

LOS DIAGRAMAS BIOCLIMÁTICOS

2

por JAVIER GONZALEZ DE ALAIZA GARCIA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS

TERCERA HIPOTESIS. EVAPOTRANSPIRACION RESIDUAL

En la hipótesis anterior no sabemos en qué cuantía la falta de humedad ($D < E$) limita la actividad vegetativa. Hace falta pues establecer una hipótesis en este sentido.

Cuando la planta detecta falta de humedad suficiente, ocurren dos fenómenos:

a.—La planta inicia su defensa, contra esta situación desfavorable, mediante una acción concreta, cuyo ejemplo más típico es el cierre de los estomas de las hojas, con lo que la transpiración disminuye sensiblemente. Este fenómeno puede representarse, en una primera aproximación, por curvas exponenciales como las de la figura 7.

Si existe acción de defensa, por parte de la planta, como es el cierre de los estomas, aparecerán dos curvas de descenso de la transpiración. La primera rama ($x - z$) representaría el descenso de la transpiración como consecuencia del cierre de los estomas. A partir del punto z , en el que el cierre de los estomas sería un hecho consumado, la curva que representa el fenómeno sería distinta, por cuanto responde a fenómeno biológico diferente. El fenómeno de la transpiración ya no será tan brusco, porque no hay fenómeno de defensa biológica.

FOTOGRAFIA: DAMIA BOSCANÀ



La curva z-v podría representar la marcha de la transpiración en esta fase, también exponencial, aunque de gradiente menor.

En el caso de no existir defensa biológica las dos ramas serían una sola, sin la discontinuidad tangencial del punto z.

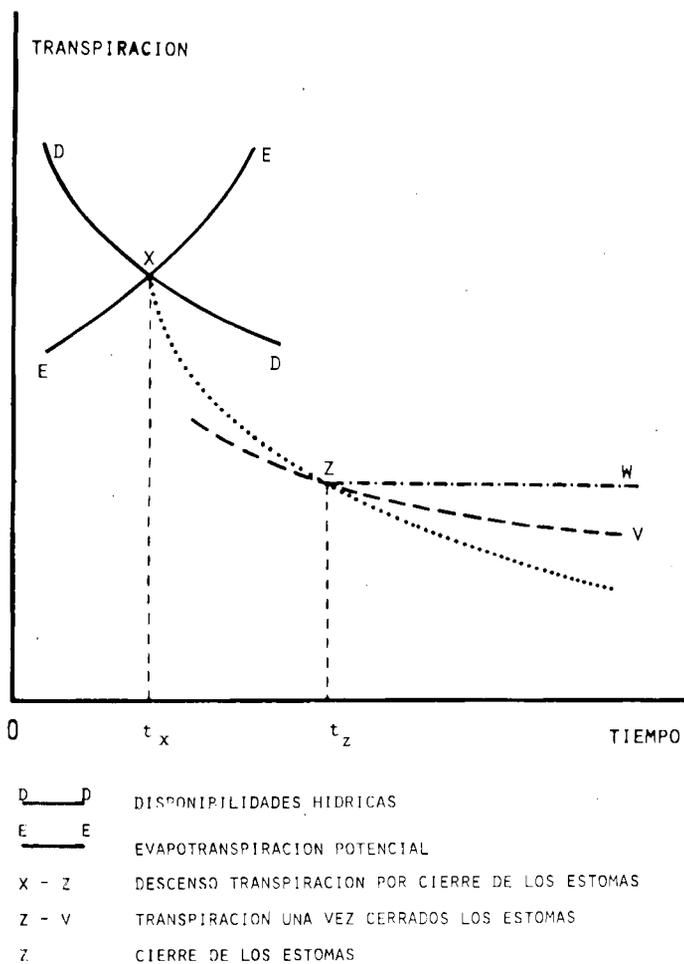


FIGURA 7. Variación de la transpiración de las plantas.

Paralelamente a estos fenómenos, la actividad vegetativa de la planta se ha detenido, e incluso de seguir en el tiempo esta situación externa desfavorable aparece como consecuencia, además, el que empiecen a manifestarse en el interior de las células de la planta efectos claramente negativos, pudiendo llegar a la muerte de la planta por sequía.

b.—La planta modera su consumo de agua adecuándolo a la nueva situación existente, pudiendo llegar a detener su actividad vegetativa.

Entre la máxima actividad vegetativa de la planta (representada en la figura 7 por el punto x) y su muerte, hay un punto de simple detención vegetativa, sin efectos fisiológicos, todavía, negativos. Este punto no debe quedar muy lejos, en el tiempo, del punto z (figura 7), en el cual el cierre de los estomas está consumado.

