-11,2 = 1,8 °C
<i>P. nigra</i> ssp <i>clusiana</i>	12,0-11,2 = 0,8 °C

La eleccion recae, igualmente, en el *P. nigra* ssp *clusiana*.

Entre la hipotesis 4 y la 1, es decir, entre subsolar o aterrazar, nos da mas estabilidad biologica la hipotesis 4, pues $12,0-11,6 < 12,0-11,2$ y el aumento de produccion que supone la hipotesis 1 sobre la 4 es despreciable :

$$(1,91-1,90) \cdot 0,9 \cdot \frac{11,3}{13,0} = 0,0077 \text{ m}^3/\text{ha/año.}$$

Hipotesis 2. – Las desviaciones termicas son :

<i>P. halepensis</i>	13,5-13,6 = - 0,1 °C
<i>P. pinea</i>	14,0-13,6 = 0,4 °C
<i>P. pinaster</i>	14,0-13,6 = 0,4 °C
<i>P. nigra</i> ssp <i>nigricans</i>	13,0-13,6 = - 0,6 °C
<i>P. nigra</i> ssp <i>clusiana</i>	12,0-13,6 = - 1,6 °C

Por razones de estabilidad biologica (ataques de insectos y enfermedades criptogamicas) es preferible, cuando las desviaciones termicas sean pequenas en valor abssoluto, elegir especies cuya diferencia entre la T_m libre optima de la especie y la T_m libre de la estacion sea positiva, aun cuando los crecimientos, en el caso contrario sean mayores. Asi, nos encontramos, en este caso, con una inversion altitudinal de especies : a 1600 m pueden vivir, termicamente el *P. pinea* y el *P. pinaster* y no especies menos termofilas como los *P. nigra* ssp *nigricans* y el *P. nigra* ssp *clusiana*. Esto, que se comprueba en la realidad y que no tenia explicacion satisfactoria al utilizar los indices climaticos, conocidos hasta ahora, se justifica plenamente : a 1600 m de altitud tenemos los valores :

Hypothesis Hypothèses	IBS chaude	IBL chaude	IBR/mes, ubc IBR/mois					
			ubc	ubc	M	A	M	J
1	1,27	1,91	0	0,44	0,57	- 0,22	- 0,63	0,42
2	1,05	3,57	0	0,44	1,10	0,92	- 0,63	0,42
3	1,53	0,84	0	0,33	0,32	- 0,33	- 0,66	0,54
4	1,35	1,90	0	0,44	1,10	- 0,50	- 0,66	0,54
Temperatura media mensual Temperature moyenne mensuelle			7,5	9,7	13,0	18,5	22,4	22,4

Observando el cuadro anterior, vemos :

a) Que la intensidad vegetativa de primavera es :

Hipotesis 1 = 1,01 ubc

Hipotesis 2 = 2,46 »

Hipotesis 3 = 0,65 »

Hipotesis 4 = 1,54 »

b) Que con la hipotesis 2 la actividad vegetativa se prolonga hasta Junio, con IBL = 0,92 ubc, mientras que, en las otras hipotesis en Junio hay sequia.

Esto quiere decir que la actividad vegetativa se produce, en la hipotesis 2 con temperaturas mas altas que en las otras hipotesis, lo que mejora la utilizacion de especies mas termofilas.

Nos queda, en la hipotesis 2 elegir entre el *P. pinea* y el *P. pinaster*. La eleccion recae en el *P. pinaster*, por dos razones :

a) porque la IBL calida es 3,57 ubc y sabemos que la minima aceptable para el *P. pinaster* es 2,0 ubc y para el *P. pinea* 1,5 ubc lo que haria al *P. pinea* susceptible a las plagas y enfermedades, asi como a las heladas extemporaneas.

b) por razones economicas :

Produccion :

$$P. pinea = 3,57 \cdot 0,8 \cdot \frac{13,6}{14,0} = 2,77 \text{ m}^3/\text{ha/año}$$

$$P. pinaster = 3,57 \cdot 1,0 \cdot \frac{13,6}{14,0} = 3,46 \quad \text{»}$$

Voyons ce qu'il arrive pour les températures :

Hypothèse 4. – Écart de la Tm libre :

<i>P. halepensis</i>	13,5-11,6 = 1,9 °C
<i>P. pinea</i>	14,0-11,6 = 2,4 °C
<i>P. pinaster</i>	14,0-11,6 = 2,4 °C
<i>P. nigra ssp nigricans</i>	13,0-11,6 = 1,4 °C
<i>P. nigra ssp clusiana</i>	12,0-11,6 = 0,4 °C

Il n'y a d'autre solution que celle du *P. nigra ssp clusiana* car les écarts supérieurs à 1°C sont dangereux. Cela est confirmé par le fait qu'en Espagne le plafond altitudinal du *P. nigra ssp nigricans* est 1 500 m et celui du *P. nigra ssp clusiana* est 1 800 m.

Hypothèse 1. – Écart de la Tm libre :

<i>P. halepensis</i>	13,5-11,2 = 2,3 °C
<i>P. pinea</i>	14,0-11,2 = 2,8 °C
<i>P. pinaster</i>	14,0-11,2 = 2,8 °C
<i>P. nigra ssp nigricans</i>	13,0-11,2 = 1,8 °C
<i>P. nigra ssp clusiana</i>	12,0-11,2 = 0,8 °C

Le choix tombe également et pour la même raison sur le *P. nigra ssp clusiana*.

Entre l'hypothèse 4 et l'hypothèse 1, c'est-à-dire entre soussoler ou terrasser l'hypothèse 4 nous donne plus stabilité biologique car $12,0 - 11,6 < 12,0 - 11,2$ et l'augmentation de production que suppose l'hypothèse 1 sur la 4 est négligeable.

$$(1,91-1,90)0,9 \cdot \frac{11,3}{13,0} = 0,0077 \text{ m}^3/\text{ha/an.}$$

Hypothèse 2. – Écart de la Tm libre :

<i>P. halepensis</i>	13,5-13,6 = -0,1 °C
<i>P. pinea</i>	14,0-13,6 = 0,4 °C
<i>P. pinaster</i>	14,0-13,6 = 0,4 °C
<i>P. nigra ssp nigricans</i>	13,0-13,6 = -0,6 °C
<i>P. nigra ssp clusiana</i>	12,0-13,6 = -1,6 °C

Pour des raisons de stabilité biologique (attaques d'insectes et maladies cryptogamiques) il est préférable quand les écarts thermiques sont petits en valeur absolue de choisir des espèces pour lesquelles la différence entre la Tm libre optimum de l'espèce et la Tm libre de la station est positif, même quand les écarts dans le cas contraire sont plus forts. Ainsi on trouve dans ce cas une inversion altitudinale d'espèces : à

1 600 m peuvent vivre thermiquement le *P. pinea* et le *P. pinaster* et non pas les espèces moins termophiles comme le *P. nigra ssp nigricans* et le *P. nigra ssp clusiana*. Ce fait qu'on vérifie dans la nature et qui n'avait pas d'explication satisfaisante quand on utilisait les indices climatiques connus jusqu'à présent, se justifie pleinement : à 1 600 m d'altitude, on a les valeurs indiquées dans le tableau de la page ci-contre.

En observant ce tableau, nous voyons :

a) que l'intensité végétative du printemps est :

Hypothèse 1 = 1,01 ubc
2 = 2,46 ubc
3 = 0,65 ubc
4 = 1,54 ubc

b) qu'avec l'hypothèse 2, l'activité végétative se prolonge jusqu'à Juin, avec IBL = 0,92 ubc pendant que dans les autres hypothèses, en Juin on a de la sécheresse. Cela veut dire que l'activité se produit, dans l'hypothèse 2 avec des températures plus élevées que dans les autres hypothèses, ce qui améliore l'utilisation d'espèces plus termophiles.

Dans l'hypothèse 2 il nous reste à choisir entre le *P. pinea* et le *P. pinaster*. Le choix tombe sur le *P. pinaster* pour deux raisons :

a) parce que IBL est 3,57 ubc et nous savons que le minimum acceptable pour le *P. pinaster* (2,0 ubc) est supérieur à celle du *P. pinea* (1,5 ubc) ce qui rendrait le *P. pinea* sensible aux fléaux et aux maladies, ainsi qu'aux gelées hors de saison.

Production :

$$P. pinea = 3,57 \cdot 0,8 \cdot \frac{13,6}{14,0} = 2,77 \text{ m}^3/\text{ha/an}$$

$$P. pinaster = 3,57 \cdot 1,0 \cdot \frac{13,6}{14,0} = 3,46 \text{ m}^3/\text{ha/an}$$

Finalement il nous reste à choisir entre l'hypothèse 4 avec *P. nigra ssp clusiana* et l'hypothèse 2 avec *P. pinaster* (cf. tableau page suivante).

Finalmente nos queda elegir entre la hipótesis 4, con *P. nigra ssp. clusiana* y la hipótesis 2 con *P. pinaster*

Hipótesis <i>Hypothèse</i>	Especie <i>Espèce</i>	Desviación de la TM libre, 0 °C <i>Écart de la TM libre</i>	Producción <i>Production</i> $m^3/ha/año$ $m^3/ha/an$
2	<i>P. pinaster</i>	0,4	3,46
4	<i>P. nigra ssp. clusiana</i>	0,4	1,46

Como la estabilidad, por razones térmicas, es la misma, la elección depende de la contestación a la pregunta ¿Compensa el aumento de producción de 2,0 $m^3/ha/año$ el gasto, que supone, el aterrazado?

Otro de los problemas que pueden presentarse es saber hasta qué altitud puede utilizarse una especie o entre qué altitudes puede vivir satisfactoriamente. Esto equivale a saber la variación de la IBS con la altitud así como la influencia de la variación de la temperatura. Conocidos los gradientes de precipitaciones y de temperatura con la altitud se calculan los índices bioclimáticos y cuando la IBL es aceptable el factor decisivo es la sequía. Ahora bien, la IBS varía muy poco al variar la CR, en cambio es más sensible al cambio de escorrentía. El procedimiento será, pues, calcular la IBS para $W=0$ y para $W=30\%$ y ver a qué altitud es admisible la sequía para la especie en estudio.

