

**Unidad 4:** La temperatura como factor biometeorológico en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Termoperiodismo. Importancia biológica de la temperatura del suelo. Isotermas. Requerimientos térmicos de cultivos de invierno y de verano. Distribución geográfica de las temperaturas. Constante térmica. Amplitud térmica. Horas de frío. Heladas: tipos, origen, primera y última helada, métodos de defensa. Medición de temperatura e Instrumental.

### **La temperatura como factor biometeorológico en vegetales**

Para poder satisfacer sus procesos vitales fisiológicos, los vegetales deben encontrarse en un ambiente dentro de ciertos límites de temperatura.

Se denomina **límite vital de temperatura** al rango de temperatura dentro de la cual el organismo desarrollará su ciclo de vida sin daños.

A partir de estudios sobre el crecimiento y desarrollo de diversos vegetales, se han determinado temperaturas vitales y letales. Dentro de estas se destacan:

- **umbral inferior** que señala la temperatura vital mínima, por debajo de la cual se detiene el crecimiento o desarrollo y por encima del cual estos procesos son incrementados o incentivados.
- **temperatura óptima** a la cual el proceso alcanza su mejor expresión y velocidad.
- **umbral superior** o temperatura máxima vital, ya que por encima de ella la planta suspende sus procesos fisiológicos.
- **mínima letal** temperatura por debajo de la mínima vital, a partir de la cual y para valores inferiores el vegetal no solo detiene sus procesos sino que manifiesta daños permanentes y es probable la muerte de sus tejidos.
- **máxima letal** ídem a la anterior pero superior a la máxima vital.

Biológicamente, un organismo vivo está capacitado para adaptarse y tolerar diversos rangos de elementos extremos. Y esa capacidad variará con cada especie. En cuanto a la capacidad de tolerancia a la temperatura está definida genéticamente en los vegetales. Se denomina **tolerancia a temperaturas extremas** a la propiedad de la planta, específicamente de su protoplasma, a mostrarse estable frente a situaciones críticas de bajas o altas temperaturas sin sufrir daños irreversibles.

### **Termoperiodismo**

La variación anual, diaria y aperiódica de la temperatura del aire tiene un efecto manifiesto en el desarrollo de los vegetales superiores.

Dicha variación, en un ciclo completo de un año, un día o varios días, constituye un **termoperíodo** anual, diario o aperiódico respectivamente y se caracteriza por presentar dos sectores bien definidos: la termofase positiva y la termofase negativa.

La termofase positiva corresponde al lapso más cálido, y la negativa al más frío del termoperíodo.

***La reacción de las plantas al termoperíodo se denomina termoperiodismo.***

Existen tres tipos de termoperiodismo: anual, diario y aperiódico, según la respuesta del vegetal al termoperíodo se cumpla en un año, en un día o aperiódicamente.

Darwin, observó las diferencias que presentaban en su manifestación de fases fenológicas un mismo tipo de vegetación al encontrarse sometidas a diferentes amplitudes térmicas anuales.

Es algunos frutales, como ciruelo y manzano, disminuyen el valor de las sumas de temperatura requeridas para un normal desarrollo al tener una termofase negativa más intensa.

Una manifestación del termoperiodismo anual se refleja en la distribución geográfica de los cultivos. Es por ello que al intentar introducir especies exóticas, la viabilidad de las mismas dependerá fundamentalmente de la similitud entre las condiciones termoperiódicas anuales de las regiones de origen y las de la región donde se intentará su cultivo.

Burgos, en 1952, establece una clasificación de plantas, según su ciclo vital en relación a la variación anual de la temperatura.

- **Termocíclicas:** son aquellas especies que presentan tejidos activos a la temperatura durante uno o más períodos anuales de variación de la temperatura. Ej. perennes (ciruelo y bianuales).
- **Paratermocíclicas:** las especies anuales con tejidos activos a la temperatura en una parte de las termofases positiva y negativa. Ej. cereales de invierno (trigo, cebada).
- **Atermocíclicas:** las especies con tejidos activos a la temperatura sólo en la termofase positiva del termoperíodo anual. Ej. tomate, sorgo, maíz.

