

6^{La} Temperatura



La temperatura del aire

El calentamiento de la atmósfera es el resultado del balance entre la radiación entrante y saliente de la superficie terrestre.

La mayor cantidad de radiación solar incidente es absorbida por la parte superficial del suelo y como consecuencia se torna más caliente que el aire que está en contacto directamente con ella. Por la noche, una cantidad considerable de calor se irradia desde la superficie del suelo y causa un enfriamiento en la parte más superficial del mismo.

Entre los factores que afectan la temperatura del aire están la latitud, la altitud, la proporción de océanos y continentes, las corrientes marinas, los vientos dominantes, la nubosidad, las barreras montañosas, la naturaleza de la superficie, el relieve, y la convección y turbulencia del aire, entre otras (Murthy, 2002).

Algunas de las grandes masas atmosféricas que predominan en diversas regiones del planeta son:

- Marítima Tropical: Se originan sobre los océanos tropicales, y son calientes y húmedas.
- Continental Polar: Se originan sobre las altas latitudes continentales, cerca de los 60° Norte, y son masas frías y secas.
- Marítima Polar: Se originan sobre las latitudes medias y altas del océano. Son masas de aire frías y húmedas.

El ciclo diario del calentamiento y enfriamiento del suelo bajo la acción de la radiación del sol, así como la mezcla de masas de aire, modifican la temperatura del aire en función de la altura.

La tendencia de la variación diaria de la temperatura del aire es más o menos paralela al ciclo del balance de radiación, pero con un desfase temporal (Figura 6.1). La temperatura máxima se observa después del medio día y la mínima un poco antes de la salida del sol.

De acuerdo con las normas establecidas por la Organización Meteorológica Mundial la temperatura del aire se mide con un instrumento (termómetro o termógrafo) colocado en una caseta localizada a 2,0 metros de altura sobre el suelo.

Variación de la temperatura según la latitud

Entre la zona ecuatorial y los polos se presenta una variación de la temperatura con la latitud, relacionada con la disponibilidad de la radiación solar. El gradiente latitudinal de

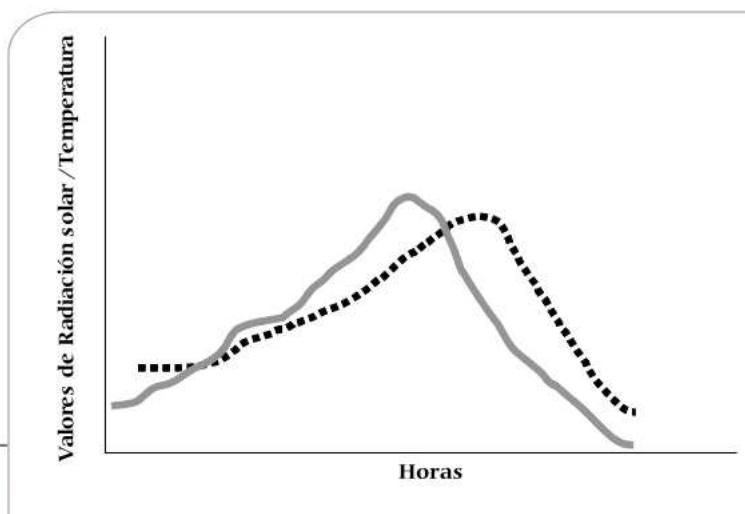


Figura 6.1
Relación entre los ciclos
diarios de la radiación solar y la
temperatura del aire.

la temperatura no es significativo en la zona tropical; éste presenta un valor cercano a 1°C por 1.000 km de arco de latitud y es particularmente válido para la franja comprendida entre los 5° Sur y 10° Norte; en las zonas subtropicales esta variación está alrededor de $5^{\circ}\text{C} / 1.000 \text{ km}$

En Colombia, entre los 3° y 7° de latitud Norte se localiza una franja denominada el “Ecuador Climático” región que determina una división térmica entre los hemisferios Norte y Sur (Trojer, 1968).

