

# RESULTADOS PRELIMINARES SOBRE ESTUDIOS DE EVAPOTRANSPIRACION DEL CACAO

CRISTOBAL NAVARRETE S. \*

## I - INTRODUCCION

Mucho se ha hablado de la Industria Cacaotera en el Valle del Cauca. La mayoría de los técnicos extranjeros y algunos nacionales dicen que el cacao crece en esta región en una zona marginal, debido principalmente a las condiciones climáticas de la región y a los altos precios de las tierras. Todos los técnicos extranjeros han sugerido que los bajos rendimientos se deben, en parte, a una deficiencia de agua para el cacao, *Theobroma Cacao* (L). Se basan para afirmar lo anterior en la comparación entre la precipitación pluviométrica de zonas típicamente cacaoteras del mundo, con la del Valle del Cauca y otras similares de Colombia. Según estos conceptos, en el Valle del Cauca el cacao necesita agua suplementaria para producir mejor cosecha.

Hasta dónde deja de suplir el agua de lluvia las necesidades que por este nutriente tiene el cacaotero? Sólo hay una manera de saberlo, y es conducir investigaciones tendientes a determinar los requerimientos de agua por dicha planta. Muchos métodos se han ideado para buscar esos requerimientos en los cultivos, basados unos en las deficiencias que presentan las plantas por la falta de agua (síntomas de marchitamiento) y otros en las determinaciones de la humedad en el suelo. Desafortunadamente, ninguno de estos métodos da el dato que se necesita. Sólo el método que se basa en la información climático-fisiológica, da la respuesta deseada, sobre la cual los ingenieros agrícolas deben basar cualquier programa de riegos.

---

\* Trabajo de Tesis presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

En este trabajo, tendiente a buscar los requerimientos de agua por el cultivo del cacao, se están usando las técnicas de Evapotranspirometría, mediante las cuales se puede medir la Evapotranspiración potencial de una superficie cultivada.

La información consignada en este estudio es y debe considerarse preliminar; ya que solo se han tenido en cuenta tres meses de observaciones, se desea, por ahora, introducir en Colombia una nueva modalidad de enfocar el problema de los estudios del agua en relación con las plantas, la cual dará una base científica al Ingeniero Agrícola que quiera establecer o iniciar proyectos de irrigación.

Nada de lo expresado es original, excepto la adaptación, después de un meditado estudio de estos métodos al cultivo del cacao, un cultivo perenne que crece bajo sombra. Este tipo de estudios sólo se ha hecho, hasta donde llega la información del autor, con cultivos de hortalizas, pasto y caña de azúcar. Además, se han diseñado los evapotranspirómetros especiales para cacao, basados en estudios del sistema radicular del cacaotero y de los muchos modelos que se usan en las diferentes estaciones de evapotranspirometría.

Sería conveniente que en las Facultades de Agronomía del país, se introdujera el estudio de estos métodos en los cursos de Fitofisiología y de Riegos, ya que se podría pensar que la irrigación no es sino el montaje de grandes aparatos, cálculo de aguas, de represas y la aplicación del agua al terreno. Un programa de riegos que utilice mal o que no utilice el concepto de las necesidades de agua por los cultivos, será un proyecto más donde se perderán, necesariamente, millones de pesos que salen del contribuyente. Ninguno de los métodos hasta ahora ensayados, ha dado una respuesta científica tal como lo hace el método de evapotranspirometría en la determinación de las necesidades de agua por los cultivos.

El estudio es de mucha importancia, porque a más de introducir en Colombia una nueva manera de apreciar el problema de las lluvias, está descubriendo nuevas modalidades y conclusiones en la misma técnica de la evapotranspirometría. Esto se debe a la naturaleza del cultivo y a que crece bajo sombra. Se intentará además, buscar los requerimientos por tener estos árboles un gran desarrollo y un sistema radicular no calculado todavía. Este nuevo aspecto podría dar la respuesta definitiva.

En los cultivos que crecen bajo sombra, hay competencia por nutrientes y por agua. La investigación nunca termina y esta es la razón de su existencia indefinida.

