

Capítulo III

ECOLOGIA Y FISILOGIA DEL CACAO

El cacao se encuentra como poblador de los bosques amazónicos y por lo tanto, está sometido a todas las influencias favorables y perjudiciales, protectoras y competidoras de otras plantas que ocupan el mismo suelo y buscan la misma luz. Por la pequeña altura del cacao en relación con los demás árboles del bosque donde crece, está expuesto a una mayor competencia de vegetales y de animales que habitan los pisos inferiores ecológicos del mismo bosque.

A pesar de todo lo anterior, el cacao puede sobrevivir gracias al equilibrio biológico que existe en el medio donde crece la planta; así, hay gusanos y larvas subterráneas que destruyen las raíces del cacao y mamíferos e insectos que destruyen sus hojas, frutos y madera, pero hay a la vez micorrizas y bacterias que crean el medio adecuado para que el árbol pueda vivir y hay también insectos polinizadores que hacen posible la multiplicación de la especie.

Ese equilibrio existente en el medio natural del cacao se altera cuando el hombre altera dicho medio natural, y esa alteración del equilibrio resulta mucho más fuerte cuando la planta se cultiva en masas mas o menos extensas con sistemas elementales de cultivo.

Por esta razón es indispensable conocer lo más profundamente posible la ecología y fisiología de la planta de cacao para aplicar este conocimiento en la explotación económica del cultivo.

Cuando se va a hacer una explotación de cacao hay que incrementar los medios de protección de la planta y tratar de mantener un ambiente casi uniforme durante todo el año. Hay que considerar todos los factores ambientales que forman la ecología como son la lluvia, la temperatura de la atmósfera y del suelo, la humedad relativa, la capacidad de evaporación del aire, la humedad del suelo y la radiación solar, buscando una correlación de los mismos con el crecimiento del árbol.

Colombia, como centro que es de origen del cacao, ofrece condiciones y extensas áreas altamente favorables para el cultivo de esta planta. Pero es apenas

obvio que los factores ecológicos se deben complementar y reforzar con prácticas adecuadas de manejo de las plantaciones, acordes con las necesidades del cultivo; el cacao, como cualquiera otra empresa agrícola tecnificada, exige cuidados especiales que van desde la elección del sitio y establecimiento de la plantación, hasta su producción y mantenimiento.

En este capítulo se estudiarán algunos factores que afectan la capacidad productiva del cacao, relacionados especialmente con el clima y el suelo.

A. CLIMA

El cacao es una típica planta tropical americana que se la encontró originalmente en las tierras bajas de los bosques densos de Centro América y en la parte Norte de la América del Sur. En esta región, el clima es cálido y húmedo durante todo el año.

Por consiguiente, el cacao se cultiva comercialmente sólo en los trópicos, señalándose como límites apropiados para su cultivo al Norte el paralelo 22 en la Isla de Cuba y hacia el Sur el paralelo 21 en las Islas de la Reunión en Africa.

En cuanto a altura sobre el nivel del mar, se puede decir que el cacao crece desde los 30 hasta los 800 metros, considerándose como óptima la altura comprendida entre los 400 y los 600 metros. Sin embargo, se da el caso de plantaciones que producen bien hasta los 1.200 metros, donde existen microclimas favorables para el cultivo, como ocurre en la zona central cafetera del país o en el Valle del Chamá, cerca de Mérida en Venezuela.

En relación con las condiciones favorables o desfavorables que puede ejercer la altitud, son muy importantes las variaciones de temperatura, la distribución de las lluvias y las calidades del suelo prevalentes en el área.

En el cultivo del cacao juegan papel muy importante los factores relacionados con el clima que se describen a continuación:

1. LLUVIAS

El cacao es una planta que requiere humedad y sufre mucho cuando hay largos períodos secos, cuando el suelo tiene poca capacidad retentiva para el agua o cuando falta protección contra la evaporación.

Se puede decir que en las condiciones tropicales debe haber un mínimo anual de lluvias de 1.200 mm y un máximo de 3.500 mm; sin embargo, la distribución de las lluvias tiene aún más valor que la cantidad total precipitada, ya que está afectada por la evapotranspiración. La evapotranspiración depende de la temperatura, la humedad y el movimiento del aire; por lo tanto, está en función del clima.

Medidas hechas en países cultivadores de cacao, especialmente en Trinidad, Colombia y Nigeria, muestran que la cantidad de agua que se pierde por evapotranspiración, es alrededor de 100 a 150 mm por mes. Esto significa que para mantener una disponibilidad de agua en la zona radicular y asegurar un crecimiento satisfactorio, hacen falta de 100 a 125 mm de lluvia por mes.

Pero la cantidad de agua necesaria para asegurar un crecimiento continuo y rápido del árbol también depende de las propiedades físicas y de la profundidad del suelo; el contenido medio de humedad y sobre todo, el tipo de suelo, la protección vegetal y la existencia o no de una cobertura vegetal muerta pueden mejorar o agravar el efecto de las lluvias.

Esas condiciones dan lugar a fenómenos secundarios tales como la variación de nivel de la capa freática que influye en la conformación del sistema radicular, el cuarteamiento del horizonte superior que produce ruptura de raicillas o las inundaciones duraderas que producen síntomas de asfixia. De aquí la importancia de aplicar agua mediante el riego o de sacar el exceso de la misma por medio del drenaje, según sea necesario.

