

GUÍA DE ESTUDIO N°3

ASPECTOS CLIMÁTICOS DE LA TEMPERATURA DEL SUELO

El suelo con su capacidad de absorber la radiación solar, transformándola en energía calórica constituye la puerta de entrada de la energía que mueve el mecanismo de los procesos meteorológicos. El aire, cuyo poder de absorción es muy pequeño, no se calienta por sí mismo, sino gracias al calor que le cede el suelo convirtiéndose éste en un factor muy importante desde el punto de vista meteorológico.

Desde el punto de vista agrícola la temperatura del suelo es de considerable importancia. El suelo constituye el ambiente en que comienza el desarrollo de las plantas. Antes que las condiciones atmosféricas comiencen a actuar sobre el desarrollo de un vegetal, éste ya ha estado bajo la influencia de las condiciones ambientales del suelo, y así seguirá a lo largo de toda su vida.

El crecimiento y desarrollo de las plantas transcurre normalmente dentro de determinados límites. El proceso de germinación depende de la temperatura del suelo, más que la del aire. La temperatura de germinación además es variable según las especies. Así la temperatura mínima a 5 cm es de 10 °C para la alfalfa, 16 °C para el maíz y de 22 °C para el algodón. Por otra parte, la absorción de nutrientes, siempre y cuando haya humedad adecuada en el suelo, depende en gran medida de la temperatura del suelo. La actividad de determinados microorganismos del suelo depende también de la temperatura edáfica. Los fijadores de nitrógeno que ven disminuida su actividad por debajo de los 10 °C y aumenta con el consiguiente aumento de la temperatura, hasta determinados límites.

Bajo la influencia alternada de los balances de radiación diurna (positiva) y nocturna (negativa), el suelo presenta una variación diaria de la temperatura, cuya amplitud suele ser mayor que la temperatura del aire. Existe también una variación de la marcha anual de la temperatura del suelo, que se debe a los procesos de calentamiento y enfriamiento que se produce a lo largo de las estaciones del año.

Si se observa la marcha diaria de la temperatura en superficie se constata que normalmente el mínimo de la temperatura se produce en el momento de la salida del sol y la máxima alrededor de las 14 horas. En el caso de la marcha anual, la máxima tiene lugar un poco después del solsticio del verano y el mínimo un poco después del invierno. Si se observa la marcha de la temperatura del suelo no en la superficie, sino a cierta profundidad, se constata que la amplitud de las variaciones diurnas o anuales, disminuyen muy rápidamente a medida que aumenta la profundidad y al mismo tiempo, el momento de ocurrencia de las máximas y mínimas se retrasan cada vez más.

Estas observaciones fueron estudiadas por Angot, quién enunció las leyes que describen su forma de ocurrencia, siendo válidas tanto para la marcha diaria como para la anual.

PRIMERA LEY DE ANGOT:

“La amplitud de las oscilaciones de la temperatura del suelo disminuyen geoméricamente cuando la profundidad aumenta aritméticamente”.

Supongamos una oscilación diaria de la temperatura cuya amplitud sea de 12 °C en superficie y que a una profundidad de 9 cm se reduce a la mitad (6 °C), y continúan disminuyendo en profundidad según el siguiente ejemplo:

PROFUNDIDAD	AMPLITUD
0 cm	$12/2^0 = 12^\circ\text{C}$
9 cm	$12/2^1 = 6^\circ\text{C}$
18 cm	$12/2^2 = 3^\circ\text{C}$
27 cm	$12/2^3 = 1,5^\circ\text{C}$
36 cm	$12/2^4 = 0,75^\circ\text{C}$
45 cm	$12/2^5 = 0,37^\circ\text{C}$
54 cm	$12/2^6 = 0,19^\circ\text{C}$
63 cm	$12/2^7 = 0^\circ\text{C}$

A una profundidad de 63 cm la amplitud se hace despreciable. Se comprueba, como consecuencia de la primera ley, que **la marcha diaria de la temperatura subsiste hasta cierta profundidad**, que en nuestras condiciones es similar a la del ejemplo dado, o sea aproximadamente a los 60cm.

La marcha anual se registra hasta una profundidad mucho mayor, aproximadamente 10 m para Buenos Aires, mas allá de la cual ya no se registran variaciones de temperatura. Dicha profundidad recibe el nombre de **COTA ISOTÉRMICA** y presenta una **temperatura invariable a lo largo del año**, que es muy similar a la temperatura del aire.

SEGUNDA LEY DE ANGOT:

“El atraso en el tiempo de registro de las temperaturas máximas y mínimas es proporcional a la profundidad en un suelo homogéneo”.

La profundidad de la **cota isotérmica** depende de la naturaleza del suelo y de la amplitud de la marcha anual de la temperatura en superficie. En latitudes medias se encuentra a una profundidad de 10 m, mientras que en zonas tropicales, donde la amplitud térmica es pequeña, puede estar solo a 2 m. En localidades situadas a altas latitudes alcanza el extremo inferior, hallándose a más de 20 m.

