

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LAS ETAPAS FENOLOGICAS DEL CAFE

Ma. Engracia Hernández*

RESUMEN

Este estudio trata de establecer los requerimientos térmicos en las diferentes etapas de crecimiento de Coffea arábica L. en la zona cafetalera del norte de Puebla. Se calcularon unidades calor según dos métodos, el exponencial y el residual, así como otros parámetros agroclimáticos como la oscilación térmica y las temperaturas máxima y mínima extremas. Todos los cálculos se hicieron diario, medio mensual y anual. También se obtuvieron las probabilidades diarias de daño por temperaturas altas y bajas.

A diferencia de otros estudios similares, en éste se dio especial atención a las temperaturas diarias extremas y se establecieron los rangos correspondientes.

SUMMARY

This paper intends to establish the temperature requirements on the different stages of growth of Coffea arábica L. in the northern area of the Puebla state, where this crop grows. Heat units by two methods, the remainder index (summation constant) and the exponential index were calculated; also, other agroclimatic elements like the daily range of temperature, and maximum and minimum temperatures. Daily, monthly and annual mean of them were obtained. The probabilities of damage to plants by low and high temperatures were also calculated.

At difference to other similar studies, this paper gives special attention to daily extremes of temperature, and the ranges on the stages of growth of the crop were established.

INTRODUCCION

En la misma forma en que el clima ayuda a que la vegetación llegue a su clímax, coadyuva a establecer los límites para la producción agrícola. A pesar de que los cultivos están afectados, además, por otros factores tales como suelos, relieve, plagas, enfermedades, etc., no pueden alcanzar una importancia real en un sistema agrícola a menos de que estén bien adaptados a las condiciones del clima; es decir, la agricultura todavía sigue siendo dependiente de esta parte del medio ambiente, por lo que es importante la realización de investigaciones en la materia.

* Investigadora. Instituto de Geografía, UNAM.

El hombre puede, mediante ciertas prácticas, controlar o alterar el clima de pequeñas áreas, para favorecer el crecimiento de algunos cultivos, pero los métodos son usualmente costosos, como, por ejemplo, cubrir los campos con plástico para reducir la pérdida de agua por evaporación o para amortiguar las heladas; otros métodos implican menos inversión, como la irrigación, barreras rompevientos, etc.

Todos los cultivos tienen ciertos límites naturales climáticos fuera de los cuales no crecen eficientemente; las investigaciones de mejoramiento y obtención de nuevas variedades más resistentes al clima están gradualmente extendiendo esos límites para algunos cultivos como el trigo, cebada y maíz; no obstante, del clima sigue persistiendo gran dependencia de la agricultura.

El presente trabajo pretende iniciar una serie de estudios tendientes a evaluar los recursos climáticos de la zona cafetalera de la sierra norte de Puebla; para las diferentes etapas de crecimiento del café se intenta establecer los requerimientos térmicos calculando unidades calor, así como las probabilidades diarias de daño por temperaturas altas y bajas.

Antecedentes.

El café es originario de los bosques húmedos y montañosos del suroeste de Etiopía y Kaffa, en Africa; durante mucho tiempo se creyó que por haber sido domesticado y cultivado por cientos de años en las terrazas montañosas del Yemen, era originario de la península Arábiga; pero las investigaciones iniciadas a partir de la segunda Guerra Mundial, para la obtención de germoplasma, permitieron concluir su procedencia definitiva.

Se asegura que la introducción del café en México tuvo origen en la isla de Cuba, probablemente en el siglo XVIII, ya que, según datos publicados por don Miguel Lerdo de Tejada, relativos al comercio interior y exterior, entre los productos exportados por el puerto de Veracruz, durante los años 1802, 1803 y 1805, figura el café con 272, 493 y 336 quintales, respectivamente; fue en Córdoba, Ver., donde se cultivó por primera vez el cafeto.

En la historia del cultivo del café en el ex cantón de Coatepec, Ver., escrita por el señor Mariano Contreras, se señala como fecha de introducción de este grano el 16 de mayo de 1808, procedente de La Habana, Cuba (INMECAFE, 1979).

El café forma parte de la gran familia de las Rubiáceas, de la que constituye el género Coffea establecido por De Jussieu en 1735. El profesor Augusto Chevalier cita alrededor de setenta especies en su agrupación sistemática. Más tarde esta cifra ha aumentado con variedades nuevas descubiertas en todo el mundo, y es probable que las investigaciones que actualmente se realizan permitan enriquecer aun más este inventario (Haarer, 1970).

El fruto de este arbusto, denominado cereza, uva o capulín, tradicionalmente es una drupa sincárpica bicarpelar; el epicarpio, cobertura exterior, es de color bermellón, adherida a una materia azucarada conocida como "pulpa"; el mesocarpio, que es un cuerpo mucilaginoso de material vegetal coloidal conocido como "baba" que está unido al endocarpio; éste es una cobertura celulósica del grano de café, de color amarillo claro a la que se denomina "pergamino"; el espermodermo, tejido sumamente delgado y adherido a las semillas, constituye la película plateada. El endospermo, de color verde pálido, de consistencia dura y seca, conocido como "café oro"

o "café verde", propiamente el gran objeto de comercio, una vez tostado y molido se utiliza para su consumo (Haarer, 1980).

