

# TEMA 6<sup>o</sup>

## Radiación térmica

# Temperatura de la planta

En un principio la  $T^a$  de hojas, tallos, flores, frutos, etc., **tienden**  $\xrightarrow{\text{=====}}$  igualación con aire que las rodea

$T^a$  raíces y otros órganos subterráneos son = a las del suelo

¿ Hay numerosos factores que motivan que existan diferencias importantes?

- La variación de la  $T^a$  de un órgano vegetal expuesto a la acción de la radiación solar, es directamente proporcional a la intensidad de la radiación incidente ( $R_i$ ) y a su capacidad de absorción de la radiación ( $C_a$ ).
- Es inversamente proporcional, en cambio, al peso de la unidad de superficie ( $P_s$ ) y a su calor específico ( $\gamma$ ). Siendo  $K$  la constante de proporcionalidad:

# Temperatura de la planta

$$\Delta t = K \frac{R_i \times C_a}{P_s \times \gamma}$$

Rad. incidente

$\uparrow$        $\uparrow$  capacidad de absorción } directamente proporcional

$R_i$     $\times$     $C_a$

$\Delta t = K$  -----  $\Longrightarrow$  se calientan mas

$P_s$     $\times$     $\gamma$

$\downarrow$        $\downarrow$  calor especifico

peso unidad superficie } inversamente proporcional

Por tanto:

se calientan mas aquellos órganos que reciban la insolación directa en las épocas del año de máxima intensidad de radiación y los que absorban más la radiación.

# Albedo

relación entre la E. Luminosa que difunde por reflexión una superficie y los que absorben mas la radiación.

*Albedo* = E. Reflejada/E. incidente.

- Órganos con un albedo bajo (color oscuro) en la vegetación ==> reflejan poco la radiación y se calientan más.
- Órganos con un albedo alto (color claro) ==> reflejan mucho la radiación y se calientan menos.

↗ suelos húmedos tienen albedos de 0,10-0,15 ==>↑ al secarse a 0,25

↗ suelos secos presentan albedos de 0,25-0,45 según su textura.

↗ turbas presentan albedos de 0,05-0,15.

↗ albedo del agua pura es de 0,05

## ≠ tipos de albedo

↘ nieve reciente presenta entre 0,80 y 0,95.

↘ cultivos herbáceos anuales 0,10 y 0,20, según especies.

↘ flores de colza con albedo de 0,4-0,5

↘ órganos gruesos con albedo > 0,5

# Temperatura de la planta

↗ calentamiento. Originado por la R.solar y Atmosf.

- La T<sup>a</sup> de los órganos aéreos de los veg.

↗ radiación

↘ enfriamiento. Generado por → respiración

↘ transpiración

- **Órganos gruesos con ↑ peso** ===→ inercia térmica
- **Tallos delgados y hojas finas** ===→ variación + rápida de la T<sup>a</sup>
- **Órganos carnosos con ↑ % de H<sub>2</sub>O** ===→ < oscilación térmica ==→ ↑ % de calor específico

# Temperatura de la planta

¿ como se mide directamente la  $T^a$  de la planta ?

- usando pares o termopares termoeléctricos  $\Rightarrow$  conocer con precisión la marcha de las  $T^a$  aún en los órganos más delicados (ovario de la flor, anteras, hojas, troncos y tallos, etc.).
- De esa manera se puede comprobar que hay un desfase (diario y estacional) entre la marcha de las  $T^a$  en los órganos vegetales y en el ambiente.
- Durante el día se calienta mas rápidamente y los termómetros de ambiente pueden señalar algunos  $^{\circ}\text{C}$  de  $T^a$  superiores a los del vegetal.
- Durante la noche, el enfriamiento del aire es mas rápido y la  $T^a$  de los órganos vegetales puede ser algunos  $^{\circ}\text{C}$  superior a la del ambiente.
- Con cambios bruscos de  $T^a$  en el ambiente, la planta responde mas lentamente que el aire, siendo su  $T^a >$  o  $<$ , según los casos, en algunos  $^{\circ}\text{C}$  durante algún tiempo.

# Temperatura de la planta

- Los cambios bruscos de  $T^a$  son menos acusados en superficies de color claro.
- En invierno y primavera (con radiación solar directa)  $\Rightarrow$  diferencias de hasta  $10^{\circ}\text{C}$  en los costados de los troncos de los árboles, según su exposición a la radiación.
- Cada nube que intercepta la radiación  $\Rightarrow$  enfriar el costado mas caliente  $\Rightarrow$  nuevo calentamiento cuando pasa la nube  $\Rightarrow$  rajaduras en la corteza  $\Rightarrow$  penetración de enfermedades y parásitos  $\Rightarrow$  remedio blanqueando los troncos  $\Rightarrow$  evitar oscilaciones de  $T^a$  de la corteza de los troncos (En fruticultura).

# Acción de las temperaturas sobre algunas fases y funciones de la planta

## Germinación

- Cada especie presenta una  $T^a$  por debajo de la cual no germina  $\implies$  **cero de germinación**
- El cero de germinación casi siempre es mas bajo que el cero de crecimiento
- La germinación es lenta en las cercanías del cero de germinación
  - Si se mantienen estas temperaturas cercanas al cero de germinación  $\implies$  germinación de las semillas y consumición de sus sustancias de reserva  $\implies$  muerte de la planta si no se ha superado el cero de crecimiento.
  - si hay  $\uparrow T^a \implies$  acorta tiempo desde siembra a nascencia hasta una  $T^a$  óptima que hace ese periodo sea mínimo. Esta  $T^a$  se toma como referencia para determinar la duración de los ensayos en el laboratorio.



# Acción de las temperaturas sobre algunas fases y funciones de la planta

- En semillas con letargo  $\implies$  superar letargo  $\implies$  someter semillas a sesiones alternadas de  $\uparrow$  y  $\downarrow$   $T^a$   $\implies$  cámaras con control automático de  $T^a$ .
  - $\swarrow$  x horas al día
  - $\searrow$  restantes horas

## Transpiración estomática

*requiere energía que puede proceder de la rad. solar directa o de la rad. difusa atmosférica.*

Paso de agua líquida a gaseosa en las cavidades subestomáticas de las hojas y su posterior paso a la atmósfera exterior.

*diferencia de presión de vapor entre las cavidades subestomáticas y la atmósfera.*

## En condiciones normales:

$\uparrow$  Transpiración desde mañana a mediodía. Transpiración  $\downarrow$  tarde y nula noche

# Acción de las temperaturas sobre algunas fases y funciones de la planta

Sin falta de humedad en el suelo ¿ quienes son los responsables de la marcha de la transpiración ?

iluminación y temperatura

¿cuándo la luz no es un factor limitante para la apertura de los estomas?

$\Delta T^a \implies \Delta \text{transpiración}$

Para explicarlo está el **diagrama de Mollier (fig. 2.4)**, que relaciona las curvas de humedad relativa de la atmósfera, tensión de vapor y temperaturas.