**Termoperiodismo diario:** En 1944, Went demostró la influencia de la variación diaria de la temperatura en la floración y fructificación del tomate. Si se mantiene constante la temperatura en 26°C esta especie tendrá un crecimiento indefinido sin florecer ni fructificar. Es necesario un enfriamiento nocturno a 19° C para inducir estos procesos.

En especies Paratermocíclicas como los cereales invernales es importante también la termofase negativa diaria durante los estadios juveniles para que exista un normal desarrollo.

**Termoperiodismo aperiódico:** La advección irregular de masas de aire calientes y frías determina una variación aperiódica en la temperatura del aire, de notables consecuencias bioclimáticas. Generalmente interfiere en el termoperiodismo anual y/o diario.

La ocurrencia de días con temperaturas anormalmente altas hace que, algunas especies como almendro y avellano, florezcan prematuramente durante el invierno y sean dañadas por las heladas posteriores, por lo que rara vez estas especies fructifican y si lo hacen, sus rendimientos son bajos.

### **Constante térmica**

Si desde el momento en que se produce la germinación se suma la temperatura media de cada día hasta el momento de la madurez, la suma total es siempre la misma, cualquiera haya sido la ubicación del cultivo y el año considerado. Según Réamur la cebada requiere desde la germinación hasta la madurez una suma de 1700 °C, el trigo 2000 y el maíz 2500, el autor no considera las temperaturas medias bajo cero grado. A estas sumas fijas para cada vegetal, se les dio el nombre de **constante térmica**.

Esto explica la diferente duración de los cultivos. Por ejemplo el maíz necesita 2500 °C, si el cultivo se efectúa en una localidad donde la temperatura media diaria es de 25 °C, la planta necesitará 100 días para alcanzar la madurez. Si la temperatura media fuese de 15 °C la planta necesitará  $(2500/15)$  167 días para madurar.

La constante térmica también puede calcularse para cualquier subperíodo de las plantas. Para un frutal como el almendro, se puede calcular la suma de temperaturas que requiere desde floración hasta la foliación.

**Temperatura y velocidad de crecimiento:** Existen varios modelos que tratan de representar la vinculación entre la temperatura el crecimiento y desarrollo de los vegetales. Casi todos ellos introducen el concepto de velocidad de crecimiento:

$$V = f(T)$$

La planta pasa de un estadio a otro entre los instantes inicial  $f_1$  (fecha fase 1) y  $f_2$  (fecha fase 2). El subperíodo a analizar está dado por la diferencia de fechas  $Df = f_2 - f_1$ .

Puede decirse que es posible dividir este crecimiento en períodos elementales iguales y de corta duración como para admitir que durante ellos la temperatura se mantiene constante.

$$\sum_{i=1}^{\infty} df_i = Df = f_2 - f_1 \quad T_i = \text{cte para } df_i$$

Si se define una velocidad de crecimiento  $V_i$  asociada a cada temperatura  $T_i$  se puede escribir:

$$V_i = dL_i / df_i \quad dL_i: \text{ aumento en la biomasa}$$

$$L = \sum_{i=1}^{\infty} dL_i = \left( \sum_{i=1}^{\infty} V_i \right) Df$$

Los métodos difieren en la relación  $V_i = f(T_i)$ .

1- **Método directo:** Se suman las temperaturas medias diarias.

2- **Método residual:** Cuando se observó que la constante térmica en realidad sufría variaciones según las localidades se trató de resolver de la siguiente forma. En el método directo se considera como útil toda temperatura arriba de cero grado, pero en realidad casi todas las especies comienzan a crecer a los 6 °C, por lo tanto toda temperatura inferior a este valor no reporta ninguna utilidad. Este valor 6 se lo denomina cero vital. Para encontrar la verdadera eficiencia de la temperatura, es necesario restarle los 6° que corresponden al cero vital, el residuo resultante es la temperatura efectivamente útil. Este método se lo llama residual.