Cuando las lluvias están distribuidas de modo que haya por lo menos 100 mm por mes, la producción será más constante durante la mayor parte del año; cuando se presenta una estación seca pronunciada las cosechas altas tienen lugar en períodos limitados del año.

El límite superior de precipitación es difícil de determinar; se podría decir que teóricamente no existe, porque también en este punto la naturaleza del suelo y la distribución anual de la precipitación son importantes.

En suelos bien drenados donde las lluvias están distribuidas durante la mayor parte del año, el cacao puede tolerar una precipitación mucho más alta que en suelos pesados con drenaje difícil. Desde luego, las grandes lluvias son propensas a causar diversos tipos de erosión en el suelo, con la pérdida consiguiente del elemento nutritivo, especialmente por lixiviación.

La Tabla 8 muestra la distribución mensual de las lluvias en zonas cacaoteras típicas del mundo.

2. HUMEDAD RELATIVA

La humedad relativa está en función de la temperatura y en estrecha relación con las lluvias y debe ser forzosamente alta. En áreas donde la humedad relativa es de 70 a 80 por ciento, el cacao crece en muy buenas condiciones. En la Tabla 9 se presenta el porcentaje de humedad relativa mínima en zonas cacaoteras típicas.

3. TEMPERATURA

La gama óptima de temperatura para el desarrollo del árbol de cacao se ha considerado entre 23°C y 28°C y la variación no debe ser mayor de 9°C. Cuando la temperatura es demasiado elevada, la actividad fisiológica del árbol de cacao decae notoriamente y si los rayos del sol inciden directamente sobre el tronco desprotegido de ramas, se producen quemaduras y grietas difíciles de cicatrizar. Cuando la temperatura es baja se presentan problemas de desarrollo y producción.

TABLA 8. Lluvia mensual en zonas cacaoteras típicas (mm)*.

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agos.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio	Total
Costa Rica (La Lola)	350	140	140	170	320	240	390	250	130	300	380	530	280	3340
Trinidad (C.I.A.T.)	80	40	30	50	130	220	220	250	200	160	190	160	140	1720
Ghana (W.A.C.R.I.)	40	90	150	140	180	210	140	70	150	220	130	60	130	1580
Brasil (Urusuca)	140	160	90	120	200	160	130	110	160	230	150	160	150	1760
	Jul.	Agos.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.		

* Tomado de Urquhart.

TABLA 9. Porcentaje de humedad relativa mínima en zonas cacaoteras típicas a las 2 ó 3 p.m.*

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agos.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio	Seco.	Humedad
Costa Rica (La Lola)	64	62	60	61	63	61	65	65	59	61	62	62	62	—	62
Trinidad (C.I.A.T.)	57	52	51	52	57	63	63	63	62	62	63	62	59	52	63
Ghana (W.A.R.I.)	54	51	55	58	62	68	69	61	71	70	65	61	62	54	66
Brasil (Urusuca)	76	72	72	70	77	70	69	74	68	76	61	77	72	68	75

* Tomado de Urquhart.

De acuerdo con los estudios hechos hasta ahora, la temperatura del aire junto con la cantidad de lluvia son los dos factores principales que controlan el crecimiento y desarrollo del cacao.

La magnitud de la temperatura atmosférica y el grado de sus fluctuaciones estacionales y diarias afectan marcadamente ciertos procesos fisiológicos de la planta de cacao, los cuales influyen grandemente en la magnitud de la cosecha.

La temperatura del suelo sigue las variaciones que sufre la temperatura ambiental; a cuarenta centímetros de profundidad, el suelo se puede considerar prácticamente como un medio isotermo y por esa razón su temperatura media mensual se podría tomar como el mejor definidor de las exigencias caloríficas del cacao. Desafortunadamente el microclima del cacaotal no está suficientemente estudiado.

El mismo hecho de que el cultivo comercial del cacao solo se pueda realizar dentro de la zona de latitud estrictamente tropical, indica que la temperatura debe ser de importancia primordial para el normal crecimiento de la planta. Por esta razón, si se desea tener la seguridad de una buena producción, se debe considerar la temperatura como factor decisivo, especialmente en áreas montañosas.

Los requisitos de temperatura bajo los cuales se debe cultivar el árbol de cacao para una buena producción, según Hardy, son:

1. Que la temperatura media anual no sea menor de 21°C.
2. Que la temperatura mínima media diaria no sea menor de 15°C.
3. Que la mínima absoluta no sea menor de 10°C.
4. Para una formación abundante de flores y de frutos, la temperatura no debe bajar de 22°C.
5. Para asegurar una brotación regular de yemas y de nuevas hojas, pero no en exceso, la temperatura máxima no debe subir de 28°C y el rango diario no debe ser mayor de 9°C.
6. Para un crecimiento rápido del tronco, la temperatura media debe ser mayor de 25,5°C.

Como se puede ver, para una producción permanente y remunerativa del cacao el "límite frío" es de 21°C como promedio de temperatura anual, con una temperatura media mínima diaria no menor de 15,5°C en los meses más fríos y la mínima absoluta en 10°C.