# Diagrama de Mollier

- Es un gráfico que permite encontrar datos desconocidos a partir de datos conocidos.
- Es una herramienta que nos permite conocer situaciones reales de nuestro entorno, de conocer la  $T^a$  y la HR y nos permite conocer a que  $T^a$  se formará la condensación de cristales o si tenemos suficiente agua en el aire del ambiente para mantener v la humedad deseada en el interior de la planta.
- **El contorno de la parte inferior es una línea vertical donde se indican las  $T^a$  desde 0 a 50°.**
- El contorno de la parte superior es una línea horizontal donde se indican las cantidades de agua en gr./Kg de aire (un Kg de aire es cercano al  $m^3$ ).
- **El contorno de la parte superior es una línea curva que corresponde al 100% de HR.**

## Diagrama de Mollier

- **Todas las líneas verticales indican los valores contenidos de agua por Kg de aire que se indican.**
- **Todas las líneas horizontales indican los valores de  $T^a$  que se indican en el contorno inferior.**
- **Todas las líneas curvas indican los valores de HR que se indican en la propia línea.**

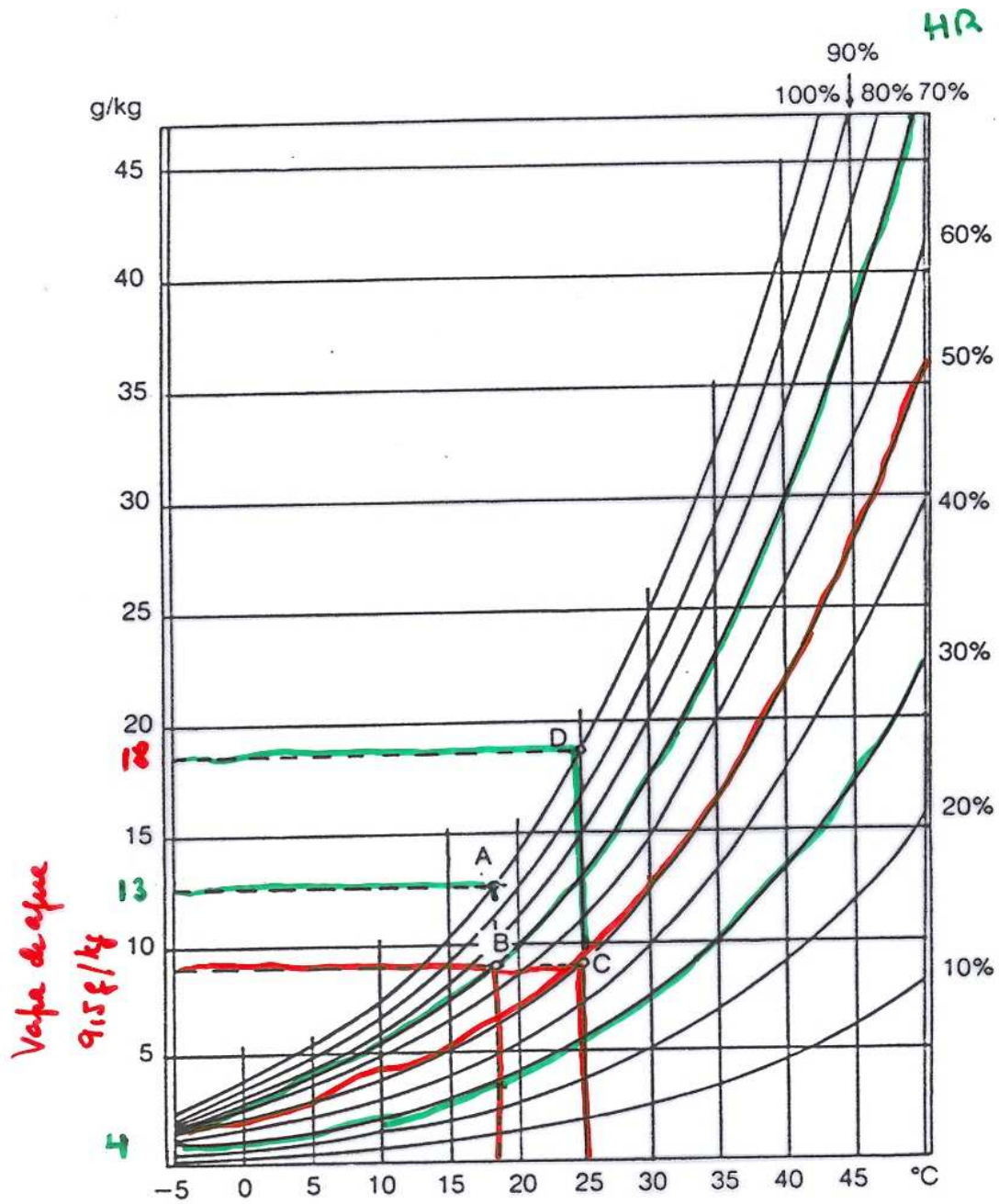
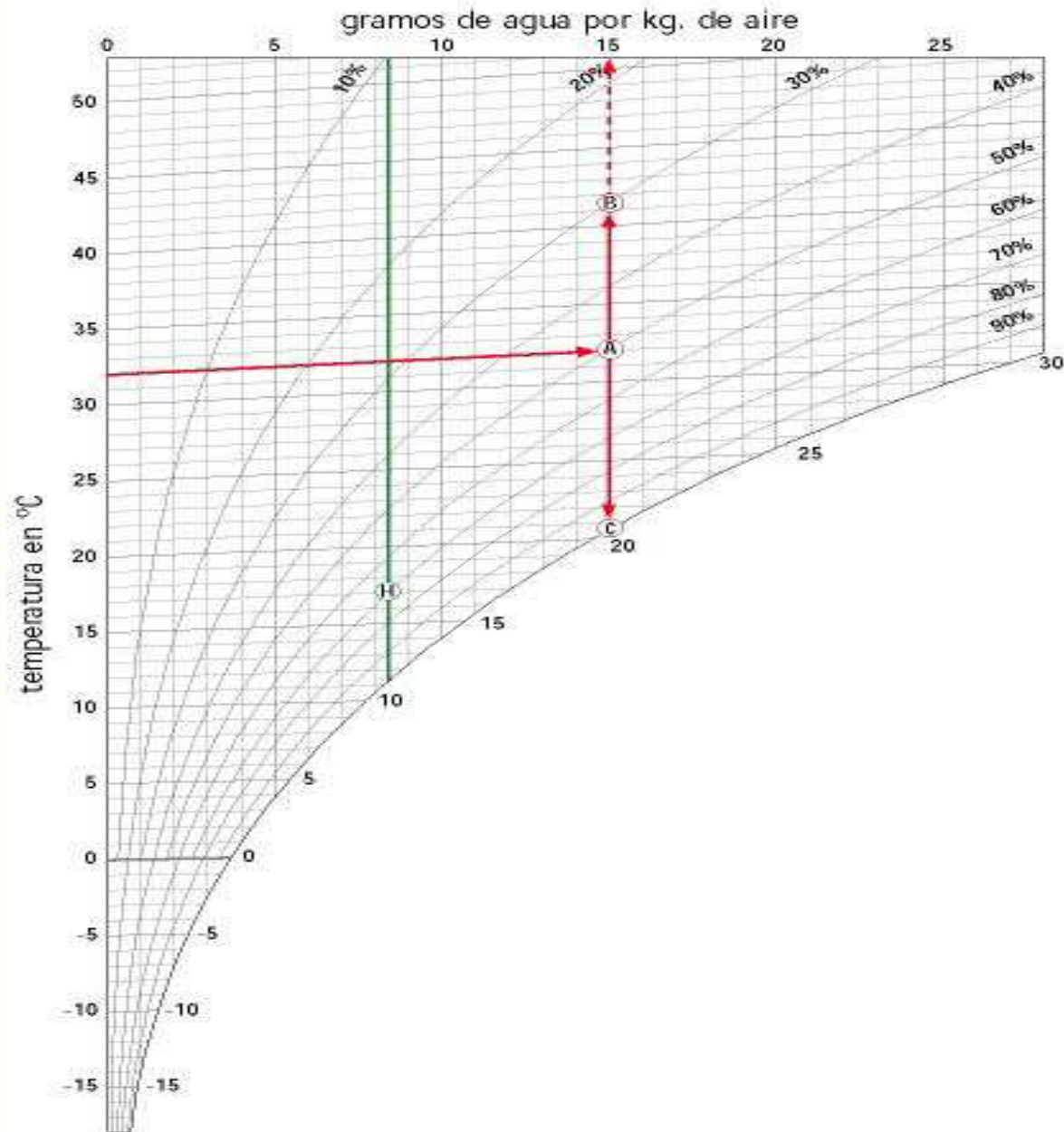
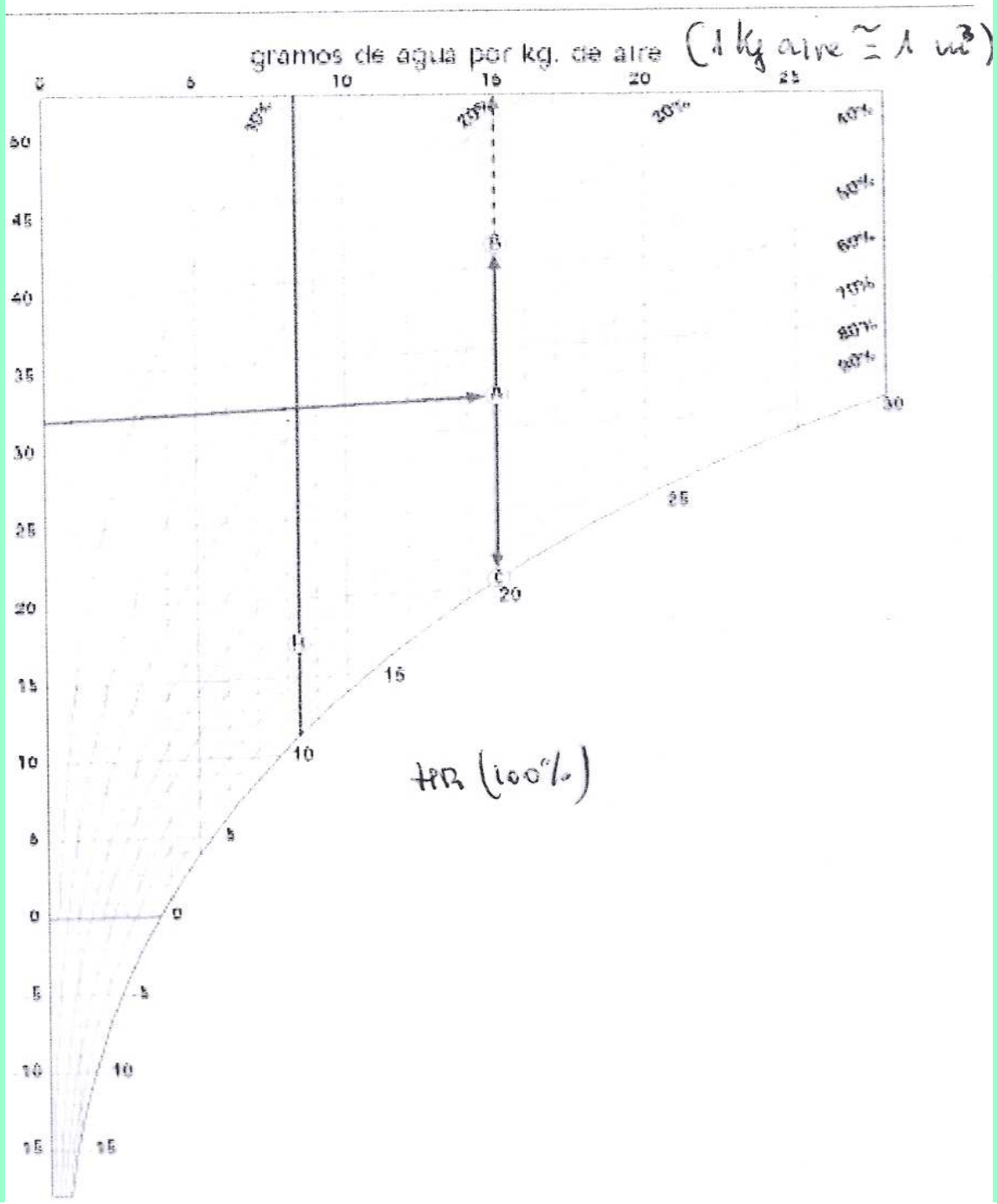