A la temperatura media de cada día se le resta 6 y luego se suman los residuos así obtenidos para obtener la constante térmica. Las temperaturas medias diarias inferiores a 6° no intervienen para nada en los cálculos.

Las investigaciones han puesto en evidencia que si se calcula la diferencia diaria entre la temperatura media del día ( $T_m$ ) y una temperatura base ( $T_b$ ) y se suman estas diferencias en el transcurso de un lapso de tiempo entre fase y fase se obtendrá **un valor casi constante en un lugar determinado - para una especie vegetal dada - cualquiera sea el año o la época del año entre ciertas fechas límites.**

Por lo tanto, hay dos parámetros a determinar para cada fase de desarrollo elegida:

$$\left. \begin{array}{l} * T_b \\ * \sum (T_m - T_b) \end{array} \right\} \text{ Determinan las fases}$$

El método residual propone una relación lineal entre  $V_i$  y  $T_i$  de manera tal que:

$$V_i = f(T_i) = a(T_i - T_b) : \text{ Ecuación de una recta de pendiente } \underline{a} \text{ y ordenada al origen cero } (\underline{b}=0).$$

Además, asume que  $df_i = 1$  día por lo que  $T_i = T_m$

$$L = \left( \sum_{i=f_1}^{f_2} V_i \right) \cdot Df = a \cdot \sum_{i=f_1}^{f_2} (T_m - T_b) \cdot Df$$

$$L / (a \cdot Df) = \sum_{i=f_1}^{f_2} (T_m - T_b) = \text{cte} : \text{ UNIDADES DE CALOR}$$

**3- Método exponencial:** Aunque el método residual arrojó mejores resultados que el directo, la constante térmica de un cultivo manifestaba valores bastante variables para las distintas regiones. Para evitar esto, el problema se planteó así: el crecimiento de las plantas es un conjunto de reacciones físico-químicas y como tales deben regirse por la ley de Van't Hoff y Arrhenius, que dice: *la velocidad de las reacciones se duplica por cada aumento de 10° en la temperatura*. De acuerdo con este método de cálculo de la constante térmica, la eficiencia de una temperatura se halla comparando la velocidad de las reacciones a esa temperatura, con la velocidad unidad que es la correspondiente a 4,5°. Así, por ejemplo, la eficiencia de la temperatura 14,5° es igual a 2, porque a dicha temperatura las reacciones se producen dos veces más rápido que a la temperatura de 4,5°. La velocidad de reacción a una temperatura cualquiera se halla elevando 2 a la potencia correspondiente. En cada caso el exponente se calcula restando 4,5° a la temperatura dada y dividiendo el residuo por 10. Ver ejemplo en De Fina- Ravelo (Climatología y Fenología ...) Cuando se desea calcular la constante térmica por el método exponencial, es necesario sustituir la temperatura media de cada día por la velocidad de reacción correspondiente. A estos valores también se los llama índices exponenciales. Pero a fin de evitar el cálculo del índice exponencial que corresponde a cada día, se recurre a las tablas ya preparadas para ello, (La ecología agraria..., Azzi, publicada en Italia en 1928). Por fin se procede a sumar todos los índices. Es objetado el uso de este método en países calurosos, pues según se ha demostrado, las temperaturas elevadas, 38°, 40°, son computadas como muy eficientes. Por el contrario, al estudiar el tema de las temperaturas mínima, óptima y máxima para la producción de las fases, se ha visto que a partir de las temperaturas óptimas cualquier elevación térmica es perniciosa, en vez de ser benéfica.

Si la fase de desarrollo ocurre sobre todo a bajas temperaturas, es necesario renunciar a la posibilidad de ajustar a una recta la curva de acción de la temperatura. En este caso una exponencial resultará más adecuada.