En el momento de la detención de la savia por sequía hay una evapotranspiración determinada. Si la sequía continúa, la transpiración disminuye, pero, lentamente. Si se mantuviese la situación (del punto z), mediante los indispensables aportes de humedad, la savia seguiría parada. Si las aportaciones aumentasen sobre el límite anterior, la actividad vegetativa se iniciaría de nuevo.

Por lo tanto, si identificamos aproximadamente el punto z de la figura 7 con la detención de la actividad vegetativa, se puede concluir que la intensidad bioclimática en ese momento (t_z) será nula.

En la figura 8 se expresa lo expuesto anteriormente. En dicha figura se supone que el punto z, alcanzado al tiempo t_z , representa el momento de la detención de la actividad vegetativa. En este momento, las disponibilidades hídricas (D) han de ser iguales a la transpiración de las plantas. Como en el momento en que esto ocurre sabemos, por hipótesis, que la actividad vegetativa se detiene (sin efectos perniciosos aún), la intensidad bioclimática real (I_z), que es su medida, ha de ser nula. Por tanto, en el tiempo t_z la intensidad bioclimática I_z ha de estar situada en el cruce de la recta $T = 7,5^\circ \text{C}$, o lo que es lo mismo, con la $I. B. = 0$.

Por otra parte, entre la transpiración de las plantas en el punto t_z y la evapotranspiración (suma de la del 3

suelo y la de las plantas), hay escasa diferencia, porque en ese momento los suelos están, al menos superficialmente, secos y la evaporación a través de las capas superiores del suelo es de escasa cuantía. Por lo tanto puede identificarse en ese momento, aproximadamente, evapotranspiración y transpiración.

Al punto z le corresponde una evapotranspiración e_z , que se sitúa en ordenadas, coincidente con el punto z porque es, por hipótesis, la evapotranspiración de las plantas a savia parada (e). Por supuesto, también e, o evapotranspiración a savia parada, no tendrá el mismo valor siempre. Si la savia se detiene por falta de humedad, a temperatura $T_1 < T_2$, la evapotranspiración resultante a T_1 será menor, lógicamente, que la evapotranspiración si la temperatura fuese T_2 . Por lo tanto hay una curva de e que no conocemos, de la misma manera que hay una curva de E. Su cruce con la curva de disponibilidades (D) nos dará el momento (t_z), en que la savia se detiene, y al que corresponde como intensidades bioclimáticas $I_z = 0$. A esta evapotranspiración potencial a savia parada, constituyendo su existencia la tercera hipótesis. Como hipótesis complementaria podemos asumir la proporcionalidad de las evapotranspiraciones potencial y residual.

Como ya hemos indicado anteriormente, se puede intuir y admitir hipotéticamente, la existencia de la curva e, pero no conocemos su cuantificación. Sin renunciar, por supuesto, a un mínimo control experimental, puede sin embargo aceptarse hipotéticamente la constancia en cada momento, de la relación E/e. Las razones son obvias: las mismas causas, los mismos factores climatológicos que hagan aumentar E, tendrán análogos efectos en e. Por tanto, la proporcionalidad entre E y e, de forma

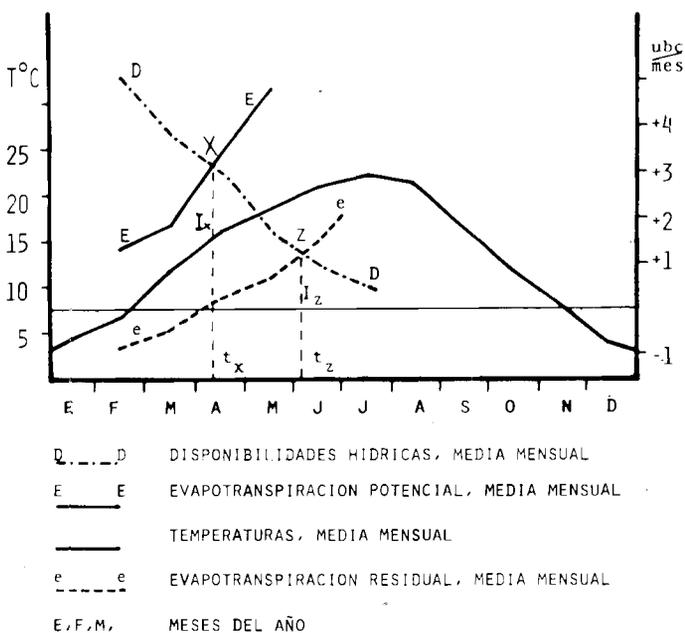


FIGURA 8.
4 La intensidad bioclimática y la evapotranspiración residual.