Figura 2.4 Diagrama de Mollier simplificado  
(Contenido de vapor de agua, en gramos, por kilogramo de aire seco)

# Diagrama psicrométrico de Mollier (simplificado)



HR



## Diagrama de Mollier

- Tenemos una planta transpirando a  $18^{\circ}\text{C}$  de  $T^a$  y HR del 70%, (punto B del diagrama). En estas condiciones, el contenido de vapor de agua del aire es de 9 g/kg y, al ser el correspondiente a la humedad de saturación (punto A), de 13 g/kg existirá un déficit de tensión de vapor (DTV) del 30%, equivalente a 4 g/kg de aire seco.
- Si la  $T^a$  sube a  $25^{\circ}\text{C}$  sin que varíe el contenido de humedad del aire (punto C), la HR desciende al 50% y se origina un DTV del 50%, equivalente a 9 g/kg de aire seco, ya que a esta temperatura la humedad de saturación (punto D) asciende a 18 g/kg.
- De esta manera, al pasar la  $T^a$  ambiente de 18 a  $25^{\circ}\text{C}$ , se produce un notable incremento de la transpiración.
- El aire saturado de vapor de agua está en equilibrio con el agua líquida y contiene una cantidad determinada de vapor de agua (gr. de vapor de agua por Kg de aire seco –(gr/Kg-) que dependen de la  $T^a$ . Este contenido de vapor de agua está representado por la curva de saturación o de HR del 100%.



# Diagrama de Mollier

Hay que tener en cuenta que:

$\uparrow$  transpiración y  $\uparrow T^a$   $\implies$  no existe ningún máximo  $\implies$  continuar  $\uparrow$   
 $\implies$  deshidratación  $\implies$  marchitez.