En la Sierra de Córdoba se observó que las repoblaciones con *P. pinaster* presentaban anomalías. Con los datos de las Estaciones Meteorológicas de Posadas, a 88 m de altitud y del monte Cabeza Aguda, a 650 m de altitud y planimétricamente muy próximas, circunstancia favorable que permitió interpolar en vez de aplicar gradientes. Los índices IBS obtenidos fueron:

Estación	Altitud m	Hipótesis (0,0) IBS ubc	Hipótesis (0,30 %) IBS ubc
Monte CABEZA AGUA	650	1,50	1,61
POSADAS	88	2,38	2,75

Con los datos meteorológicos correspondientes a las estaciones simuladas mediante interpolación, se calculó la IBS de la hipótesis ($CR=0$, $W=0$) en cada nivel altitudinal. Para determinar la banda de la sequía, se procedió simplemente a interpolar, para cada altura, las anchuras de la banda de las estaciones-base.

El resultado puede verse en la Fig. 5 donde puede verse cómo a partir de los 500 m de altitud la sequía empieza a ser inferior a la tolerable por el *P. pinaster* (1,7 ubc). Esto se confirma en la realidad observando si la regeneración natural empieza a conseguirse a esa altitud, que suele ser el fenómeno indicativo del límite inferior, en altitud, de una especie. La Guardería Forestal, casi matemáticamente, confirmó este hecho. Actualmente por debajo de 500 m se repuebla con *P. pinea*.

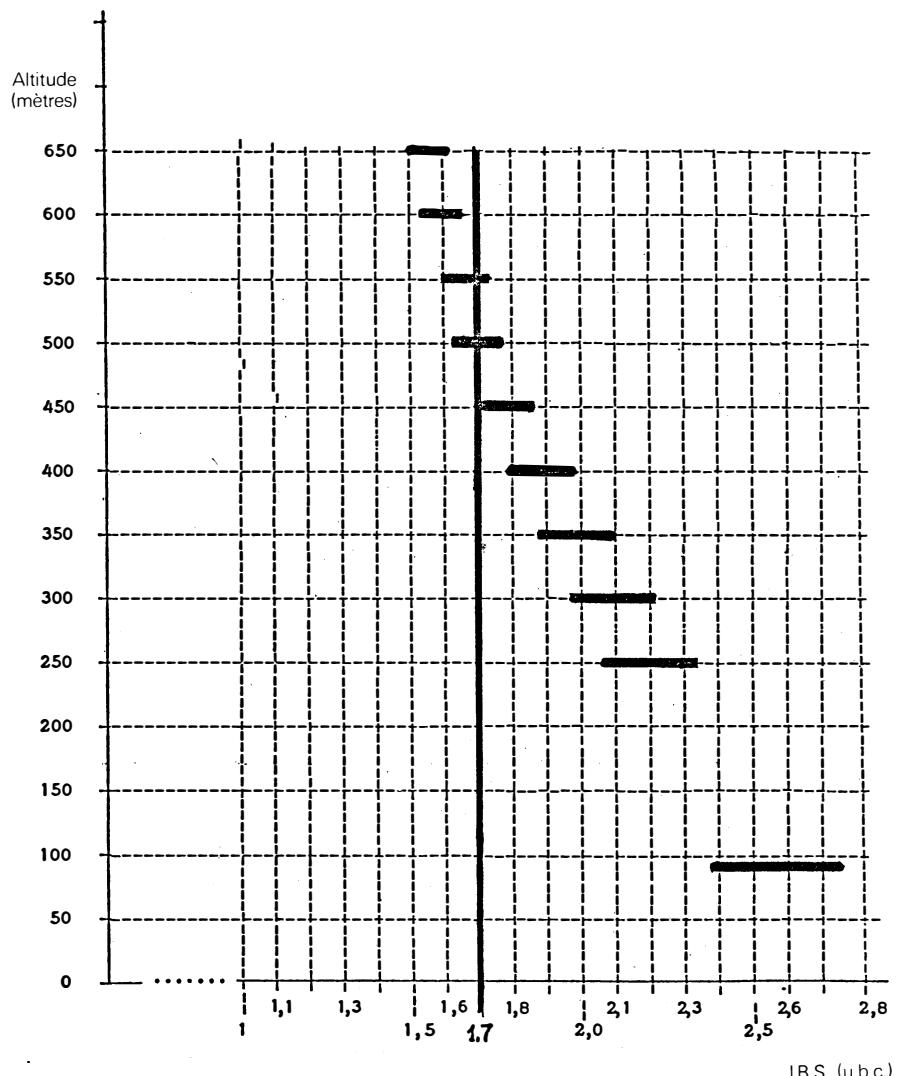


Fig. 5. – Variations de la sécheresse en fonction de l'altitude. Stations : Posadas-Monte Cabeza Aguda (Cordoba).

Comme pour des raisons de température la stabilité est la même, le choix dépend de la réponse à la question suivante : l'augmentation de production de $2,0 \text{ m}^3/\text{ha/an}$ compense-t-elle la dépense du terrassement ? Un autre problème qui peut se poser est de savoir jusqu'à quelle altitude on peut utiliser une espèce ou entre quelles altitudes elle peut vivre d'une façon satisfaisante ? Cela équivaut à connaître la variation de la IBS chaude avec l'altitude ainsi que l'influence de la température.

Connaissant les gradients des précipitations et de la température avec l'altitude on calcule les indices bioclimatiques et quand la IBL est acceptable le facteur décisif est la sécheresse. Or la IBS varie très peu avec la CR par contre elle est plus sensible au ruissellement. Le procédé sera donc de faire les calculs pour $W = 30\%$ et pour $W = 0\%$ et de voir à quelle altitude la sécheresse est admissible pour l'espèce étudiée.

A la Sierre de Cordoba on a observé que les reboisements avec *P. pinaster* présentaient des anomalies. Avec les données de deux Stations météorologiques : celle de Posadas à 88 m d'altitude et celle de la montagne Cabeza Aguda à 650 m d'altitude, toutes deux planimétriquement très proches on a pu interpoler au lieu d'appliquer des gradients. les indices obtenus furent :

Station	Altitude m	Hypothèse (0,0) IBS ubc	Hypothèse (0,30 %) IBS ubc
MONTE CABEZA AGUDA	650	1,50	1,61
POSADAS	88	2,38	2,75

Avec les données météorologiques correspondant aux stations simulées par interpolation on a calculé l'IBS de l'hypothèse ($CR = 0, W = 0$) dans chaque niveau altitudinal. Pour déterminer la bande de sécheresse on a interpolé simplement pour chaque altitude les largeurs de la bande des stations-bases.

On a représenté le résultat dans la figure 5, où l'on peut voir comment à partir des 500 m d'altitude la sécheresse commence à être inférieure à ce qui est tolérable par le *P. pinaster*. On confirme cela dans la réalité en observant que la régénération naturelle commence à cette altitude. C'est là en général le phénomène qui indique la limite inférieure en altitude d'une espèce.

Actuellement on reboise au dessous de 500 m d'altitude avec *P. pinea*.

II.1.2. – Elección del tipo de planta

Aunque la experiencia ha sido muy limitada, los esperanzadores y positivos resultados del esbozo de aplicación de los índices bioclimáticos a la elección del tipo de planta puede ser el siguiente :

Admitiendo que la planta tiene la calidad mínima requerida por las normas de la C.E.E., por la aplicación de la fórmula de Schmidt-Vogt o por otras normas, en los países no pertenecientes a la Comunidad Económica Europea. Y admitiendo, también, que la planta tiene la fórmula bioédica (fórmula de aplicación generalizada que liga la edad y el número de transplantes) queda la elección entre utilizar planta « a raíz desnuda » o con cepellón, esto último mediante el cultivo en bolsa de polietileno.

Como este trabajo se refiere a terrenos de clima mediterráneo, en el que las plantaciones se realizan en otoño ya que las primaveras son cortas y con peligro de subsecuencia por tener una IBL cálida – primaveral baja, hemos de plantar en época en que se aproveche, toda o parte de la IBR de otoño. De esta forma el RRP (Root Regeneration Potential) o *Potencial de Regeneración Radical*, en caso de planta extraída del veivero a raíz desnuda, sea tal, que pueda la planta utilizar, lo más pronto posible, reservas hídricas del suelo más alejadas de ella.

Para el *P. halepensis* el valor límite de IBL de primavera es 2,5 ubc y el Cp límite 1,2.

Si IBL primaveral $< 2,5$ ubc y $Cp < 1,2$ la plantación debe hacerse en bolsa.

Si las condiciones anteriores no se cumplen puede realizarse la plantación « a raíz desnuda ».

Así, por ejemplo, en Aledo, provincia de Murcia tenemos los datos :

Hipótesis <i>Hypothèse</i>	IBL de primavera <i>IBL chaude de printemps</i> ubb	Cp de primavera <i>Cp de printemps</i>
1	1,67	1,13
2	3,46	1,81
3	1,22	0,86
4	2,36	1,54

Hipótesis 1.

$1,67 < 2,5$
 $1,13 < 1,2$ Plantación en bolsa. La mejora del aterrazamiento ($W = 0$) no es suficiente para plantar « a raíz desnuda ». Esto se ha comprobado.

Hipótesis 2.

$3,46 < 2,5$
 $1,81 < 1,2$ Plantación « a raíz desnuda ». El subsolado ha mejorado, considerablemente las condiciones, cosa lógica pues la CRT de Aledo es muy alta (203,76 mm).

Hipótesis 3.

$1,22 < 2,5$
 $0,86 < 1,2$ Plantación en bolsa.

Hipótesis 4.

$2,36 < 2,5$
 $1,54 < 1,2$ Podría plantarse « a raíz desnuda » pero como $Cp = 1,2$ y la diferencia $2,5 - 2,36 = 0,14$ ubc es pequeña acudimos

el Coeficiente de Irregularidad Pluviométrica que, para esta estación es el 40 % y que está situado en la clase más alta de las seis en que se ha dividido lo España peninsular (valores medios de las clases : 17,5; 22,5; 27,5; 32,5; 37,5 y 42,5 %). Por tanto como el peligro de presentarse un año seco es grande se prefiere plantar, en la hipótesis 4, en bolsa.

Si la especie fuese el *P. pinaster* los valores límites serían : para la IBL de primavera 2,0 ubc y para el Cp 1,5, aunque, en general en los climas donde esta especie es la idónea el Cp suele ser alto.