Se puede considerar que, en la actualidad, se explotan en todo el mundo, fundamentalmente, dos especies: Coffea arábica L. y Coffea Canephora Pierre, las cuales en su conjunto aportan la casi totalidad de la producción mundial.

Coffea arábica L. Es la especie cultivada más importante en el mundo. En 1969 participó con un 70% en la producción mundial. La naturaleza autógama de esta especie (autofecundación) ha permitido la homogeneidad en su descendencia, por lo que no se practica la injertación. De este modo, el surgimiento de variedades ha sido por mutación. Las más conocidas son:

<u>C. arábica</u> L.	var	<u>Typica</u> CRAMER
<u>C. arábica</u> L.	var	<u>Bourbón</u> (B. RODR) CHOUSSY
<u>C. arábica</u> L.	var	<u>Caturra</u> KM. C.
<u>C. arábica</u> L.	var	<u>Mundo Novo</u>
<u>C. arábica</u> L.	var	<u>Maragogipe</u>
<u>C. arábica</u> L.	var	<u>MOKKA</u> CRAMER

Esta especie es la que se siembra en la zona en estudio, siendo las variedades más comunes Bourbón, Caturra y Mundo Novo.

Coffea Canephora Pierre. Es la especie que sigue en importancia a C. arábica. Su cultivo está extendido fundamentalmente en Africa e Indonesia, habiendo aumentado en forma considerable por mostrar buenas características en la obtención de café soluble, aunque sus propiedades de aroma y acidez lo ponen en amplia desventaja con las variedades de C. arábica. Aporta el 30% de la producción mundial.

Producción estadística.

México fue el 7° país en Latinoamérica en introducir el café (1790) y desde esta época, hasta 1910, presentaba un interés secundario en la producción nacional. A medida que los recursos naturales no renovables fueron disminuyendo, México incrementó en varias veces su producción de café hasta que actualmente, antecedido por Brasil, Colombia y Costa de Marfil, ocupa el 4° lugar en la producción anual, estimando su producción en unas 312 598 toneladas. En 1978 se cultivaba un total de 343 014 ha y en 1983 569 213 ha; en un lapso de 6 años el incremento fue de 226 199 ha cultivadas, es decir el 66%. El incremento en la producción en el mismo período fue del 86%.

Para 1983 se obtuvo un rendimiento nacional de 0.550 toneladas por hectárea, INMECAFE (1979) reporta que éste puede llegar a 3 toneladas en condiciones adecuadas; la causa de esta diferencia puede deberse principalmente a que las condiciones ambientales para el desarrollo del café no son en todos los casos las ideales, y por las grandes deficiencias en el manejo de este cultivo.

El estado de Puebla ocupó el primer lugar en 1981 y el 2° en 1983, en lo que a rendimiento se refiere.

En cuanto a superficie cultivada, Puebla ocupa el 4° lugar (INEGI, 1982, 1985).

Como ya se indicó en un principio, este trabajo pretende iniciar una serie de estudios acerca de las condiciones agroclimáticas de áreas con cultivos específicos. Se escogió una de las zonas cafetaleras del estado de Puebla denominada por INMECAFE como "norte de Puebla"; después de un somero análisis de la información estadística disponible, pareció ésta una zona de interés ya que el crecimiento en superficie cultivada, de 1978 a 1983, fue mayor al 100%; y por la obtención de buenos rendimientos por hectárea.

Por último, se decidió trabajar con café por la importancia que representa para el país en la entrada de divisas, ya que se sabe que este cultivo ha ocupado el segundo lugar en las exportaciones, después del petróleo.

Condiciones térmicas favorables para el cultivo del café.

El café se produce en dos fajas paralelas al ecuador, siendo los trópicos de Cáncer y Capricornio las latitudes extremas para su cultivo. Las regiones donde se originó C. arábica se caracterizan por ser altiplanos con altitudes entre los 1 300 y 1 800 m y entre los 6° y 9° de latitud norte. La temperatura media anual es de 20° a 25°C, con mínimas de 5°C y máximas de 30°C; precipitación anual de 1 500 a 1 800 mm y una marcada estación de secas de 4 a 5 meses (Fournier, 1980).

El medio en que surge C. canephora se caracteriza por su clima cálido húmedo, con una altitud menor a los 500 metros, temperatura media de 24° a 26°C, con pequeñas variaciones, precipitación superior a los 2 000 mm anuales con 2 a 3 meses de secas y una humedad atmosférica saturada (Costé, 1969). La variedad más conocida es la Robusta (INMECAFE, 1979).

Hay que establecer que la C. arábica es menos resistente al calor en relación con la C. canephora.

La altitud es determinante para obtener cosechas de buena calidad. C. arábica, como planta orófila que es, da en nuestro país sus mejores resultados de los 500 a los 1 300 metros de altura sobre el nivel del mar (INMECAFE, 1969), en donde privan temperaturas de 24° a 13°C. Se le encuentra cultivada en altitudes mayores mientras más se acerca al ecuador, donde las temperaturas son equivalentes.

C. arábica es más resistente que otras especies, ya que puede soportar temperaturas medias anuales cercanas a los 0°C, aunque por debajo de los 8°C la planta se daña y su rendimiento disminuye. Las altas temperaturas afectan el crecimiento, pues la fotosíntesis empieza a disminuir arriba de los 24°C y cesa a los 34°C; puede también presentarse esto último, por encima de los 30°C, si el aire es seco; no puede prosperar en aquellos lugares donde se presentan heladas todos los años (INMECAFE, Costé, Ortolani, et al).

