

La sombra del cacao en relación con la intercepción de la lluvia*

FREDERICK HARDY**

ABSTRACT

The limit set by the supply of latent heat provided by incident solar radiant energy controls the total evaporation from a land surface. Consequently, the greater the evaporation of intercepted water that occurs during daylight the less the transpiration from a vegetation-covered area. Thus interception does not reduce soil moisture content. Irrigation requirements can be computed from meteorological data applied to appropriate formulae. Sprinkle watering produces greater growth of grass than land irrigation because it reduces water-strain within the plants. Overhead shade a) by intercepting rain showers, b) by reducing the amount of solar radiation and therefore lowering the air temperature and raising the humidity, and c) by cutting off wind diminishes the transpiration rate of cacao trees growing beneath and thus protects the leaves from damage by desiccation. Other factors, notably the physical features of the soil, are also involved, as well as the behaviour of leaf stomata, both of shade trees and of cacao trees. Diminished transpiration adversely affects mineral nutrition and results in reduced yield of cacao. — The author.

Introducción: Principios Fundamentales

La evaporación del agua de una superficie de tierra cubierta de vegetación está limitada principalmente por la cantidad de energía solar radiante recibida por unidad de área y por unidad de tiempo, y no por la clase y tamaño de la vegetación. La evidencia experimental de esta importante generalización la obtuvo primeramente H. L. Penman en Rothamsted en 1943, mediante el uso del aparato muy simple que se observa en el dibujo (Figura 1) que aparece a continuación (6).

Los dos cilindros, A y B, se conectan en su base por medio de un tubo. El cilindro A se llenó con suelo, y el cilindro B con agua a niveles variables, los cuales establecieron la profundidad de la capa freática en A. La boca de A se dejó abierta y la de B se cubrió con una tapa. Los cilindros se colocaron en campo abierto,

enterrándolos hasta que sus bordes quedaran al nivel del suelo. Muy cerca de donde ellos estaban se colocó un pluviómetro y un evaporímetro de tanque abierto.

El tamaño de los cilindros era de 6 pies de alto por 2½ pies de diámetro.

La evaporación del agua del suelo (cilindro A) se midió determinando cuánta agua era necesario agregar diariamente al cilindro B para que la capa freática en A se mantuviera a un nivel fijo. Cuando ocurrieron lluvias durante el día, se hicieron los ajustes correspondientes. Se hicieron mediciones con capas freáticas a diferentes niveles con sólo suelo y con suelo y vegetación. En una de las pruebas se aplicó fertilizante al zacate que crecía en el cilindro con suelo. Se obtuvieron los siguientes resultados:

1. *Suelo solo.* (Suelo franco arenoso). Durante el período con sol la evaporación prosiguió libremente con capas freáticas de profundidades menores de 12 pulgadas, pero cuando la capa freática alcanzaba profundidades mayores de 12 pulgadas la evaporación cesaba.

* Recibido para la publicación el 1º de Marzo de 1962.
Traducido del inglés por Edilberto Camacho, IICA, Turrialba, Costa Rica.