II.1.2. Choix du type de plants

Quoique l'expérience ait été très limitée le résultat positif et prometteur d'essais pour l'application des indices bioclimatiques au choix du type de plant peut être le suivant :

En admettant que les plants aient la qualité minimale requise par les normes de la C.E.E. pour l'application de la formule de Schmidt-Vogt ou par d'autres normes propres aux pays qui n'appartiennent pas à la Communauté Économique Européenne, en admettant aussi que les plants répondent à la formule qui lie l'âge au nombre de repiquages il nous reste le choix entre utiliser des plants « à racine nue » ou des plants en motte de terre grâce à la culture en sac de polyéthylène.

Comme ce travail concerne des terrains sous climat méditerranéen, où les plantations se font en automne puisque les printemps sont courts et avec le risque d'une sécheresse tardive c'est-à-dire d'une IBL chaude printanière faible, nous devons planter en une époque où les plants profitent en tout ou en partie de la IBL d'automne. De cette façon le RRP (Root Regeneration Potential) *Potentiel de Régénération radical*, des plants à racine nue doit être tel que la plante puisse utiliser le plus vite possible des réserves hydriques du sol plus éloignées d'elle. Pour le *P. halepensis* la valeur limite de IBL chaude du printemps est 2,5 ubc et le Cp limite 1,2.

Si IBL chaude printanière $< 2,5$ ubc et $Cp < 1,2$ la plantation doit se faire en sac. Si ces conditions ne sont pas réalisées on peut faire la plantatian « à racine nue ».

Ainsi par exemple, à Aledo (province de Murcia) on a les données suivantes qui figurent dans le tableau ci-contre :

Hypothèse 1.

$$1,67 < 2,5$$

$$1,13 < 1,2$$

Plantation en motte. L'amélioration du terrassement ($W = 0$) n'est pas suffisante pour planter « à racine nue ». Cela a été vérifié.

Hypothèse 2.

$$3,46 < 2,5$$

$$1,81 < 1,2$$

Plantation « à racine nue ». Le soussoulage a amélioré considérablement les conditions, c'est logique car la CRT de Aledo est très élevée : 203, 76 mm.

Hypothèse 3.

$$1,22 < 2,5$$

$$0,86 < 1,2$$

Plantation en motte.

Hypothèse 4.

$$2,36 < 2,5$$

$$1,54 < 1,2$$

Rien ne saurait empêcher que nous plantions « à racine nue » mais comme Cp 1,2 et la différence 2,5-2,36 = 0,14 ubc est petite, on recourt au coefficient d'irrégularité pluviométrique qui, pour cette station est de 40 % et qui est situé dans la plus élevée des six classes qui divisent l'Espagne péninsulaire (valeurs moyennes des classes : 17,5; 22,5; 27,5; 32,5; 37,5 et 42,5 %). Par conséquent, comme le risque que se présente une année sèche est grand on préfère planter en motte dans l'hypothèse 4.

Si l'espèce avait été le *P. pinaster*, les valeurs limites auraient été : pour la IBL chaude de printemps 2,0 ubc et pour le Cp 1,5, quoique en général sous les climats où cette espèce est adaptée le Cp soit, en général, élevé.

II.1.3. – Preparacion del terreno.

Cuando se presenta el problema de saber la preparacion del suelo más adecuada para una especie, en una estacion dada, el razonamiento es analogo al anterior.

En la Fig. 6 representamos, en el sistema coordenado IBS-IBL los valores obtenidos en las hipotesis (0,0) (100 mm,0), (0,30 %) y (100 mm, 30 %), de cuatro estaciones : Yecla, La Laguna, Navasfrias y Orense. Hemos de señalar que, como hemos visto anteriormente, la preparacion del suelo puede forzar la utilizacion de una especie si no existen mas limitaciones que las climaticas. Observamos :

1. La Laguna. En esta estacion vemos que tiene más influencia la CR que la escorrentia (W), luego si queremos mejorar la produccion es preferible que las disponibilidades economicas se apliquen a subsolar antes que en aterrazar.

2. Orense. La influencia de la CR y la de la W son comparable pero, como los niveles de sequia son muy bajos (inferiores 0,75 ubc), ha de considerarse que es más rentable el subsolado que el aterrazado, pues se pasa de 6,6 ubc (punto 1) a 9 ubc (punto 2) en la IBL, lo que supone un aumento de produccion de 2,4 m³/ha/año. En cambio aterrazando se pasa de 4,9 ubc (punto 3) a 6,6 ubc (punto 4) lo que supone un aumento de produccion de 1,7 m³/ha/año, no teniendo en cuenta la correccion de la produccion por razones termicas.

3. Navasfrias. Sobre la sequia el aumento de CR (subsolado) no influye, pero sí sobre la produccion pues supone un incremento de 1,71 m³/ha/año con W = 30 % y de 1,95 m³/ha/año, sin tener en cuenta la correccion de la produccion por razones termicas. La influencia de la disminucion de la escorrentia en la sequia es poco importante pues supone una disminucion de 0,15 ubc al aterrazar y 0,31 ubc si, ademas de aterrazar, subsolamos la terraza.

4. Yecla. En esta estacion, los puntos 3 y 4 coinciden, es decir, la CR no influye en el comportamiento bioclimatico estacional cuando hay mucha escorrentia, lo que debe interpretarse, ya lo hemos indicado anteriormente, en el sentido de que si no se ha controlado la escorrentia es totalmente inutil el subsolado. En cambio es importantísimo disminuir la escorrentia, hasta el punto de que el paso de 3-4 a 1 hace que la IBL pase de 0,18 ubc a 1,37 ubc si solamente aterrazamos y a 1,57 ubc si, ademas, subsolamos la plataforma de la terraza.

Si dibujamos, en la Fig. 6, la linea limite de la sequia tolerada por el *P. pinaster* (IBS = 1,7 ubc), vemos :

1. Que en Yecla el *P. pinadter* puede vivir por razones de sequia pero, con cualquiera de las cuatro hipotesis la IBL es inferior a la minima que requiere esta especie (2,0 ubc), luego no es posible repoblar con *P. pinaster*.

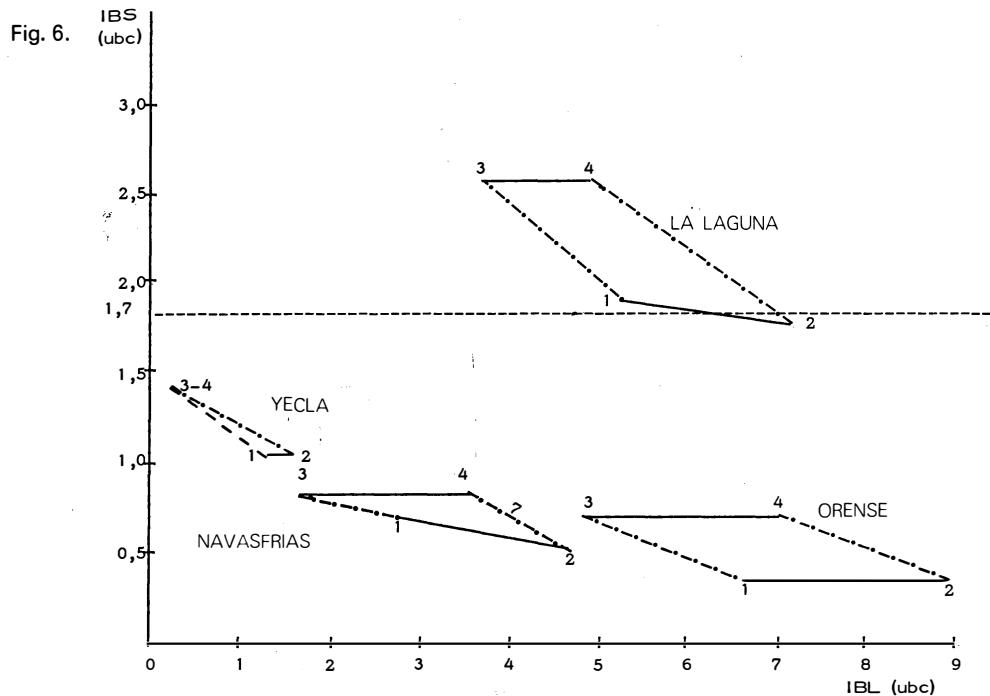
2. En La Laguna no es posible repoblar con *P. pinaster* mas que en la hipotesis 2, es decir, construyendo terrazas y subsolando su plataforma, aunque la sequia es muy alta (1,69), casi en el limite soportado por esta especie. Existe mucho riesgo, sobre todo por los ataques de *Thaumetopoea pityocampa* ya que a la alta sequia se une una IBL alta (7,21 ubc). No debe repoblararse con *P. pinaster* sino con *P. halepensis*, lo que se confirma con el hecho de que en Mahon (isla de Menorca-Baleares), cuyo Diagrama Bioclimatico es casi igual al de La Laguna, existen masas naturales de pino de Alepo.

3. En Navasfrias puede repoblararse con *P. pinaster* si se mejora la escorrentia, la capacidad de retencion o ambas cosas; sin modificar estas caracteristicas, es decir, en la hipotesis CR = 0, W = 30 % (punto 3) no puede utilizarse dicha especie, ya que, en este caso, IBL = 1,85 ubc < 2,0.

La eleccion entre las hipotesis 4, 1 y 2 es termica o economica.

Hipotesis	Produccion, m ³ /ha/año
1	$2,77 \cdot 1,0 \cdot \frac{12,2}{14,0} = 2,41$
2	$4,72 \cdot 1,0 \cdot \frac{2 \cdot 14,0 - 14,2}{14,0} = 4,65$
4	$3,56 \cdot 1,0 \cdot \frac{13,8}{14,0} = 3,50$

La hipotesis 1 debe desecharse ya que la desviacion de la Tm libre de la estacion (12,2°C) sobre la optima de la especie es excesivamente alta : 14,0 – 12,2 = 1,8°C; por otra parte es la hipotesis que dà menor produccion y mas costosa, en relacion a la hipotesis 4, aterrazado y subsolado respectivamente. La solucion es elegir entre las hipotesis 4 y 2 y depende de la contestacion a la pregunta ¿Compensa aterrazar y subsolar la terraza, en vez de subsolar solamente, para obtener una mejora de produccion de 4,65 – 3,50 = 1,15 m³/ha/año.