Condiciones climáticas generales del área en estudio.

La región cafetalera poblana, cuya localización se aprecia en el mapa 1, delimitada de acuerdo con las cartas de clima a escalas 1:500 000 y 1:1 000 000 y las municipales a 1:4 000 000 y 1:500 000, se encuentra a altitudes entre 400 y 1 600 metros, y se ubica aproximadamente entre los paralelos 19°40' y 20°40' Lat. N.

Se seleccionaron 10 estaciones climatológicas; en el cuadro 2 se muestran sus coordenadas, la autoridad que las controla, así como el tipo de clima según el

Sistema Modificado de García (1988); la región se caracteriza por presentar temperaturas medias anuales entre los 18° y 22°C (clima semicálido) y en algunos lugares inferiores a 18°C (clima templado).

Para las 10 estaciones se obtuvieron datos diarios de temperatura máxima y mínima en los últimos 15 años, de los Expedientes del Servicio Meteorológico Nacional y de la Comisión Federal de Electricidad.

Dada la cantidad de datos obtenidos (109 500 aproximadamente), se hizo la captura de esta información por medio de una microcomputadora.

Se obtuvieron promedios mensuales de temperatura máxima, media y mínima, los cuales se presentan en el cuadro 2; se observa que la zona de trabajo registra valores de temperatura media entre 11.5° y 25.3°C; este último valor es 1.3°C más alto que el establecido por varios autores como el límite superior del rango óptimo para el café, el cual es de 8° a 24°C.

En cuanto a los promedios mensuales de las temperaturas máximas, resultaron valores de 17.7°C a 30.7°C; y los de mínimas de 5.1° a 20.5°C, de lo que se podría inferir que la planta del café de esta zona pudiera tener problemas para un óptimo crecimiento.

Costé (1969) ha investigado que temperaturas de 5°C ocasionan manifiestos trastornos fisiológicos que repercuten en el crecimiento y la fructificación; por su parte, los ascensos de temperatura por encima de los 30°C afectan igualmente a la Arábica, pues la transpiración aumentada deshidrata los tejidos y el follaje se marchita, y si este valor se prolonga demasiado, se ennegrece y cae. La nutrición del arbusto, desde las primeras lluvias, se emplea en reconstruir el follaje en detrimento de la fructificación.

La precipitación anual varía de 1 565.8 mm a 4 422.4 mm, con lluvias durante todo el año, pero concentradas principalmente en verano (menos del 18% de lluvia invernal).

Unidades calor.

Se considera importante el estudio de las unidades calor, ya que algunas de sus aplicaciones en la agricultura son las siguientes.

- 1) Pronosticar las etapas fenológicas de los cultivos (emergencia, floración, madurez fisiológica, etc.).
- 2) Tener una medida estándar en la selección de especies y variedades para una región.
- 3) Zonificar los cultivos con base en unidades calor requeridas.
4. Estimar y predecir etapas biológicas de plagas.

En efecto, la temperatura actúa sobre el desarrollo de las plantas por su influencia sobre la velocidad de los procesos metabólicos. Las bajas temperaturas retardan el desarrollo, mientras que altas temperaturas (hasta un cierto límite) lo aceleran y acortan el ciclo vegetativo de las plantas.

Ya en el siglo XVIII se sugirió que las plantas tienen "un requerimiento térmico", pero no fue sino hasta 1916 cuando se planteó que las plantas tienen una temperatura basal bajo la cual no pueden desarrollarse, y que cada planta tiene un valor térmico particular.

Hay diversos métodos para calcular los requerimientos térmicos de las plantas, de ellos se analizarán dos, el residual y el exponencial; el primero supone que hay solamente una temperatura basal durante toda la vida de la planta; que las temperaturas diurnas y nocturnas son de igual importancia en el crecimiento, y que la planta responde a aumentos de la temperatura en una forma lineal.

Este concepto postula que el crecimiento y desarrollo de un cultivo dependen de la cantidad de calor que acumula por sobre su temperatura basal, cantidad conocida como unidades calor; lo que quiere decir que un cultivo alcanzará determinada etapa fenológica cuando haya recibido cierta cantidad de calor, independientemente del tiempo requerido para ello.

La temperatura efectiva acumulada cada día se calculó al restar la temperatura basal de la planta de la temperatura diurna observada; esta medida es llamada acumulación de "grados día" o acumulación de "calor diario". El aumento acumulado cada día se agregó al valor obtenido del día anterior, hasta que la planta maduró. El total de "calor acumulado" a la madurez se denomina "suma de temperaturas" o "índice residual".

Algunos investigadores han buscado otros métodos para calcular las unidades calor, y así surgió la expresión exponencial. El problema se planteó de la siguiente manera: 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 10°C de aumento en la temperatura".