** Edafólogo, Departamento de Fitotecnia, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Turrialba, Costa Rica.

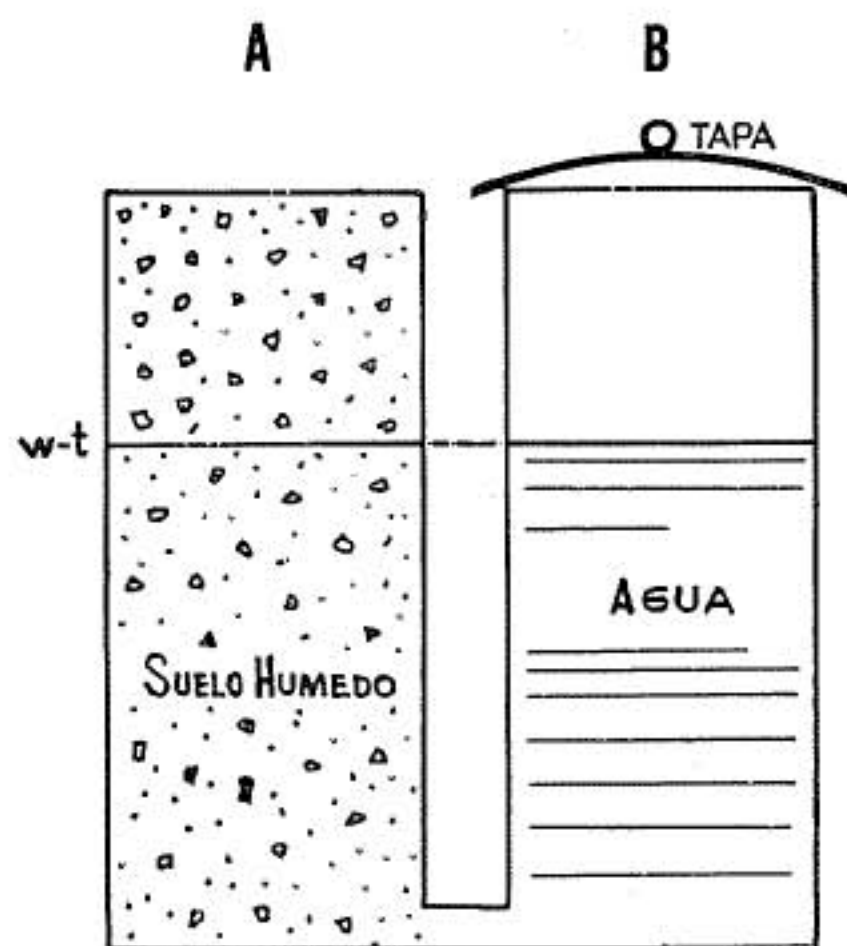


Fig. 1.—Aparato simple para determinar la evaporación de un área cubierta de vegetación. Cilindros de 6 pies de altura por $2\frac{1}{2}$ de diámetro. Según Penman, de Rothamsted.

2 *Suelo con plantas.* La evaporación continuó libremente cualquiera que fuera la profundidad de la capa freática, siempre que las raíces de las plantas se extendieran por todo el suelo del cilindro y traspasaran el nivel de la capa freática. La aplicación de fertilizante produjo más del triple de cosecha (en términos de peso seco), pero la cantidad de evaporación no se afectó, siendo siempre la misma cualquiera que fuera el tamaño de las plantas. (En experimentos en que se usa zacate, el campo en que se entierran los cilindros debe estar también cultivado con zacate, de la misma clase y tratado exactamente igual al que se usa en el cilindro. El zacate del campo debe extenderse hasta los bordes mismos de los cilindros).

Tales resultados experimentales muestran claramente que en un suelo sin vegetación: a) la evaporación ocurre libremente mientras la capa capilar alcanza la superficie del suelo, estableciendo así conexión con la capa freática; b) la evaporación cesa cuando la capa capilar deja de alcanzar la superficie del suelo, debido a que la capa freática ha descendido o a que retrocede conforme disminuye el agua; c) en un suelo cultivado la evaporación no se interrumpe sea cual fuere la profundidad de la capa freática, siempre que las raíces ocupen la capa capilar y lleguen hasta la capa freática. En este caso

la causa principal es la transpiración de las hojas; d) la densidad y tamaño de las plantas, es decir, la cantidad de materia seca producida, no tienen efecto sobre la cantidad de agua evaporada. Este último punto pone de manifiesto la falacia de la creencia generalmente aceptada de que los aumentos de crecimiento, provocados por el mejoramiento de la fertilidad del suelo, traen consigo el uso de una mayor cantidad de agua. Evidentemente no se produce una relación cuantitativa entre transpiración y cantidad de materia seca producida, y por lo tanto el término "tasa de transpiración" no tiene significado alguno. Los resultados obtenidos muestran también que la extensión del área foliar no tiene efecto sobre la cantidad de evaporación por unidad de área del suelo. Estas conclusiones son de fundamental importancia para la comprensión correcta de la utilización del agua por las plantas en crecimiento y del problema general sobre "qué sucede con la lluvia" que cae en un área de terreno.