Se procederá en forma análoga al caso anterior sólo que:

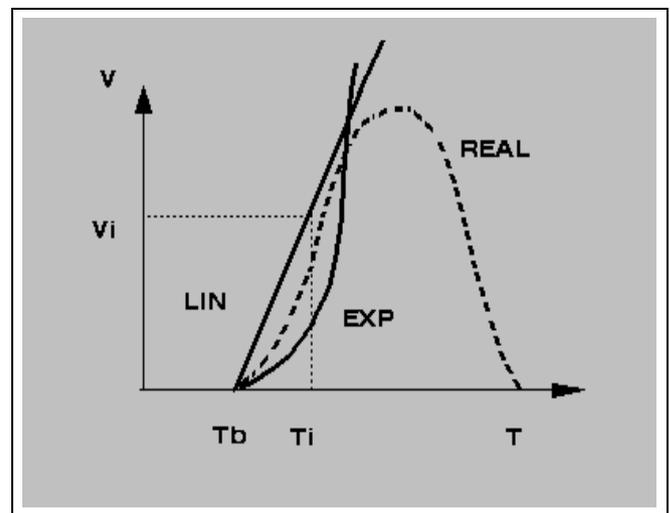
$$V_i = f(T_i) = a \cdot e^{(b \cdot T_i)} \text{ con } a \text{ y } b \text{ constantes.}$$

#### Inconvenientes de los métodos residual y exponencial:

a) En realidad no es cierto que durante todo el día la temperatura se mantenga constante ( $T_m$ ).

b) Existe una temperatura tope a partir de la cual el cultivo no crece más y en estos casos no se cumple la ley lineal y menos la exponencial.

**4- Método termofisiológico:** Este método se basa en experiencias fisiológicas. Para ello se usan datos que arrojaron las experiencias termofisiológicas de Lehembauer. La eficiencia de una temperatura se establece comparando la velocidad de crecimiento de las plantitas de maíz, a esa temperatura, respecto de la velocidad que registra a 4°C. Esta última es la velocidad unidad. Por ejemplo a 30° la eficiencia de la temperatura es de 120, significa que a esa temperatura, el crecimiento de las plantitas es de 120 más rápido que a 4°C. Para calcular la constante térmica por el método termofisiológico se comienza por sustituir la temperatura media de cada día por el índice termofisiológico correspondiente, luego se suman todos los índices.



El método termofisiológico es el método ideal para el cálculo de las UNIDADES DE CALOR requeridas para que se cumpla un determinado subperíodo. Se basa en el conocimiento de la curva  $V_i = f(T_i)$

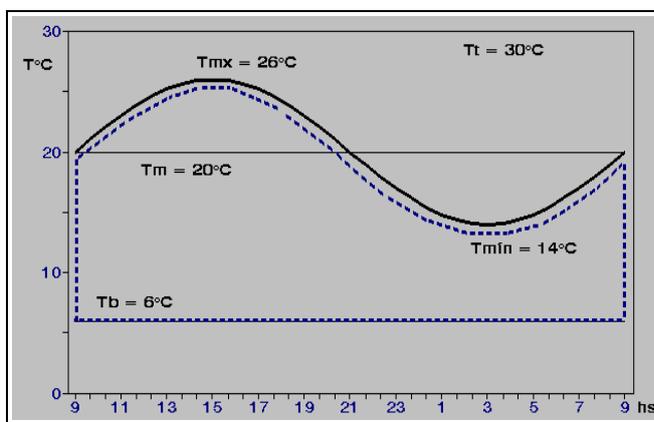
Se parte de datos horarios de temperatura con los que se determinan los valores de velocidad de desarrollo correspondientes a cada temperatura y luego se hace la suma de éstos.

El principal inconveniente es su gran laboriosidad en los cálculos aunque con el empleo de computadoras se ha difundido muy rápidamente en los denominados **modelos de simulación de crecimiento de cultivos**.

La mayoría de las veces no disponemos de datos horarios de temperatura. Sin embargo se pueden estimar éstos suponiendo la onda termal senoidal a partir de la temperatura máxima (Tmx) y la mínima (Tmín) del día.