De acuerdo con el método exponencial, la eficiencia de una temperatura se calcula comparando la velocidad de las reacciones a esa temperatura con la velocidad a 5°C, que se considera como base. La velocidad de reacción a una temperatura cualquiera se calcula elevando 2 a la potencia correspondiente, la cual se obtiene al restar 5°C a la temperatura dada y dividiendo la diferencia entre 10. Por ejemplo: la eficiencia de la temperatura de 15°C es igual a 2 porque el exponente $\frac{15-5}{10}$ es 1, 2 elevado a la primera potencia es 2, o sea que, a dicha temperatura, las reacciones se producen dos veces más rápido que a la temperatura de 5°C.

Como se puede observar, según esta fórmula exponencial, la eficiencia de las temperaturas se eleva en forma notable para las temperaturas altas.

Cuando se deseen calcular las unidades calor por el método exponencial, será necesario emplear la temperatura media de cada día para obtener la velocidad de reacción correspondiente.

Las unidades calor se obtienen al sumar todos los valores obtenidos (Holmes, 1970).

Para cada una de las 10 estaciones empleadas se calcularon las unidades calor por mes, utilizando los índices exponencial y residual, según las fórmulas siguientes:

Índice exponencial

$$UC = \sum_{i=1}^n 2^{(T_i - 5.0)/10}$$

Donde: UC = Unidades calor mensuales o constante térmica
Ti = Temperatura media diaria
5.0 = Temperatura basal
n = Número de días del mes

Índice residual

$$UC = \sum_{i=1}^n \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - T_{base}$$

Donde: UC = Unidades calor mensuales
Tmax = Temperatura máxima diaria
Tmin = Temperatura mínima diaria
Tbase = Temperatura base
n = Número de días del mes

El índice exponencial utiliza la temperatura de 4.4°C como temperatura mínima para el crecimiento; no obstante, para este estudio se utilizaron 5°C, pues algunos autores reportan que abajo de este valor la planta sufre serios daños.

El índice residual calcula las unidades calor acumuladas arriba de la temperatura base que depende del cultivo; para el café se tomaron 8°C, pues de acuerdo con estadísticas, el desarrollo de la planta se ve seriamente afectado y su rendimiento disminuye a temperaturas medias diarias inferiores a este valor.

Las unidades calor, según los dos métodos, se calcularon para cada mes del período considerado, con resultados que se promediaron para obtener las medias mensuales y anuales.

Se trazaron isolíneas de los valores anuales de unidades calor obtenidas por los dos métodos (Mapas 2 y 3).

Además de los índices anteriormente descritos se calcularon otros parámetros agroclimáticos, como la oscilación térmica diaria que es la diferencia entre la temperatura máxima y la temperatura mínima. Este parámetro se determinó mensual y medio mensual para las estaciones climatológicas seleccionadas para este trabajo.

Todos estos cálculos se hicieron por medio de programas de computación elaborados por el físico Antonio Miranda García quien, además, asesoró a la autora en todo lo relacionado con el manejo de microcomputadora, para poder capturar la información y obtener los listados y cuadros de resultados.

También se obtuvieron las probabilidades diarias de daño por temperaturas a diferentes rangos.

Los resultados obtenidos se agruparon de acuerdo con las diferentes etapas del ciclo de crecimiento del café árabe; estas etapas pueden diferir dependiendo de

las variedades, los métodos de cultivo y las condiciones climáticas, pero, por término medio, se considera que el ciclo de crecimiento del café presenta dos períodos: uno de crecimiento activo que comprende de marzo a septiembre y otro de crecimiento mínimo que abarca del mes de octubre al mes de febrero del siguiente año. La floración comprende de abril a junio y el crecimiento del fruto de junio a octubre (INME-CAFE).

Análisis de los resultados y conclusiones.

El cuadro 3 presenta las temperaturas medias, unidades calor según los dos métodos utilizados, la oscilación térmica y las probabilidades en porcentaje de daño por temperaturas menores de 5°C y 8°C y mayores de 24° y 27°C, por etapas de crecimiento del café, para las 10 estaciones empleadas.

Como se observa en este cuadro, los valores de la temperatura media, calculados para las diferentes etapas de crecimiento del café, quedan incluidos, en la mayoría de las estaciones, dentro del intervalo de 8° a 24°C, salvo las Minas y Jopala que registran valores de 24.3°C y 24.7°C, respectivamente, durante la floración.

Por lo que se refiere a la oscilación anual de las temperaturas medias mensuales, en °C, la zona presenta oscilaciones de 7.6° (Atexcaco) y de 13.5°C (Ahuacatlán); por tanto se considera como extremosa, pues los valores quedan comprendidos entre 7° y 14°C (García, 1988), siendo válido esto para cada una de las etapas fenológicas del café.

Sin embargo, este parámetro agroclimático resulta más útil para dar una idea más clara de los requerimientos térmicos para el desarrollo del café, si se obtiene de los valores promedio de temperaturas máximas y mínimas mensuales en °C, de donde se obtiene, entonces, que la oscilación térmica extrema anual en la zona varía de 15.9° (Atexcaco) a 19.8°C (Ahuacatlán).

Por otra parte, de las unidades calor obtenidas se observa que están en función de la temperatura: a mayor temperatura, más unidades calor, y viceversa; los valores obtenidos con el índice exponencial aportan valores como cuatro veces más altos que con el índice residual. Al analizar cada una de las etapas de crecimiento del café en cuanto a los valores obtenidos de unidades calor, se notó que la planta requiere de una mayor cantidad de calor para llevar a cabo su crecimiento activo, aproximadamente un 65% más de lo que necesita para el crecimiento mínimo, puesto que la primera etapa incluye la floración y fructificación.