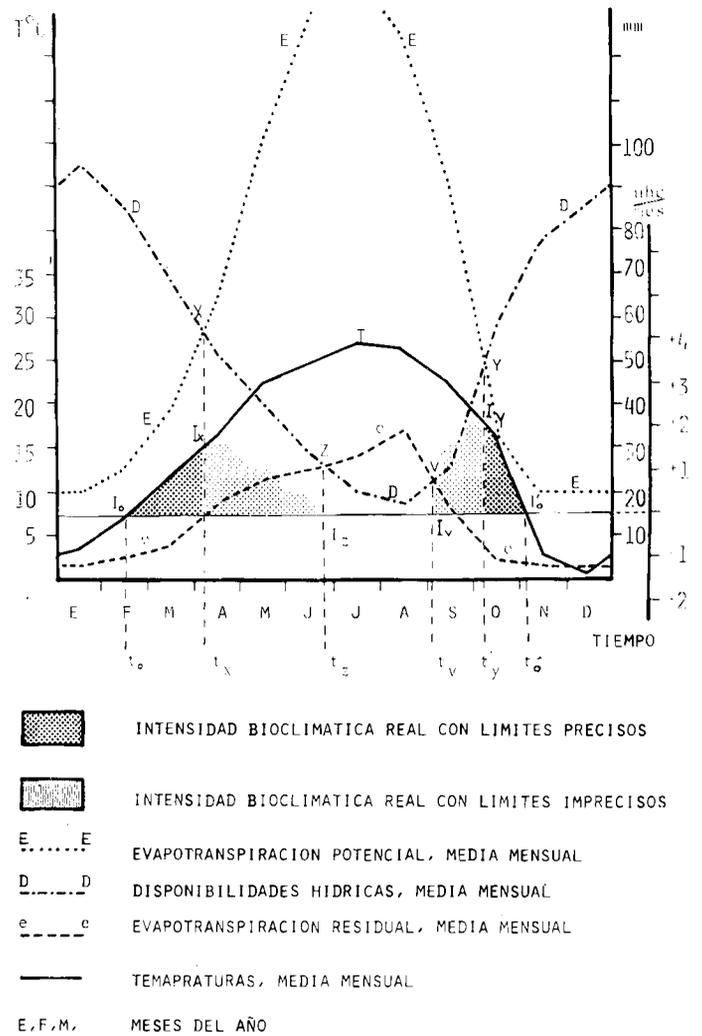


FIGURA 9.
Disponibilidades hídricas y evapotranspiración.

que $E/e = \varphi$; siendo φ constante, es algo que no debe estar muy lejos de la realidad.

En la figura 9 se ha supuesto una proporcionalidad fija, pero arbitraria, para situar la curva e con relación a E. Los cruces de la curva D con E, señalados con las letras x, y, se corresponden con los tiempos t_x , t_y , límites de la I.B. completa cuyos valores extremos son I_x , I_y .

Los cruces de la curva D con e nos dan los puntos z, v, en cuyos tiempos respectivos (t_z , t_v), la intensidad bioclimática respectiva será nula. La posibilidad de determinar estos dos últimos puntos (pendiente de la cuantificación de φ), es el problema resuelto con la hipótesis elaborada: la evapotranspiración residual equivale a la evapotranspiración potencial a savia parada.

Con los puntos z y v se podrá determinar la intensidad bioclimática de primavera (t_z) y el comienzo de la intensidad bioclimática de otoño (t_v). Faltará únicamente unir los puntos I_x , I_z , I_v , I_y , mediante la línea que limite y defina la intensidad bioclimática de los periodos intercalados.

CUARTA HIPOTESIS.
COEFICIENTE DE PLUVIOSIDAD

Al establecer la tercera hipótesis, figura 9, hemos podido encontrar el límite de la intensidad bioclimática cuando el factor limitativo era la temperatura. Era la línea I_0-I_x , por una parte, y la I_y-I_0 , por otra. Quedaba así determinada la I. B. R. completa. En cuanto a la I. B. R. incompleta sólo pudimos averiguar que la línea que la limita pasa por los puntos I_x, I_z, I_v, I_y . Recordemos que en la I. B. R. incompleta, el factor limitativo es la humedad.

La línea I_x-I_z (figura 10), será la que mida realmente la actividad vegetativa en el periodo correspondiente y podrá ser una línea, como cualquiera de las que se dibujan, pero que no conocemos.