**¿ que sucede para evitar esto ?**

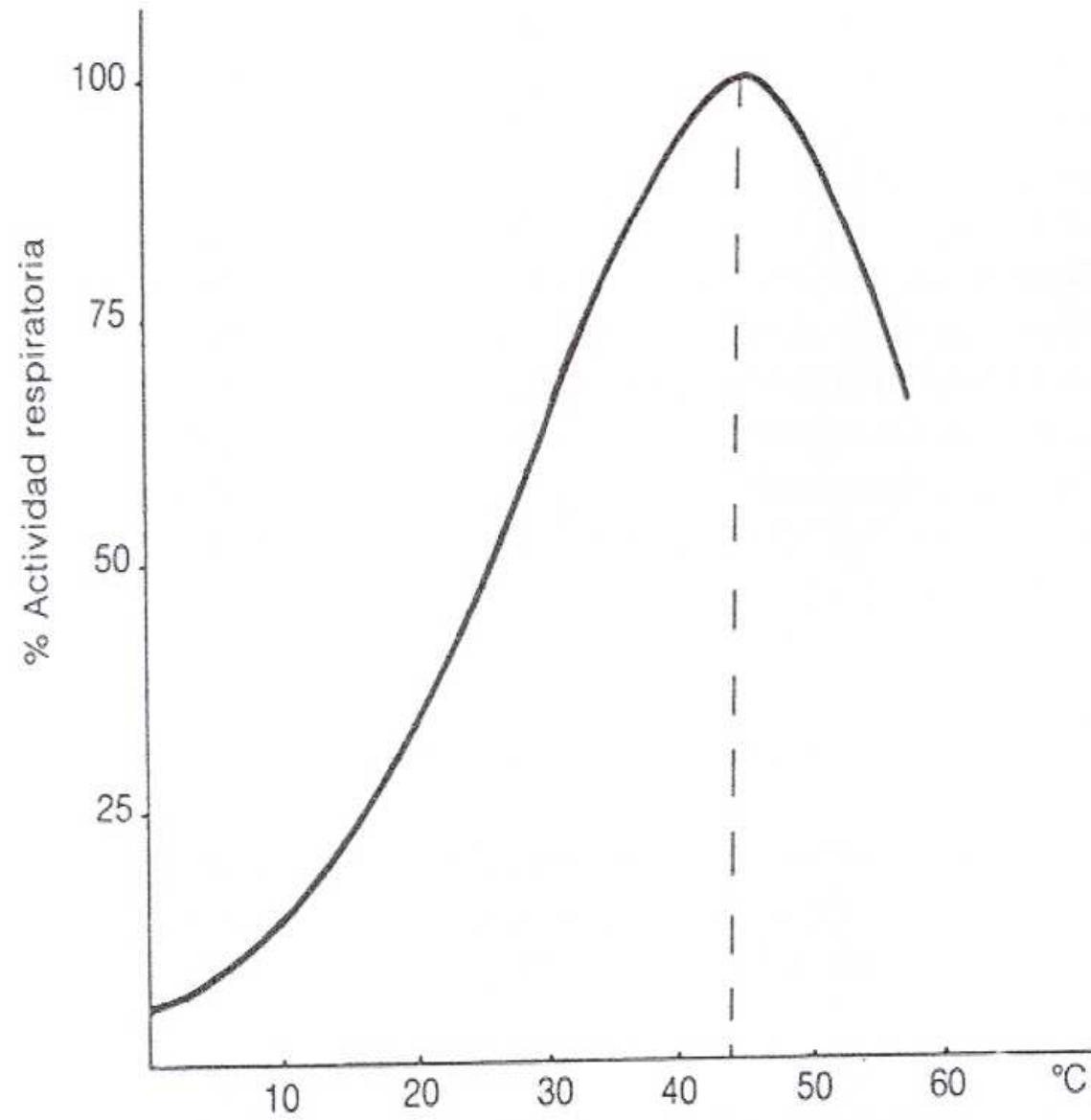
la transpiración actúa de autodefensa de la planta al disipar con ella una enorme cantidad de energía (600 calorías/gramo de agua transpirado  $\implies$   $T^a$  de los órganos vegetales transpirantes puede ser bastante más baja que la del ambiente.

$\uparrow T^a$   $\implies$   $\Delta$  consumo de  $CO_2$  de la cavidad subestomática  $\implies$  la planta responde abriendo sus estomas.

# Acción de las temperaturas sobre algunas fases y funciones de la planta

## Respiración

- Es la oxidación de sustratos orgánicos (azúcares, grasas, ácidos orgánicos, etc.) por la actividad de las células vivas para obtener energía con producción de  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ .
  - ↗ una pequeña parte es reutilizada en otros procesos metabólicos
- De la energía liberada
  - ↘ la mayoría se va al exterior en forma de calor desprendido o irradiado.
- La actividad respiratoria es pequeña con  $\downarrow T^a$
- La actividad respiratoria aumenta a medida que  $\uparrow T^a$  (máximo de 30-50°C en especies cultivadas).
- **A partir de 30-50°C =====>  $\downarrow$  actividad respiratoria ==> efectos destructores que las  $\uparrow T^a$  ejercen sobre los sistemas enzimáticos de las células vegetales.**



**Figura 2.5** Actividad respiratoria de las células vegetales en función de las temperaturas

# Acción de las temperaturas sobre algunas fases y funciones de la planta

## Fotosíntesis

↑-----→      constantes ←-----↑

En condiciones de iluminación y contenido en CO<sub>2</sub> (no sean limitantes), se comprueba que:

- la fotosíntesis se realiza incluso con temperaturas próximas a 0°C, aunque su intensidad es muy baja.
- $\uparrow T^a \implies \uparrow$  actividad fotosintética, hasta llegar a un máximo a partir del cual disminuye. Este máximo, para las especies de cultivo típicas de la zona templada, está entre 25-30°C y es diferente de unas especies a otras (**figura 2.6**).
- la T<sup>a</sup> para la que se obtiene la máxima actividad fotosintética posible corresponde a altos niveles de iluminación.
- En condiciones de baja intensidad luminosa también se reduce la T<sup>a</sup> a la que se produce el óptimo fotosintético y éste resulta inferior al alcanzado con iluminaciones y T<sup>a</sup> + ↑.