La razón principal para este "límite frío" es que aparentemente a temperaturas menores de 22°C, la formación de flores se inhibe y solamente se realiza en forma normal con más de 25,5°C. Por otra parte cuando la temperatura promedio del aire es baja, el crecimiento de la circunferencia del tallo se restringe grandemente y se favorecen la incidencia y la distribución de la pudrición negra de la mazorca (*Phytophthora palmivora*).

Pero además de ser extremadamente susceptible a las temperaturas bajas, el cacao tampoco crece satisfactoriamente cuando la oscilación de la temperatura diaria excede 9°C. Cuando estas oscilaciones son muy fuertes, se favorece una eclosión de yemas y brotación de hojas nuevas demasiado frecuente, lo que puede debilitar el árbol con el tiempo y hasta causarle la muerte; además se aumenta la susceptibilidad del árbol al ataque de enfermedades como la Escoba de Bruja (*Crinipellis perniciosa*) y a plagas como los "trips".

Por otra parte, el "límite frío" del cacao es difícil de fijar. Las consideraciones anteriores hacen pensar que éste debiera ser alrededor de 30°C, o sea 21 + 9°C; pero aún en ciertos países productores de cacao hay temperaturas mayores de 32°C que perduran durante largo tiempo.

A pesar de lo anterior, hay que tener en cuenta que las altas temperaturas favorecen la rápida descomposición de los residuos vegetales que se acumulan en la superficie del suelo; así por ejemplo en Java se ha demostrado que cuando la temperatura del aire sobrepasa los 25°C, la rapidez en la pérdida de materia orgánica excede a la rapidez de acumulación en el piso forestal.

La Tabla 10 muestra las temperaturas atmosféricas promedio, máxima y mínima en zonas cacaoteras típicas del mundo durante todos los meses del año, así como la diferencia entre la máxima y la mínima. La Tabla 11 presenta las fluctuaciones de la temperatura máxima y mínima anual en los mismos sitios, fluctuaciones que se pueden considerar como rangos aceptables.

Algunos de los rangos que presenta la Tabla 11 son superiores al límite crítico establecido de 9°C. Sin embargo, hay que tener en cuenta que todas estas temperaturas se refieren a las condiciones del aire dentro de las mallas de Stevenson y no dentro de los campos de cacao.

La Tabla 12 resume los principales efectos de la temperatura en los procesos fisiológicos del árbol de cacao. En general, los procesos más importantes afectados por la temperatura son: la formación de flores y de frutos, la brotación de yemas y hojas, el crecimiento del tallo y la formación de ramas.

a. Influencia de la temperatura en la formación de flores y frutos.

Es bien conocido el hecho de que las flores del cacao nacen en el tronco o ramas leñosas, pero siempre en correspondencia con una cicatriz.

El número de flores llama la atención por lo excesivo que resulta en comparación con los frutos que llegan a completa maduración. Se considera que solo de un dos a un cinco por ciento de las flores son fecundadas por polinización natural y se ha visto que la caída de los frutos jóvenes, alcanza un promedio de 69 por ciento en Trinidad y del 20 al 90 por ciento en Africa, lo que explica la escasez relativa de frutos en relación con el número de flores que se forman.

Las flores se abren a partir de los 20 días después de que se ha notado a simple vista la finísima granulación rosada que denuncia la presencia del capullo en el cojín floral; lo hacen normalmente en las primeras horas de la mañana, esto es, de las 6 a las 9, aunque en casos muy sombreados y días nublados se puede retrasar varias horas.

TABLA 10. Temperatura atmosférica en zonas cacaoteras típicas en grados centígrados (°C)*

Costa Rica (La Lola)													
	En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agos.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año
Prom.	23.8	24.0	24.5	25.2	26.1	26.1	25.6	25.9	26.2	25.6	25.1	24.7	25.2
Max.	28.0	28.4	29.3	29.9	30.4	30.6	29.6	30.2	31.2	29.9	29.1	28.4	29.5
Min.	19.5	19.5	20.0	20.5	21.8	21.6	21.5	21.5	21.2	21.2	21.0	21.0	20.8
Dif.	8.5	8.9	9.3	9.3	9.6	9.0	8.1	8.9	9.8	8.7	8.1	6.9	8.8
Trinidad (I.C.T.A.)													
Prom.	24.4	24.4	25.0	26.1	26.7	26.1	26.1	26.1	26.3	26.3	25.7	25.2	25.7
Max.	28.9	29.4	30.0	30.6	31.0	30.0	30.0	30.6	30.5	30.5	30.0	29.4	30.0
Min.	20.0	19.4	20.0	21.7	22.3	22.3	22.3	21.7	22.3	22.3	21.7	21.1	21.1
Dif.	8.9	10.0	10.0	8.9	8.8	7.7	7.7	8.8	8.2	8.2	8.3	8.3	8.9
Ghana (W.A.C.R.I.)													
Prom.	25.6	26.6	26.8	27.1	26.4	25.4	24.5	24.1	25.1	25.6	26.1	26.0	25.7
Max.	31.2	32.4	32.2	32.4	31.2	29.2	27.7	27.4	28.6	28.8	31.1	31.2	30.3
Min.	20.1	20.8	21.4	21.7	21.6	21.5	21.3	20.7	21.6	21.4	21.2	20.7	21.1
Dif.	11.1	11.6	10.8	10.7	9.6	7.7	6.4	6.7	7.0	8.4	9.9	10.5	9.2
Brasil (Urusuca)													
Prom.	21.5	21.2	22.4	23.4	24.8	25.5	25.6	25.7	25.4	24.2	23.7	27.7	23.8
Max.	26.5	26.2	27.5	28.4	28.8	30.3	31.4	31.4	30.6	29.5	28.7	27.0	28.9
Min.	16.5	16.3	17.2	18.4	20.0	20.4	19.8	19.9	20.1	18.9	18.6	18.3	18.6
Dif.	10.0	9.9	10.3	10.0	8.8	9.9	11.6	11.5	10.5	10.6	10.1	8.7	10.3