Los experimentos de Rothamsted también mostraron que la velocidad de la evaporación desde una superficie bien humedecida cubierta con zacate es menor que la de una superficie de agua libre de un evaporímetro de tanque abierto. La explicación de este resultado es que la cantidad proporcional de energía solar reflejada por una superficie de zacate es mayor que la reflejada por una superficie de agua limpia. El valor aproximado de reflexión de una superficie cubierta de vegetación está entre 15 y 26 por ciento, mientras que en el caso de una superficie de agua es apenas de un 5 por ciento. (A la relación entre la radiación total y la reflejada se le designa con el nombre de "albedo" de la superficie). En Rothamsted se encontró que el valor real de la relación entre la evaporación de una superficie cubierta de zacate y una de agua variaba según la estación, siendo de aproximadamente 0.6 en invierno, 0.7 en otoño y primavera, y 0.8 en verano. La duración media de la luz solar durante estas estaciones fue de 9.5, 13.0 y 16.5 horas respectivamente (7). La menor evaporación de una superficie cubierta de zacate, en comparación con otra de agua, se atribuye en parte al cierre de los estomas durante la noche (7). En regiones tropicales es de esperar que esa relación varíe muy ligeramente, alrededor de 0.7 durante todo el año. Es decir, en los trópicos la cantidad de evaporación de una superficie cubierta con vegetación debe ser alrededor de las tres cuartas partes de la de una superficie de agua durante todo el año.

C. W. Thornthwaite ha adoptado la cantidad de transpiración de una superficie cubierta de zacate con una capa freática constante a 12 pulgadas de profundidad, como medida de la "evapotranspiración potencial" (3). Su magnitud varía de acuerdo con el clima, y por

* "Transpiration ratio": término con que se ha designado la cantidad de transpiración asociada con el aumento de una unidad de materia seca.

lo tanto difiere considerablemente en los distintos lugares de la superficie terrestre, así como durante los cambios estacionales que ocurren durante el año. La medida puede hacerse directamente por medio de evapotranspirómetros, los cuales varían desde los muy elaborados como el de Thornthwaite, hasta los muy simples que consisten simplemente en un cilindro con suelo al que se agrega agua diariamente para mantenerlo a la capacidad de campo.

Hay dos principios fundamentales que rigen el proceso de transpiración de las plantas (4, 5). Primeramente las raíces absorben agua líquida del suelo, la cual pasa luego a la atmósfera en forma de vapor. Este cambio del estado del agua requiere energía que proporcione el calor necesario para la vaporización. Segundo, hay que alejar de la vecindad de las plantas el vapor producido. Consecuentemente el proceso de transpiración requiere también un mecanismo de transporte y de mezcla para que la atmósfera que rodea las plantas admita el vapor. La fuente de energía es la radiación solar y el mecanismo de transporte y mezcla lo proporciona la turbulencia atmosférica. Por lo tanto, la utilización de agua por un cultivo está regida, a) por las condiciones climáticas prevalecientes y b) por la posición particular del sitio en la superficie terrestre, ya que la cantidad de energía solar que cae por unidad de tiempo sobre una unidad del área terrestre varía según la posición geográfica, es decir, con su latitud. La utilización del agua en parte depende también del grado de xeromorfismo de las plantas que constituyen el cultivo. Así por ejemplo, la caña de azúcar pierde agua mucho más fácilmente que la cabuya.

Irrigación

Para calcular la necesidad de agua de un cultivo, es decir, la cantidad de transpiración que tiene lugar por unidad de tiempo y unidad de área cultivada, debe evaluarse tanto la cantidad de energía solar incidente, como las condiciones climáticas. Según Penman eso se puede conseguir mediante el empleo de dos ecuaciones, la primera de las cuales evalúa la energía de que se dispone para la evaporación y el calentamiento, y la segunda evalúa la capacidad de evaporación de la atmósfera, e incluye la medición de la duración de la luz solar, la temperatura del aire, la humedad del aire (o temperatura del punto de rocío) y la velocidad del viento (4, 5). Estos factores corrientemente son registrados por instrumentos especiales que se mantienen en las estaciones meteorológicas. Penman ha formulado ecuaciones apropiadas para esos cálculos, y su aplicación práctica a problemas de irrigación de cultivos se está probando ahora (4).