Variación de la temperatura con la altitud

La temperatura del aire cambia según la altitud: a mayor altitud menor temperatura. La variación de la temperatura media, máxima media y mínima media según la altitud para las diferentes regiones de Colombia se presenta en la Tabla 6.1

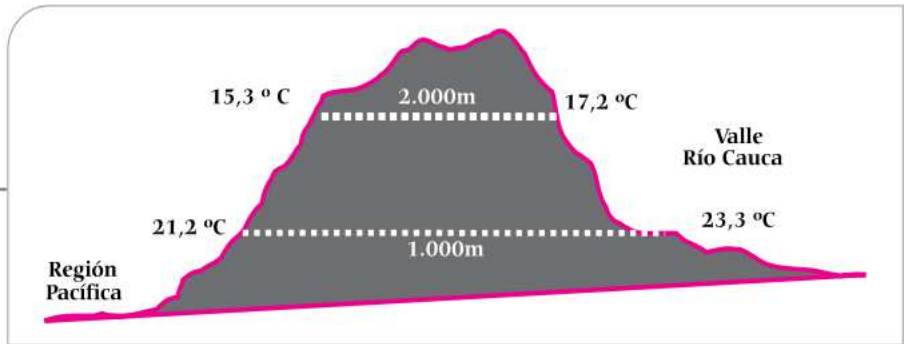
Las expresiones anteriores permiten calcular con gran confiabilidad, para un lugar determinado, los valores de la temperatura media, la máxima media y la mínima media a partir de la altitud sobre el nivel del mar para las cinco grandes regiones naturales de Colombia: Andina, Atlántica, Pacífica, Orinoquia y Amazonía.

Para una misma altitud la temperatura media del aire de las vertientes orientadas hacia las grandes llanuras (Atlántica, Pacífica, Llanos Orientales) es más baja que la registrada en los valles interandinos (Figura 6.2); los gradientes de temperatura para la región Andina presentan un mayor valor ($0,61^{\circ}\text{C}/100\text{m}$) cuando se comparan con las regiones Atlántica, Pacífica, Orinoquia y Amazonia ($0,55$ a $0,58^{\circ}\text{C}/100\text{m}$).

Tabla 6.1. Relación entre la temperatura media (T_m), máxima media (T_{max}) y mínima media (T_{min}) del aire ($^{\circ}\text{C}$), y la altitud (A , metros) para las grandes regiones de Colombia (Chaves y Jaramillo, 1998).

Región	Expresión	Altitud m	R ²
Andina	$T_m = 29,42 - 0,0061 A$	100	0,99
	$T_{max} = 33,97 - 0,0058 A$	a	0,86
	$T_{min} = 23,97 - 0,0059 A$	4.480	0,92
Región Oriental (Amazonía, Orinoquia)	$T_m = 27,37 - 0,0057 A$	120	0,99
	$T_{max} = 32,13 - 0,0054 A$	a	0,92
	$T_{min} = 22,63 - 0,0059 A$	4.000	0,95
Atlántica	$T_m = 27,72 - 0,0055 A$	2	0,99
	$T_{max} = 33,06 - 0,0062 A$	a	0,79
	$T_{min} = 23,10 - 0,0061 A$	4.000	0,90
Pacífica	$T_m = 27,05 - 0,0057 A$	2 a 1.850	0,99

Figura 6.2
Esquema de la influencia de la exposición de la ladera sobre la temperatura del aire a una misma altitud.



Los gradientes verticales (cambios con la altura sobre el nivel del mar) de las temperaturas medias en las diversas vertientes nacionales son menores ($1,1^{\circ}\text{C}$) en las laderas orientadas hacia las llanuras Caribe, y alcanzan $1,6^{\circ}\text{C}$ y $1,9^{\circ}\text{C}$ en las regiones Oriental y Pacífica, respectivamente. La observación anterior concuerda con lo anotado por Cortés, 1989 y Stanescu y Díaz, 1971, quienes encontraron que las regiones Atlántica, Pacífica y los Llanos Orientales presentan para una misma altitud una temperatura media entre $1,5^{\circ}\text{C}$ y $2,0^{\circ}\text{C}$, más baja que la registrada en los valles interiores de la zona Andina.