* Tomado de Urquhart.

TABLA 11. Datos promedios de la temperatura anual en los períodos más fríos y del rango mayor entre los promedios mensuales de las temperaturas máximas y mínimas diarias, dentro de las zonas típicas productoras de cacao de cuatro países donde se llevan estudios sobre ecología del cacao.*

Lugar	Media Anual	Nivel Inferior		Rango Mayor	
		Períodos más fríos	Resto del año	Períodos del mayor rango	Resto del año
Costa Rica	25,2	Ene - Mar. 24,1	Abr. - Dic. 25,6	Feb. - Abr. 9,2	May. - Ene. 8,4
Trinidad	25,7	Ene. - Mar. 24,6	Abr. - Dic. 26,1	Feb. Mar. 10,0	Abr. - Ene. 8,5
Ghana	25,7	Jun. - Sep. 24,8	Oct. - May. 26,3	Nov. - May. 10,6	Jun. - Oct. 7,2
Brasil	23,6	Dic. - Mar. 21,9	Abr. - Nov. 24,8	Jul. - Oct. 11,2	Nov. - Jun. 9,7

* Tomado de Hardy.

TABLA 12. Resumen de los datos sobre el efecto de la temperatura en los procesos fisiológicos del árbol de cacao.

Procesos fisiológicos	Requisitos de temperatura
1. Para el desarrollo general del árbol.	Se requiere una media anual de 21°C como mínimo, siendo óptima de 25°C. La temperatura mínima diaria no debe ser inferior a 15°C y la mínima absoluta no debe bajar de 10°C.
2. Para la formación de flores y frutos en abundancia.	La temperatura ambiente no debe bajar de 22°C.
3. Para una brotación regular de yemas y de nuevas hojas, sin que ocurra un exceso.	La máxima no debe subir de 28°C y la variación diaria entre el día y la noche no mayor de 9°C.
4. Para un crecimiento rápido del tronco.	Se necesita una temperatura media mayor de 25°C.

Esta apertura del capullo o antesis que se realiza por una sola hendidura, se termina en un período de seis a 10 horas en que la flor queda plenamente abierta; las anteras se hienden o rajan unas dos horas después de que el capullo ha empezado a extenderse. Así, prácticamente a medio día, el polen ha desaparecido de los sacos polínicos, porque ha caído sobre la cavidad de los pétalos, ha sido llevado por los insectos o quizá transportado por el viento, la lluvia y el rocío.

De esta manera, la temperatura obra de una manera directa sobre la apertura de las flores y sobre la actividad de los insectos polinizadores.

Para que la fecundación se lleve a cabo es necesario que el polen sea depositado sobre el estigma mediante agentes externos, ya que la estructura de la flor del cacao es entomófila; tiene una envoltura formada por los estaminodios que protegen el estigma y los pétalos dispuestos en forma de copa para proteger y recoger el polen caído por gravedad precisamente en el fondo de la concavidad; de este modo, el polen solo puede llegar a su destino transportado por insectos que busquen su alimento entre la pubescencia marginal e interna de los falsos estambres.

Una vez llegado el grano del polen al estigma, germina y emite el tubo polínico, que crece lentamente hasta que se produce la fecundación en las horas de la tarde, siguiendo el mecanismo usual de fusión del primer núcleo macho con la oosfera o huevo y del segundo núcleo con los núcleos secundarios en el centro del saco embrionario.

La flor que no ha sido fecundada dura poco; después de uno a tres días se cae, desprendiéndose el pedúnculo por un típico estrangulamiento, mediante un mecanismo que según Pound está relacionado con fenómenos de ósmosis en los tejidos.

Seis días después de la fecundación, los frutos alcanzan 11 milímetros de longitud; pero la primera división de la oosfera después de su fusión con el núcleo macho para formar el embrión, solo acontece aproximadamente 45 días después, cuando ya la pequeña mazorca que se ha formado por el crecimiento del ovario bajo el estímulo de la fecundación, alcanza aproximadamente cuatro centímetros de longitud.