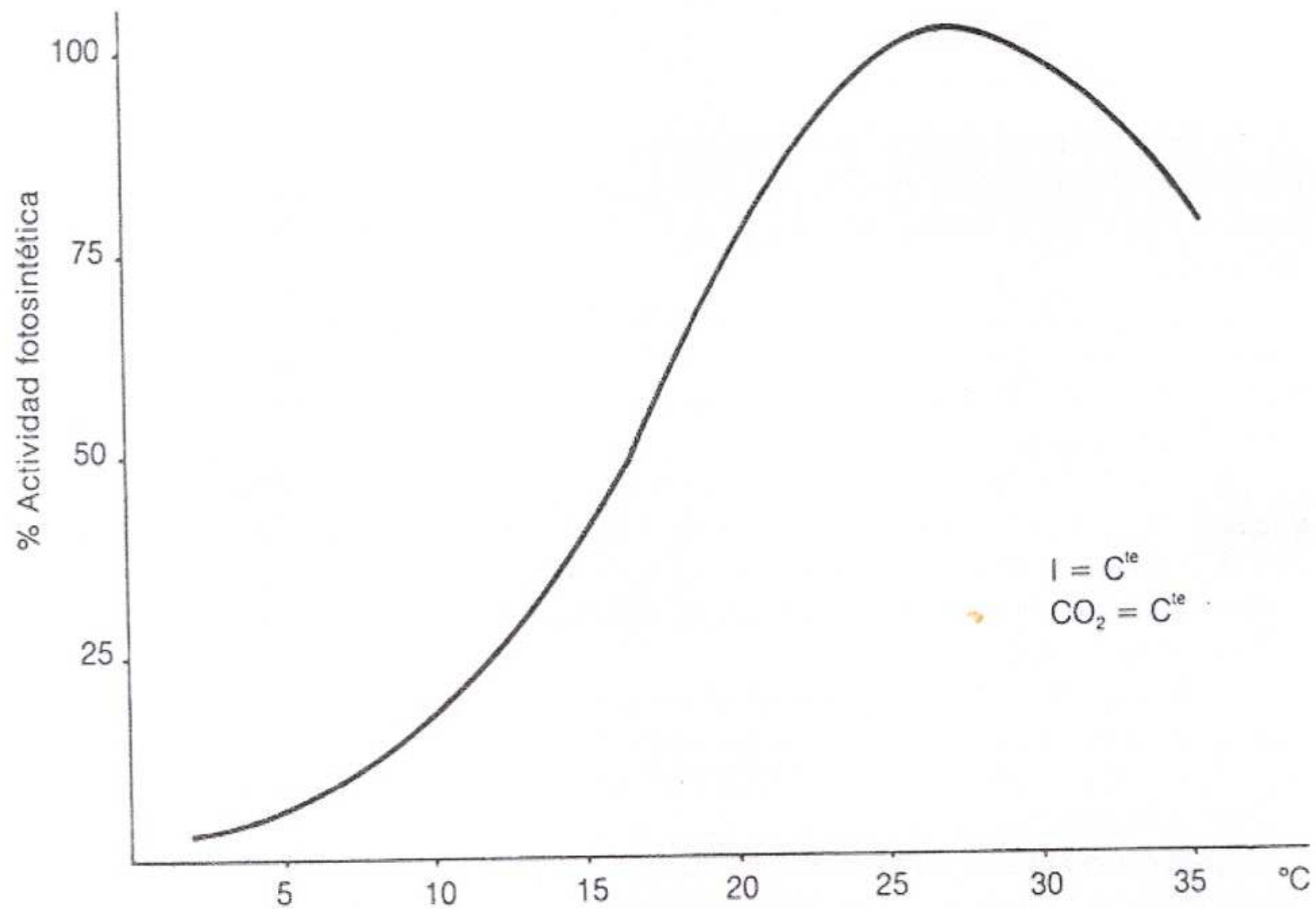


Figura 2.6 Actividad fotosintética y temperaturas

## Acción de las temperaturas sobre algunas fases y funciones de la planta

**Punto de compensación** (*define condiciones ambientales variables para que la Asimilación Neta (AN) de los vegetales es nula*).

Asimilación neta es la diferencia entre las actividades fotosintética (F) y respiratoria (R).

$$AN = F - R \quad \text{donde:}$$

$$F = f_1, (\text{Ilum.}, T^a, \text{CO}_2, \text{Planta})$$

$$R = f_2, (T^a, \text{Planta})$$

El Punto de Compensación define las condiciones ambientales variables para las que la asimilación de los vegetales es nula.

- Si para reducir variables nos referimos a una especie cultivada en una atmósfera con contenido en CO<sub>2</sub> constante, las actividades fotosintética y respiratoria pueden variar en la forma que se indica para diferentes niveles de iluminación (**Fig. 2.7**).

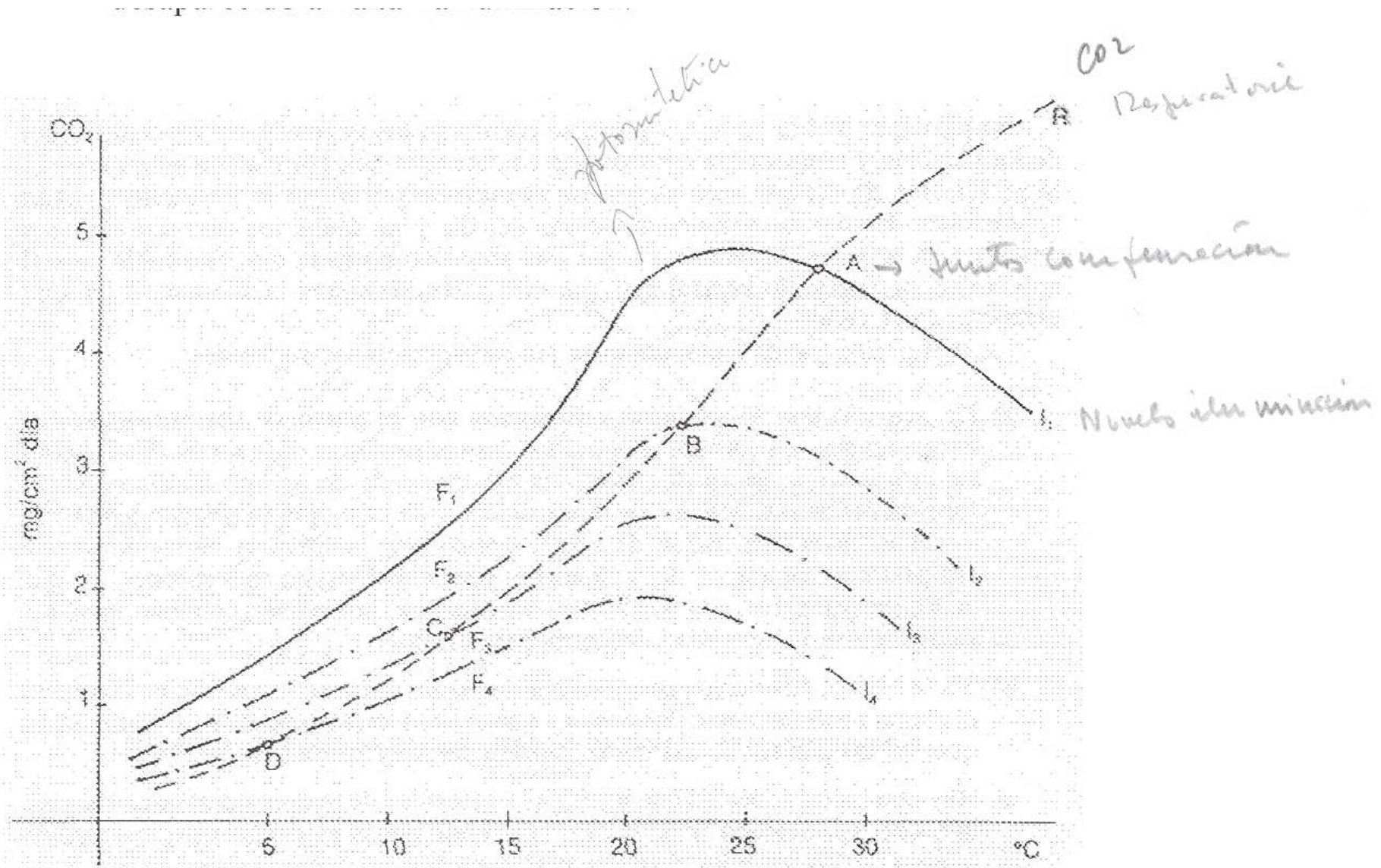


Figura 2.7 Punto de compensación

En invernadero (control artificial de luz y  $T^a$ ), se pueden provocar casos de AN negativa  $\implies$  manteniendo el invernadero caliente con luz deficiente. 23

## Acción de las temperaturas sobre algunas fases y funciones de la planta

- La > parte de las especies cultivadas en zona templada presentan *actividad fotosintética* apreciable a partir de 5°C.
- Esta actividad aumenta al elevarse la temperatura hasta llegar a un máximo que suele estar comprendido entre 25 y 30°C. A partir de estas temperaturas, la fotosíntesis disminuye.
- Hay que tener presente que esta actividad depende de la iluminación y que la planta va usando niveles cada vez más elevados de intensidad luminosa hasta que se produce la saturación lumínica.

conocemos la existencia de

- ↗ plantas de sol (requieren y aprovechan altas luminosidad.).
- ↘ especies de sombra que se saturan mucho antes.