## REVISION DE LITERATURA

### IMPORTANCIA DEL AGUA EN LAS PLANTAS

El agua es el elemento más importante para las plantas, ya que ella representa generalmente más de la mitad de su peso seco. Se encuentra compuesta de los elementos hidrógeno y oxígeno, en la relación aproximada de dos átomos de hidrógeno por uno de oxígeno. En la misma forma que el carbono es el elemento clave en la química orgánica y en la bioquímica, el agua lo es en los procesos físicos de las plantas. Es el solvente en el cual los nutrientes y los alimentos de las plantas son absorbidos y translocados y aquel en el cual ellos reaccionan (Loomis y Shull 1937: 7). El agua, según Curtis y Clark (1950: 253) a través de los procesos de ósmosis e imbibición es responsable por la turgencia de las plantas y suministra los medios por los cuales pueden ejercer la fuerza que es necesaria para los procesos de crecimiento y para varios movimientos. El agua forma una parte importante del sistema protoplasmático y se puede considerar que es el nutriente del cual se forman los alimentos.

### METODOS PARA MEDIR LOS REQUERIMIENTOS DE AGUA POR LAS PLANTAS

Muchos métodos han sido ideados por los hombres de ciencia tendientes a buscar los requerimientos y usos de agua por las plantas. En esta revisión se sintetizan solamente algunos. Thornthwaite (1956: 1), en una crítica a los varios métodos usados, anota que uno de los primeros ensayos practicados para determinar el uso de agua, fue el de quitar las hojas o ramas de una planta, dejarlas secar y pesarlas a continuación para saber cuánta agua habían perdido. Este método, en realidad, aunque usado por muchos, no dá resultados verdaderos. En relación con lo anterior, Curtis y Clark (1950: 259), anotan que estos cambios en porcentaje de agua, se deben, en parte a cambios en el contenido de agua y en parte son debidos a cambios en el contenido de materia seca, como consecuencia tanto de la fotosíntesis como de la respiración y la translocación.

Otro de los métodos, según el mismo Thornthwaite (1956: 1), consiste en colocar plantas en recipientes cerrados y medir la humedad que se acumula en el aire confinado. Este método general, de acuerdo con Bonner y Galston (1952: 103) fue usado primero por su inventor, el fitofisiólogo francés Gueffard en el año 1748; agregan los dos últimos autores, que en este experimento, la atmósfera que rodea las hojas se encuentra más húmeda que la exterior. Se puede decir, junto con Thornthwaite (1956: 1), que todos los métodos enumerados ante-

riormente son muy artificiales y el generalizar, basándose en ellos, ha dado lugar a muchos errores.

Existen dos métodos más para medir los requerimientos de agua de las plantas. Uno es el que hace uso de la técnica del Evapotranspirómetro, objeto de este trabajo, y que será discutido con algún detalle más adelante. El otro método, por transferencia de vapor, ha sido desarrollado para medir los requerimientos de agua de un campo u otra superficie cualquiera, con vegetación (Thornthwaite 1956 : 2). Este método, de acuerdo con Thornthwaite y Mather (1955 : 14), se basa en la medida de la gradiente del vapor de agua en la capa de aire cercana al suelo y la determinación de la intensidad de la transferencia turbulenta en esa capa de aire. Este sistema (Thornthwaite 1956 : 2) no es fácil ni de entender, ni de poner en práctica, ya que requiere medidas físicas más exactas de las que normalmente se hacen y según Thornthwaite y Mather (1955 : 14) aún no se tienen los instrumentos deseables para tomar esas medidas. Además, agregan los dos últimos autores, la teoría de la transferencia turbulenta no se encuentra ampliamente desarrollada.

#### LA EVALUACION DEL CONCEPTO DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

Uno de los métodos más aceptables para medir los requerimientos de agua por las plantas, es el que se basa en la medida de la Evapotranspiración. Thornthwaite (citado por Ramage 1954 : 112), define la evapotranspiración como "la evaporación de la superficie del suelo, combinada con la transpiración de las plantas. Representa ella el retorno del agua a la atmósfera, lo contrario de la precipitación". El mismo Thornthwaite (1954 : 201), da dos tipos de Evapotranspiración: la potencial y la actual. Dice además que "la evapotranspiración potencial es la pérdida de agua que ocurre si el suelo siempre se encuentra en su capacidad de campo y que la evapotranspiración actual puede ser igual a la potencial en climas lluviosos, pero es a menudo más pequeña debido a una deficiencia de agua de lluvia en ciertas épocas del año".