Los frutos llegan a su madurez final después de un largo período de crecimiento que no coincide en duración a lo largo del año, ya que los frutos formados más tardíamente son los más precoces. Normalmente las mazorcas gastan un máximo de 190 días para llegar a la perfecta maduración, cuando se han formado en la primera estación lluviosa después de un período de reposo del árbol; son las mazorcas que se recolectan en la primera temporada de la cosecha. Las mazorcas que se forman en la segunda estación de lluvias de gran intensidad tardan un mínimo de 120 días para madurar; éstas son las mazorcas que se recolectan en la cosecha principal.

b. Influencia de la temperatura en la brotación de yemas y nuevas hojas.

Aunque el cacao no pierde su follaje por la influencia de las variaciones climáticas estacionales, éstas originan un ritmo desigual de crecimiento a lo largo del año y tienen además efecto sobre la distribución de floraciones y cosechas.

Cuando se presenta un período seco, hay una disminución del ritmo vital de la planta, cuyo vigor se recupera casi con violencia en cuanto llegan las primeras lluvias.

De esta forma, en casi todos los países cacaoteros aparecen dos épocas principales de crecimiento. Una de estas épocas ocurre cuando se inician las primeras lluvias y en ella se desarrollan todas las yemas principales, apareciendo entrenudos algo más largos; la otra época se presenta al final de la cosecha y es cuando los frutos reducen su ritmo de formación y crecimiento que hasta entonces absorbía todas las actividades nutricionales de la planta.

Un tercer período de brotación, menos importante, ocurre entre las dos etapas anteriores y en él se observan aparentemente, hasta seis u ocho brotaciones en total.

En resumen, el cacao brota durante el año varias veces, aunque débilmente, excepto en la época correspondiente al final de cosecha; en esa época ocurre la brotación más importante acompañada de una gran renovación de follaje, por lo que se acumulan entonces en el suelo la mayor parte de las hojas que caen durante el año.

El número de las brotaciones aparentes, aparte de las dos señaladas como principales, es diferente en los diversos individuos, ya que unos poseen mayor vitalidad, mientras que otros brotan con más dificultad. Este número de brotaciones aparentes también puede ser modificado por la variación y frecuencia de las lluvias y por los riegos, pero no lo es por las fertilizaciones.

Se ha encontrado un grado de correlación positiva altamente significativo entre la aparición de nuevas hojas y la variación diaria de la temperatura atmosférica cuatro semanas antes de que dicha aparición ocurra.

Se ha comprobado además que la apertura de yemas y el brotamiento de nuevas hojas del cacao tienden a ocurrir durante los períodos de temperaturas altas, pero particularmente cuando las diferencias entre las temperaturas máxima y mínima no son muy grandes. Una diferencia de 9°C entre las temperaturas máxima y mínima parece ser el punto crítico para la aparición de hojas nuevas.

Las brotaciones frecuentes también se pueden observar cuando los árboles están expuestos a los rayos directos del sol.

Durante las grandes brotaciones no son abundantes las flores en el árbol, hecho bien lógico ya que la actividad nutritiva de la planta no basta para atender a las dos misiones, que necesitan considerables principios alimenticios. Por estas circunstancias un excesivo número de brotaciones foliares del árbol de cacao no resulta conveniente, ya que si éstas ocurren con mucha frecuencia pueden conducir a la muerte de la planta.

c. Influencia de la temperatura en el crecimiento del tronco y formación de ramas.

En lugares donde la humedad del suelo es adecuada y uniforme durante todo el año, los aumentos en diámetro del tronco del árbol de cacao están determinados principalmente por las temperaturas altas; pero esta relación se puede modificar considerablemente cuando se presentan grandes fluctuaciones en la humedad del suelo.

Para un crecimiento rápido del tronco, la temperatura media debe ser mayor a 25°C .

4. LATITUD Y ALTITUD

Los factores principales que determinan la temperatura del aire en cualquier lugar de la superficie de la tierra son: la latitud y la altitud.

La zona húmeda especial donde la temperatura anual promedio es superior a 21°C (límite frío para el cacao), y donde ésta no sufre grandes variaciones durante el año, se extiende entre las latitudes 15°N y 15°S , al nivel del mar. En esta zona la diferencia de temperatura media entre los meses más calurosos y los más fríos es menor de $1,5^{\circ}\text{C}$ y coincide en mucho con la faja cacaotera.

En muchos países, como es el caso de la parte Sur de Méjico, Cuba y las Antillas Mayores, el cacao se cultiva comercialmente a latitudes mayores de 15° Norte o Sur. Sin embargo se considera que, con excepción de casos locales anormales, la temperatura de estos lugares es marginal para el cacao y en algunos casos puede ser el factor limitante de crecimiento para permitir una producción verdaderamente alta.

La temperatura disminuye regularmente con el aumento de altitud a razón de unos 2°C por cada 308 metros de elevación. Por lo tanto, al ascender una montaña cuya base está al nivel del mar, donde la temperatura promedio anual es de 27°C , el valor crítico se alcanzaría a unos 924 metros de elevación.

Corrientemente se dice que el cacao no se puede cultivar satisfactoriamente a altitudes mayores de 620 metros, aunque se admite que hay excepciones y en

este sentido se citan el Valle del Chamá con cerca de 1.200 metros, en Venezuela y el Valle del Cauca en Colombia, con 1.000 metros, sobre el nivel del mar.

