

## **Metodología para el cálculo de Unidades Calor diseñada por la University of California, Agriculture and Natural Resources, empleada en el SIMARBC.**

### **Unidades Calor (Grados-Día)**

El ciclo biológico de muchos organismos depende estrechamente de la temperatura; este hecho ha llevado al establecimiento del concepto grados días, que ha sido utilizado con éxito en la predicción del desarrollo de diferentes organismos (algodón, alfalfa, etc.) en distintas partes del mundo y en el Valle de Mexicali.

Un grado-día (OD) es una unidad que combina el tiempo y la temperatura para estimar el desarrollo de un organismo a partir de un punto a otro en su ciclo de vida. También conocidas como unidades de calor, grados días son el producto acumulado de tiempo y temperatura entre los umbrales de desarrollo para cada día.

El indicador es una herramienta valiosa para el manejo de los cultivos, ya que ayuda a los productores y consultores a anticiparse a los acontecimientos biológicos que resulten en un mejor control de plagas y las decisiones en el manejo de los cultivos para minimizar los conflictos presentados tales como el riego y la aplicación de un pesticida.

Existen varios métodos para calcular los grados-días, los principales son el método del Seno Simple, Doble Seno, Triángulo Simple y Doble Triángulo. Para el cálculo de este indicador, el SIMARBC utilizó el método del Seno Simple, avalado por la University of California Agriculture & Natural Resources.

### **Metodología del Seno Simple:**

Este método trigonométrico ajusta algunas funciones seno a las temperaturas máximas y mínimas diarias. Mediante esta metodología se han corregido errores encontrados en otros métodos utilizando umbrales máximos y mínimos.

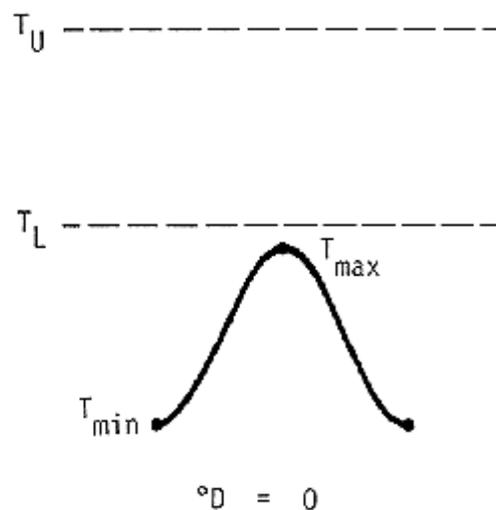
Las temperaturas máximas y mínimas son variables importantes, ya que éstas controlan la velocidad de desarrollo de muchos organismos como las plantas y los animales invertebrados que requieren una cierta cantidad de calor para el desarrollo de su ciclo de vida.

Por otro lado, los umbrales de desarrollo inferior y superior se han determinado para algunos organismos a través de experimentos de laboratorio

cuidadosamente controlados en campo. Los umbrales varían según el organismo del que se trate; en el caso del SIMARBC, se aplicaron exclusivamente para el cultivo del algodón con un umbral máximo de 86°F y un mínimo de 55°F, donde el umbral inferior de desarrollo del algodón (55°F) es la temperatura por debajo de la cual el desarrollo del cultivo se detiene; el umbral de desarrollo superior (86°F) es la temperatura sobre la cual la tasa de crecimiento o de desarrollo comienza a disminuir o detener.

A continuación, se describen los 6 casos posibles para el desarrollo de la formula:

### CASO 1 (Completamente debajo de los umbrales)



Las temperaturas máximas y mínimas se encuentran por debajo de los dos umbrales aplicable a un período de 24 horas. La acumulación de grados-días corresponde a las áreas sombreadas del diagrama, en este caso es 0 donde:

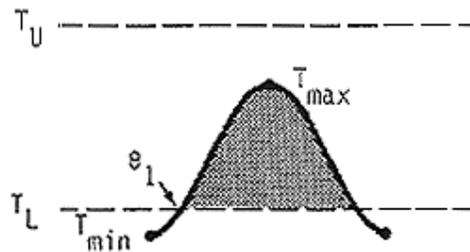
TU = Límite superior

TL = Umbral inferior

Tmax = Temperatura máxima

Tmin = Temperatura mínima

**CASO 2 (Interceptado por el umbral más bajo)**



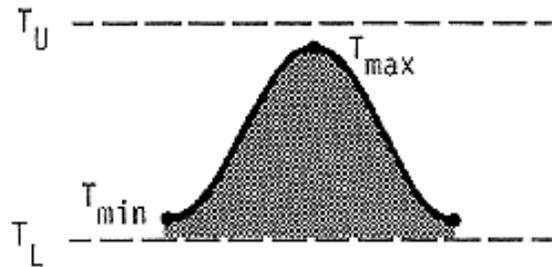
$$\text{°D} = \frac{1}{\pi} \left[ \left( \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} - T_L \right) \left( \frac{\pi}{2} - \theta_1 \right) + \alpha \cos(\theta_1) \right]$$

$$\theta_1 = \sin^{-1} \left[ \left( T_L - \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right) \div \alpha \right]$$

Se aplica cuando hay temperaturas mínimas por debajo del umbral inferior y la temperatura máxima es superior al umbral inferior pero menor al superior. Se aplica a un periodo de 24 horas. La acumulación de grados-días corresponde a las áreas sombreadas del diagrama donde:

- TU = Límite superior
- TL = Umbral inferior
- Tmax = Temperatura máxima
- Tmin = Temperatura mínima