Algo similar se presenta al comparar los promedios de unidades calor obtenidas para la floración y fructificación, en que la floración requiere de mayor temperatura, pues, como se sabe, una buena fructificación depende de una buena floración.

Como no hay antecedentes al respecto, es decir, éste es el primer intento de caracterizar el cultivo del café desde el punto de vista de sus requerimientos de calor, se calcularon las probabilidades de daño por temperaturas menores de 5° y de 8°C y mayores de 24° y 27°C que han sido reportadas como perjudiciales para el crecimiento del café, y, con base en esto, poder determinar los intervalos de unidades calor dentro de los cuales el café se puede desarrollar con éxito.

Se utilizaron dos intervalos de temperatura, pues según algunos autores (Nolasco, 1985) la fotosíntesis empieza a bajar arriba de los 24° y cesa a los 34°C;

las temperaturas menores de 8°C por largos períodos también son dañinas, pues cuando las temperaturas son muy frías el café árabe se desarrolla lenta e incompletamente, llegando a ser antieconómico, en tanto que los vientos fríos pueden ennegrecer, distorsionar o marchitar las puntas de los brotes (Blacktip) y causar lo que es conocido como enfermedad del "calor y frío". En cambio, para otros investigadores (Haarer, 1980) los valores son 27° y 5°C, respectivamente.

Las probabilidades de que se presenten temperaturas menores de 8°C y de 5°C son, en general, bastante bajas, excepto para las estaciones Xicotepec de Juárez, con un 18.1%, Ahuacatlán con 27.3% y Rancho Apulco que registra 53.8% de probabilidad de daño por temperaturas menores de 8°C para el crecimiento mínimo del café, lo que se podría interpretar como que la zona, en general, no representa problemas de temperaturas bajas para un adecuado crecimiento de la planta.

No se puede decir lo mismo en cuanto a las probabilidades de daño por temperaturas superiores a 24°, puesto que la mayoría de las estaciones presentan probabilidades mayores de 50%, excepto Rancho Apulco y Atexcaco que tienen menos del 30% de probabilidad de registrar temperaturas más altas de 24°C en la etapa de crecimiento activo y, por tanto, también en las de floración y crecimiento del fruto.

Las probabilidades de daño por temperaturas superiores a 27°C disminuyen considerablemente respecto a las anteriores, aunque sólo en la mitad de las estaciones se presentan valores menores a 40%, ya que Las Minas, Zapotitlán de Méndez, Mopilco, Jopala y Presa La Soledad presentan probabilidades mayores de 50% de sufrir temperaturas superiores a 27°C.

Con base en esto último, se podría considerar a la zona como demasiado cálida para el crecimiento del café, por presentar altas probabilidades de temperaturas mayores al límite superior sugerido (24°C); sin embargo, dicha zona está considerada como la región cafetalera más importante del estado de Puebla, por su extensión y producción.

Es importante señalar que existen otros factores climáticos que podrían amortiguar el efecto de la temperatura de reseca las plantas, a nivel local, como es el caso de la neblina, pues la intensidad de la luz puede ser reducida en grado suficiente en aquellas localidades donde hay muchos días con neblina, y nublados (Costé, 1969); por otro lado, también este vapor de agua presente en la atmósfera puede impedir la deshidratación.

A manera de ejemplo, se señala la estación Cuetzalan del Progreso que registró probabilidades de 81.3% de presentar temperaturas mayores de 24° y 48.9% de temperaturas superiores a 27°C; pero reportó 118 días al año con neblina, de los cuales 58 se presentan en la etapa de crecimiento activo; es decir, el 27% de esta fase presenta niebla.

Con nublado cerrado se presentan 111 días 48 de los cuales pertenecen a la etapa de crecimiento mínimo (31.8%).

Lo anterior podría, también, indicar que la temperatura en las plantaciones quizá pudiera ser algo diferente a la reportada por las estaciones meteorológicas.

Otro aspecto factible de calificarse de local, y que es muy determinante en la variación de la temperatura, es el de la "sombra"; es decir, el de la utilización de árboles para proporcionar sombra a la plantación del café, aspecto que todavía en

la actualidad es tema de controversia, pues los investigadores no logran llegar a un acuerdo. Por ejemplo, en Cuba, Tanzania y Puerto Rico se han hecho abundantes experimentos que concluyen que el mayor rendimiento se obtiene bajo la sombra. Investigaciones más recientes discuten este resultado, pues si en las hojas exteriores de un cafeto a pleno sol puede haber inhibición de fotosíntesis, en las interiores hay autosombra y, por tanto, buenas condiciones.

El principal efecto de la sombra es la recreación de condiciones microecológicas constantes, y en cuanto a la temperatura se refiere, la sombra tiende a regularla reduciendo las diurnas y atenuando las bruscas bajas nocturnas.