El suponerla recta será aproximación admisible, en principio, si I_x correspondiese al periodo controlado (normalmente un mes) inmediatamente anterior al de I_z . Pero si hubiese uno, o más, periodos intercalados entre I_x e I_z , los errores podrían ser sensibles, especialmente si la línea x-z (figura 11) no fuese recta, como es normal.

Al pasar la I. B. R. de I_x a I_z la variación de la evaporación ha sido desde la curva E a la curva e. Cabe por tanto hacer la transferencia de la evapotranspiración a I. B. R. según el coeficiente

$$C_p = \frac{D - e}{E - e} \quad (7)$$

Este coeficiente, al que denominaremos Coeficiente de pluviosidad, cuando $D=E$, es decir, cuando las disponibilidades hídricas iguales a las exigencias de la evapotranspiración potencial, vale 1. Cuando $D=e$, es decir, cuando las disponibilidades equivalen a la evapotranspiración residual, vale 0.

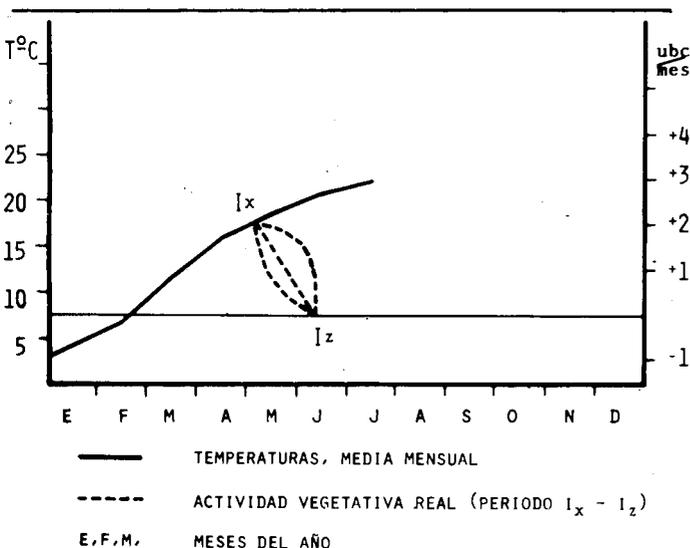


FIGURA 10.
Transferencia lineal de la Intensidad bioclimática completa.

Si multiplicamos por este coeficiente la I. B. P. de algunos puntos concretos obtendremos en algunos de ellos lo siguiente:

Si nos referimos al punto correspondiente al tiempo t_x , (ya conocido), la I. B. P. está definida por el punto I_x . Como en t_x , $D=E$, el coeficiente C_p es igual a 1, y por tanto, la I. B. R. será igual a la potencial, al multiplicar C_p por I. B. P., como era necesario obtener.

Si nos fijamos en el punto de tiempo t_z , la I. B. P. está definida por el punto I_z . Como en este tiempo t_z , $D=e$, resultará que $C_p=0$, por lo que su I. B. R. será nula tal como habría de salir.

Valedero para sus límites extremos, lo aceptamos hipotéticamente como valedero para los intermedios, de tal forma que el punto n de la figura 11 se obtendrá multiplicando la I. B. P. (OP_n) por su coeficiente

$$C_p = \frac{D_n - e_n}{E_n - e_n}, \text{ es decir}$$

$$OI_n = OP_n \cdot \frac{D_n - e_n}{E_n - e_n} = OP_n \cdot C_p \quad (8)$$

o, lo que es lo mismo, dicho en forma general

$$\frac{\text{I. B. R.}}{\text{I. B. P.}} = \frac{D - e}{E - e} = C_p \quad (9)$$

Es decir, que la transferencia de la intensidad bioclimática potencial a la real, cuando hay limitación de humedad, se hace a través del coeficiente de pluviosidad. Esta expresión constituye la cuarta hipótesis.

La fórmula 9 tiene un límite de aplicación que es cuando $C_p > 1$. Esta situación quiere decir que se dispone de más agua de la necesaria, pues significa que $D > E$. En este caso $\text{I. B. R.} = \text{I. B. P.}$; pues no puede ser nunca la intensidad real mayor que la potencial.

Cuando $1 > C_p > 0$ se está en el periodo comprendido entre el máximo de actividad vegetativa posible y el momento de la paralización. Hay subsequia que se mide por la diferencia $\text{I. B. P.} - \text{I. B. R.}$ en u. b. c., o bien por el coeficiente de subsequia

$$C_s = \frac{\text{I. B. P.} - \text{I. B. R.}}{\text{I. B. P.}} \quad (10)$$

Si aplicamos el coeficiente de pluviosidad C_p a un gráfico análogo a la figura 9, se obtendrían los límites de la I. B. R. incompleta buscados, como podrían ser los de la figura 12. En dicha figura se ha señalado, también la I. B. P. fría, con un cierto grado de subsequia invernal, consecuencia de la aplicación, en el mes de febrero, de coeficiente de pluviosidad tal que $1 > C_p > 0$.