La variación mensual de la temperatura

Debido a la localización de Colombia en la Región Tropical, la temperatura del aire para una misma altitud es muy constante a través del año; la temperatura media del mes más frío difiere poco de aquella del mes más caliente.

En la Figura 6.3, se observa el transcurso mensual de temperatura media del aire observada en diferentes regiones de Colombia: Florencia-Caquetá, Líbano-Tolima y Bogotá, comparadas con regiones subtropicales en el hemisferio Sur (Santiago de Chile, 34°Sur) y el hemisferio Norte (Washington, 35°Norte). Se observa la poca variación en el transcurso del año para las localidades de Colombia, comparadas con las zonas de subtropical.

En la Tabla 6.2 se presenta la temperatura media, máxima media, mínima media y la amplitud térmica para algunas localidades de la zona cafetera de Colombia.

Variaciones de la temperatura entre el día y la noche

La diferencia entre la temperatura máxima y mínima del día (amplitud térmica diaria), varía con las condiciones de radiación solar que ocurran. En algunas regiones de la Zona Andina se pueden presentar amplitudes diarias hasta de 20°C . Un ejemplo de cambio en

Figura 6.3.
Transcurso intra
anual de la tempe-
ratura del aire en
la Región Tropical
de Colombia y en
regiones subtropi-
cales

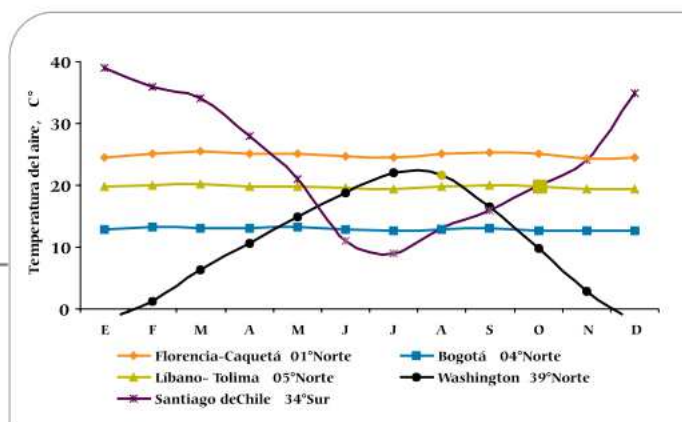


Tabla 6.2. Promedio anual de la temperatura del aire (°C), para algunas localidades de la zona cafetera de Colombia (Cenicafé, 2003).

Estación	Temperatura media	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Amplitud
Pueblo Bello	20,7	21,1	15,4	11,7
F. Romero	21,7	27,6	17,4	10,2
Blonay	19,7	26,0	15,4	10,6
Bertha	18,1	25,7	12,6	13,1
Montelíbano	19,9	24,5	16,4	8,1
Tibacuy	19,2	23,7	15,5	8,2
Llanadas	19,7	25,7	15,6	10,1
Agronomía	16,4	21,3	13,0	8,3
Santágueda	22,5	29,7	17,6	12,1
Cenicafé	20,7	27,4	16,5	10,9
Naranjal	20,6	26,8	16,2	10,6
El Rosario	19,7	24,4	15,9	8,5
Piamonte	20,4	25,7	15,7	10,0
M. Valencia	18,8	25,4	14,6	10,8
Villarrica	18,4	22,4	15,1	7,3
La Montaña	20,8	24,9	17,2	7,7
Chapetón	20,2	25,4	15,8	9,6
El Limón	22,4	29,2	18,3	10,9
Libano	19,0	23,4	15,0	8,4
Gigante	19,4	23,8	16,1	7,7
El Sena	18,5	24,0	14,2	9,8
La Bella	19,6	26,4	15,1	11,3
Paraguaicito	21,3	28,0	16,6	11,4
A. Gómez	20,6	27,0	16,2	10,8
J. Fernández	19,6	25,5	15,9	9,6
H. Uribe	19,2	23,8	15,8	8,0
M. Mallarino	20,6	25,9	16,6	9,3
La Florida	17,5	24,3	12,9	11,4
M. Mejía	18,1	24,0	14,1	9,9
O. Pérez	18,9	24,6	15,0	9,6