Mediante el concepto de evapotranspiración se puede saber la suerte que corre el agua en los suelos. Thornthwaite y Mather (1955 : 9) dicen que parte de la humedad que se almacena en los suelos durante las lluvias, se evapora desde la superficie del suelo y vuelve al aire y otra parte es aprovechable por las plantas. Una cantidad considerable del agua que entra a la planta a través de sus raíces, es

transpirada más tarde por las hojas y tallos. El agua de la zona radicular, la que satura el suelo y la que abastece las corrientes subterráneas, dependen en grado sumo de la relación que existe entre la precipitación (que añade agua) y la evapotranspiración, que la remueve. Puesto que la precipitación y la evapotranspiración son debidas a cosas diferentes, no tienen el mismo valor ni en cuanto a la cantidad ni en cuanto a la distribución durante el año. Según Thornthwaite y Mather (1955:17), la evapotranspiración depende de los siguientes factores: a) Del suministro externo de energía a la superficie evaporante, principalmente por la radiación solar; b) De la capacidad del aire para remover el vapor, ejemplo, de la velocidad del viento, estructura turbulenta y el descenso en la concentración de vapor la altura; c) La naturaleza de la vegetación, especialmente en cuanto a su capacidad para reflejar la luz incidente, la habilidad que tenga para cubrir el suelo, y la profundidad de su sistema radicular, y d) La naturaleza del suelo, especialmente la cantidad de agua aprovechable en la zona radicular.

#### INSTALACION Y OPERACION DE LOS EVAPOTRANSPIROMETROS

Como se manifestó anteriormente, uno de los métodos más exactos para determinar los requerimientos de agua por las plantas es el de la Evapotranspiración. Para lograr estas medidas se hace uso del instrumento que se conoce como Evapotranspirómetro. A continuación se explicará en qué consiste dicho instrumento.

Thornthwaite (1954: 200) dice lo siguiente, al referirse a estos instrumentos para medir la evapotranspiración: "En 1945 diseñé un instrumento, el cual fue puesto en servicio por la Comisión de Irrigación de México al año siguiente. Fue llamado Evapotranspirómetro. Se parece a un lisímetro en algunos aspectos, pero está diseñado para medir un elemento de clima más bien que una propiedad del suelo". Según el mismo Thornthwaite (1956 :2), un evapotranspirómetro, consiste en un amplio tanque construido de tal manera que las plantas puedan crecer en él como lo hacen en el campo. Las dimensiones de este tanque, son variables, y están de acuerdo con la naturaleza del cultivo. Un evapotranspirómetro según Thornthwaite (citado por Mather 1954a :7), consiste esencialmente en tres partes: a) un tanque hecho en el campo, b) suministro de agua y c) un tubo que sirve de drenaje al exceso de agua.

El material con que se hacen los tanques es muy variable. Así, Mather (1954 :7) recomienda que se hagan de lámina galvanizada y

pintados con una pintura anticorrosiva; un sistema económico, que tiene mucho uso en las diferentes partes del mundo donde se conducen estudios de evapotranspiración, es el recomendado por Gibert (1954 :52), el cual consiste en enterrar canecas de gasolina de 55 galones; Ramage (1954 :113), en la península de Kowloon ha usado tanques de ladrillos recubiertos con cemento impermeabilizante.

En general, se puede decir que cualquier material puede ser usado en la construcción de los tanques, si ese material es impermeable o se puede hacer impermeable.

La operación de los tanques es muy sencilla. Se les llena con suelo después de haber puesto en ellos una capa de cascajo. Se permite que crezca en ellos el vegetal con el cual queremos trabajar y todos los días, cuando no llueva en las 24 horas anteriores, se aplica en la superficie una cantidad fija de agua; si llueve, no se aplica agua. El agua que percola a través de los tanques en 24 horas, se recoge en la caneca de drenaje, se mide su volumen en el momento de la observación, se completa el volumen requerido de aplicación y se vuelve a aplicar a los tanques. La evapotranspiración potencial, es la diferencia entre el agua llovida más la aplicada menos el agua recogida en las canecas de drenaje (Guerrini 1954 :101).