A los casos anteriores vale la pena agregar el de que en ciertas pequeñas áreas del departamento de Caldas (Colombia) en la zona cafetera, donde se han establecido fincas cacaoteras a 1.300 metros sobre el nivel del mar, las plantaciones están rindiendo, con los híbridos actuales, hasta 1.350 kilogramos de cacao seco por hectárea al año.

Pero en general, se puede decir que el cacao crece desde los 30 hasta los 800 metros de altura sobre el nivel del mar, considerándose como óptimas las alturas comprendidas entre los 400 y los 600 metros.

5. VIENTOS.

El viento puede ejercer una influencia dañina en los cacaotales según su condición y su intensidad.

Los huracanes y los vientos muy fuertes pueden causar considerables daños mecánicos, ya que actúan rompiendo ramas, desarraigando árboles mal enraizados y volcando los árboles de sombra sobre los de cacao. Los vientos que soplan constantemente del mar cargados de cloruro sódico y otras sales también son dañinos porque pueden dar lugar a una acumulación de cloruros sobre las hojas y producir quemaduras en ellas.

Aún los vientos de escasa velocidad, cuando soplan persistentemente, tienen un efecto desfavorable en el clima interior de la plantación.

6. LUZ Y SOMBRA ✓

La intensidad de luz es quizás el factor más importante que se debe considerar al establecer una plantación de cacao, aunque sus efectos no han sido lo suficientemente estudiados. La medida de la intensidad de la luz se expresa comúnmente como porcentaje de la luminosidad total.

La incidencia luminosa diaria está afectada por las nubes, las lluvias fuertes, el polvo, y otros factores. Dentro de la plantación, la cantidad de luz se regula normalmente por medio de árboles de sombra, que sirven además para regular la temperatura media y para reducir sus fluctuaciones y el rango de la temperatura máxima.

En una plantación sin sombra, la fotosíntesis es mucho más intensa que en una sombreada y de acuerdo con algunos experimentos, la respuesta al abonamiento también aumenta generalmente conforme disminuye la sombra; esto parece ser cierto especialmente en el caso del nitrógeno. Sin embargo, en la mayoría de los casos, la eliminación total de la sombra de una plantación de cacao, o el establecimiento de nuevas plantaciones sin sombra artificial, puede resultar muy indeseable.

Trabajos experimentales realizados en Trinidad demostraron que en parcelas sin abonar, el mejor crecimiento relativo tenía lugar aproximadamente bajo un cincuenta por ciento de intensidad luminosa, o sea cuando la sombra del cacaotal alcanza a cubrir aproximadamente la mitad de la superficie total del cultivo.

Las conclusiones generales a las que se ha llegado, indican que las exigencias de sombra del cacao están relacionadas con la disponibilidad de elementos nutritivos del suelo. En un suelo pobre, el exceso de luz puede afectar el rendimiento adversamente, pero las cosechas más altas se deben esperar de suelos buenos que tienen sombra.

B. SUELO

El cacao, al igual que la mayoría de las plantas, requiere un suelo en que sus raíces puedan penetrar con facilidad; que tenga humedad durante la estación seca y permita la circulación del aire. Los principales elementos nutritivos necesarios tales como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, deben estar presentes en cantidad adecuada y en forma aprovechable.

En general, los terrenos con textura franca, franco-arcillosa y franco-arenosa, se consideran como buenos suelos para cacao.

En cuanto a los terrenos franco-arcillosos hay que tener en cuenta que tienen las propiedades físicas deseables para el cultivo del cacao pero que las arcillas más pesadas constituidas en muchos casos por el grupo de la montmorillonita, son en general inapropiadas.

Los suelos livianos, franco-arenosos, en los cuales la arena está agregada con arcilla y limo, pueden ser satisfactorios, pero siempre implican cierto riesgo cuando hay estaciones secas prolongadas, por su poca capacidad de retención de agua.

Los suelos aluviales por lo general ofrecen buenas condiciones y el hecho de que la plantación pueda correr el riesgo de inundarse por varios días y aún semanas, no la afecta si el agua se mueve lentamente.

La acidez (pH) recomendable de los suelos para el cacao es de 6,5 a 6,8.

1. Características del suelo determinantes de su productividad para cacao.

La característica de un buen suelo para cacao se define por su grado de productividad sin la incorporación de fertilizantes, pero naturalmente, con cuidados culturales adecuados y buen estado sanitario de la plantación.

Para Colombia se puede considerar que un suelo es bueno para cacao cuando produce 600 kilogramos como mínimo, teniendo en cuenta los costos de producción y considerando solamente variedades altamente productivas (híbridos y clones).

Dentro de una región de características climáticas homogéneas es posible que exista una correlación entre la productividad y las condiciones físicas y químicas de los suelos. Según Nosti, los factores del suelo que más influyen en la productividad del cacao son:

- a. La relación carbono-nitrógeno (C:N). Existe una gama óptima de variaciones de C:N por encima de la cual, la actividad reproductora y de crecimiento de la planta tiende a aumentarse, mientras que por debajo de ella hay un predominio de la actividad vegetativa sobre la reproducción. La relación C:N

debe ser como mínimo de 8,5 en suelos arenosos y de 9,5 en suelos arcillosos.