la amplitud térmica con la altitud se observa en la vertiente occidental de la Cordillera Central, en la cuenca del río Chinchiná, donde los mayores cambios entre el día y la noche ocurren en la zona baja a una altitud de 1.000 m (Santágueda-Caldas) con 12,1°C, mientras que en la zona alta, a 2.700 m (Las Palomas-Caldas) esta diferencia es de 7,1°C (Figura 6.4).

La temperatura del suelo

La temperatura del suelo es uno de los más importantes factores que influyen en el crecimiento de los cultivos; está relacionada con los procesos como la toma de agua y de nutrimentos, controla la actividad microbial, la germinación de las semillas, el crecimiento de las raíces, la presencia de la materia orgánica, la velocidad de las reacciones y por tanto, la meteorización (Murthy, 2002).

La superficie del suelo, con o sin vegetación, es el principal receptor de la radiación solar, siendo a la vez un emisor de radiación de onda larga.

La temperatura del suelo está influenciada por elementos meteorológicos y por factores del suelo: radiación solar, viento, evaporación, condensación, lluvia, textura del suelo, materia orgánica, labranza del suelo y humedad del suelo.

La temperatura del suelo dentro de los bosques en condiciones tropicales presenta poca estacionalidad y escasa fluctuación diaria; gran parte del efecto de la cobertura forestal en la temperatura del suelo se debe a la capa de hojarasca

Variación de la temperatura del suelo durante el año

Durante el año la temperatura del suelo sigue un comportamiento similar a la temperatura del aire, como se observa en el transcurso de la temperatura máxima y la mínima a 10 cm de profundidad (Figura 6.5).

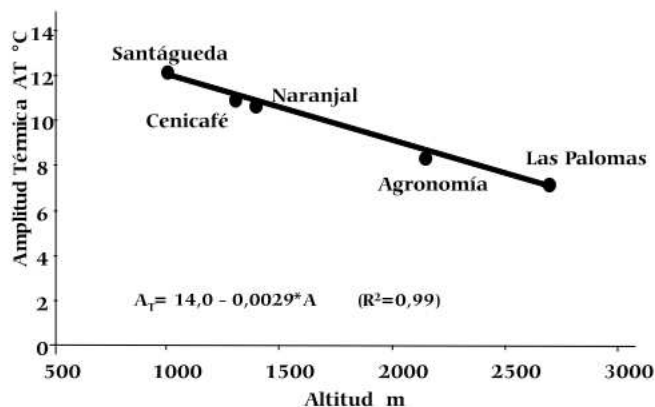


Figura 6.4.
Variación de la amplitud térmica con la altitud, cuenca del río Chinchiná, Caldas

Variación de la temperatura del suelo con la profundidad

La temperatura del suelo, tal como sucede con el aire, presenta variaciones diurnas apreciables desde la superficie hasta 25 cm de profundidad, determinadas por la radiación solar disponible, la cantidad y distribución de la lluvia, la cobertura vegetal, la pendiente del terreno y las propiedades físicas del suelo. En la Figura 6.6 se muestra el comportamiento de la temperatura mínima y la temperatura máxima del suelo con la profundidad.

La relación entre la temperatura del aire a 2,0 metros de altura y la temperatura del suelo, se muestran en la Tabla 6.3; se observa una alta correlación entre la temperatura del suelo y la del aire hasta 10 cm de profundidad.