El cálculo de las necesidades de agua mediante el procedimiento que acaba de mencionarse sólo es válido a) cuando hay un suministro adecuado de agua a las raíces de las plantas b) cuando la altura de las plantas es bastante uniforme, sea que se trate de zacate, cereales,

o árboles frutales o maderables c) cuando el cultivo sombrea por completo el suelo y d) cuando se trata de un cultivo verde, es decir, que está en crecimiento activo (4, 5). Penman da el nombre de "velocidad de transpiración" a la velocidad con que se usa el agua, y esa velocidad es aproximadamente la misma para cualquier clase de cultivo, en un mismo lugar y en un mismo tiempo, siempre que se llenen los requisitos que acaban de enumerarse.

Las oficinas meteorológicas de Gran Bretaña han establecido un servicio regular por medio del cual se ofrece a los agricultores datos sobre la evaporación máxima que ocurre cada quince días durante el verano; el cálculo se hace con base en los datos meteorológicos y con el uso de las fórmulas de Penman. Tal información sirve para determinar la cantidad suplementaria de riego que necesitan los cultivos en crecimiento, y hasta el momento el sistema ha tenido muy buen éxito.

En Estados Unidos, Thornthwaite y Mather (8) han propuesto un método similar al de Penman, que está demostrando ser de gran utilidad a los agricultores a la hora de planear sus "presupuestos de agua" con propósitos de irrigación (10).

Intercepción de la lluvia

Mediciones que se han hecho han demostrado que en general hasta un 20 por ciento del total de las lluvias que caen sobre un bosque es interceptado por el follaje de los árboles, y por lo tanto no llega al suelo (11). Resultados obtenidos en Africa Oriental han mostrado (13) que de la lluvia que cae sobre un bosque de ciprés el 17.2 por ciento es interceptado y que el 3.1 por ciento escurre por el tallo de los árboles, mientras que en el caso de bambú el 13.4 por ciento es interceptado y el 2.5 por ciento escurre por los tallos. En el Colegio Imperial de Agricultura Tropical de Trinidad pluviómetros colocados bajo árboles adultos de cacao ligeramente sombreados registraron datos que indican que alrededor del 34 por ciento del agua era interceptada por el follaje del cacao.

Considérense dos parcelas de terreno con suelo de idénticas propiedades físicas. Supongamos que una está desprovista de vegetación mientras que la otra está cubierta por bosque o por un cultivo arbóreo como cacao o café. Supongamos asimismo que inicialmente el contenido de humedad del suelo está a la capacidad de campo hasta la profundidad alcanzada por las raíces, y que en ambas parcelas la atmósfera tiene la misma capacidad de evaporación. Los suelos van secándose lentamente con la misma velocidad, uno por evaporación superficial y el otro por evaporación más transpiración. Supongamos ahora que una lluvia cae uniformemente en ambas parcelas y que en la parcela con vegetación el 20 por ciento del agua llovida es interceptada por el follaje y que esa cantidad de agua permanece en la

superficie superior de las hojas. Como la pérdida absoluta de agua debe ser igual en las dos parcelas, el contenido total de humedad en cada uno de los suelos, una vez que las hojas se hayan secado completamente será exactamente el mismo por cuanto durante el tiempo en que en la parcela con vegetación la lluvia interceptada estaba evaporándose, en la parcela sin vegetación se estaba evaporando una cantidad adicional o compensatoria de humedad del suelo, en términos generales equivalente a la cantidad de lluvia interceptada por la parcela con vegetación. Si en la parcela con vegetación no hubiera habido intercepción de la lluvia, esa misma cantidad de agua se hubiera perdido del suelo por causa de la transpiración.