Los evapotranspirómetros deben estar localizados en un campo con vegetación similar a la que se encuentra dentro de los tanques. Esta área buffer debe ser irrigada en la misma forma en que lo son los tanques bajo experimentación (Mather 1954b :178). Según el mismo Mather (1957 :1), el tamaño del área buffer depende de la humedad del clima y debe ser más grande en climas secos que en los húmedos, ya que el propósito de esta área es eliminar los efectos de las corrientes de aire seco sobre los tanques húmedos. Sin embargo, agrega Mather, el tamaño exacto es una cuestión que aún no se ha dilucidado y merece ser investigada.

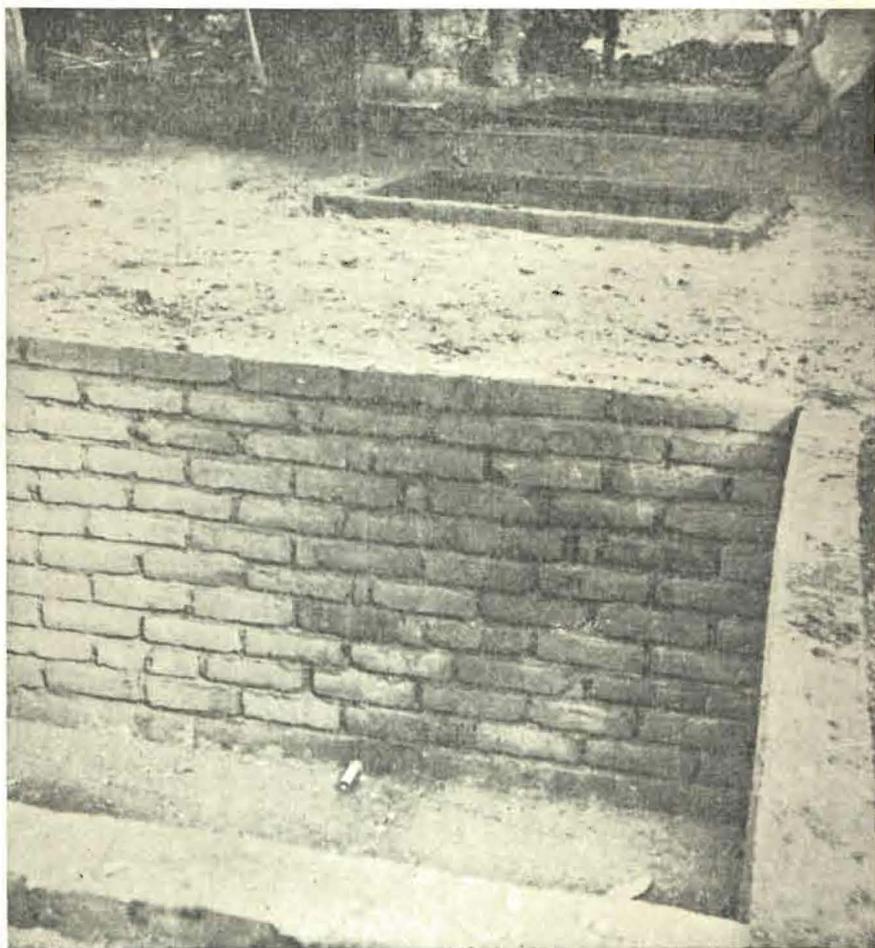
#### MATERIALES Y METODOS

En este capítulo se transcribe todo lo relacionado con los métodos usados en la determinación de la evapotranspiración potencial del cacao en la zona de Palmira (Colombia).

#### EL CLIMA DE PALMIRA

De acuerdo con Ibarra (1956 :24), el clima de Palmira se puede clasificar como Tropical Húmedo de la variedad Sudanesa, por

presentarse dos períodos secos y dos lluviosos. Estos dos últimos se presentan porque las lluvias son originadas debido al calentamiento del suelo, que trae consigo mayor cantidad de evaporación, y a las fuertes corrientes ascendentes; dichos períodos coinciden con las épocas de los equinoccios. En Palmira la temperatura media anual es de  $23.99^{\circ}\text{C}$  con una amplitud de  $11.89^{\circ}\text{C}$  y las mínimas medias de  $17.00^{\circ}\text{C}$ . No obstante las temperaturas máximas extremas que se presentan, este clima es "Caliente Moderado" debido a los vientos Foehn



(Foto Angel Ibarra G.)