En los suelos buenos la relación carbono-nitrógeno (C:N) se muestra mayor que en los malos, al menos dentro de ciertos límites; pero esto sólo resulta cierto comparando suelos que se encuentren a escasa distancia unos de otros y bajo idénticas condiciones climáticas.

- b. La acidez. El pH más adecuado es el próximo a la neutralidad; los aumentos de la acidez hasta 5,5, no parecen causar perjuicio al árbol.
- c. La disponibilidad de fósforo. Este es el elemento cuya escasez se halla más frecuentemente asociada con los malos suelos para el cacao.
- d. La deficiencia de magnesio puede originar una producción baja; esto ocurre sobre todo en los suelos arcillosos con presencia de yeso y falta de aquel elemento.
- e. La materia orgánica se toma en consideración como indicadora de la productividad del suelo para cacao.

Por lo general, resulta acertado juzgar la fertilidad de una finca por el porcentaje de materia orgánica que posea la capa superficial del suelo; aquí abundan raicillas del árbol que se nutren del nitrógeno y elementos minerales aportados por la materia orgánica y por los nutrimentos extraídos desde capas más profundas del suelo por un sistema radical poco extenso en relación con el superior.

Este hecho influye sobre el tratamiento que se deba dar al suelo; así, donde el ciclo citado no es perturbado, se puede prescindir de los abonamientos, pero éstos son necesarios cuando, debido al descuido en la conservación del suelo o a causa de las labores, se altera la cantidad de materia orgánica disponible.

La importancia de la materia orgánica confirma lo imprescindibles que son el sub-horizonte A_{00} y el A_0 para buenas cosechas; en los suelos malos, la escasa materia orgánica se halla muy humificada.

- f. La estructura del suelo. Los casos extremos, esto es, tanto los suelos compactos como los arenosos, son tan desfavorables que imposibilitan el cultivo del cacao.

La excesiva compactación con la desaparición de la textura grumosa o granulación en la superficie priva de aireación al suelo y a las raíces, hace el drenaje muy deficiente y prácticamente imposibilita la vida a multitud de seres útiles al cacao; entre éstos se pueden mencionar las lombrices y larvas que facilitan la penetración de raíces, las algas y bacterias segregadoras de mucílago que mejoran la estructura y las micorrizas que facilitan la nutrición de la planta. Los horizontes A_{00} y A_0 llegan a desaparecer.

Estos suelos son escasos en forma natural, pero se pueden conformar así con el cultivo cuando tienen tal tendencia (el caso de arcillas puras no calizas). El rescate o mejora de tales suelos puede resultar antieconómico, pues hay que acudir al drenaje escalonado y sobre todo, a la incorporación de materia orgánica

y protección con una adecuada cubierta de material de desecho o "mulching".

En el otro extremo se hallan los suelos arenosos, cuyo rendimiento está en relación estrechísima con el régimen pluviométrico local, ya que no tienen poder retentivo y son pobres en nutrimentos. Su corrección es aún más costosa que la de los suelos compactos y se puede asegurar que no son aptos para el cacao.

C. ETAPAS DEL CACAOTERO Y SU RELACION CON LOS FACTORES ECOLOGICOS.

Desde que la plántula comienza a desarrollarse hasta cuando el árbol llega a la vejez, el cacao pasa por varias fases o etapas; en todas estas etapas las variaciones climáticas estacionales afectan grandemente la planta, ocasionando un ritmo desigual de crecimiento o de brotaciones que influyen especialmente en la distribución de las floraciones y las cosechas.

Tales períodos o etapas son sucesivamente los siguientes:

1. ETAPA DE SEMILLERO.

Durante su permanencia en el semillero, el cacao conserva su joven tallo sin ramificarse, lignificándose ligeramente en sus dos tercios inferiores. Este período se cumple en tres o cuatro meses, cuando el arbolito está listo para ser trasplantado al campo.

2. PERIODO DE FORMACION DEL ARBOL.

El arbolito trasplantado al sitio definitivo continúa creciendo sin interrupción y al año o antes, según la precocidad, se ramifica lateralmente para formar la armazón definitiva.

A los 18 meses aparecem ramificaciones secundarias y las primeras flores en el tronco. Estas no suelen ser fecundadas y por esta razón caen antes de marchitarse; aún en el caso que sean fecundadas, los frutos se desprenden en las primeras semanas.

3. PERIODO JUVENIL.

El crecimiento continúa y se forma un árbol de características adultas, a la vez que las cosechas van aumentando hasta alcanzar la plena producción; ésta ocurre a los siete años en los híbridos y entre los diez y los doce en las formas naturales.

4. PERIODO DE PLENA PRODUCCION.

El período de plena producción es muy variable pero se puede considerar como duración media normal hasta los 35 o los 40 años. La vida económica del

árbol se puede prolongar hasta los sesenta años o más, cuando los suelos y climas son ideales y el cultivo esmerado; en Trinidad se citan plantaciones con más de un siglo, naturalmente con replantes por enfermedad y otras causas.

De una manera directa o indirecta, los factores climáticos son los que actúan especialmente sobre la intensidad de la fructificación y sobre su duración.