II.1.3. Préparation du terrain.

Quand se pose le problème de savoir quelle sera la préparation la plus appropriée du sol pour une espèce, dans une station donnée, le raisonnement est analogue aux précédents. A la figure 6 on représente dans le système coordonné IBS-IBL les valeurs obtenues pour les hypothèses (0,0), (100 mm, $W=0$), (0,30 % et 100 mm, $W=30\%$) de quatre saisons : Yecla, La Laguna, Navasfrias et Orense.

Nous devons remarquer que, comme nous l'avons déjà vu, la préparation du sol peut forcer l'utilisation d'une espèce s'il n'existe que des limitations climatiques. Observons :

1. La Laguna. Dans cette station, nous voyons que la CR a plus d'influence que l'écoulement (W), alors si l'on veut améliorer la production il est préférable d'appliquer les disponibilités économiques à soussoler plutôt qu'à terrasser.

2. Orense. L'influence de la CR et de W sont comparables mais comme les niveaux de la sécheresse sont très bas (inférieur à 0,75 ubc), il faut considérer qu'il est plus rentable de soussoler car on passe de 6,6 ubc (point 1) à 9 ubc (point 2) dans la IBL chaude ce qui correspond à une augmentation de production de $2,4 \text{ m}^3/\text{ha/an}$. Par contre, si l'on terrassé, on passe de 4,9 ubc (point 3) à 6,6 ubc (point 4) ce qui correspond à une augmentation de production de $1,7 \text{ m}^3/\text{ha/an}$; sans compter la correction de la production pour des raisons de température.

3. Navasfrias. L'augmentation de CR (soussolé) n'influe pas sur la sécheresse, mais agit sur la production, cela corres-

pond à un accroissement de $1,71 \text{ m}^3/\text{ha/an}$, avec $W=30\%$ et de $1,95 \text{ m}^3/\text{ha/an}$ avec $W=0$, sans compter l'amélioration de la production par des raisons de température. L'influence de la réduction d'écoulement par la sécheresse est très peu importante car elle suppose une diminution de 0,15 ubc quand on terrasse et 0,31 si en plus de terrasser on soussole la terrasse.

4. Yecla. Dans cette station les points 3 et 4 coïncident, c'est dire que, la CR n'influe pas dans la bioclimatologie de la station, déjà on a un fort ruissellement, ce qui doit impliquer, comme on l'a vu, que si l'on n'a pas contrôlé le ruissellement il est inutile de soussoler; par contre il est très important de réduire le ruissellement, au point que le passage de 3-4 à 1, fait que la IBL chaude passe de 0,18 ubc à 1,37 si l'on terrasse seulement et à 1,57 ubc si en plus on soussole la plateforme de la terrasse.

Si l'on dessine sur la figure 6 la ligne limite de la sécheresse tolérée par le *P. pinaster* (IBS = 1,7 ubc), on voit :

1) Que le *P. pinaster* peut vivre à Yecla car avec n'importe quelle des quatre hypothèses, la IBL chaude est inférieure au minimum que cette espèce exige (2,0 ubc), alors qu'il n'est pas possible de reboiser avec *P. pinaster*.

2) A la Laguna, il n'est possible de repeupler avec *P. pinaster* que dans l'hypothèse 2, c'est-à-dire, en aménageant des terrasses et en soussolant les plateformes, car la sécheresse est très élevée (1,69 ubc) presque à la limite supportée par cette espèce. Il existe en outre un grand risque à cause des attaques de *Thaumetopoea pityocampa*, puisqu'à une sécheresse élevée, s'ajoute une IBL

chaude haute (7,21 ubc), il ne faut donc pas reboiser avec *P. pinaster*, mais avec *P. halepensis*, ce qui confirme le fait qu'à Mahon (île de Minorque - Baléares), dont le diagramme Bioclimatique est presque pareil à celui de La Laguna il existe des forêts naturelles du pin d'Alep.

3) A Navasfrias on peut reboiser avec *P. pinaster*, si l'on corrige le ruissellement ou la capacité de rétention ou les deux choses à la fois. Sans modifier ces caractéristiques, c'est-à-dire, dans l'hypothèse CR = 0, $W=30\%$ (point 3) on ne peut pas utiliser cette espèce, puisque dans ce cas IBL chaude = $1,85 \text{ ubc} < 2,0 \text{ ubc}$. Le choix entre les hypothèses 1,2 et 4 est soit dicté par la température soit économique :

	Hypothèse	Production, $\text{m}^3/\text{ha/an}$
1	$2,77 \cdot 1,0 \cdot \frac{12,2}{14,0} = 2,41$	
2	$4,72 \cdot 1,0 \cdot \frac{2 \cdot 14,0 - 14,2}{14,0} = 4,65$	
4	$3,56 \cdot 1,0 \cdot \frac{13,8}{14,0} = 3,50$	

L'hypothèse 1 doit être écartée car la différence entre la T_m libre de la station ($12,2^\circ\text{C}$) et l'optimum requis par l'espèce est excessivement élevée : $14,0 - 12,2 = 1,8$; d'autre part c'est le cas où on obtient une production plus faible ou plus coûteuse comparée à l'hypothèse 4 respectivement avec terrassement et soussolage. La solution doit être choisie entre l'hypothèse 4 et l'hypothèse 2 et cela dépend de la réponse à la question : faut-il terrasser et soussoler la terrasse au lieu de soussoler seulement, pour obtenir une amélioration de production de $4,65 - 3,50 = 1,15 \text{ m}^3/\text{ha/an}$?

II.1.4. Densidad de la repoblacion

Uno de los problemas que han merecido la atencion de los tecnicos forestales es la determinacion del numero de arboles por hectarea, en las repoblaciones. Las dos tendencias extremas son : la de la selvicultura del norte y centro de Europa que, por tratar con climas hidricamente saturados (sin periodos claros de sequia) preconizan fuertes densidades para evitar la invasion del matorral heliofilo y mantener la fertilidad del suelo, con claras tempranas y frecuentes. Y la selvicultura del mediterraneo meridional en el que la excasez de precipitaciones obliga a una menor densidad compatible con la creacion de una cubierta vegetal protectora. El encarecimiento de la mano de obra ha hecho que las densidades hayan disminuido en la aplicacion de estos dos criterios extremos.

En la zona mediterranea española nos afiliamos a la teoria de las densidades bajas, pero, no olvidamos, que la solucion correcta es la que haga compatibles las premisas :

- a) que nos encontramos en zona de baja pluviometria y que las especies, aun las más xerófilas, tienen unas exigencias hidricas que hay que satisfacer.
- b) que, en general, las repoblaciones forestales tienen, en la zona mediterranea española, una funcion de proteccion hidrologica que cumplir y que esta funcion exige, en funcion del regimen pluviometrico y pendiente del terreno, unos valores minimos de densidad, segun la especie (expansion y densidad de copa).
- c) que la economia aconseja no realizar inversiones, como las de clareos, que serian necesarias para compatibilizar las premisas a) y b), y la de las claras no autofinanciables; los primeros hasta el estado de *monte bravo* y las segundas a partir del estado de *latizal*.

Encontrar la solucion a este sistema de ecuaciones no debe ser nada facil y como el hacer milagros no entra, por el momento, dentro de las misiones que los politicos encomiendan a los tecnicos forestales, nos limitamos a buscar una solucion tecnica a la premisa a). La idea es la siguiente :

Si en una determinada estacion la IBS es tal que no permite la existencia de una masa en espesura completa, podemos rebajar la IBS regando, o reduciendo la escorrentia, o aumentando la capacidad de retencion o ambas cosas, como hemos visto, hasta ahora. Pero tambien se puede rebajar la IBS, no elevando la poligonal **D**, de las disponibilidades hidricas, sino disminuyendo las exigencias de agua que, a masa completa, coincide, como sabemos con **E**. No es que disminuyamos **E**, que es un dato climatico en periodos iguales o superiores al mes, sino simular una situacion bajando las poligonales de la **E** y **e**.

Si, aplicando las tecnicas factibles, tecnica y economicamente, la sequia sigue siendo elevada, nos queda el recurso de disminuir la evapotranspiracion por unidad superficial y esto puede hacerse disminuyendo la componente vegetativa de la transpiracion. Por supuesto que sabemos que la evapotranspiracion potencial es suma de la evaporacion del suelo y transpiracion del vuelo; pero debemos tener en cuenta que si se trata de medir sequias se opera en verano, cuando la capa superficial del suelo esta seca y, en estas condiciones, la evaporacion del suelo es despreciable en relacion con la transpiracion vegetativa. Siendo **E'** la evapotranspiracion potencial corregida (añadimos el adjetivo corregida porque realmente no es evapotranspiracion potencial, pues este calificativo supone cubierta vegetal completa y, tambien, no limitaciones de agua). Siendo **e' = 0,2 E'** podemos establecer la siguiente proporcion, que, por supuesto, no es matematicamente exacta :

$$\frac{e'}{e} = \frac{d}{D}$$

siendo : **e** = evapotranspiracion residual

e' = evapotranspiracion residual « corregida »

D = numero de arboles/ha en espesura completa

d = numero de arboles/ha a repoblar

Entonces, la intensidad bioclimatica de un periodo elemental de sequia (mes) sera :

$$b' = \frac{P - e'}{4e'} \cdot \frac{T - 7,5}{5} \text{ ubc/mes}$$

pues **D - e/E - e** con la proporcion anterior y sabiendo que **d = P** es igual a **P - e'/4e'**, **e' = e · d/D**.

Dando sucesivos valores a **d/D**, en forma creciente y con las **e'** que a esos valores corresponda, se calculan las **b'** correspondientes a todos los meses en que este valor sea negativo; su suma nos dará la sequia simulada que buscamos, que ha de ser igual o inferior, a la limite de la especie. Del valor utilizado de **d/D** que satisfaga esta condicion se calcula **d**.