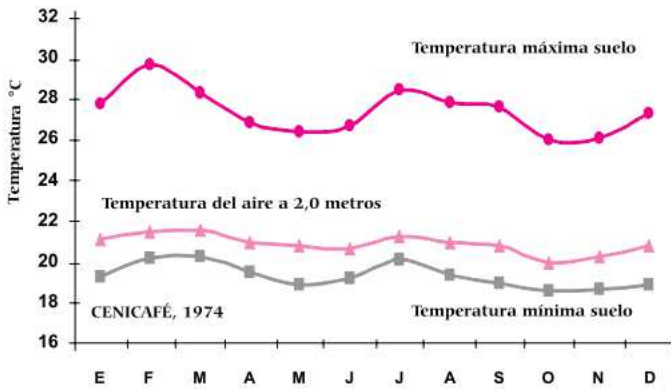


Figura 6.5. Transcurso de la temperatura máxima y mínima del suelo a 10cm de profundidad (Jaramillo y Gómez, 1974)

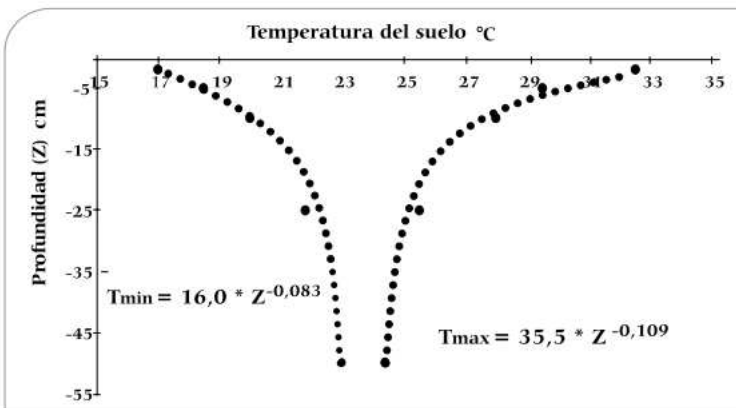


Figura 6.6. Variación de la temperatura máxima y mínima del suelo con la profundidad (Jaramillo y Gómez, 1974)

Tabla 6.3. Relación entre la temperatura del suelo (Ts) a diferentes profundidades y la temperatura media del aire (Ta). Estación Cenicafé. (Jaramillo y Gómez, 1974).

Profundidad (cm)	Relación	R ²
2	Ts = 1,40 Ta - 6,20	0,98
5	Ts = 1,13 Ta - 1,13	0,97
10	Ts = 0,70 Ta - 1,05	0,89

La temperatura de la planta

Como una consecuencia de los balances de radiación y de energía en las plantaciones se presentan diferencias de temperatura entre la planta y el aire circundante. Las diferencias térmicas entre la planta y el aire adyacente al cultivo dependen en primer lugar de la cantidad de radiación incidente durante el día, de tal forma que las mayores diferencias ocurren en tiempo cálido y seco. En un tiempo lluvioso y frío las temperaturas tienden a igualarse.

Las diferencias entre la temperatura del aire y la hoja dependen de la especie y del contenido de agua en la hoja. Las diferencias de la temperatura de las hojas para las diferentes especies y variedades pueden explicarse por la morfología, la fisiología y la anatomía de la hoja, el grosor de la lámina foliar, la cantidad de radiación recibida, la tasa de transpiración y la hidratación de la hoja.

Para *Coffea arabica* L., variedad Caturra, la temperatura en la superficie de la hoja observadas hacia el amanecer y en las primeras horas del día son iguales o inferiores a la temperatura del aire en 1 a 2°C. Al aumentar la radiación solar, las hojas externas elevan su temperatura por encima de la del aire hasta unos 10°C; las hojas sombreadas presentan temperaturas similares a las del aire. En el cafeto, las ramas siguen durante el día un comportamiento semejante al de las hojas pero se mantienen más calientes un mayor número de horas. Las ramas presentan temperaturas máximas más altas que las hojas y un enfriamiento más lento. Los frutos del cafeto siguen un comportamiento térmico similar al de las ramas (Figuras 6.7 y 6.8).