Por otra parte, podría aducirse que el humedecimiento de las hojas evita que los estomas se cierren, permitiendo así una transpiración adicional superior a la que normalmente ocurriría si las hojas no se hubieran humedecido. Aparte de que en el caso del cacao los estomas se encuentran solamente en la cara inferior de las hojas, se cree que este efecto no es apreciable (7). Por lo tanto, no debe tomarse en consideración el punto de vista de que la intercepción disminuye la humedad del suelo en cantidad igual a la del agua de la lluvia interceptada, y consecuentemente debe aceptarse que la clase de vegetación que cubre (por completo) la superficie, no es de importancia en cuanto a determinar la pérdida total de agua por evaporación.

Donde la vegetación deja espacios libres, cubriendo solamente parte de la superficie del suelo, la cantidad real de evapotranspiración debe ser menor que cuando la vegetación cubre por completo la superficie, por razón del efecto de la capa de polvo que se encuentra en los espacios libres que quedan entre las plantas cuando la profundidad de la capa freática, si la hay, excede el espesor de la capa capilar.

Riego por aspersión

Thornthwaite hizo una interesante observación en un experimento con evapotranspirómetros de tanque. A uno de los tanques se le agregaba agua mediante aspersión en cantidad suficiente para reponer la pérdida por evapotranspiración durante el día y para que hubiera un pequeño sobrante que pasaba al drenaje en donde se le medía (7, 9). Se encontró que la evaporación de este tanque era un poco mayor que la de los demás tanques. Además, el crecimiento del zacate en este tanque con aspersión fue dos veces mayor. Se creyó que la razón era que con la aspersión se había reducido grandemente la tensión del zacate al agua, en comparación con las plantas que tenían que absorberla del suelo tomándola desde la capa freática. Aún cuando en el experimento de Thornthwaite el efecto sobre el crecimiento del zacate fue grande y de importancia práctica, el efecto sobre la transpiración fue relativamente pequeño, y podría tal vez explicarse por razón de que el humedecimiento de las hojas hace que los estomas permanezcan abiertos. La opinión generalmente aceptada, de

que una lluvia ligera que simplemente humedece el follaje pero que no llega hasta el suelo tiene poco o ningún valor en la economía del agua de las plantas, es aparentemente errónea (7). Por el contrario, una lluvia ligera es más beneficiosa al crecimiento, por cuanto reduce la tensión al agua, que la misma cantidad aplicada directamente al suelo, aún cuando en ambos casos la evaporación del área es sustancialmente la misma. Sin embargo cuando el agua se aplica a los cultivos por medio de aspersión, la operación requiere instalaciones de equipos caros y por lo tanto no siempre resulta económica.

A fin de determinar aproximadamente qué parte del total de la lluvia de Trinidad cae en forma de lluvias ligeras, los datos diarios de las tarjetas del pluviómetro instalado en 1929 en el Colegio Imperial de Agricultura Tropical fueron analizados (2) de acuerdo con una fórmula usada por W. G. Wells en Queensland, Australia (12). Los resultados se presentan en el cuadro 1 que se ofrece a continuación. Arbitrariamente se definen como "lluvias ligeras" las que caen a razón de 0.40 pulgadas o menos por hora, como "lluvias medianas" a las de 0.40 a 0.75 pulgadas por hora, y como "lluvias torrenciales" a las mayores de 0.75 pulgadas. Se presume que las lluvias ligeras cuando caen en bosque o vegetación densa son interceptadas por el follaje, y que las torrenciales se pierden en su mayor parte por escurrimiento. Se presume por lo tanto, que las lluvias medianas proveen la parte principal del agua que es absorbida por el suelo y utilizada por las plantas en crecimiento.

El cuadro 1 indica que de 67.9 pulgadas, promedio anual de lluvia en el área del Colegio, 34.1 pulgadas (50%) cae en forma de lluvias ligeras, 15.0 pulgadas (22%) como lluvias medianas, y 18.8 pulgadas (28%) como aguaceros torrenciales. Estos resultados implican que si todas las lluvias ligeras simplemente humedecieran las hojas de los árboles del bosque o los cultivados, tales como el cacao, entonces solamente la mitad del agua llovida llegaría hasta el suelo. Sin embargo, mientras está cayendo una lluvia ligera cesa temporalmente la pérdida de agua por transpiración, y por lo tanto el suelo no se seca tan rápidamente como el suelo que carece de vegetación y que recibe el doble de agua.