## Acción de las temperaturas sobre algunas fases y funciones de la planta

- La interacción iluminación-temperatura queda recogida en las curvas de actividad fotosintética (**fig. 2.7**), que relacionan la cantidad de  $\text{CO}_2$ , fijado por unidad de superficie foliar y de tiempo ( $\text{mg CO}_2 / \text{cm}^2 \cdot \text{día}$ ) en función de la temperatura, para niveles diferentes de iluminación ( $I_1, I_2, I_3, \text{ e } I_4$ ).
- Para esta misma especie cultivada, la *actividad respiratoria* es independiente de la iluminación y muestra una marcha ascendente al elevarse la temperatura hasta llegar a un máximo. A diferencia de la fotosíntesis, este máximo se sitúa a niveles térmicos bastante elevados (frecuentemente por encima de los  $50^\circ\text{C}$ ).
- La interacción  $I/T^a$  queda recogida en las curvas de actividad fotosintética que relaciona la cantidad de  $\text{CO}_2$  fijado.
- En la **fig. 2.7** está representada la actividad respiratoria por el  $\text{CO}_2$ , desprendido por unidad de superficie foliar y de tiempo ( $\text{mgCO}_2/\text{cm}^2 \cdot \text{día}$ ), en función de la  $T^a$  para # niveles de iluminación.

## Acción de las temperaturas sobre algunas fases y funciones de la planta

- En las condiciones de la **fig. 2.7**, el punto de compensación se sitúa en A, B, C o D, respectivamente.
- La asimilación neta corresponde a la diferencia de las curvas fotosintética y respiratoria.
- Para temperaturas superiores a las que corresponden a los puntos A, B, C y D, según sea el caso, hay asimilación neta negativa, ya que las pérdidas por respiración superan a las ganancias por fotosíntesis.
- La planta vive a expensas de sus reservas y, de prolongarse esta situación durante algún tiempo, podría llegar a morir por inanición.
- En cultivos al aire libre, la naturaleza actúa en forma conveniente, ya que es necesario que durante la noche baje la actividad respiratoria, pues la fotosíntesis ha desaparecido al faltar la iluminación.

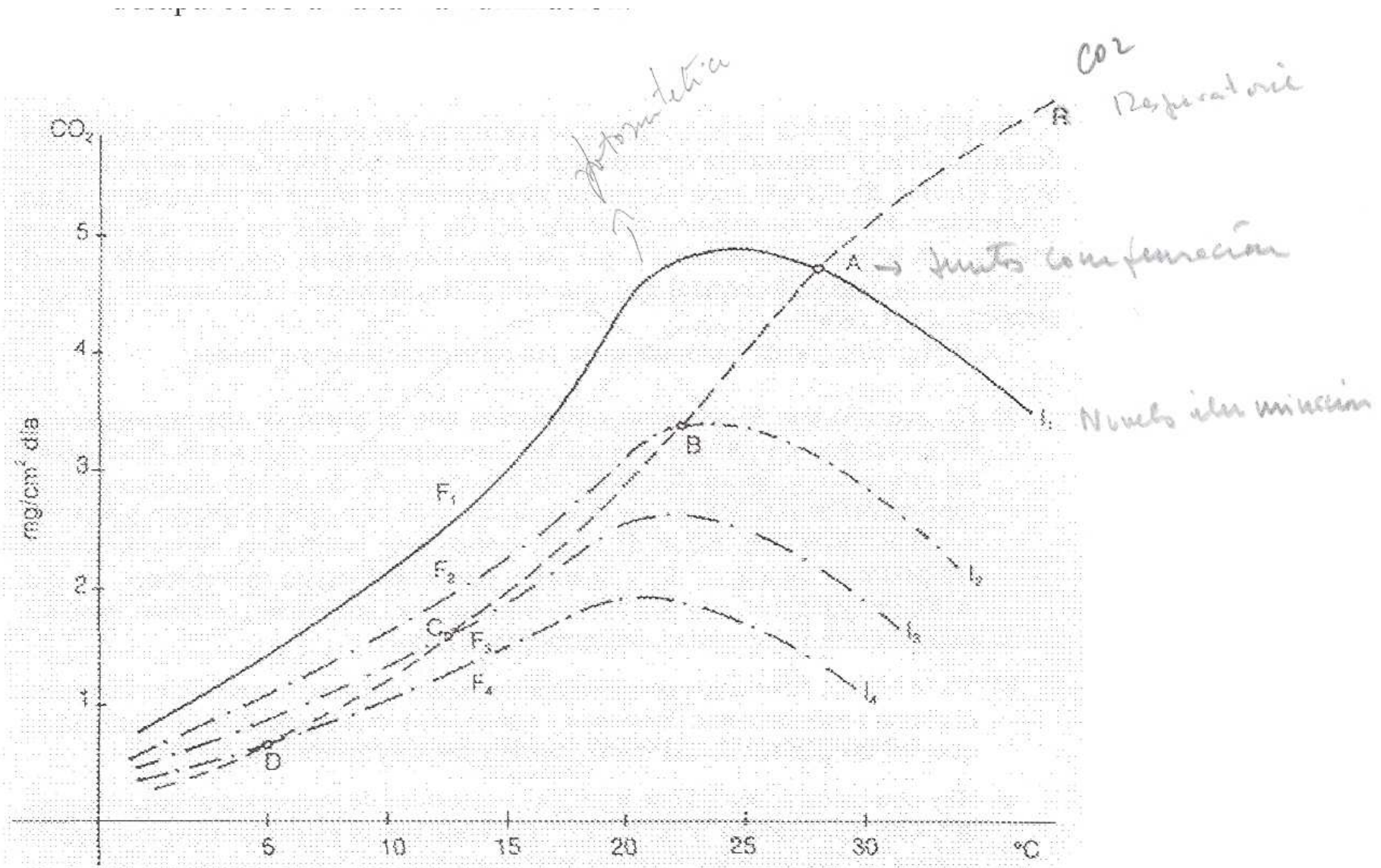


Figura 2.7 Punto de compensación

En invernadero (control artificial de luz y  $T^a$ ), se pueden provocar casos de AN negativa  $\implies$  manteniendo el invernadero caliente con luz deficiente. 27

# Acción de las temperaturas sobre algunas fases y funciones de la planta

## Termoperiodismo

- ↗ de la alternancia de  $T^a$  diurnas y nocturnas  $\implies$  Termop. diario ↘
- Explica la influencia sobre la planta
- ↘ de las diferentes estaciones del año  $\implies$  Termop. estacional ↗

Lo lógico sería:

Si tuviéramos los vegetales en condiciones de iluminación y temperatura óptimas que caractericen una asimilación neta máxima  $\implies$  la producción de materia seca alcanzaría el máximo posible si se mantuviesen estas condiciones durante las veinticuatro horas del día y en todos los días del año.

La experiencia dice:

Esta situación no es la más favorable para el crecimiento y desarrollo vegetal, ya que requiere la alternancia de temperaturas.