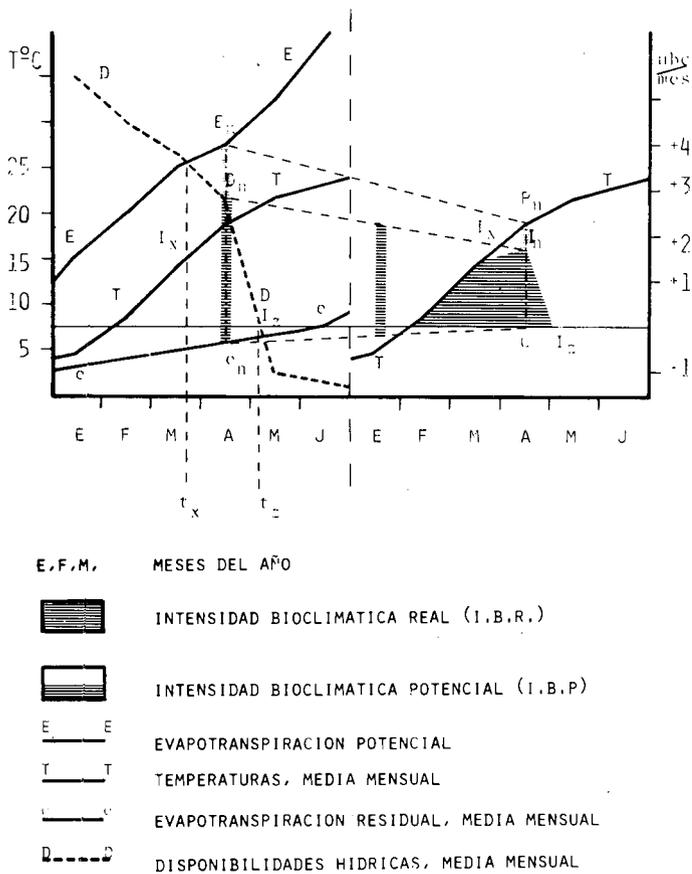


FIGURA 11.
El coeficiente de pluviividad (C_p)
y su transferencia lineal a I. B. R.

Si conociéramos la relación E/e (que determinaremos experimentalmente más adelante) la figura 12 perdería toda inconcreción y quedarían claramente destacados dos periodos vegetativos (correspondientes a primavera y otoño, además del invierno) cuyas intensidades vegetativas vienen medidas por las áreas señaladas, es decir, por la I. B. R. cálida o fría.

Observando la figura 12 la tendencia a unir las líneas de las I. B. R. incompletas por medio de una línea que rebasará negativamente la línea $I. B. R. = 0$, o lo que es lo mismo, $T = 7,5^\circ C$, era incontenible. Y como esta línea se obtenía simplemente aplicando con generalidad C_p cuando era menor que cero, parecía verosímil que el intento correspondiente fuera acertado.

El que

$$C_p = \frac{D - e}{E - e} < 0$$

quiere decir simplemente que $D < e$ (ya que, por hipótesis, $E > e$), es decir, que las disponibilidades son menores que la evapotranspiración residual. Se ha rebasado, por tanto, el simple punto de paralización de la actividad 6 vegetativa y se está en plena sequía.

Un coeficiente de pluviividad negativo da intensidades bioclimáticas negativas (con I. B. P. positivas) al aplicar la fórmula (8). Ello tendría como representación la figura 13, en la cual los puntos con I. B. R. negativa se han tenido aplicando el C_p correspondiente que, por analogía con la figura 9, resultarán negativos, porque en esos casos $e > D$. Se ha dibujado también el área de invierno (positiva), correspondiente a I. B. R. de signo contrario a la I. B. P. de esa etapa, que es fría, y que se supone con $C_p < 0$.

Como la intensidad bioclimática, resultante de aplicar C_p , aparece también negativa a partir de t_z y hasta t_v , parece hipótesis obligada el considerar la intensidad bioclimática negativa, como medida de la sequía y la llamaremos INTENSIDAD BIOCLIMATICA SECA (I. B. S.) que, la mediremos también en u. b. c.