Efectos de la sombra

Uno de los efectos de la sombra, tal como se le usa comúnmente en plantaciones como las de cacao, es la intercepción de la lluvia. Presumiblemente las lluvias humedecen principalmente las hojas de los árboles altos de sombra más que el follaje de los árboles de cacao que crecen bajo ellos. Como en una plantación de cacao bien manejada el terreno debe estar completamente cubierto de vegetación, la pérdida de agua del suelo se produce enteramente por transpiración. Es difícil determinar la cantidad proporcional de agua transpirada por

Cuadro 1.—Análisis de las lluvias: Precipitación del Colegio Imperial de Agricultura Tropical, Trinidad (Promedios de 26 años).

CATEGORIA DE LA LLUVIA	No de lluvias		Precipitación Total		Duración media de las lluvias		Promedio Hovido	
	Estación Lluviosa	Estación Seca	Estación Lluviosa	Estación Seca	Estación Lluviosa	Estación Seca	Estación Lluviosa	Estación Seca
			Pulgadas		Minutos		Pulgadas	
Torrencial (0.75 Pulg/Hora)	32	5	16.7	2.1	22.5	20.0	0.52	0.42
Mediana (0.75-0.40 Pulg/Hora)	43	10	12.4	2.6	28.1	25.4	0.29	0.26
Ligera (0.40-0.00 Pulg/Hora)	253	109	25.7	8.4	42.3	36.4	0.10	0.08
Por estación	328	124	54.8	13.1	38.5	34.9	0.17	0.10
Por año	452		67.9		37.5		0.15	

La estación lluviosa se extiende de junio a diciembre (7 meses)

La estación seca se extiende de enero a mayo (5 meses)

los árboles de sombra y por los de cacao. Los factores que influyen en el secamiento atmosférico son: a) la temperatura del aire, b) la humedad del aire, y c) el viento. En las vecindades del follaje de los árboles de sombra esos factores tienen magnitudes diferentes a las que tienen en las vecindades de los árboles de cacao sombreado, tal como se indica a continuación:

a) *La temperatura del aire* es más alta en la superficie de los árboles de sombra, expuestos directamente a la luz solar, que en la superficie de los árboles de cacao. Se han encontrado diferencias hasta de 19°C (66 F). Una diferencia tan grande de temperatura resulta en un aumento de transpiración hasta tres veces mayor que la del cacao. Este aumento puede sin embargo compensarse con la reducción o detención de la transpiración que ocurre cuando las hojas de los árboles de sombra son humedecidas por una lluvia, ya que entonces la energía radiante incidente es utilizada en la evaporación del agua interceptada, reduciéndose o suspendiéndose temporalmente la transpiración. Es difícil de precisar la duración real de este efecto del humedecimiento, pero es obvio que en gran parte depende de las condiciones propias de la lluvia. Presumiblemente dicho efecto es sin embargo mucho mayor en los árboles de sombra que en los de cacao, los cuales no interceptan gran parte de la lluvia.

b) *La humedad del aire* es más alta en la atmósfera que rodea el follaje de los árboles de cacao, aproximándose al grado de saturación durante la mayor parte

del día y de la noche, que en la atmósfera alrededor del follaje de los árboles de sombra, los cuales tienen una humedad diaria mucho menor por estar expuestos a la luz solar directa, humedad que a menudo desciende hasta un 50 por ciento en las primeras horas de la tarde.