II.2. Mapas bioclimaticos

Deciamos, al principio de este trabajo, que el tecnico forestal necesitaba una informacion climatica casi puntual. Pues bien, cuando se trata de realizar un estudio climatico, con fines biologicos, en una zona de cierta extension se puede, partiendo de los datos-base suministrados por las Estaciones Meteorologicas ubicadas dentro de esa zona, consideradas como vertices de una triangulacion, confeccionar mapas de los indices bioclimaticos que hemos estudiado. Se parte de un mapa topografico, con curvas de nivel, que suministra la informacion puntual de altitud, pendiente y orientacion, y de otro mapa de vegetacion fotointerpretado. Estos mapas facilitan al ordenador y a traves de una matriz de cambio los valores de **CR** y **W**. Un programa para el calculo del indice bioclimatico deseado y la informacion anterior permite confeccionar, automaticamente mapas bioclimaticos, tomando como datos-base los de las Estaciones Meteorologicas de la zona en los que se refiere a temperaturas medias mensuales y pluviometria media mensual.

En zonas de clima semiarido hemos confeccionado mapas de IBS e IBL con doce clases para la primera (de 0 a 2,5 ubc) y para la segunda con intervalos de 0,25 ubc.

La Unidad Cartografica Automatica consta de :

- Estereometrógrafo **Zeiss Jena**, modelo F, con registrador electronico de coordenadas y coordinotógrafo.
- Mesa digitalizadora **Bendix**, con pantalla « in line ».
- Ordenador General Automatico **SPC/16/45** con 64 bytes de memoria y 4 unidades de discos magneticos, lectura y perforadora de cinta, impresora, pantalla etc.

II.1.4. Densité du reboisement

Un problème qui a mérité l'attention des techniciens forestiers est de choisir le nombre d'arbres par hectares dans les reboisements. Les deux tendances extrêmes sont : celles de la sylviculture du nord et du centre de l'Europe, où avec des climats hydrauliquement saturés (sans période de sécheresse), on préconise de fortes densités afin d'éviter l'envahissement par la broussaille héliophile et de conserver la fertilité du sol, grâce à des éclaircies précoces et fréquentes; et la sylviculture méditerranéenne où le manque de précipitations impose une plus faible densité compatible avec la création d'une couverture végétale protectrice. Le renchérissement de la main d'œuvre a fait que les densités ont diminué pour l'application de ces deux solutions extrêmes.

Dans la zone méditerranéenne espagnole nous nous affilions à la théorie des densités basses, mais sans oublier que la solution correcte est celle qui est compatible avec les prémisses suivantes :

a) nous nous trouvons dans une zone de basse pluviométrie et les espèces, même les plus xérophyles, ont des exigences hydrauliques minimales qu'il faut satisfaire;

b) en général, les reboisements forestiers ont, dans la zone méditerranéenne espagnole, une fonction de protection hydrologique et cette fonction exige, selon le régime pluviométrique et la pente du terrain, des valeurs minimales de densité, conforme aux espèces (expansion et densité des cimes);

c) l'économie déconseille de réaliser des interventions comme l'élagage ou la coupe de nettoiement, qui seraient nécessaires pour rendre compatibles les prémisses a et b et des éclaircies qui ne seraient pas auto-financables et qui seraient réalisées les premières jusqu'à l'état de *fourré* et les deuxièmes à partir de l'état de *perchis*.

Il ne doit pas être facile de trouver la solution à ce système d'équations et il n'est pas possible de faire des miracles, pour l'instant, dans les missions que les politiques confient aux techniciens forestiers. Nous nous limiterons à chercher une solution technique à la prémissse a).

L'idée est la suivante :

Si la IBS chaude d'une station déterminée est telle qu'elle ne permet pas l'existence d'un peuplement boisé et fermé, nous pouvons réduire la IBS chaude : en arrosant, en réduisant le ruisseaulement ou en augmentant la capacité de rétention ou les deux choses à la fois, comme nous avons vu jusqu'à présent.

Mais on peut aussi réduire la IBS non pas en relevant la courbe **D** des disponibilités hydrauliques mais en diminuant les exigences d'eau qui pour un boisement complet, coincident, comme nous savons avec **E**. Il ne s'agit pas de réduire **E** qui est une donnée climatique pour des périodes égales ou supérieures au mois, mais de simuler une situation qui abaisse les courbes de **E** et de **e**. Si quand on applique des méthodes possibles, techniquement et économiquement, la sécheresse continue à être élevée, il nous reste le recours de diminuer l'évapotranspiration par unité superficielle et cela peut se faire en diminuant la composante végétative de la transpiration. Naturellement nous savons que l'évapotranspiration potentielle est l'addition de l'évaporation du sol et la transpiration végétale; mais nous devons nous rendre compte qu'il s'agit de mesurer des sécheresses, en été, quand la couche superficielle du sol est sèche et dans ces conditions l'évaporation du sol est négligeable en comparaison de la transpiration de la végétation.

Si **E'** est « l'évapotranspiration potentielle corrigée » (on ajoute l'adjectif corrigée car ce n'est pas réellement l'évapotranspiration potentielle, puisque ce qualificatif suppose une couverture végétale complète et pas de limitation en eau). Si **e' = 0,2 E'** nous pouvons établir la proportion suivante, qui naturellement n'est mathématiquement pas exacte :

$$\frac{e'}{e} = \frac{d}{D}$$

où : **e** = évapotranspiration résiduelle
e' = évapotranspiration résiduelle « corrigée »
D = nombre d'arbres/hectares à boisement complet
d = nombre d'arbres/hectares à reboiser.

Alors, l'intensité bioclimatique d'une période élémentaire de la saison sèche (un mois) sera :

$$b' = \frac{P - e'}{4e'} \cdot \frac{T - 7,5}{5} \text{ ubc/mois}$$

car **D - e/E - e** avec la proportion antérieure et en sachant que **d = P**, est égale à **P - e'/4e'**, **e' = e · d/D**.

En donnant des valeurs successives de **d/D** de façon croissante, et avec des **e'** qui correspondent à ces valeurs, on calcule les **b'** correspondantes à tous les mois critiques; le total nous donnera la sécheresse simulée que nous cherchons, elle doit être égale ou inférieure à la limite de l'espèce. On calcule **d** à partir de la valeur de **d/D** qui satisfait cette condition.

II.2. Cartes bioclimatiques

Nous avons dit, au début de cet article, que le technicien forestier avait besoin d'une information climatique presque ponctuelle. Et bien, quand il s'agit de réaliser une étude climatique, avec des buts biologiques, dans une zone d'une certaine étendue on peut établir des cartes des indices bioclimatiques étudiées, en partant des données de base fournies par les Stations Météorologiques situées dans cette zone que l'on considère comme les sommets d'une triangulation.

On part d'une carte topographique avec courbes de niveau qui fournit l'information ponctuelle d'altitude, de pente et d'orientation et d'une carte de la couverture végétale obtenue par photo-interprétation.

Ces cartes permettent à l'ordinateur et à l'aide d'une matrice de changement de calculer les valeurs de **CR** et **W**. Un programme pour le calcul de l'indice bioclimatique désiré et l'information obtenue précédemment permettent de confectionner automatiquement des cartes bioclimatiques, en prenant comme données de base celles des Stations Météorologiques de la zone pour ce qui concerne les températures moyennes mensuelles et la pluviométrie moyenne mensuelle.

On a confectionné dans les zones de climat s'semi-aride, des cartes de IBS et IBL avec 12 classes pour la première (de 0 à 2,5 ubc) et pour la deuxième avec des intervalles de 0,25 ubc.

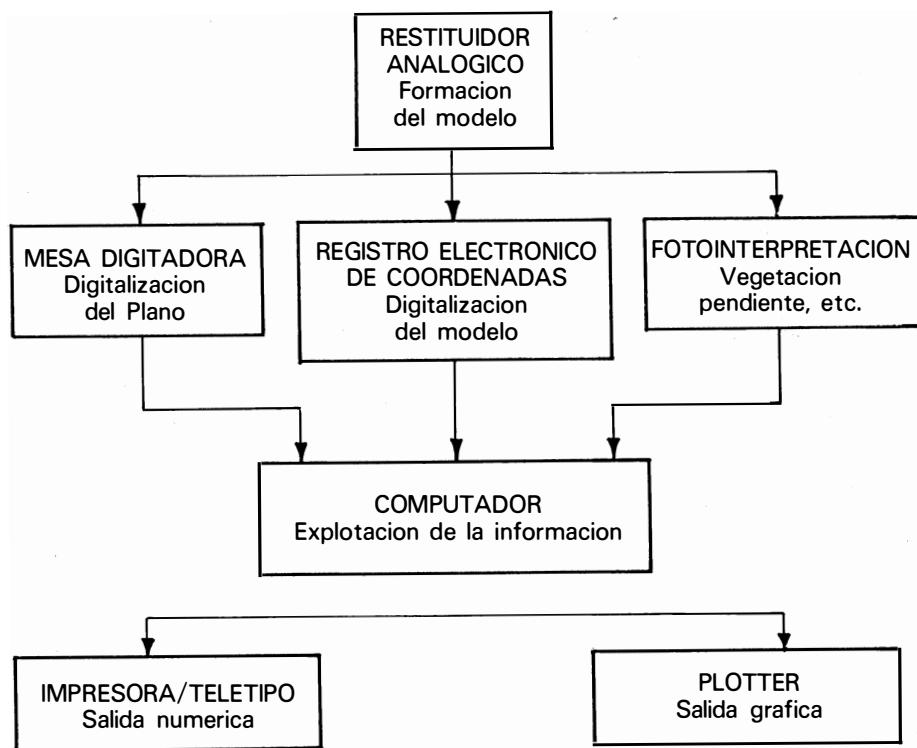
L'unité Cartographique Automatique est composée de :

– Stéréométographe *Zeiss Jena*, modèle F, avec enregistreur électronique de coordonnées et coordinographe.

– Table digitale *Bendis*, avec écran « in line ».

– Ordinateur Général Automatique, *SPC/16/45*, avec 64 bytes de mémoire et 4 unités de disques magnétiques, lecture et perforatrice à bande, imprimante, écran, etc.

El esquema operativo, que ya fué presentado en la *XII Sesión del Grupo de Trabajo para la Ordenación de Cuencas de Montaña*. – F.A.O. Roma – Septiembre 1978, por nuestro compañero *Filiberto López Cadenas del Llano* y que, por otra parte, es perfectamente conocido por los especialistas, es :



No merece la pena automatizar la elección de especie, pero se han confeccionado los programas para que, con el *input* de los índices bioclimáticos se obtengan mapas automáticos de elección de especie. Hasta el momento esta técnica se ha aplicado a cuencas secundarias en Estudios Hidrológico-Forestales, pero se está trabajando para obtener mapas provinciales.