Ya hemos visto al establecer la primera hipótesis que la I. B. de cualquier tipo se mide en u. b. c., que, como sabemos, es $1 \text{ mes} \times 5^\circ C = 1 \text{ u. b. c.}$

La I. B. P. de un mes cualquiera será, llamando T a la temperatura media del mes en grados centígrados:

$$I. B. P. = \frac{T - 7,5}{5} \text{ u. b. c.} \quad (11)$$

El numerador del segundo término de esta igualdad tiene su razón de ser por la superposición de la recta $T = 7,5^\circ C$ con la de $I. B. = 0$. Es simple coincidencia de ejes. La proporción a establecer es la siguiente:

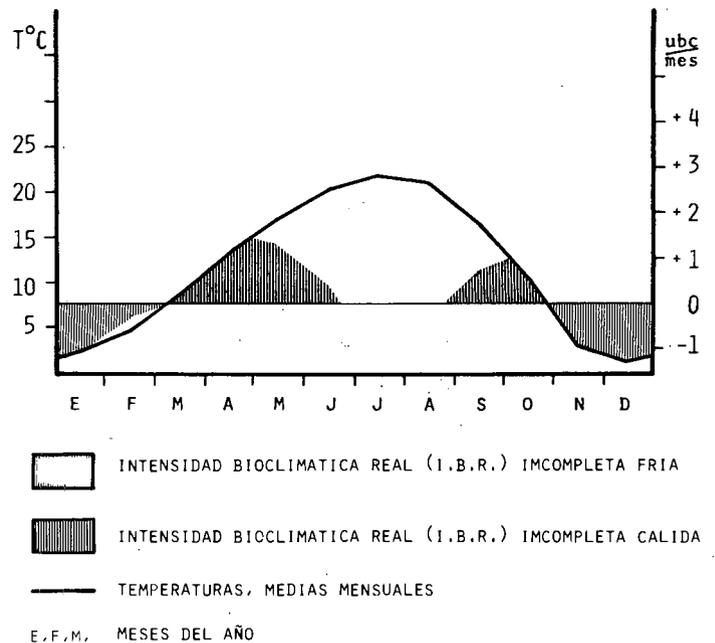


FIGURA 12.
Límites de la I. B. R. incompleta.

$$\frac{(T - 7,5^{\circ} \text{C})}{5^{\circ} \text{C}} \text{I. B. (u. b. c. / mes)}$$

Por lo tanto, I. B. (u. b. c. / mes) = $\frac{T - 7,5}{5}$ (u. b. c. / mes),
o sea (11).

La I. B. S. se obtiene mediante el producto de la I. B. P. por el C_p (como ya sabemos), que suponemos ahora menor que cero. Dado que $D < E$, puede escribirse la I. B. S. como:

$$\text{I. B. S.} = - \frac{e - D}{E - e} \cdot \frac{T - 7,5}{5} \text{ u. b. c.} \quad (12)$$

que resultaría, hipotéticamente, la medida de la sequía de un mes. A mayor valor absoluto de (12), la sequía deberá ser mayor.

QUINTA HIPOTESIS. LA COMPENSACION HIDRICA

Si se repasa la hipótesis anterior y, concretamente, se presta atención a la figura 13, se observará que se ha logrado ya separar con claridad las cuatro estaciones del año, mediante sus respectivas intensidades bioclimáticas:

- La I. B. P., fría, que debe coincidir con el invierno.
- La I. B. R. de la primera parte del año, coincidente con la primavera.
- La I. B. S., que corresponde con el verano.
- La I. B. R. de la segunda parte del año, equivalente al otoño.

Todas ellas, son, bioclimáticamente, distintas, menos la I. B. R. de otoño y primavera que son cualitativamente indistinguibles. Sin embargo, la naturaleza las suele distinguir bien: la sección de un tronco de árbol, en la que el crecimiento primaveral y otoñal son distintos. ¿Por qué la actividad vegetativa en otoño es distinta a la primaveral? ¿Por qué el crecimiento, la actividad vegetativa de la masa del bosque, se inicia, después de la sequía, con cierto retraso respecto a la cubierta herbácea? En realidad las dos son la misma pregunta y se responden, por ello, de la misma manera: Porque hay pérdidas de agua, en sequía, que deben compensarse. Porque la vegetación herbácea, reducida en la sequía a sus elementos subterráneos, apenas tiene necesidad de esta compensación.

La compensación hídrica tras la sequía.