### CASO 3 (Completamente entre los dos umbrales)



$$^{\circ}D = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - T_L$$

Se desarrolla cuando las temperaturas máximas y mínimas se encuentran dentro de los umbrales y se aplica a un período de 24 horas. La acumulación de grados-días corresponde a las áreas sombreadas del diagrama donde:

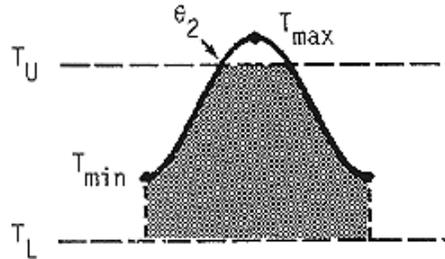
TU = Límite superior

TL = Umbral inferior

Tmax = Temperatura máxima

Tmin = Temperatura mínima

**CASO 4 (Interceptado por el umbral superior)**



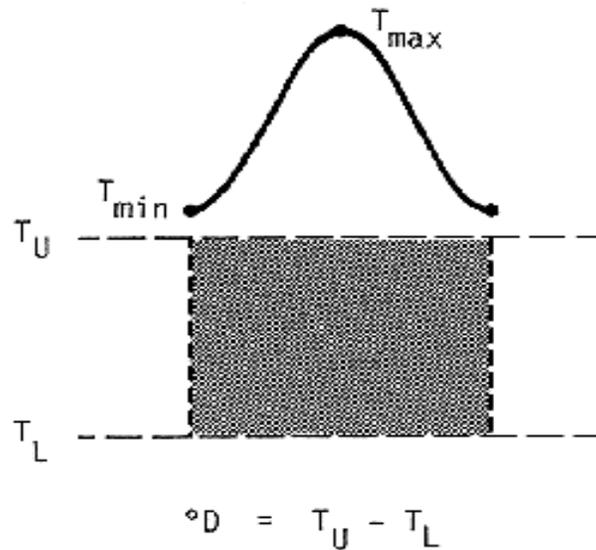
$$\text{°D} = \frac{1}{\pi} \left\{ \left( \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} - T_L \right) \left( \theta_2 + \frac{\pi}{2} \right) + (T_U - T_L) \left( \frac{\pi}{2} - \theta_2 \right) - \left[ \alpha \cos(\theta_2) \right] \right\}$$

$$\theta_2 = \sin^{-1} \left[ \left( T_U - \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right) \div \alpha \right]$$

Esta fórmula se desarrolla cuando la temperatura mínima es superior al umbral inferior y la temperatura máxima es superior al umbral máximo. La acumulación de grados-días corresponde a las áreas sombreadas del diagrama donde:

- TU = Límite superior
- TL = Umbral inferior
- Tmax = Temperatura máxima
- Tmin = Temperatura mínima

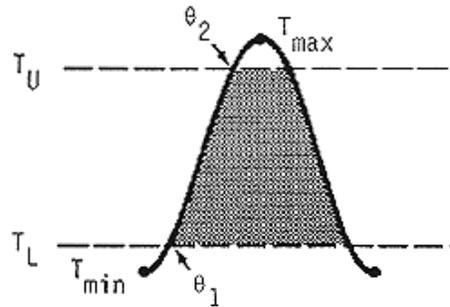
**CASO 5 (Completamente por encima de los umbrales)**



Esta fórmula se aplica cuando las temperaturas máximas y mínimas se encuentran por encima de los dos umbrales y se aplica a un período de 24 horas. La acumulación de grados-días corresponde a las áreas sombreadas del diagrama donde:

- TU = Límite superior
- TL = Umbral inferior
- Tmax = Temperatura máxima
- Tmin = Temperatura mínima

**CASO 6 (Interceptada por ambos umbrales)**



$$\theta_0 = \frac{1}{\pi} \left\{ \left( \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - T_L \right) (\theta_2 - \theta_1) + \alpha [\cos(\theta_1) - \cos(\theta_2)] + (T_U - T_L) \left( \frac{\pi}{2} - \theta_2 \right) \right\}$$

$$\theta_1 = \sin^{-1} \left[ \left( T_L - \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) \div \alpha \right]$$

$$\theta_2 = \sin^{-1} \left[ \left( T_U - \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) \div \alpha \right]$$

Se desarrolla cuando la temperatura mínima es menor al umbral inferior y la temperatura máxima es mayor al umbral superior y se aplica a un período de 24 horas. La acumulación de grados-días corresponde a las áreas sombreadas del diagrama donde:

TU = Límite superior

TL = Umbral inferior

Tmax = Temperatura máxima

Tmin = Temperatura mínima



## Conclusiones

Como se puede observar en los diagramas anteriores, mediante esta metodología se estima el área bajo una curva de temperatura diaria dibujando una curva de seno en un periodo de 24 horas con las temperaturas máximas y mínimas diarias. Los valores de grados día se determinan como el área dentro de la curva de seno que se encuentra sobre el límite inferior.

El método de seno simple ha sido el más utilizado durante varios años para determinar los grados-día en California.

**Fuente:** University of California Agriculture & Natural Resources, en su página de internet <http://www.ipm.ucdavis.edu/index.html>

- Documento revisado y actualizado al 13 de noviembre de 2024

686-5517323 y 7322

Carretera Mexicali-San Luis Km 22.5, S/N, Ejido Sinaloa, 21620, Mexicali, B. C.

[www.saderbc.gob.mx](http://www.saderbc.gob.mx) - [www.simarbc.gob.mx](http://www.simarbc.gob.mx)