El calentamiento y el enfriamiento de los diferentes órganos de la planta, así como las diferencias en la velocidad del viento dentro de las plantaciones de café están relacionadas con los aumentos o las disminuciones de la temperatura del aire adyacente. Por ejemplo, al comparar la temperatura del aire registrada dentro de un cafetal a libre exposición solar con la temperatura observada en la estación climática adyacente, se observa que en días de alto brillo solar se presentan diferencias hasta de 2,0°C. Durante la noche las diferencias están próximas 1,0°C. En días lluviosos o de alta nubosidad las diferencias son muy bajas o nulas (Schroder, 1951, Jaramillo y Gómez, 1989).

En observaciones de la temperatura del aire realizadas desde la superficie del suelo hasta 15 metros de altura, en cafetales bajo sombrío de guamo (*Inga* sp) se encontró que los valores más altos se presentan en las copas de los árboles de sombrío y siguen la misma fluctuación que la temperatura observada en la estación climática.

La temperatura disminuye debajo de las copas de los árboles y en la parte baja de los cafetos y es mas alta en la zona correspondiente a los tallos. Las diferencias son sin embargo, poco apreciables, tanto para la temperatura mínima como para la temperatura media. La mayor variación se observa en el perfil de la temperatura máxima (Bonilla, 1952 a,b).

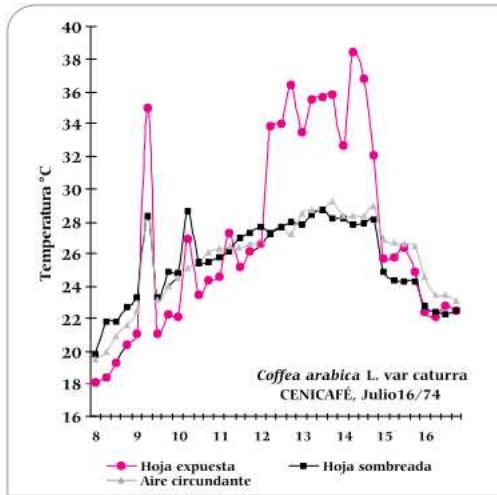


Figura 6.7. Variación de la temperatura en hojas de café, expuestas a la radiación solar directa y sombreadas con relación a la temperatura del aire adyacente. (Gómez y Jaramillo, 1974)

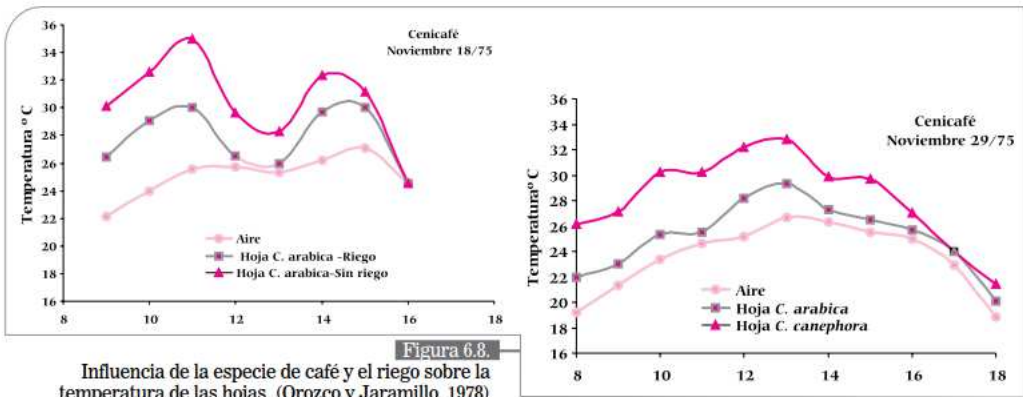


Figura 6.8.