Según los valores Tmx, Tmín en relación con la temperatura tope (Tt) y la temperatura base (Tb) de crecimiento del cultivo en cuestión se presentan los siguientes casos:

**1° Caso:** Tmín > Tb y Tmx < Tt



En la figura vemos el área encerrada en línea de puntos representativa de la energía que entregó el aire como calor sensible para el crecimiento de la planta. En este caso los tejidos de la planta se encontraron activos durante todo el día. Las unidades de calor (UDC) son proporcionales a esta área según la relación:

$$UDC = \text{AREA} / \text{TIEMPO} = \left( \int_{0h}^{24h} (T_m + A \cdot \text{sen } t \cdot dh) - T_b \cdot 24h \right) / 24h$$

$$\text{AREA} = (T_m - T_b) \cdot 24h$$

UDC = Tm - Tb (Igual para el método residual)

**2° Caso:** Tmín > Tb y Tmx > Tt

En este caso la planta detiene su crecimiento mientras la temperatura esté por encima de Tt. El área rayada AREA < (Tm - Tb) . 24 h. Para calcular esta diferencia (A') se deben determinar los momentos del día en los cuales la temperatura iguala a Tt.

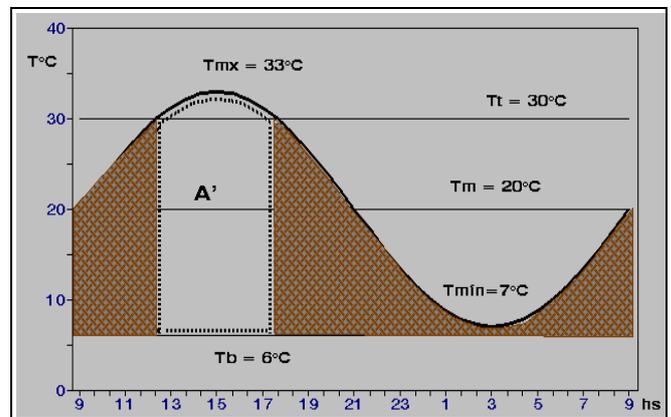
$$T_i = T_m + A \cdot \text{sen } h = T_t$$

$$h = \text{arc sen} \left( \frac{T_t - T_m}{A} \right)$$

Se obtienen dos valores de h (h1 y h2). Se calcula el área por encima de Tb planteando la integral:

$$A' = \int_{h_1}^{h_2} (T_m + A \cdot \text{sen } h - T_b) \cdot dh$$

$$A' = T_m (h_2 - h_1) + A (-\cos h_2 + \cos h_1) - T_b (h_2 - h_1)$$



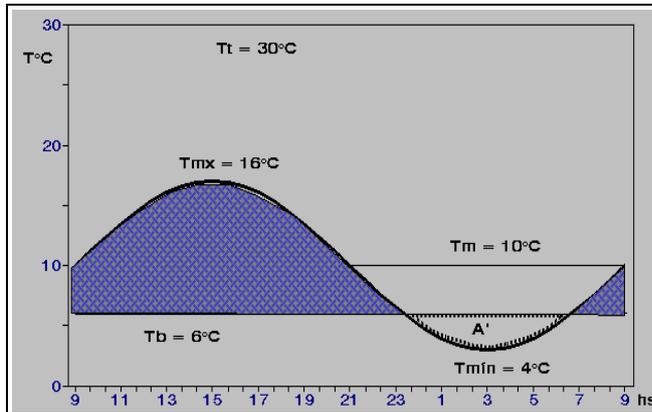
$$\text{AREA} = (T_m - T_b) \cdot 24 \text{ h} - A'$$

$$\text{UDC} = \text{AREA} / \text{tiempo}$$

$$\text{Tiempo} = 24 \text{ hs} - (h_2 - h_1)$$

$$\text{UDC} = \frac{(T_m - T_b) \cdot 24 - A'}{24 \text{ hs} - (h_2 - h_1)}$$

**3° Caso:**  $T_{\text{mín}} < T_b$  y  $T_{\text{mx}} < T_t$



Este caso es parecido al anterior pero a la inversa. La planta detiene su crecimiento mientras la temperatura esté por debajo de  $T_b$ .