Parece necesario, por tanto, plantearse ahora el problema de las compensaciones post-estivales. A estas compensaciones de humedad, tanto antes como después del verano, se les ha prestado atención frecuente por los autores interesados. Thornthwaite hizo ya interesantes balances apoyándose en sus cálculos de evapotranspiración

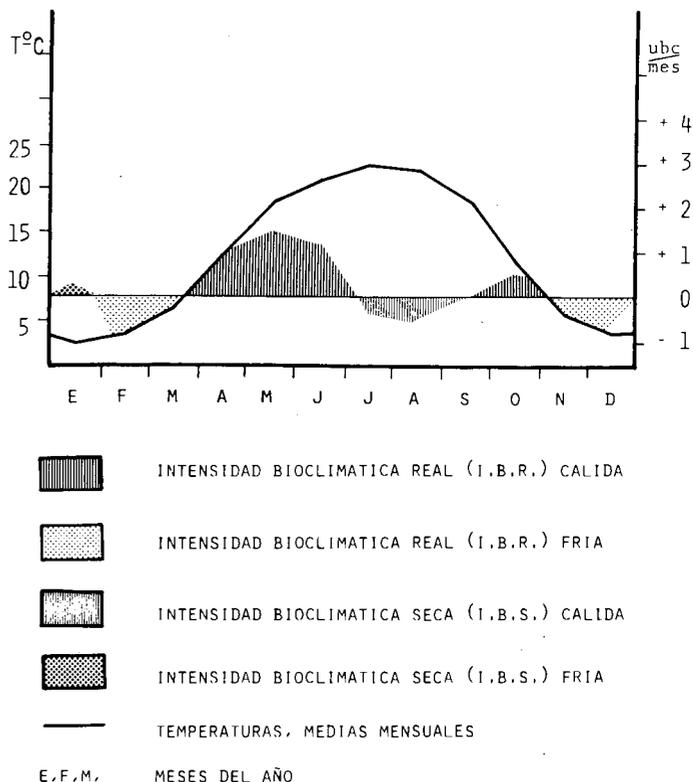


FIGURA 13.
Generalización del coeficiente de pluviosidad.

potencial¹. Pero todos estos ensayos suelen tener dos defectos sensibles:

El primero es que, como ya se afirmaba en la segunda hipótesis, no puede hablarse del balance PRECIPITACION / Evap. Trans. Pot. sin considerar la capacidad de retención del suelo, en forma operativa y coherente con la realidad. De poco sirve, fitológicamente, compensar excedentes de lluvias con déficits posteriores, si los excedentes considerados no pueden ser retenidos por el suelo.

El segundo defecto resultará claro después de lo dicho sobre evapotranspiración residual. La simple detención vegetativa, paralela al descenso de la evapotranspiración, compensa biológicamente esa situación. Las plantas no necesitan que se les reponga el déficit

Evap. Trans. Pot. — Precipitac.

que no es más que aparente. Es decir, $E - D$ con valor negativo no suele significar, biológicamente, más que el atemperar los crecimientos, no compensaciones hídricas.

La necesidad de la compensación de la humedad nace en el momento en que la turgencia de las células o la presión osmótica varían negativamente, como consecuencia de que la sequía persiste después del momento de la simple detención vegetativa. En resumen, la compensación hídrica debe basarse más en la evapotranspiración residual que en la potencial.

¹ Véase por ejemplo: ODUM, E. P. *Ecología*. Editorial Interamericana, México 1972, página 137.

Para comprender mejor el alcance, y limitaciones, de esta 5.^a hipótesis, sería conveniente revisar la figura 7. En ella podemos observar que la evapotranspiración, una vez superado el punto z (que hemos hecho coincidir con la evapotranspiración residual), sigue la curva z-v. Esta curva, que desconocemos, debería ser la base auténtica de las compensaciones. El tomar como base de compensación postsequía la evapotranspiración residual, que es la 5.^a hipótesis, lleva implícito el considerar como curva de variación de la evapotranspiración residual la recta z-w, paralela al eje de tiempos (Figura 7).

Se trata de una simple aproximación a la realidad (como se pretende a través de las sucesivas aproximaciones a lo largo de las hipótesis establecidas en este trabajo), que puede ser tolerable, teniendo en cuenta que a partir del punto z los descensos de la evapotranspiración residual, a lo largo del tiempo, son poco sensibles si se comparan con la rama de la curva x-z.

La compensación hídrica (postsequía) se reduce, matemáticamente, a sumar, en primer lugar, los déficits producidos por la sequía, es decir:

$$\Sigma (e_m - D_m) \text{ cuando } e_m > D_m \quad (13)$$

siendo:

e_m la evapotranspiración residual de un periodo elemental (mes) de sequía. D_m las disponibilidades hídricas de ese mismo periodo.