c) *El viento* varía mucho en su velocidad durante las diferentes horas del día. Este factor tiene efecto mayormente sobre la capacidad desecante de la atmósfera que rodea el follaje de los árboles de sombra, más directamente expuestos al aire en movimiento, que los de cacao que se encuentran bajo ellos. Las corrientes turbulentas de aire son mayores en los estratos superiores, ocupados por las copas de los árboles de sombra, que en los estratos inferiores, ocupados por las copas de los árboles de cacao. Los rompevientos laterales resultan más efectivos que los árboles de sombra para disminuir las corrientes turbulentas de aire en las plantaciones adultas de cacao. Las diferentes circunstancias acabadas de comentar conducen a la conclusión general de que, cuando la cantidad de agua en el suelo es adecuada y permanece constantemente a un nivel alto, una cantidad mayor de agua es transpirada por los árboles de sombra que por los de cacao. Cuando los árboles de sombra alcanzan su desarrollo completo y comienzan a desmembrarse dejando caer sus ramas, o cuando se defolían totalmente durante los períodos secos, dejan de proporcionar protección a los árboles de cacao, los cuales sufren a consecuencia de una excesiva transpiración, a menos que el suelo tenga una capacidad realmente alta y constante para proporcionar humedad.

Movimiento estomatal Un factor complicante que debe tenerse en cuenta en esta discusión es el comportamiento de los estomas de las hojas de los árboles de sombra y de cacao. Con respecto a los de cacao, se ha ofrecido evidencia que indica que los estomas se cierran tan pronto como el contenido de humedad de las hojas desciende del 95.5 por ciento de su valor máximo (1). Supongamos sin embargo, que el contenido de humedad del suelo permanece óptimo durante todo el año; en este caso no hay peligro de secamiento de las hojas y de cierre de los estomas en los árboles de sombra ni en los de cacao. Si la humedad del suelo fluctúa mucho, entonces el cierre de los estomas se convierte en un factor condicionante que puede adquirir considerable importancia en las relaciones hídricas de las hojas, aún cuando afecta en forma distinta a las hojas de los árboles de sombra y a las de cacao.

Observaciones hechas sobre el cierre estomatal en hojas de cacao han demostrado que el proceso no se afecta con la deposición de rocío ni con el humedecimiento de la cara superior de las hojas por la lluvia interceptada (1). No se sabe si los árboles de sombra comúnmente usados tienen el mismo comportamiento. Sin una investigación más completa acerca de las relaciones hídricas de los árboles que componen la asociación vegetal de una plantación de cacao con sombra, resulta imposible evaluar los efectos relativos a los diferentes factores comentados que controlan la transpiración. El equilibrio final entre estos factores dependerá claramente no sólo del grado de sombreamiento y de las condiciones de clima prevalentes, sino también del estado de la humedad del suelo, la cual varía dentro de amplios límites impuestos por la alternación de la estación seca y la lluviosa.

Efecto de la transpiración en la nutrición La absorción de los nutrimentos minerales del suelo por medio de las raíces y su transporte por los vasos conductores de los tallos y las ramas hasta las hojas y puntos de crecimiento están controlados principalmente por la transpiración de las hojas. Tal como hemos visto, en el caso del cacao, el grado de transpiración está determinado por el grado de sombreamiento. Una vez que llegan a las hojas los nutrimentos minerales actúan recíprocamente con los carbohidratos, que son manufacturados con agua y anhídrido carbónico absorbido en forma de gas a través de los estomas y bajo la influencia catalítica de la clorofila y la acción de la luz. La intensidad misma de la luz está controlada por la iluminación de las hojas, introduciendo así otro factor muy importante en el proceso del crecimiento. En lo que concierne a la transpiración, sin embargo, cualquier disminución en el grado de absorción de alimentos, la cual depende del proceso de transpiración, inevitablemente debe reducir el grado de crecimiento y reproducción, dando por resultado rendimientos disminuidos.