Por debajo de la cota isotérmica, la temperatura es constante durante todo el año, crece regularmente 1 °C cada 33 metros, debido al flujo de calor que asciende desde el centro de la tierra. Este gradiente se denomina **gradiente geotérmico**, y tiene un valor de 3 °C cada 100 metros.

TRANSPORTE DE CALOR EN EL SUELO

Las leyes de Angot brindan una excelente descripción de las marchas diaria y anual de la temperatura del suelo en función de la profundidad, pero no explican las causas que determinan peculiaridades de las mismas. Para analizar las causas se deben considerar las leyes que regulan el transporte de calor en el suelo, ya que toda variación de temperatura se debe a una variación en el contenido calórico de la partícula de suelo en cuestión.

Los cambios en el contenido calórico de las distintas capas del suelo obedecen a la existencia de flujos calóricos que van desde las capas más calientes a las más frías. Así, la energía solar que llega a la superficie terrestre es transportada hacia las capas más profundas del suelo, las que se encuentran más frías en verano. Durante el solsticio de invierno, las capas más profundas, envían hacia la superficie, que se encuentra más fría, el calor que han almacenado en el verano, disminuyendo de esta manera la amplitud térmica.

El flujo calórico será tanto mayor cuanto mayor sea la diferencia entre las temperaturas de las capas de suelo que se consideran y tanto menor cuanto mayor sea la distancia entre las mismas. Con iguales gradientes térmicos, no todos los suelos poseerán el mismo flujo calórico, siendo unos mejores conductores que otros. Para una mejor comprensión expondremos brevemente las definiciones de las diferentes constantes que rigen la distribución de calor en el suelo:

1- calor específico o capacidad calórica	(Ce)	[cal . g ⁻¹ . °C ⁻¹]
2- conductividad térmica	(λ)	[cal . cm ⁻¹ . °C ⁻¹ . seg ⁻¹]
3- difusibilidad calórica	(D)	[cm ² . seg ⁻¹]

Calor específico o capacidad calórica (Ce):

Representa la cantidad de calor que hay que suministrar a una unidad de sustancia para elevar su temperatura en una unidad (1 °C).

$$Ce = d Q / d T$$

Donde:

d Q = cantidad de calor; d T = aumento de temperatura provocado por esa cantidad de calor

En el caso del suelo, conviene hacer una diferencia entre el “calor específico gravimétrico” y el “calor específico volumétrico”, ya que el suelo se encuentra entre los cuerpos que pueden variar su relación entre peso y volumen, es decir, su densidad. Esta variación también introduce variaciones en los valores de calor específico.

La densidad es una forma de expresión del peso del suelo. Puede expresarse como:

Densidad real: masa de una unidad de volumen de partículas sólidas (g/cm^3) del suelo.

Densidad aparente: masa de una unidad de volumen de suelo seco. Para obtener este valor se seca hasta peso constante, una cantidad de suelo sin compactar (conservando los espacios porosos).

Por lo tanto, el calor específico del suelo puede ser:

Calor específico gravimétrico (CeG): considerando la densidad real del suelo ($\text{CeG} = \text{cal.g}^{-1}.\text{°C}^{-1}$)

Calor específico volumétrico (CeV): considerando la densidad aparente del suelo, y definido como la cantidad de calor que un volumen de suelo de 1 cm^3 necesita para elevar en 1 °C su temperatura ($\text{CeV} = \text{cal.cm}^{-3}.\text{°C}^{-1}$)

Tabla 1: Calor específico gravimétrico y volumétrico de algunos componentes del suelo

Componentes	Calor específico gravimétrico [$\text{cal.g}^{-1}.\text{°C}^{-1}$]	Calor específico volumétrico [$\text{cal.cm}^{-3}.\text{°C}^{-1}$]
Agua	1,00	1,00
Humus	0,48	0,60
Arena – arcillas	0,18 – 0,23	0,49 – 0,58
Aire	0,24	0,0003

Se infiere de la Tabla 1 que en relación a los demás componentes, el mayor calor específico corresponde al agua y el menor al aire. Por lo tanto, un suelo seco es más fácil de calentar que un suelo húmedo. Por el contrario, cuando un suelo incorpora agua, se necesita más calor para obtener el mismo aumento de temperatura que en un suelo seco.

Conductividad térmica (λ):

Es la propiedad que tienen los cuerpos de dejarse traspasar por un flujo de calor. Los suelos tienen esta capacidad y la manifiestan transmitiendo el calor por conducción molecular desde la capa de mayor temperatura a la de menor temperatura. Este poder de conducción se expresa a través del COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (λ), que se define como la cantidad de calor (en calorías) conducida a través de un cubo de 1 cm de arista en una unidad de tiempo (un segundo), cuando la diferencia de temperaturas en ambas caras es de 1 °C y no hay transporte de calor en otro sentido que no sea el vertical. Este coeficiente se expresa en [$\text{cal.cm}^{-1}.\text{°C}^{-1}.\text{seg}^{-1}$].