El área rayada AREA es mayor que:  $(T_m - T_b) \cdot 24 \text{ h}$

La diferencia de áreas ( $A'$ ) se calcula conociendo los momentos del día en los cuales la temperatura iguala a  $T_b$ .

$$T_i = T_m + A \cdot \text{sen } h = T_b$$

$$A' = \int_{h_1}^{h_2} (T_m + A \cdot \text{sen } h - T_b) \cdot dh$$

$$\text{AREA} = (T_m - T_b) \cdot 24 \text{ h} + [A']$$

$$\text{UDC} = \text{AREA} / [24 - (h_2 - h_1)]$$

**4° Caso:**  $T_{\text{mx}} < T_b$

En este caso la planta permanece en latencia durante todo el día. Por lo tanto:

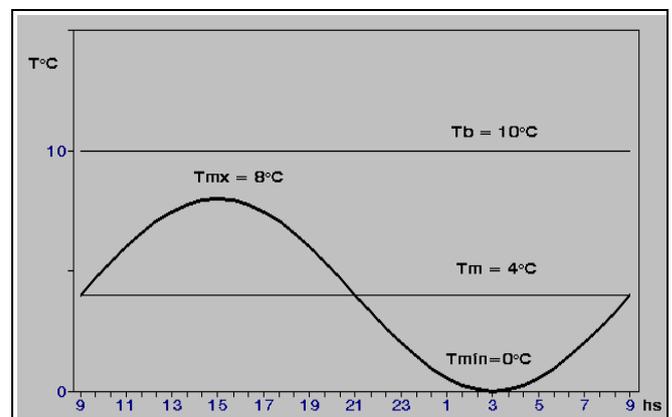
$$\text{UDC} = 0$$

**Horas de frío**

Es la suma de horas en que la planta está sujeta a un período de descanso o latencia, cuando la temperatura es igual o inferior, a  $7^\circ\text{C}$ . Comúnmente la época de descanso vegetativo está definida como el período que se extiende entre la caída de las hojas en otoño y el reinicio de la actividad vegetativa en la primavera. El valor de  $7^\circ\text{C}$  surge de experiencias en ramas de durazneros y manzanos, al descender la temperatura por debajo de  $7^\circ\text{C}$  cesa su crecimiento.

Las necesidades del manzano en cuanto a horas de frío son de 900 hs a 1000 hs, de 600 hs a 700 hs en el duraznero. Ordenando los cultivos según su requerimiento de horas de frío resulta: manzano, peral, duraznero, ciruelos europeos, damascos y almendros.

Ledesma encontró que la floración del duraznero se atrasaba y prolongaba cuando el invierno precedente no había sido suficientemente frío. En cambio, con frío invernal previo, a la fase mencionada se producía rápidamente y en la fecha normal. Esto se debe a que ciertas especies requieren horas de frío para completar su ciclo de vida. Se dice que estas plantas son criófilas (crio: frío - filo: afinidad).



Se consideran **horas de frío** aquellas durante las cuales la temperatura del aire es inferior a 7°C. Esto es así esencialmente en los frutales:

Frutal	horas de frío
Manzano	900 - 1000
Peral	800 - 900
Duraznero	600
Ciruelo europeo	500
Ciruelo japonés	400
Damasco	200 - 300
Cerezo	200 - 300
Almendro	200 - 300

Las plantas anuales invernales (como el trigo) también requieren horas de frío. A esta etapa se la llama vernalización.

### **Cálculo de horas de frío normales para una localidad:**

El Ing. Agrónomo Damario (1968) propuso un método gráfico de estimación de las horas de frío mensuales normales en base a la temperatura mínima media anual normal para una localidad.

El cómputo se realiza con el diagrama HORAS DE FRÍO según se indica a continuación:

1º) Se calcula el promedio de las temperaturas mínimas medias mensuales correspondientes a los cinco meses más fríos.

2º) Se valoran las divisiones de la escala térmica sobre el eje de abscisas del gráfico, para ello se asigna a la división destacada en el centro de la escala el valor del promedio hallado en (1) y a partir del mismo se valoran las restantes divisiones, las cuales están trazadas con separación de 1°C.