La utilidad forestal de disponer de estos mapas bioclimáticos cuya confección es rápida, supone, por un lado profundizar y solucionar problemas de difícil solución y, por otra parte, uniformizar los estudios bioclimáticos de los distintos Servicios Forestales del país, tanto a nivel interorgánico como intraorgánico.

II.3 Estudios fitogeográficos

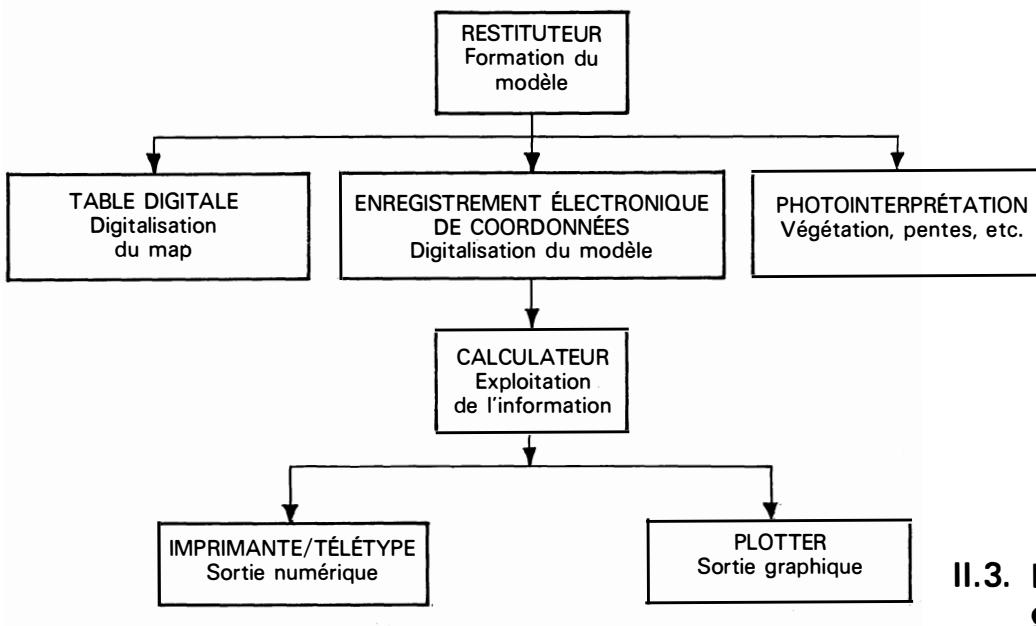
La aplicación de los Diagramas Bioclimáticos a este tipo de estudios tiene un carácter de auxiliar a los típicamente forestales, por ello se han limitado a los estudios climáticos, relacionando los índices bioclimáticos con las etapas y la especie climática arbórea; así como la aplicación de los índices a la aclaración de aparentes contradicciones en el hábitat natural de las especies.

II.3.1. Estudios climáticos

Hemos visto que, en cada estación, en función de la calidad del suelo y de la escorrentía, puede calcularse un diagrama. Hay climas, como por ejemplo el de Igeldo, en San Sebastián (Guipúzcoa) en el que apenas varían los índices en las cuatro hipótesis que hemos manejado. Teóricamente serían climas florísticamente monótonos, como así puede comprobarse en la realidad. Hay otros en los que los cuatro diagramas son sensiblemente distintos, lo que indica una clara diversificación de la respuesta a un mismo clima y, por tanto, la posibilidad de una mayor variedad en las asociaciones vegetales. A lo que habría que añadir las posibilidades fitológicas que puede representar el Diagrama correspondiente a $CR = CRT$ y $W = 0$ (recordemos el concepto de CRT definido en la primera parte de este trabajo).

Por otra parte la evolución hacia la climax, o la regresión climática, encuentra en los diagramas la posibilidad de su representación.

Le schéma opérationnel qui a déjà été présenté, dans la *XII^e Session du Groupe de Travail pour l'aménagement des Bassins de Montagne. F.A.O. – Rome, Septembre 1978*, par notre camarade *Filiberto Lopez Cadenas de Llano* et qui d'autre part, est parfaitement connu des spécialistes, est le suivant :



II.3. Études phytogéographiques

Il ne vaut pas la peine d'automatiser le choix des espèces, mais on a confectionné les programmes pour qu'avec l'« input » des indices bioclimatiques on obtienne des cartes automatiques de choix d'espèces.

Jusqu'à présent on a appliqué cette technique aux bassins secondaires dans des Études hydrologiques-forestières, mais on est en train de travailler pour obtenir des cartes provinciales.

L'intérêt pour le forestier de disposer de ces cartes bioclimatiques dont la confection est rapide permettrait d'une part d'approfondir et de résoudre des problèmes difficiles et, d'autre part d'uniformiser les études bioclimatiques des différents Services forestiers du pays, autant au niveau interorganique que intraorganique.

L'application des Diagrammes Bioclimatiques à ce type d'études peut aider les forestiers. Pour cela, ils se sont consacrés à des études du climat avec les indices bioclimatiques, à l'étude des étapes évolutives et de l'espèce clima-cique arborescente comme application des indices en vue d'éclaircir d'apparentes contradictions dans l'habitat naturel des espèces.

II.3.1. Études du climax

On a vu que, à chaque station, on peut calculer un diagramme en fonction de la qualité du sol et du ruissellement.

Il y a des climats, comme celui de Igueldo à San Sebastian (Guipuzcoa) où les indices ne varient presque pas dans les quatre hypothèses que nous avons envisagées. Théoriquement, ce devaient être des climats floristiques monotones. En réalité, comme on peut vérifier, il y a des cas où les quatre Diagrammes sont sensiblement différents, ce qui indique une diversification de la réponse à un même climat et, par conséquent, la possibilité d'une plus grande variété dans les associations végétales. Il faudrait ajouter les possibilités phytologiques que peut représenter le Diagramme correspondant à CR-CRT et $W=0$ (rappelons-nous du concept de CRT défini dans la première partie de ce travail).

D'autre part, l'évolution vers le climax ou la régression climacique, trouvent dans les diagrammes une possibilité de représentation.

Así la etapa de DESIERTO que implica nulidad de suelo o casi nulidad, lo que, a efectos del diagrama supone grandes escorrentías y nula capacidad de retención, estaría representada por un diagrama formado, exclusivamente por IBS calida.

La etapa ERIAL-PASTIZAL estaría representada por un diagrama formado por IBC calida exclusivamente y con valores, de esta más bien bajos.

La etapa de MATORRAL heliofilo o de degradación tendría, como representación gráfica diagramas con mayor cantidad de IBL y, quizás con valores infimos de IBL.

La etapa de los PINARES estaría representada por un diagrama que podría llamarse ejemplar, con IBL, IBS et IBC calidas, en cantidades medias.

El BOSQUE-CLIMAX (de roble o de haya, por ejemplo) se representaría por un diagrama saturado o semisaturado, es decir, en el que la IBL calida llenase, casi por completo, la Intensidad Bioclimática Potencial (en el caso del roble con valores más altos de IBL o Tm; en el caso del haya con valores más bajos).

Como es natural en función de la cuantía de la CRT la climax podría estar representada por diagramas muy alejados de la saturación lo que permitiría, por ejemplo, identificar, bioclimáticamente, los climas de *Quercus ilex*, *Quercus coccifera* o incluso *Pinus halepensis*, en formación subclimática, por citar algunos ejemplos. Una CRT de 150 mm, por ejemplo, supone unas exigencias, en las transferencias de agua que no son difíciles de alcanzar, en cuanto el suelo tenga cierta calidad. En un clima con tal CRT la climax no será difícil de lograr y, normalmente, será fácil de encontrar, al menos, restos del bosque-climax. Es el caso de Monterrey, en la provincia de Almería (SE) que en la hipótesis CR = 0, W = 0 tiene una IBS = 1,36 ubc, con precipitaciones medias anuales de 573 mm y que a 1 500 m de altitud, en cuanto las precipitaciones alcanzan los 600 mm nos encontramos con el *P. nigra* ssp *clusiana*; pues bien, a 1 200 m de altitud en pequeñas depresiones existen bosquetes de *Castanea vulgaris*, que puede representar la climax. Esto se explica porque la CRT de Monterrey es 204 mm y en esas depresiones el suelo adquiere mayor fondo y calidad.

Por el contrario, una CRT de 350 mm, por ejemplo, lleva implícita unas calidades de suelo fuera de lo común y muy difíciles de lograr y con una CRT de esta cuantía no será fácil lograr el bosque-climax; y teniendo en cuenta que cualquier accidente hace retroceder sensiblemente la evolución, entra, dentro de lo posible que, incluso, no se haya logrado nunca a pesar de que las asociaciones existentes estén apuntando hacia ella.

II.3.2. Estudios del hábitat natural

El estudio de las áreas naturales desde el punto de vista climático adolece, cuando se utilizan los índices conocidos, de falta de precisión y, en ocasiones, de manifiestas contradicciones con la realidad.

En lo que se refiere a las principales especies españolas, tanto las calificaciones climáticas en unos casos o los principales factores que las definen en otros se encuentran en aparente contradicción con el hecho real de la presencia natural de la misma especie. Se hace preciso disponer de un índice de mayor sensibilidad y este es la Temperatura Básica de la Intensidad Bioclimática Libre (Tm libre). Veamos las diferencias de las Temperaturas Medias del período vegetativo (Tpv) y de la Tm libre, así como del Factor de Precipitaciones ($F_p = N.º$ de días con precipitaciones \times precipitación, mm/365).

De cette façon, l'étape du DESERT qui implique l'absence ou la presque absence de sol, ce qui au niveau du diagramme, suppose un fort ruissellement et une capacité nulle de rétention, serait représentée par un diagramme formé exclusivement par une IBS chaude.

L'étape TERRAIN EN FRICHE - PATURAGE serait représentée par un dia-

gramme formé par IBC chaude exclusivement et avec des valeurs plutôt basses.

L'étape de BUISSON héliophile ou de dégradation aurait comme représentation graphique, des diagrammes avec une plus grande quantité de IBC chaude et, peut-être, avec des valeurs infimes de IBL chaude.