La cantidad de calor o flujo de calor (Q), depende entonces de: la conductividad térmica (λ), del gradiente térmico (dT) y de la profundidad de la capa o espesor de suelo considerado (dx)

$$Q = \lambda \frac{dT}{dx}$$

Tabla 2: Coeficiente de conductividad térmica (λ) de distintos componentes del suelo

Componente	$\text{cal.cm}^{-1}.\text{°C}^{-1}.\text{seg}^{-1}$
Feldespatos	0,0058
Calcáreos	0,0040
Humus	0,0030
Agua	0,0015
Aire	0,00005

De los datos presentados en la Tabla 2, puede inferirse que el aire prácticamente carece de poder de conducción calórica resultando ser un muy mal conductor del calor. En cambio, el poder de conductividad térmica del agua es aproximadamente 20 veces mayor que el del aire. Por lo tanto, cuando un suelo se humedece, aumenta su poder de conductividad térmica en relación al suelo seco. De esta manera, el suelo absorbe y transmite una mayor cantidad de calor hacia las capas más profundas durante el día, lo que facilita su re-irradiación hacia la atmósfera durante la noche.

Este hecho es de gran importancia en la lucha contra heladas. En este caso, el manejo del suelo consistirá en aumentar la conductividad térmica manteniéndolo moderadamente húmedo y compacto (mediante pasaje de rodillos) para minimizar la cantidad de aire.

Difusibilidad Calórica (D):

Refleja la temperatura que adquiere el suelo ante el paso de un flujo de calor, siendo directamente proporcional a λ e inversamente proporcional a la densidad (σ) y al calor específico (Ce).

Cuando se desea expresar esa relación en términos de temperatura más que en cantidad de calor, el calor específico gravimétrico se sustituye por el calor específico volumétrico

$$D = \frac{\lambda}{Ce \cdot \sigma} = \frac{\lambda}{CeV} = \frac{\text{cal} / \text{cm} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{seg}}{\text{cal} / \text{cm}^3 \cdot ^\circ\text{C}} = \frac{\text{cm}^2}{\text{seg}}$$

El coeficiente D expresa la propiedad que tienen los cuerpos de transmitir más o menos rápido la temperatura. Cuanto mayor sea el valor de D, mayor será la elevación de la temperatura del suelo atravesado por un flujo de calor. El valor de D para los distintos componentes del suelo se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3: Valor D para distintos componentes del suelo

Componente	cm ² .seg ⁻¹
Material mineral	0,010
Materia orgánica	0,005
Agua	0,0015
Aire	0,16

La materia orgánica, por su granulado y gran capacidad de retención de agua, aumenta la conductividad térmica y reduce la difusibilidad calórica del suelo.

Los suelos con mucha materia orgánica, que han absorbido mucha agua, se comportan como relativamente fríos. Bajo esa situación se registra una reducción en las variaciones diarias y anuales de la temperatura del suelo. En cambio, si la cantidad de agua absorbida es escasa (más aire), el suelo se calienta y se enfría con más facilidad durante el día y la noche, respectivamente, registrándose una marcada amplitud diaria y anual de la temperatura del suelo.

CONSTANTES PARA ALGUNOS TIPOS DE MATERIALES RELATIVOS A LA ECONOMIA DEL CALOR

Material	λ	Densidad sustancia pura [gr/cm ³]	Sustancia natural [gr/cm ³]	Ce por unidad de masa	Ce por unidad de volumen	D
Granito	0,011	2,6	2,6	0,2	0,52	0,021
Suelo arenoso húmedo	0,004	2,6	1,6	0,3	0,4	0,01
Humus	0,003	-----	1,3	0,44	0,57	0,005
Nieve compactada	0,0007	0,9	0,5/0,3	0,51	0,22	0,003
Suelo arenoso seco	0,0004	2,6		0,15	0,20	0,002
Suelo turboso	0,00015	1,5		0,47	0,14	0,001
Suelo arcilloso	-----	-----		0,23	0,25	-----

Nota

Esta Guía de Estudio se corresponde con contenidos de la Unidad temática B (B.I.2) del Programa Analítico.

Bibliografía Unidad temática B.I.2

Castillo, F.E.; Castellvi Sentis, F. 1996. Temperatura. En: Agrometeorología. Pp. 194-200. Ediciones Mundi-Prensa.

De Fina, A.L.; Ravelo, A.C. 1975. I. Meteorología. Climatología. Distribución geográfica de la temperatura. Temperatura del suelo. En: Climatología y Fenología Agrícolas. Pp. 69 – 81. EUDEBA. 2º Ed.

Murphy, G.M.; Hurtado, R.H. (eds.). 2011. Temperatura del suelo y el aire. En: Agrometeorología. Editorial Facultad de Agronomía. UBA. Pp: 41-46.