Las lluvias y las temperaturas ejercen la principal influencia en las variaciones estacionales de la fructificación, pues son las lluvias fuertes de la primera estación y las temperaturas inferiores a 20°C las que retrasan las cosechas. Al parecer las sequías excepcionalmente largas, de cuatro o cinco meses, tienen el mismo efecto retrasante, según se ha observado en el Centro de Investigaciones del ICA en Palmira.

5. VEJEZ

La vejez del cacao se manifiesta por el agotamiento fisiológico del árbol, debido a causas internas o externas. En esta fase se observa una menor intensidad de las brotaciones, color más pálido de las hojas y sobre todo, un descenso gradual de la producción que no se restituye ni aún con fuertes aplicaciones de fertilizantes; esto hace necesario el reemplazo o replante de las plantaciones comerciales.

D. LA INCOMPATIBILIDAD Y LOS INSECTOS POLINIZADORES EN LA PRODUCCION DE CACAO

En Colombia el árbol de cacao es un continuo productor y por lo tanto, se pueden hacer recolecciones durante todos los meses del año.

Sin embargo, es conveniente observar que además de los factores ecológicos o ambientales estudiados, la producción puede ser anulada, reducida o limitada por otros dos factores importantes como son la incompatibilidad y la falta o escasez de insectos polinizadores.

1. INCOMPATIBILIDAD EN EL CACAO.

El polen de un árbol puede fecundar las flores de ciertos árboles, pero no de otros; igualmente flores que no se fecundan con su propio polen, pueden ser fecundadas por el de otro origen. Este es el fenómeno de la incompatibilidad, que en el primer caso parece obedecer a anomalías en los óvulos y en el segundo a aberraciones del polen.

Desde el punto de vista de la compatibilidad hay dos grandes grupos de cacaos: los autocompatibles, que producen flores fecundadas por el polen del mismo árbol y los auto-incompatibles cuyas flores en su mayor parte son fecundadas por polen de otros cacaos. Forzosamente este fenómeno conduce a un mayor o menor rendimiento de las plantaciones.

Según estudios adelantados en otros países, la incompatibilidad en cacao está determinada básicamente por la fórmula genética del polen y de los óvulos. Una causa secundaria podría ser el pH. Por otra parte, Cope demostró que el tubo polínico crece igual en los cruzamientos compatibles y en los incompatibles, lo cual determina que la incompatibilidad sucede dentro del saco embrionario.

Se ha llegado a sospechar, no sin fundamento para ello, que todas estas causas obedecen a factores genéticos y por lo tanto son heredables y perfectamente diferenciables de las causas de esterilidad por anormal constitución de ovarios y polen.

2. ACCION DE LOS INSECTOS POLINIZADORES.

La preponderancia de los insectos en la producción de cacao fue demostrada por Posnette, quien halló que en un árbol cuyas flores estaban protegidas contra el acceso de insectos, solo se fecundaban el 1,3 por ciento de ellas, mientras que en flores accesibles a los insectos, el porcentaje se elevó a 5,2.

Billes y Posnette estudiaron el problema de la polinización en Trinidad y Ghana y encontraron responsables del transporte del polen en cierta medida, a hormigas africanas del género *Crematogaster* y a las antillanas *Wasmannia*, que frecuentan las flores en busca de pulgones.

Los mismos autores atribuyen la mayor parte de las polinizaciones en Trinidad al ceratopogónido *Forcipomya* sp., cuya biología en relación con la cuestión estudiaron detenidamente. En Africa se han identificado el *F. ingrami* Carter, *F. ashantii* Ingrane et Mcfie, y *Lasiohelae nana* Mcfie, como los agentes más importantes de la polinización.

En las Antillas, Venezuela, Colombia y otros lugares existe como importante agente el pequeño Thrips *Frankliniella parvula*. En Colombia se encuentra el *Forcipomya* sp.

La polinización artificial en el cacao por su parte tiene enormes aplicaciones en la selección, en las hibridaciones intervarietales e interespecíficas, en los análisis genéticos de estirpes y en determinaciones de la compatibilidad o incompatibilidad de polen y óvulos. Esta polinización artificial es fácil de realizar, pues el polen del cacao es visible a simple vista y basta restregar reiteradamente contra el estigma de la flor madre las anteras sostenidas con pinzas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ALVIM, O. DE T. Correlação entre chuva, temperatura, produção do cacauzeiro. *In* Conferencia Interamericana de Cacao, 6a, Salvador, Brasil, 1956. (Conclusiones). 1957. p. 133-136.
2. ----- . Estudos sobre o crescimento do tronco de cacauzeiro. *In* Conferencia Interamericana de Cacao, 6a, 1956. Salvador, Brasil. 1957. pp. 83-87.
3. ----- . Factores controlam os lançamentos do cacauzeiro. *In* Conferencia Interamericana de Cacao, 6a, 1956. Salvador, Brasil. 1957. pp. 117-125.

4. HARDY, F. Manual de Cacao. Turrialba. Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 1961. p. 37-55.
5. NOSTI, N., J. Cacao, Café y Té. Barcelona, Salvat Ed. 1963. p. 11-22; 48-60.
6. URQUHART D., H. Cacao. Turrialba. Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O.E.A. 1963. p. 20-33.