L'étape PINEDE serait représentée par

Especie Espèce	Estaciones extremas Stations extrêmes	Clima segun Papadakis Climat selon Papadakis	Diferencias Différences		
			ΔT_{pv}	ΔF_p	ΔT_m libre
<i>P. sylvestris</i>	Panticosa	Templado frio Tempéré froid	7,5	126	0,76
	Navacerrada	Mediterraneo Templado frio			
<i>P. pinaster</i>	Pontevedra	Mediterraneo Humedo Mediterranean humide	5,6	331	0,70
	Caravaca	Mediterraneo Seco Mediterranean sec			
<i>P. pinea</i>	Medina del Campo	Mediterraneo Seco	6,4	80	0,44
	Gerona	Mediterraneo Humedo			
<i>P. halepensis</i>	Figueras	Mediterraneo Templado	3,3	86	0,22
	Calasparra	Mediterraneo Subtropical			
<i>P. nigra</i> ssp <i>clusiana</i>	Solsona	Mediterraneo Templado	5,9	140	0,44
	Siles	Mediterraneo Templado			
<i>Fagus sylvatica</i>	Reinosa	Mediterraneo Templado, fresco	11,4	159	0,05
	Viella	Pirenaico Humedo Pyreneen humide			
<i>Quercus robur</i>	El Vado	Templado calido Tempéré chaud Mediterraneo humedo	8,0	251	0,06
	Riaño	Templado frio Mediterraneo humedo			
<i>Quercus petrea</i>	Solsona	Mediterraneo Templado	8,0	245	0,21
	Alsasua	Mediterraneo Templado			
<i>Castanea vulgaris</i>	Lanjaron	Maritimo calido Maritime chaud Humedo	4,9	671	0,22
	Piedrafita	Templado frio Humedo			

un diagramme qui pourrait s'appeler exemplaire avec IBL, IBS et IBC chaudes et en quantités moyennes.

Le BOIS-CLIMAX (de chêne ou de hêtre, par exemple), serait représenté par un diagramme saturé ou demi-saturé, c'est-à-dire, ou la IBL chaude remplirait, presque entièrement, l'intensité bioclimatique potentielle (dans le cas du chêne avec des valeurs plus élevées de IBL ou de Tm libre; dans le cas du hêtre, des valeurs plus basses). Comme il est naturel, le climax pourrait être représenté en fonction de la valeur de la CRT par des diagrammes très éloignés de la saturation, ce qui permettrait, par exemple, d'identifier, bioclimatiquement, les climats de *Quercus ilex* de *Quercus coccifera* et même de *Pinus halepensis* en formation subclimatique, pour citer quelques exemples.

Une CRT de 150 mm, par exemple, suppose des possibilités pour la rétention de l'eau, qu'il n'est pas difficile de trouver quand le sol a une certaine qualité. Dans un climat avec une telle CRT le climax ne sera pas difficile à atteindre et, normalement, il sera facile de trouver des reliques de bois-climax. C'est le cas de Monterrey, dans la province de Almeria (S.E. Espagnol) avec l'hypothèse CR = 0, W = 0, une IBS chaude = 1,376 ubc, des précipitations moyennes mensuelles de 573 mm à 1 500 mm d'altitude on trouve le *P. nigra* ssp *clusiana*; ou bien à 1 200 m d'altitude dans des petites dépressions existent des bosquets de *Castanea vulgaris* qui peuvent représenter le climax. Cela s'explique parce que la CRT de Monterrey est de 204 mm et parce que dans ces dépressions, le sol est plus profond et de meilleure qualité. Par contre, une CRT de 350 mm, par exemple, suppose des qualités du sol hors du commun et très difficiles à trouver. Avec une CRT de cette importance, il ne sera pas facile d'obtenir le bois-climax et n'importe quel accident fera régresser sensiblement l'évolution.

II.3.2. Etudes de l'habitat naturel

Quand on utilise les indices connus, l'étude du point de vue climatique des surfaces naturelles comportent un manque de précision et parfois des contradictions manifestes avec la réalité.

Pour les principales espèces espagnoles, les qualifications climatiques ou les principaux facteurs qui les définissent, se trouvent en apparence contradiction avec le fait réel de la présence naturelle de l'espèce. Il est nécessaire de disposer d'un indice d'une plus grande sensibilité et celui-ci est la température basique de l'intensité bioclimatique libre (Tm libre). Voyons entre deux stations naturelles extrêmes les différences de température moyenne pour la période végétative (Tp_v) et de la Tm libre, ainsi que du facteur de précipitation (F_p = nombre de jours avec précipitations × précipitations, mm/365).

Como vemos el estudio climatico y la clasificacion de Papadakis que, como sabemos, trata de tener en cuenta y en forma sofisticada elementos esenciales del clima no es capaz de justificar la identidad de vegetacion arborea.

Así, una especie tan estricta como el *P. pinea* se encuentra en el clima Mediterraneo Seco y en otro Mediterraneo Humedo, o el *Q. robur* en el Templado calido-Mediterraneo humedo y en el Templado frio-Mediterraneo humedo.

Creemos que la T_m libre establece un criterio de homologacion climatica de mucha más sensibilidad y justifica, por ejemplo que el *P. pinaster* vegete de forma natural en Pontevedra con 1 595 mm de lluvia al año y en Caravaca con 367 mm y con una diferencia del F_p de 331; y ello porque la T_m libre es 13,9°C y 13,2°C respectivamente.

Lo mismo ocurre con *Castanea vulgaris* en estaciones tan dispares hidricamente como Lanjaron y Piedrafita con 536 mm y 1897 mm de lluvia al año respectivamente y con una diferencia enorme del F_p , que es de 671 y, sin embargo la diferencia de sus T_m libre es solo de 0,22 °C.

La justificacion de utilizar la T_m libre, como indice diferencial en el estudio de las areas naturales es que las especies arboreas, una vez satisfecha sus necesidades minimas de agua, es decir, si la IBS calida es menor de su valor limite, es la temperatura a que realiza sus funciones a plena actividad vegetativa el factor decisivo.

Otra aplicacion es la aclaracion de numerosas contradicciones. Con la misma IBS calida y la misma IBL camida pueden vegetar diferentes especies o incluso con valores de IBS más apartados del optimo de una especie podemos encontrar que vegete, espontaneamente otra. Estas aparentes anomalias pueden explicarse por las diferencias entre las IBL calidas de primavera y otoño: si la IBL de primavera se presenta con mayor cuantia que la de otoño la especie será la de más exigencias termicas. Así, en las estaciones de Nerpio y Riopar, ambas en la provincia de Albacete, tenemos los datos siguientes :

Estacion Station	P, mm	IBL calida de primavera IBL chaude de printemps ubc	IBL calida de otoño IBL chaude d'automne ubc	IBL calida total IBL chaude totale ubc	Tm libre °C
Nerpio	449,7	0,81	0,75	1,56	12,15
Riopar	680,5	1,25	0,40	1,65	12,42

Segun Köppen ambas estaciones tienen un clima templado-calido, seco Riopar y perseco Nerpio. Segun esto la especie que deberia vegetar en Nerpio seria el *P. pinaster* y en Riopar el *P. nigra ssp - clusiana* toda vez que en ambas estaciones el suelo es dolomitico. Pues bien, la realidad es todo lo contrario: existen masas naturales de *P. pinaster* en Riopar y de *P. nigra ssp clusiana* en Nerpio. La diferencia entre las T_m libres es 0,27 °C inferior a los rangos del *P. nigra ssp clusiana* (0,44 °C) y del *P. pinaster* (0,70 °C) y, por tanto, no se justifica la contradiccion. Lo unico que la justifica es que, en primavera Riopar tiene más actividad vegetativa - (IBL = 1,25 ubc) que en Nerpio (IBL = 0,81 ubc) y en otoño ocurre al revés (0,75 ubc Nerpio y 0,40 ubc Riopar) luego en Nerpio vegetará la especie más microtermica y en Riopar la más macrotermica. El mismo criterio sirve para explicar algunas localizaciones entre el *P. pinaster* y el *P. pinea* y entre el *P. halepensis* y el *P.*

pinea. La IBC calida se relaciona directamente con la sequia, siendo proporcional a esta, por lo que las especies más xerofiles se presentan en climas de mayor IBC calida, pero, sin embargo, existen matizaciones pues con la misma IBL las especies tienen diferentes exigencias de agua o de vegetacion en otoño, dentro de un regimen hidrico y termico general analogo. Esto es function de la fructificacion. Así, los *Acer* requieren, en general, que no haya IBC, pero sin embargo el *A. campestre* y el *E. platanoides* soportan alguna, así como el *Corylus avellana*. Otro ejemplo son el *Q. robur* y el *Q. petrea* el primero algo más exigente en humedad y el segundo tolera más frio que el primero. Pues bien, en Asturias, donde se mezclan, el *Q. petrea* vegeta en sitios en los que, por razones de escorrentia, presentan una IBC del orden de 0,20 ubc y el *Q. robur* alrededor de 1,0 ubc esto debido a que las bellotas del *Q. robur* maduran, en otoño, más tarde que las del *Q. petrea*.

Comme nous voyons, l'étude climatique et la classification de Papadakis qui, comme on sait, essaie de rendre compte d'une façon élaborée des éléments essentiels du climat, n'est pas capable de justifier l'identité de la végétation arborescente.

Ainsi, une espèce aussi stricte que le *P. pinea* est située dans le climat Méditerranéen sec, le *Quercus robur* dans le climat tempéré chaud-méditerranéen humide et dans le climat tempéré froid-méditerranéen humide. Nous croyons que la T_m libre permet une homologation climatique beaucoup plus sensible et justifie, par exemple, que le *P. pinaster* végète d'une façon naturelle à Pontévedra avec 1 595 mm de pluie dans l'année et à Caravaca avec 367 mm de pluie et une différence de F_p de 331 et cela parce que la T_m libre est respectivement 13,9°C et 13,2°C. La même situation se présente avec *Castanea vulgaris* dans des stations très différentes hydriquement comme Lanjaron et Piedrafita avec respectivement 536 mm et 1 897 mm de pluie à l'année et avec une différence énorme de F_p , qui est de 671 alors que la différence des T_m libres est seulement de 0,22°C. La justification de l'utilisation de la T_m libre comme indice différentiel dans l'étude des habitats naturels est que pour les espèces arborescentes une fois satisfaites leurs exigences minimales d'eau, c'est-à-dire, si l'IBS chaude est plus faible que leur valeur limite, c'est la température qui est le facteur décisif d'une pleine activité végétative.