# Acción de las temperaturas sobre algunas fases y funciones de la planta

## Posible explicación de ello:

- Es necesario que en cultivos al aire libre, las  $T^a$  nocturnas ↓
- Se puede afirmar la existencia de un óptimo térmico diurno, función de las condiciones de iluminación, y de otro óptimo térmico nocturno ⇒ una razón de orden trófico que justifica la variación de las temperaturas durante el día y la noche (en invernaderos no se mantiene constante la iluminación).
- No es conveniente mantener la planta continuamente iluminada ya que existen unas exigencias de iluminación que en PDC, pueden ser muy restrictivas.
- La velocidad con que las sustancias orgánicas elaboradas en las hojas se desplazan y acuden a los puntos de crecimiento activo o a las yemas en vías de diferenciación y desarrollo, es importante durante las noches tibias o frías y queda fuertemente reducida en las noches cálidas y durante el día.

## **Acción de las temperaturas sobre algunas fases y funciones de la planta**

- En especies adultas y de gran porte (la savia recorre mayores trayectos), el efecto termoperiódico es más acusado que en las especies de porte bajo o durante las etapas juveniles de la planta.



# La integral o constante térmica y sus métodos de cálculo

- Desde el siglo XVII se ha intentado relacionar la duración del ciclo vital de los vegetales con la marcha de las temperaturas, ya que es fácil ver cómo  $T^{\circ} \uparrow \implies$  rápido pase por las # fases de su desarrollo  $\implies$  acortar duración de vida.
- Hay métodos para calcular la posible relación entre la duración del ciclo vital de las plantas o de aparición de las diferentes fases del desarrollo y las temperaturas.





## Método directo (Propuesto por Reamur)

Para un control mas completo, se debería incluir la 1ª etapa del desarrollo, por lo que en la integral térmica se acumulan  $T^a$  desde que se hace la siembra.

madurez

|

m

- $\sum T_m = cte$  para  $T_m \geq 0$

s

|

siembra

Principal error:

Admitir que existe una relación lineal entre las  $T^a$  y la marcha de la vegetación (supone que un día de  $25^\circ\text{C}$  es igual a dos de  $12,5^\circ\text{C}$  o a tres de  $8,3^\circ\text{C}$ ).

# Método residual

- Explica las imprecisiones del método directo y presenta los mismos errores
- Considera solamente las  $T^a$  eficaces para la vegetación (las  $>$  al 0 de crecimiento\*). Es diferente según las zonas y considera que en las templadas, fijar como cero de crecimiento los  $6^{\circ}\text{C}$ .
  - \* temperaturas por debajo de la cual no germina
- Lo que hace es restar  $6^{\circ}\text{C}$  a la  $T_m$  diaria y sumar los residuos obtenidos desde la siembra hasta la maduración para obtener una cantidad constante.

madurez

|

m

- $\sum (T_m - 6) = \text{cte}$  para  $T_m \geq 6$

s

|

siembra

$T^a < 6^{\circ}\text{C}$  serían eliminadas

# Método residual

## Razonamiento:

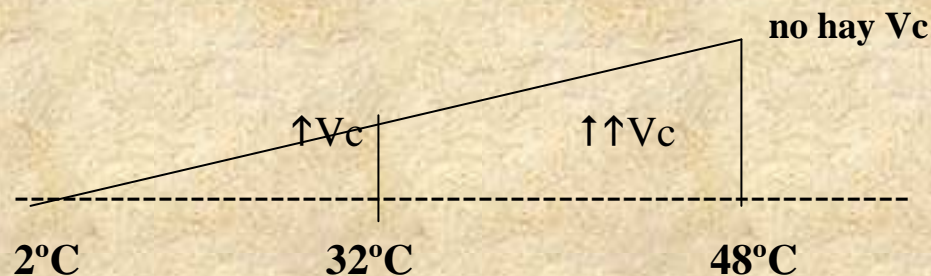
- Presenta los mismos errores que el directo
- Su uso es mas complicado, pues requiere el manejo de  $T^a$  diarias

## Método exponencial

- No parece muy correcto, pues se elimina la linealidad entre temperaturas y respuesta de la vegetación.

## Método termofisiológico

- Se acude a observaciones directas y propone sumar índices obtenidos en función de la velocidad de crecimiento a diferentes  $T^a$ , en relación con la que presentan las plantas a  $4,5^{\circ}\text{C}$ .
- Para llevarlo adelante se hicieron experiencias con millo cultivado en cámara oscura en 1985:
  - a) el crecimiento se inicia a la temperatura de  $2^{\circ}\text{C}$ .
  - b) a partir de  $2^{\circ}\text{C}$ , la velocidad de crecimiento aumenta en forma extraordinaria, alcanzándose la máxima velocidad a  $32^{\circ}\text{C}$ .
  - c) a partir de  $32^{\circ}\text{C}$ , todo aumento de temperatura produce una disminución rapidísima de la velocidad de crecimiento.
  - d) al llegar la temperatura a  $48^{\circ}\text{C}$ , el crecimiento se detiene.





# Método termofisiológico

## Conclusiones

- distintas variedades de cultivares presentan en cada fase de su desarrollo distintas respuestas a las  $T^a$  y a los restantes factores ambientales.
- *Actualmente se está utilizando el término «tiempo térmico» (**thermal time**) con la siguiente consideración conceptual.*
  - a) El crecimiento y determinadas fases del desarrollo están influidos por la acumulación de las temperaturas a que han estado sometidas las plantas. Por debajo de una cierta temperatura (*umbral térmico*) no hay acumulación y el crecimiento cesa.
  - b) A partir de aquella temperatura, la velocidad de crecimiento y desarrollo aumenta a medida que lo hacen las temperaturas hasta que se alcanza un óptimo (*temperatura óptima o rango de temperaturas óptimas*). Por encima de éstos valores, la acumulación de  $T^a$  debería dar resultados decrecientes ya que ↓ la velocidad de crecimiento y desarrollo.

# Método termofisiológico

## Conclusiones

- Investigaciones en cámaras de cultivo, invernaderos y en pleno campo, para determinar las temperaturas (mínimas, óptimas y máximas) que regulan el crecimiento y el desarrollo de las plantas cultivadas en sus diferentes fases y como consecuencia de estas investigaciones, se han propuesto diferentes modelos (lineales y no lineales) para su expresión cuantitativa:

### **a) modelos de tiempo térmico sencillos (modelos lineales)**

- Modelos sencillos que no tienen en cuenta la acción de factores como termoperiodismo, fotoperiodismo, acción estimuladora de determinadas temperaturas o el régimen de humedad, sólo son de aplicación a cultivares adaptados a determinadas condiciones locales (las correspondientes a la zona en que se ensaya el modelo) y para determinadas épocas de siembra.

# Método termofisiológico

## Conclusiones

- Suman los grados de las temperaturas que se producen por encima de una determinada temperatura-base ===> expresar la tasa de crecimiento diario producida como consecuencia de la acción de esa temperatura.
- Si toman como unidad de tiempo el día, hablamos de «unidad térmica diaria» o GDD (*growing degree day*), utilizando las temperaturas medias diarias. Por ejemplo, si expresamos el tiempo necesario para la germinación del maíz en GDD10 para  $t < 35^{\circ}\text{C}$ , indicamos que la germinación se produce cuando se alcance el valor de referencia al sumar las temperaturas medias diarias mayores que  $10^{\circ}\text{C}$ , pero menores que  $35^{\circ}\text{C}$ .
- b) modelos modernos propuestos para cultivos como trigo (*CERES-Wheat*), arroz (*CERES-Rice*), maíz (*CORNF* y *CERES-Maize*), algodón (*COTTAM*), etc.**

Introducen, entre otras, la influencia de la duración del día, de la radiación solar y, en ocasiones, del estrés hídrico.