Si $CR = 0$, es decir, si la capacidad de retención climatológica es nula (ver 3.^a hipótesis), se consideran, en este supuesto (hipótesis vigente), suelos de escasa capacidad de retención de humedad. En ese caso

$$\Sigma (e_m - D_m) = \Sigma (e_m - P_m)$$

siendo P_m la precipitación mensual.

Esta suma se debe cerrar en el periodo anterior al que se inicie la actividad vegetativa. Como sabemos, por hipótesis, esta actividad se inicia o se desenvuelve, cuando $D = e$.

En esta nueva etapa hay que llevar contablemente, como en la anterior, el superavit hídrico:

$$\Sigma (D_n - e_n) \quad (14)$$

siendo D_n y e_n , disponibilidades y evapotranspiración residual, respectivamente, de cada periodo elemental (mes) postsequía.

Cuando se verifique:

$$\Sigma (e_m - D_m) - \Sigma (D_n - e_n) = 0. \quad (15)$$

La sequía está aproximadamente compensada en la realidad y compensada totalmente en nuestro esquema teórico. Esto ocurre en un tiempo determinado, que, sólo casualmente, coincidirá con el fin de un periodo concreto. Su posición se precisa mediante simple interpolación dentro del periodo en que el fenómeno compensatorio se

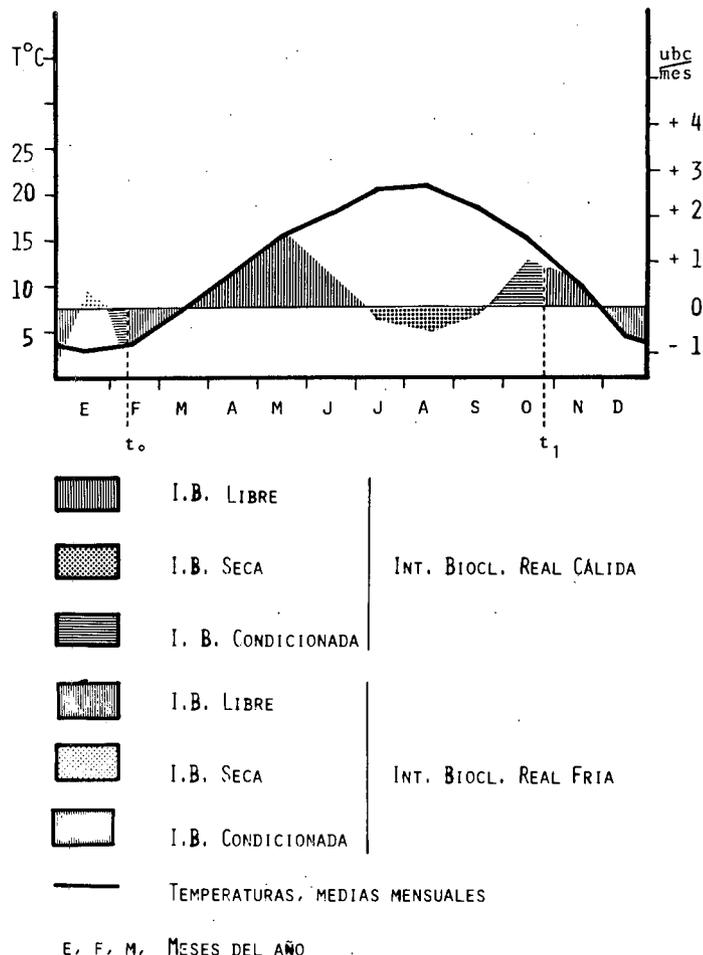


FIGURA 14.
La intensidad bioclimática condicionada y la libre.

La intensidad bioclimática condicionada y libre.

En la figura 14 se han situado los tiempos t_0 y t_1 que, se supone, son los tiempos en que se verifica la igualdad (15), uno en el área fría y otro en el área cálida respectivamente. Estos tiempos dividen a la I. B. R. correspondiente en dos partes:

La primera la llamamos Intensidad Bioclimática CONDICIONADA (I. B. C.) porque, si bien climatológicamente hay potencialidad para actividad vegetativa proporcional, esta actividad se encuentra seriamente limitada, condicionada, en aquellas especies vegetales que deben recuperarse hídricamente de la sequía (en general, especies arbóreas). Esta intensidad bioclimática puede ser aprovechada íntegramente por especies que no necesiten, más que una mínima cuantía, de esta compensación (las herbáceas por ejemplo). Las demás especies necesitarán investigación específica para saber en que medida pueden aprovecharla.

El resto de la I. B. R., está libre de este condicionamiento, la llamaremos Intensidad Bioclimática LIBRE (I. B. L.) y puede ser aprovechada íntegramente por el arbolado, en teoría.

(continuará)