Influencia de la especie de café y el riego sobre la temperatura de las hojas. (Orozco y Jaramillo, 1978)

Las variaciones de la temperatura del aire en el interior de un cafetal bajo sombrío difieren con la altura sobre el nivel del suelo y permanecen más frías las capas interiores; las mayores diferencias se encuentran entre la superficie del suelo y un metro de altura; éstas diferencias son hasta de 4°C en las horas de mayor radiación. Entre 2 y 4 metros de altura las diferencias en temperatura son más pequeñas, con valores entre 1,0°C y 1,5°C (Jaramillo, 1976).

La influencia de la temperatura en el desarrollo de la planta

Todo organismo se desarrolla dentro de un rango térmico determinado. Mucho tiempo atrás se demostró que la temperatura controla la tasa de desarrollo de los organismos.

Para su crecimiento y desarrollo los organismos requieren una cantidad constante de calor denominado Tiempo Fisiológico; este, se expresa mediante el Tiempo Térmico (*TT*).

Gráficamente el Tiempo Térmico está dado por el área comprendida entre la curva de la temperatura diaria y la temperatura base. Para su cálculo se tienen en cuenta la temperatura máxima (T_{mx}), la temperatura mínima (T_{mn}) y la temperatura base inferior (T_b). En la Figura 6.9 se visualiza claramente la suma de temperatura acumulada dentro de un rango térmico de adaptación del organismo.

La expresión más simple para el cálculo del Tiempo Térmico (TT) es la siguiente:
En donde:

$$TT = \sum (T_m - T_b)$$

T_m : Temperatura media, °C T_b : Temperatura base inferior, °C

La temperatura base inferior es aquella por debajo de la cual no ocurre actividad fisiológica en el cultivo. En la mayoría de los cultivos tropicales su valor está entre 10 y 12°C (Murthy, 2002).

Según Villa Nova, citado por Silveira Neto *et al.*, 1976, para el cálculo del Tiempo Térmico (TT) se deben de considerar los siguientes casos:

Caso 1: Cuando la temperatura base inferior es menor que la temperatura mínima.
Cálculo:

$$TT = (T_{mn} - T_b) + \frac{(T_{mx} - T_{mn})}{2}$$

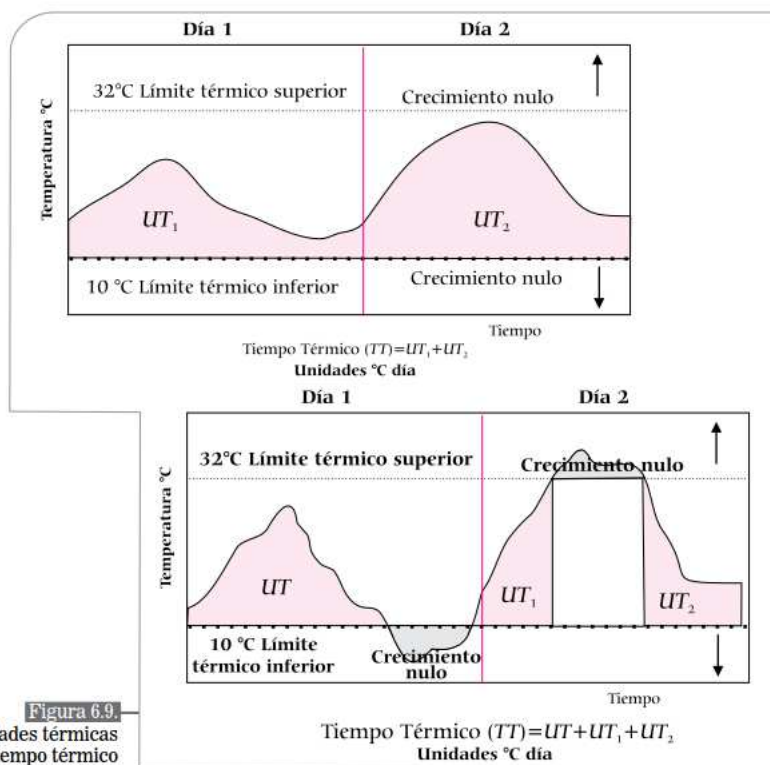


Figura 6.9.
Unidades térmicas
y tiempo térmico

- **Caso 2:** Cuando la temperatura base inferior es mayor o igual a la temperatura mínima y menor que la temperatura máxima.