# Constante térmica y heliotérmica

- Hoy se admite que no es posible controlar la duración de todo el ciclo vital de una planta solamente con las temperaturas, pues, el ciclo vital se compone de una serie de fases que se diferencian cualitativamente y en las que las exigencias en cuanto a la acción de los factores ambientales son diferentes, por lo que, las teorías sobre integral o constante térmica deberían ser aplicadas a cada una de las fases del desarrollo.

## Ciclo vital de una planta monocárpica (Posible aplicación de integrales térmica y heliotérmica)



- 1) *Etapa siembra-nascencia: Posible integral térmica.*
- 2) *Etapa nascencia-floración: Posible integral heliotérmica*
- 3) *Etapa floración-maduración- Posible integral térmica*

## Constante térmica y heliotérmica

- La etapa siembra-nascencia (1) puede controlarse solamente con temperaturas en la mayor parte de los casos y, en consecuencia, puede predecirse su duración mediante una integral térmica.
- La etapa que va desde la nascencia a la floración (2), comprendiendo todo el desarrollo vegetativo de la planta, responde a factores tan variables como son temperaturas, luz, fotoperiodismo, termoperiodismo, humedad, frío estimulador, etc., y no puede, por tanto, controlarse con una simple integral térmica.
- Las etapas finales (3) que llevan a la formación y maduración de los frutos, pueden controlarse, en la mayor parte de los casos, solamente con temperaturas y establecer, como consecuencia, una nueva integral térmica para estas últimas etapas del desarrollo vegetal.

## Constante heliotérmica

- **Constante heliotérmica (2)** está formada por la acción combinada de la  $T^a$  y la duración del día, siendo la suma de los productos obtenidos al multiplicar la  $T_m$  diaria por la duración media del día en minutos  $\text{====}\rightarrow$  mayor precisión en la determinación de la fecha de floración, tampoco resulta exacta, ya que factores como la humedad, termoperiodismo, vernalización, etc., pueden hacerla variar.
- En cualquier caso, las constantes o los índices heliotérmicos son de aplicación más amplia que los índices térmicos, pero, debe tenerse en cuenta los efectos depresivos que producen las temperaturas superóptimas (no debe utilizarse en las regiones, o en las épocas del año, en que se produzcan estas temperaturas durante crecimiento vegetal).



## Relación radiación/temperatura

$R/T = \text{Radiación solar media (cal/cm}^2 \cdot \text{día) / } T_m \text{ diaria}$

- se usa la relación R/T para explicar la marcha de la vegetación.
- un valor  $\uparrow$  de R/T  $\Rightarrow$   $\uparrow$  actividad vegetativa excepto en los casos en que las bajas temperaturas puedan actuar como factor limitante.
- la razón anterior justifica que no se deba aceptar simplemente el valor absoluto de R/T, sino en relación con la marcha de las temperaturas. En consecuencia, debe observarse cómo varían durante el año ambos factores (R/T y T) y cómo influyen sobre el desarrollo vegetal.

En la **Fig. 2.10**, se representan las curvas que muestran la variación de la relación R/T durante el año en las localidades de La Coruña, Almería y Madrid.

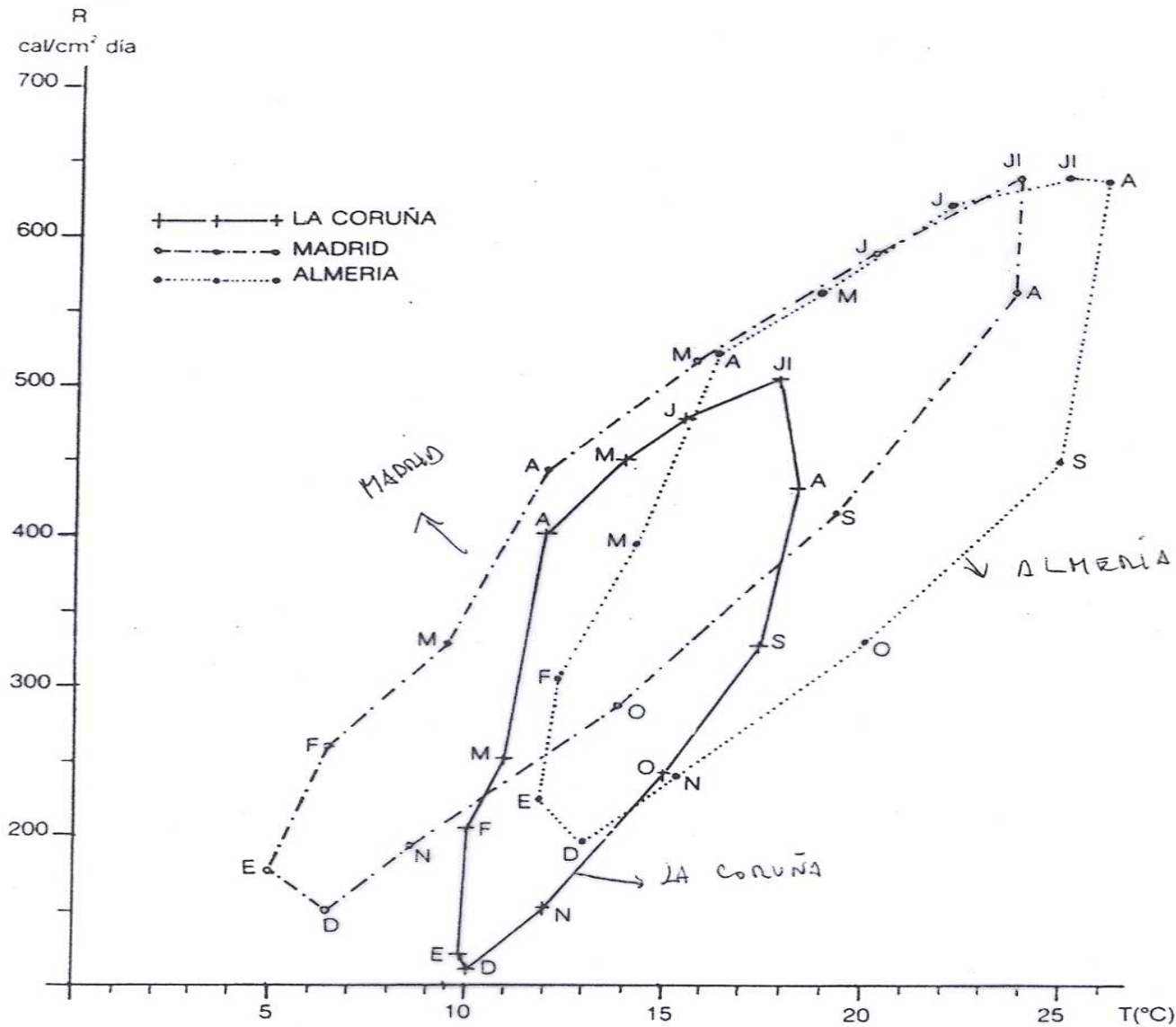


Figura 2.10 Variación de la relación R/T durante el año

R/T ↑ = ↑ actividad fotosintética

R/T ↓ = ↓ actividad fotosintética en Madrid