Con base en los resultados obtenidos se observa que, en general, las estaciones Rancho Apulco, Atexcaco, Xicotepec de Juárez y Cuetzalan del Progreso son las que registran las probabilidades más bajas (menores a 30%) de presentar daños tanto por temperaturas altas como por bajas. De lo que se puede inferir:

a) Que los intervalos de unidades calor obtenidos por el método residual, adecuados para el crecimiento activo de *C. arábica* var. Bourbon, Caturra y Mundo Novo, del norte de Puebla, se encuentran entre 600 y 700 UC; para el crecimiento mínimo, de 250 a 350 UC; floración, entre 200 y 300 UC, y para el crecimiento del fruto, de 350 a 450 unidades calor.

b) Por el método exponencial, tanto los valores como los intervalos son más altos: para el crecimiento activo se registraron de 1 900 a 2 700 UC; para el crecimiento mínimo, entre 700 y 1 200 UC; para la floración, de 800 a 1 300 UC, y para el crecimiento del fruto, entre 1 400 y 2 000 unidades calor.

En el cuadro 4 se muestran los valores anuales de los datos climáticos calculados; se puede decir que los intervalos de unidades calor adecuados para el óptimo crecimiento del café, para las mismas estaciones, son de 800 a 1 000 UC obtenidas por el método residual y de 2 700 a 3 800 UC por el método exponencial.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- CETENAL, 1970. Carta de Climas, Esc. 1:500 000. Clasificación de climas según el Sistema de Köppen modificado por García. (Elaborado por E. García, T. Reyna y R. Sierra). México: La Comisión.
- Costé, R. 1969. El Café. Barcelona: Editorial Blume.
- Fournier, L.A. 1980. Fundamentos ecológicos del cultivo de café. San José Costa Rica. IICA, PROMECAFE.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de clasificación climática de Köppen. (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). México: Offset Larios. 217 p.
- González-Salinas, J.A. 1978. Condiciones climatológicas de zonas cafetaleras. México: Sección de Climatología. INMECAFE.
- Haarer, A.E. 1980. Producción moderna de café. México: Compañía Editorial Continental.
- Holmes, R.M. and Robertson, G.W. 1970 "Heat units and crop growth". In: J. G. Nelson and M. J. Chambers (eds.) Weather and Climate. Methuen. Toronto.
- INEGI. 1982. Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos, 1982. Secretaría de Programación y Presupuesto. México: Dirección General de Estadística.
- INEGI. 1985. Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos, 1985. Secretaría de Programación y Presupuesto. México: Dirección General de Estadística.
- INEGI. 1986. Anuario Estadístico de Puebla, 1985. Secretaría de Programación y Presupuesto. México: Dirección General de Estadística.
- INMECAFE. 1969. Atlas cafetalero de México. México: El Instituto.
- INMECAFE. 1979. Tecnología cafetalera mexicana, 30 años de investigación y experimentación. México. Dirección adjunta de Producción y mejoramiento de la cafecultura. México: El Instituto.
- Munn, R.E. 1970. Biometeorological Methods. New York. Academic Press.
- Nolasco, M. 1985. Café y sociedad en México. México: Centro de Ecodesarrollo. 93-118
- Ochoa Cordero, C.A. 1981. Clasificación de climas en zonas cafetaleras de la República Mexicana. Departamento de Agroclimatología. México: INMECAFE.
- Ochse, J.J. et al. 1980. Cultivo y mejoramiento de plantas tropicales y subtropicales. Vol. 1 y 2. México: Editorial Limusa.
- Oliver, J.E. 1981. Climatology: Selected Applications. London. V.H. Winston and Sons. E. Arnold.
- Ortolani, A.A. et al. 1970. Parámetros climáticos e a cafeicultura. Ministerio da indústria e do comercio. Instituto Brasileiro do café. Brasil: IBC

Vidal, Z.R. 1985. Carta base municipal 1:4 000 000. México: Instituto de Geografía, UNAM.

Villalpando, S.J. (sin fecha). Índices Agroclimáticos derivados de la temperatura. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Zapopan, Jal: Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas.

CUADRO 1. ESTACIONES UTILIZADAS

Clave de la estación	Nombre de la estación	Autoridad	Latitud	Longitud	Altitud	Clima
21 - 006	Ahuacatlán	SMN	20°01'	97°53'	1 700 m	(A)Cb(m)(e)w"
21 - 026	Cuetzalan del Progreso	SMN	20°02'	97°31'	980 m	(A)Ca(fm)(e)w"
21 - 054	Minas, Las	CFE	19°58'	97°23'	537 m	(A)Ca(fm)(e)w"
21 - 069	Rancho Apulco	CFE	19°56'	97°36'	1 500 m	Cb(fm)(e)w"
21 - 099	Xicotepec de Juárez	SMN	20°17'	97°57'	1 155 m	(A)Ca(fm)(e)gw"
21 - 104	Zapotitlán de Méndez	SMN	20°03'	97°42'	1 500 m	(A)Ca(fm)(e)gw"
21 - 110	Atexcaco	CFE	19°56'	97°25'	900 m	(A)Ca(fm)(e)gw"
21 - 115	Mapilco	CFE	19°59'	97°54'	680 m	(A)Ca(fm)(e)w"
21 - 135	Jopala	CFE	20°11'	97°41'	725 m	(A)Ca(fm)(e)gw"
21 - 143	Presa La Soledad	CFE	19°59'	97°26'	816 m	(A)Ca(fm)(e)