On peut expliquer en outre de nombreuses contradictions. Avec la même IBS chaude et la même IBL chaude des espèces différentes peuvent végéter ou même avec des valeurs de IBS plus éloignées de l'optimum d'une espèce on peut trouver que végète spontanément une autre espèce. Ces apparentes anomalies peuvent s'expliquer par les différences entre les IBL de printemps et d'automne : si l'IBL de printemps est plus importante que celle d'automne, l'espèce privilégiée sera celle qui aura la plus grande exigence thermique.

Ainsi, dans les stations de Nerpio et Riopar, toutes deux de la province d'Alba-

cete, on a les données figurant au tableau de la page ci-contre.

Selon Köppen pour les deux stations, Riopar a un climat Tempéré-chaud, sec et Nerpio a un climat persec. Dans ces conditions l'espèce qui devrait végéter à Nerpio serait le *P. pinaster* et à Riopar le *P. nigra* ssp *clusiana* compte tenu que pour les deux stations le sol est dolomique. Eh bien, la réalité est tout le contraire : il existe un peuplement naturel de *P. pinaster* à Riopar et un peuplement naturel de *P. nigra* ssp *clusiana* à Nerpio. Les différences entre les T_m libres est 0,27 inférieure entre *P. nigra* ssp *clusiana* (0,44°C) et *P. pinaster* (0,70°C) et par conséquent ne justifie pas la contradiction. L'unique raison qui la justifie est qu'au printemps Riopar a plus d'activité végétative (IBL = 1,25 ubc) que Nerpio (IBL = 0,81 ubc) et en automne se produit le contraire (8,75 ubc Nerpio et 0,40 ubc Riopar) alors on trouve à Nerpio l'espèce plus microthermique et à Riopar la plus macrothermique. Le même jugement est bon pour expliquer quelques localisations entre le *P. pinaster* et le *P. pinea* et entre le *P. halepensis* et le *P. pinea*. L'IBC chaude correspond directement à la sécheresse, étant proportionnelle à celle-ci; ainsi les espèces plus xerophytes se présentent dans des climats d'une plus grande IBC, mais pourtant il existe des nuances, car avec la même IBL chaude, les espèces ont des différentes exigences d'eau ou de végétation en automne pour des régimes thermiques et hydriques généralement analogues; c'est en fonction de la fructification. Ainsi les *ACER* exigent, en général, qu'il n'y ait pas d'IBC chaude, mais cependant, *A. campestris* et *A. platanoides* la supportent, comme le *Corylus avellana*. Un autre exemple est donné par le *Quercus Robur* et le *Quercus petrea*; le premier est un peu plus exigeant en humidité et le deuxième tolère plus le froid que le premier, eh bien à Asturias où les deux espèces se mélangent le *Q. petrea* pousse dans des lieux qui en raison du ruissellement ont une IBC chaude de l'ordre de 0,20 ubc et le *Q. robur* 1,0 ubc. Cela tient à ce que les glands du *Q. robur* mûrissent en automne, plus tard que ceux du *Q. petrea*.

II.4. – Estudios de Planificación y Ordenación del Territorio.

Uno de los problemas fundamentales con el que se enfrentan los Ministerios de Agricultura de muchos países es el de encontrar y después aplicar criterios para destinar, vocacionalmente, el uso de la tierra. De los tres fundamentos de esta vocación: estabilidad, rentabilidad y factibilidad, es evidente que el primero, por su naturaleza biológica se encuentra fuera de los esfuerzos humanos. Baste un ejemplo: por razones políticas o sociales se están transformando superficies cubiertas de bosques de resinosas o frondosas, en pastizales permanentes, cuyo costo de creación es superior a 80 000 pesetas/ha. Pues bien, estos pastizales de permanentes no tienen nada pues a los cuatro años hay que levantarlos mediante laboreo, volver a emendar el suelo y volver a sembrar, es decir, excepto cortar los árboles y destoconar, crear de nuevo el pastizal. Y esto ¿por qué? Sencillamente porque, admitiendo que las enmiendas han sido correctas, bioclimáticamente el hábitat no es idóneo para una pradera permanente; o lo que es lo mismo: se ha violentado su vocación.

Creemos que la utilización de los *Diagramas Bioclimáticos* pueden ser de gran utilidad para la ordenación del territorio.

La CRT nos indica la respuesta a las labores del suelo. Un Diagrama con CRT < 100 mm nos indica que la máxima utilización climática, por la vegetación, ha de encuadrarse a una cubierta de carácter permanente. Si hay IBS calida no es posible, o mejor aconsejable, la pradera permanente pues existe un etapa, precisamente la de mayor aporte térmico y luminoso, en la que la hierba paraliza su crecimiento e incluso se seca. Queda la alternativa, nos referimos a las condiciones de la zona mediterránea española, entre el pastizal de agosteo, la dehesa arbolada y el bosque.

Si la CRT es alta ello demuestra que la potencialidad vegetativa climática es también alta y que el laboreo del suelo hará real esta potencialidad. En estos casos son en los que la Agricultura encuentra su mejor aplicación ya que el trabajo humano será rentable. Pero con CRT alta el cultivo agrícola viene limitado, si no es posible regar, por unos valores límites de la IBS calida y, por debajo de estos valores umbrales, por la IBL calida y la Tm libre. Por ejemplo con una IBL alta y una Tm libre menor de 11 °C no es posible el cultivo de plantas de escanda.

Finalmente razones hidrológicas deben entrar en consideración: la pendiente y la susceptibilidad erosiva, utilizando, por ejemplo, índices como $Ce = Cd/Cr$ (Cd = coeficiente de dispersión del suelo, Cr = relación de coloides a equivalente de humedad).

Necesitaremos mucho espacio para detallar la utilización de los Diagramas Bioclimáticos para estos estudios y razones de cortesía limitan nuestro deseo. Baste, pues, un ejemplo: en un estudio reciente, definímos un «estrato» o destino, el de «*Dehesa arbolada*» con las premisas: CRT < 100 mm; IBS calida ≠ 0; pendiente ≥ 30 %; Ce > 10; IBS < 1,5 ubc; IBL > 3,0 ubc; 12,0 °C < Tm libre < 13,0 °C. Con los mapas bioclimáticos del ordenador y los criterios de planificación del territorio, puede lograrse, utilizando el modelo geográfico *INGRID* una ordenación del territorio, con base climática.

J. G.-S.

II.4. Études de Planification et aménagement du Territoire

Un des problèmes fondamentaux qui se posent aux Ministères de l'Agriculture de beaucoup de pays est de trouver puis d'appliquer des critères pour définir la vocation des terres. Des trois fondements de cette vocation : stabilité, rentabilité et faisabilité il est évident que le premier par sa nature biologique échappe aux efforts humains. Un exemple suffit : on est en train de transformer, par des raisons politiques ou sociales des superficies couvertes de forêts résineuses ou feuillues en pâturage permanent, dont les coûts de création sont supérieur à 80 000 pesetas/ha. Eh bien, ces pâturages n'ont rien de permanent, car toutes les quatre années, il faut les détruire par le labour, corriger de nouveau le sol, et semer de nouveau, c'est-à-dire, créer de nouveau le pâturage, à l'exception de la coupe des arbres et du dessouchage. Et tout cela, pourquoi ? Simplement parce que en admettant que les amendements soient corrects, bioclimatiquement l'habitat n'est pas convenable pour une prairie permanente ou ce qui revient au même, on n'a pas respecté la vocation du sol. Nous croyons que l'emploi des Diagrammes Bioclimatiques peut être de grande utilité pour l'aménagement du territoire.

La CRT nous indique la réponse aux problèmes du labour du sol. Un diagramme avec la CRT < 100 mm nous indique que la meilleure utilisation climatique par la végétation doit être une couverture de caractère permanent. S'il y a IBS chaude, il n'est pas possible ou pour mieux dire on ne peut pas conseiller, la prairie permanente car il existe une étape, précisément celle du plus grand apport de chaleur et de lumière pour laquelle l'herbe cesse sa croissance et même séche. Il reste l'alternative, nous nous référons aux conditions de la zone méditerranéenne espagnole, entre le pâturage de

dessèchement, le pâturage boisé et le bois.

Si la CRT est élevée, cela montre que la potentialité végétative climatique est aussi élevée et que le labour du sol profitera de cette potentialité. Dans ces cas l'agriculture trouve sa meilleure application, car le travail humain sera rentable. Mais avec une CRT élevée la culture agricole devient limitée. S'il n'est pas possible d'arroser, pour des valeurs limites de l'IBS chaude et au dessous de ces valeurs limitées par l'IBL chaude et la Tm libre. Par exemple, avec une IBL élevée et une Tm libre de moins de 10,5°C on ne doit pas conseiller la culture de plantes sarclées. Finalement, on doit considérer des raisons hydrologiques : la pente et la sensibilité à l'érosion, en employant, par exemple, des indices comme :

$$Ce = \frac{Cd}{Cr} = \frac{\text{coefficient de dispersion}}{\text{relation de colloïde à équivalent d'humidité}}$$

Il faudrait beaucoup de développements pour détailler l'emploi des Diagrammes Bioclimatiques pour ces études et des raisons de courtoisie limitent nos vœux. Un exemple suffira alors : dans une étude récente on définissait une « strate » ou une destinée, celle de « pâturage boisé » (*Dehesa arbolada*) avec les prémisses : CRT < 100 mm, IBS ≠ 0; pente ≥ 30 % ; Ce > 10; IBS chaude < 1,5 ubc; IBL chaude > 3,0 ubc; 12°C < 13°C.

Avec les cartes bioclimatiques d'aménagement et les critères de planification du territoire on peut obtenir, en employant le modèle géographique *INGRID*, un aménagement du territoire à base climatique.

J. G.-S.

Bibliographie

MONTERO DE BURGOS (J.L.) et GONZALEZ REBOLLAR J.L. – Diagramas Bioclimaticos – I.C.O.N.A. Madrid 1974.
MONTERO DE BURGOS J.L. – Las relaciones clima-vegetacion. Rev. Montes, nº 186, Madrid 1976.

Photo 2 page suivante :
Futaie de chênes verts à Majorque - Baléares - Espagne.
Photo J. Bonnier