Cálculo:

$$TT = \frac{(T_{mx} - T_b)^2}{2(T_{mx} - T_{mn})}$$

- **Caso 3:** Cuando la temperatura base inferior es mayor que la temperatura máxima.

En este caso el Tiempo Térmico es igual a cero ($TT = 0$)

- **Caso 4:** Temperatura base superior

En los tres casos considerados se tiene en cuenta la temperatura base inferior (T_b). Con frecuencia la actividad de un organismo vivo también es limitada por una temperatura base superior (TB). En este caso, al Tiempo Térmico calculado en los Casos 1 y 2 se deberá restar un factor de corrección (C), calculado de la siguiente manera:

$$C = \frac{(T_{mx} - TB)^2}{2(T_{mx} - T_{mn})}$$

En el cultivo del café, por ejemplo, si se considera un rango térmico de adaptación entre 10° y 32° , se requieren alrededor de 3.250°C acumulados para que se complete su desarrollo entre la siembra y la primera floración y se necesitan unos 2.500°C . acumulados entre la primera floración y la cosecha, para un total de unos 5.750°C acumulados para el ciclo completo entre la siembra y la cosecha (Jaramillo y Guzmán, 1984).

Un efecto de la influencia de la temperatura se manifiesta en la duración de los estados fenológicos. En el ejemplo se observa que para las zonas de cultivo de café en Colombia el número de días transcurridos entre la siembra y la cosecha está entre 500 y 600 días. Se estima una variación de 37 días por cada grado de cambio en la temperatura del aire (Figura 6.10).

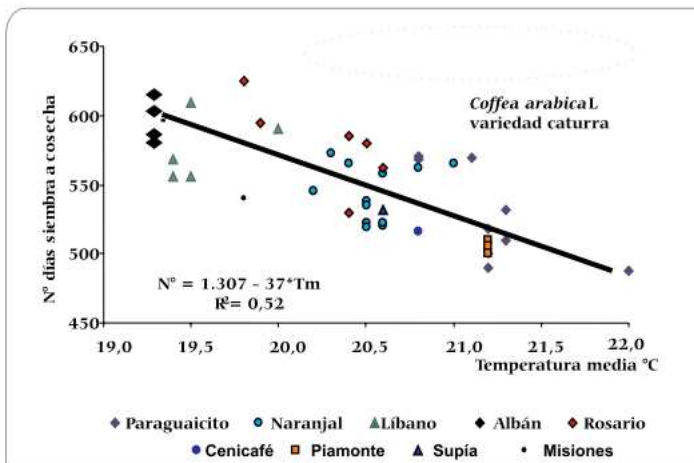


Figura 6.10. Variación del número de días de siembra a cosecha con la temperatura del aire (Jaramillo y Guzmán, 1984).

Instrumentos para medir la temperatura

(Brock y Richardson, 2001, Strangeways, 2000)

Para medir la temperatura se utilizan diferentes sensores, entre los cuales se pueden citar:

Los termómetros de vidrio, son tubos capilares unidos a un depósito de alcohol o mercurio, que se expanden con el aumento de la temperatura.

- Termohigrógrafo, instrumento de registro de la temperatura y la humedad relativa del aire.
- Termopares cuando se unen dos metales diferentes por medio de dos uniones a diferente temperatura se genera una corriente eléctrica en el circuito proporcional a la temperatura.
- Termómetro infrarrojo, la emisión de calor de un cuerpo es proporcional a la temperatura del cuerpo (a la cuarta potencia).
- Termómetros de resistencia, utilizan la propiedad del aumento de resistencia eléctrica de un metal con la temperatura.
- Termistores, son semiconductores compuestos de mezclas sintéticas de óxidos metálicos o cristales, cuya resistencia al flujo de la corriente varía con la temperatura ambiente.