3º) Se ubica el valor de la mínima media anual en la escala oblicua.

4º) Se encuentran las horas de frío mensuales leyendo en las ordenadas su valor.

El autor propone resolver el cálculo sólo para los meses de descanso invernal debido al proceso de desvernalización que ocurre en zonas del país con inviernos benignos. Este procedimiento da lugar a las horas de frío efectivas. Los meses a considerar en el cálculo son los que poseen temperaturas medias mensuales normales iguales o menores a 14°C.

### **Vernalización**

Es la adquisición o aceleración de la capacidad de florecer de algunas plantas con empleo de un tratamiento de enfriamiento. Es un proceso que se revierte al someter al vegetal a altas temperaturas.

### **Exigencias y tolerancias meteorológicas de los cultivos durante fases y subperíodos**

El conocimiento de la influencia del medio ambiente -especialmente en lo referente a temperatura, precipitaciones y radiación- en el crecimiento y desarrollo de los vegetales, es de vital importancia en el manejo de cultivos agrícolas. Los requerimientos específicos varían con la especie y con las fases y subperíodos en que la misma se encuentre.

Los vegetales tienen exigencias meteorológicas específicas para cada fase, y las mismas no cambian gradualmente durante el ciclo ontogénico. Normalmente con al finalizar una fase las exigencias varían bruscamente y se mantienen constantes durante el subperíodo hasta la fase siguiente. De esto se desprende que las exigencias cambian con los subperíodos y que no hay que generalizar al referirse a ellas.

### **Clasificación biometeorológica de los elementos**

Los elementos meteorológicos - según BURGOS- se clasifican teniendo en cuenta su acción sobre los vegetales en:

- Elementos **auxígenos** promueven el crecimiento.
- Elementos **anaptígenos** promueven el desarrollo.
- Elementos **tanatoclimáticos** producen una acción destructiva sobre los vegetales.

Esta clasificación no significa que cada elemento pertenezca únicamente a una categoría determinada. Un mismo elemento puede, según sus características, actuar de las tres formas. Ejemplo, la temperatura, la radiación, etc.

### **Períodos críticos**

Los momentos en que un vegetal presenta la máxima sensibilidad a un elemento meteorológico se denominan **períodos críticos**. Los mismos ocurren dentro de un subperíodo, por tiempos breves generalmente los días previos -y en menor medida en los posteriores- a la ocurrencia de una fase.

**Para completar esta unidad consulte las siguientes páginas sobre Temperatura y temas asociados.**

**Distribucion mundial de temperatura (Ver ítem 4.2).**

<http://www2.udec.cl/~jinzunza/meteo/cap4.pdf>

**Mapas de temperatura de Argentina 1961/1990-anual, estacional, mensual-**

<http://www.meteofa.mil.ar/?mod=clima&id=51>

**Mapas de temperatura de National Geographic  
(Requiere instalar Adobe Flash Player -libre-)**

<http://plasma.nationalgeographic.com/mapmachine/index.html>

**Mapas climáticos globales (FAO)**

<http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/SUSTDEV/Eldirect/CLIMATE/EIsp0002.htm>

**MAPAS DEL ATLAS CLIMATICO DEL CHACO PARAGUAYO**

<http://www.desdelchaco.org.py/clima/atlas/vermapas.asp>

**Zonificación agroclimática**

<http://www.fao.org/docrep/W2962S/w2962s00.htm#Contents>

**Trigo (Desarrollo, factores ambientales, factores bióticos, manejo)**

<http://www.fao.org/DOCREP/006/X8234S/x8234s00.htm#Contents>

### **BIBLIOGRAFIA:**

Elementos climáticos que incitan el crecimiento y los fenómenos periódicos de las plantas verdes. Tomo 2. Manuel Garabatos.

Climatología y Fenología Agrícolas. Armando L. De Fina y Andrés C. Ravelo.

Bioclimatología Agrícola y Agroclimatología, A. J. Pascale y E. A. Damario. Ed. Fac. Agronom. UBA, Buenos Aires, 2004.