Aplicación foliar de fertilizantes La práctica de aplicar fertilizantes, tal como urea, en soluciones acuosas asperjadas directamente a las hojas, presenta otro problema fisiológico que comprende la intensidad de la transpiración así como el contenido foliar de humedad y el comportamiento estomatal. Las aspersiones podrían considerarse como lluvia interceptada, y en este sentido la facilidad con que las sustancias solubles entran a las hojas de las plantas asperjadas, como por ejemplo cacao, dependerá de las relaciones de humedad entre la planta y su ambiente atmosférico y agrológico. Teóricamente la mejor hora para asperjar sería al iniciarse la aridez del ambiente, pero antes de que el contenido de humedad foliar se haya reducido hasta el punto de provocar el cierre estomatal. Presumiblemente, para lograr una mayor penetración de los fertilizantes, la aspersión debería dirigirse mayormente contra la superficie inferior de las hojas por ser allí donde hay mayor abundancia de estomas.

Resumen

1. La evaporación total de una superficie del suelo está controlada por el límite impuesto por la cantidad de calor suministrado por la energía radiante solar. Consecuentemente, cuanto mayor sea la evaporación de agua interceptada durante el día, tanto menor será la transpiración de una área cubierta de vegetación. Por lo tanto, la intercepción no reduce el contenido de humedad del suelo.
2. Las necesidades de riego pueden calcularse con fórmulas apropiadas aplicadas a los datos meteorológicos. El riego por aspersión produce un mayor crecimiento del zacate que la irrigación al suelo por cuanto reduce la tensión del agua dentro de las plantas.
3. Al a) interceptar las lluvias, b) reducir la cantidad de radiación solar, bajando la temperatura del aire y elevando su humedad, y c) detener el viento, los árboles de sombra hacen disminuir la transpiración del cacao cultivado bajo ellos, protegiendo sus hojas contra la desecación. Otros factores también ejercen efecto en la transpiración, principalmente las características físicas del suelo y el comportamiento de los estomas de los árboles de sombra y de los de cacao.
4. Una transpiración disminuida afecta adversamente la nutrición mineral de las plantas y resulta en rendimientos bajos del cacao.

Literatma citada

1. ALVIM, P. de T. Stomatal opening as a practical indicator of moisture deficiency in cacao. Inter-American Cacao Conference, 7th. Palmira, Colombia, 1958. Bogotá, Colombia, Ministerio de Agricultura, 1960? pp 283-293.
2. HARDY, F. Seasonal fluctuations of soil moisture and nitrate in a humid tropical climate (Trinidad, B. W. I.). Tropical Agriculture (Trinidad) 23(3): 40-49. 1946.
3. MATHER, J. R. Manual of evapotranspiration. Seabrook, New Jersey, Johns Hopkins University, 1950. 29 p. (Supplement to Interim Report no 10) Micrometeorology of the surface layer of the atmosphere. April 1, 1950 - June 30, 1950).
4. PENMAN, H. L. Experiments on irrigation of sugar beet. Journal of Agricultural Sciences 42(3):286-292. 1952.
5. ———. Irrigation needs. Soils and Fertilizers 17(5): 399-401. 1954.
6. ———. Physics in agriculture. Journal of Scientific Instruments 25(12):425-432. 1948.
7. SCHOFIELD, R. K. Control of grassland irrigation based on weather data. In International Grassland Congress, 6th, State College, Pa., 1952. Proceedings Washington, D. C.? 1953? v 1, pp 757-762.
8. THORNTHWAITE, C. W. & MATHER, J. R. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Centerton, N. J., Drexel Institute of Technology, 1957. 311 p. (Publications in Climatology, v. 10, no. 3).
9. ——— & MATHER, J. R. The role of evapotranspiration in climate. Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Ser. B: Allgemeine und Biologische Klimatologie 3:16-39. 1951.
10. ——— & MATHER, J. R. The water budget and its use in irrigation. In U. S. Department of Agriculture. Water, Yearbook of Agriculture, 1955. Washington, D. C., U. S. Government Printing Office, 1956. pp 346-358.
11. VAGELER, P. An introduction to tropical soils. Translated by H. Greene. London. MacMillan. 1933. p 107.
12. WELLS, W. G. Annual progress reports of the Experiment Stations of the Empire Cotton Growing Corporation 1941-42, 1942-43. p 7.
13. WIMBUSH, S. H. Rainfall interception by cypress and bamboo. East African Agricultural Journal 13(2): 123-125. 1947.