CUADRO 2 PROMEDIOS DE TEMPERATURAS MAXIMAS Y MINIMAS DIARIAS

ESTACION	TEMPERATURA	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Ahuacatlán	Máxima	23.0	23.7	27.5	28.2	26.3	25.4	26.5	26.7	26.3	24.2	23.4	21.9
	Mínima	8.4	8.2	9.4	11.5	12.7	14.0	13.8	13.7	14.0	12.9	10.7	8.9
Cuetzalan del Progreso	Máxima	19.5	21.5	24.2	27.9	29.1	29.1	26.6	28.1	26.9	24.5	22.0	19.8
	Mínima	11.0	11.9	14.3	17.5	18.6	19.0	18.2	18.4	18.2	16.2	13.8	11.8
Las Minas	Máxima	20.2	21.7	24.4	28.1	30.2	30.7	28.4	29.3	28.1	25.9	23.5	20.6
	Mínima	11.7	12.3	14.6	17.3	18.9	19.8	18.9	18.8	19.1	17.2	15.0	12.9
Rancho Apulco	Máxima	17.9	18.3	22.0	24.0	24.4	23.4	22.1	22.3	22.2	20.5	19.7	18.5
	Mínima	5.1	5.3	7.7	9.9	11.7	13.4	12.6	12.6	12.6	12.9	11.0	7.6
Xicotepec de Juárez	Máxima	18.2	18.4	23.4	25.7	27.9	26.0	25.0	25.5	24.5	22.6	21.3	19.3
	Mínima	9.6	9.8	12.9	15.1	16.9	16.8	16.1	16.1	16.1	13.9	12.3	10.6
Zapotitlán de Méndez	Máxima	22.1	22.0	25.8	27.8	29.2	28.4	27.4	27.7	27.1	25.4	24.0	22.4
	Mínima	13.0	12.9	15.5	18.1	20.0	20.5	19.8	19.7	19.6	18.0	15.1	13.9
Atexcaco	Máxima	17.7	18.2	21.7	24.3	26.2	25.1	23.8	23.9	23.2	21.9	20.0	18.5
	Mínima	10.3	10.5	13.1	15.7	17.4	17.3	16.4	16.5	16.5	15.0	12.7	11.5
Mapilco	Máxima	20.8	21.2	25.4	28.3	30.0	29.3	28.2	28.6	28.2	25.9	24.1	22.0
	Mínima	11.7	11.6	14.5	17.5	19.4	20.3	19.7	19.7	19.6	17.5	14.5	12.8
Jopala	Máxima	20.6	20.8	25.3	27.6	29.6	29.3	28.7	28.8	28.0	26.2	23.7	21.9
	Mínima	13.3	13.4	16.9	19.1	20.9	21.0	20.5	20.5	20.3	18.8	16.1	14.6
Presa La Soledad	Máxima	19.8	20.1	24.6	26.6	28.5	27.9	26.9	27.3	26.7	25.0	22.5	20.9
	Mínima	9.9	10.0	12.5	15.1	17.3	17.9	17.1	17.0	17.1	15.3	12.3	11.0

CUADRO 3. ALGUNAS CARACTERISTICAS TERMICAS DE LAS ETAPAS FENOLOGICAS DEL CAFE

Etapa de Desarrollo	Promedio temperatura diarias	Promedio temperatura diarias	Probabilidad (%) de daño por temperatura en °C *	Unidades Calor Indice Menor de Exponencial	Probabilidad (%) de daño por temperatura en °C *	Unidades Calor Indice Menor de Exponencial		
Estación 21-006 Ahuacatlán								
Crecimiento activo (Mar-Sep)	19.5	13.9	2501.0	603.4	2.5	6.5	71.6	42.7
Crecimiento mínimo (Oct-Feb)	16.2	13.0	1240.9	340.8	9.4	27.3	37.7	18.3
Floración (Abr-Jun)	19.9	14.0	1087.9	262.0	2.5	6.5	71.7	49.0
Crecimiento fruto (Jun-Oct)	19.5	12.4	1791.1	430.4	0.4	1.3	67.2	34.2
Estación 21-026 Cuetzalan del Progreso								
Crecimiento activo (Mar-Sep)	22.7	9.7	3139.1	743.2	0.1	0.3	81.3	48.9
Crecimiento mínimo (Oct-Feb)	17.2	8.5	1412.3	371.6	2.7	6.2	29.6	10.8
Floración (Abr-Jun)	23.6	10.3	1422.9	337.2	0.0	0.0	88.6	63.9
Crecimiento Fruto (Jun-Oct)	22.6	9.0	2235.5	525.0	0.0	0.0	80.2	41.7
Estación 21-054 Las Minas								
Crecimiento activo (Mar-Sep)	23.4	10.5	3301.0	391.9	0.0	0.2	87.8	68.5
Crecimiento mínimo (Oct-Feb)	18.2	8.5	1549.8	780.7	0.7	3.2	38.8	13.0
Floración (Abr-Jun)	24.3	11.0	1482.2	351.5	0.0	0.0	88.8	13.0
Crecimiento fruto (Jun-Oct)	23.7	9.7	2402.9	564.9	0.0	0.0	92.1	70.0
Estación 21-069 Rancho Apulco								
Crecimiento activo (Mar-Sep)	17.3	11.3	1993.4	509.1	3.1	10.0	27.4	10.5
Crecimiento mínimo (Oct-Feb)	13.1	11.2	775.8	274.1	32.6	53.8	14.6	2.9
Floración (Abr-Jun)	17.9	12.3	901.1	225.5	1.3	7.4	43.0	17.5
Crecimiento fruto (Jun-Oct)	17.4	9.5	1435.2	363.6	1.1	3.6	12.6	1.5
Estación 21-099 Xicoteppec de Juárez								
Crecimiento activo (Mar-Sep)	20.7	9.7	2710.9	646.7	0.3	1.2	67.6	28.5
Crecimiento mínimo (Oct-Feb)	15.7	8.7	1170.3	332.9	8.3	18.1	20.6	6.6
Floración (Abr-Jun)	21.5	10.3	1229.7	292.3	0.0	0.3	73.9	44.2
Crecimiento fruto (Jun-Oct)	20.3	8.9	1886.9	447.9	0.0	0.6	63.1	17.2

Estación 21-104 Zapotitlán de Méndez										
Crecimiento activo	(Mar-Sep)	23.2	8.6	3299.4	777.6	0.0	0.0	85.9	53.5	
Crecimiento mínimo	(Oct-Feb)	19.0	8.6	1670.9	410.8	0.0	1.2	38.2	14.5	
Floración	(Abr-Jun)	23.5	9.0	1464.6	346.4	0.0	0.0	88.0	63.0	
Crecimiento fruto	(Jun-Oct)	23.1	7.6	2362.4	554.6	0.0	0.0	85.5	47.2	
Estación 21-110 Atexcaco										
Crecimiento activo	(Mar-Sep)	20.2	7.9	2603.2	623.7	0.1	0.5	39.9	19.3	
Crecimiento mínimo	(Oct-Feb)	15.7	7.2	1177.8	329.6	2.3	8.0	13.6	5.0	
Floración	(Abr-Jun)	21.1	8.4	1191.9	283.3	0.0	0.0	53.8	30.5	
Crecimiento fruto	(Jun-Oct)	20.1	7.2	1842.8	438.6	0.0	0.0	31.3	11.6	
Estación 21-115 Mapilco										
Crecimiento activo	(Mar-Sep)	23.1	9.6	3329.8	787.2	0.0	0.1	86.3	67.3	
Crecimiento mínimo	(Oct-Feb)	18.3	9.2	1568.5	395.3	1.2	4.2	44.5	19.1	
Floración	(Abr-Jun)	23.2	10.3	1477.5	350.1	0.0	0.0	87.8	73.3	
Crecimiento fruto	(Jun-Oct)	23.8	8.7	2413.8	566.1	0.0	0.0	89.3	66.0	
Estación 21-135 Jopala										
Crecimiento activo	(Mar-Sep)	23.9	8.2	3450.3	812.4	0.0	0.0	90.1	72.6	
Crecimiento mínimo	(Oct-Feb)	20.9	7.3	1683.2	418.0	0.5	2.5	45.0	15.7	
Floración	(Abr-Jun)	24.7	8.3	1518.8	356.1	0.0	0.0	93.0	75.4	
Crecimiento fruto	(Jun-Oct)	24.0	8.0	2492.7	588.1	0.0	0.0	93.0	75.1	
Estación 21-143 Presa la Soledad										
Crecimiento activo	(Mar-Sep)	21.5	10.6	2961.1	690.5	0.0	0.5	82.3	54.5	
Crecimiento mínimo	(Oct-Feb)	16.9	10.0	1307.4	354.7	2.2	9.1	35.4	10.9	
Floración	(Abr-Jun)	22.3	10.9	1300.6	306.0	0.0	0.0	83.5	62.5	
Crecimiento fruto	(Jun-Oct)	21.6	9.9	2157.8	497.6	0.0	0.0	85.4	50.4	

CUADRO 4. CONDICIONES TERMICAS ANUALES DE LA REGION NORTE POBLANA PRODUCTORA DE CAFE

Estación	Temperatura media	Unidades calor. Índice exponencial	Unidades calor. Índice residual	Oscilación térmica	Probabilidad(%) menor 5.0°C	Probabilidad(%) menor 8.0°C	Probabilidad(%) mayor 24.0°C	Probabilidad(%) mayor 27.0°C
21 - 006 Ahuacatlán	18.2	3 741.8	866.4	13.5	5.4	15.2	57.5	32.5
21 - 026 Cuetzalan del Progreso	20.4	4 551.8	1 114.0	9.2	1.2	2.7	59.7	33.0
21 - 054 Las Minas	21.2	4 851.0	1 172.6	9.5	0.3	1.4	67.4	45.3
21 - 069 Rancho Apulco	15.5	2 769.2	783.2	11.6	15.4	28.3	22.1	7.3
21 - 099 Xicotepec de Juárez	18.6	3 881.2	979.6	9.3	3.6	8.2	48.0	19.4
21 - 104 Zapotitlán de Méndez	21.5	4 970.3	1 188.4	8.6	0.0	0.5	66.0	37.3
21 - 110 Atexcaco	18.3	3 781.0	953.3	7.6	1.0	3.6	28.9	13.4
21 - 115 Mapilco	21.4	4 898.4	1 182.5	9.4	0.5	1.8	68.9	47.2
21 - 135 Jopala	22.0	5 000.2	1 237.4	7.9	0.2	1.0	71.3	48.9
21 - 143 Presa La Soledad	19.5	4 268.5	1 045.2	10.3	0.9	4.1	62.7	36.2