FIGURA 1. - Evapotranspirómetros para cacao. Esta fotografía muestra un tanque con su tubo de  $\frac{3}{4}$  de pulgada para drenaje. Las paredes y el fondo fueron recubiertas posteriormente con una mezcla que tenía cemento impermeabilizante y después recubiertas con pintura asfáltica.

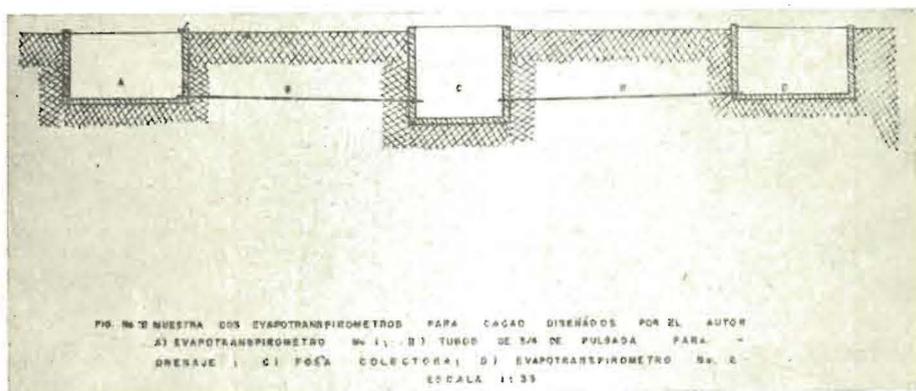
que soplan en la dirección NW, procedentes de la Cordillera Occidental de los Andes, los cuales modifican la temperatura, especialmente en los meses de julio a septiembre y de diciembre a marzo.

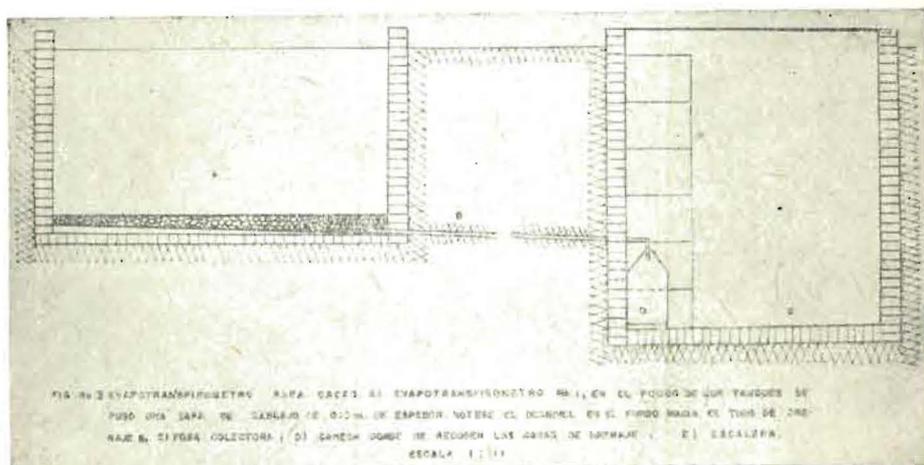
Según el mismo Ibarra, el clima de Palmira también se puede clasificar como Semi-Húmedo debido a las fluctuaciones de la humedad relativa, que varía desde un máximo de 100% hasta un mínimo de 48% durante el día, lo cual mantiene el ambiente con cierto grado de semi-humedad, dando como resultado que su promedio anual sea de 75.60%. El régimen pluviométrico de Palmira es el tipo clásico Intertropical, en el cual las lluvias están comprendidas entre 1.000 y 1.200 mm. abarcando dos épocas, la primera de marzo a mayo y la segunda de octubre a noviembre. El promedio normal anual de precipitación es de 1.008,46 mm. y 111 días de lluvia. Debido a la condensación del vapor de agua que es alta, la nubosidad de Palmira se clasifica como semi-cubierta por tener 5/10 de cielo cubierto y tener un promedio de 6H-10' de brillo solar.

#### INSTALACION DE LOS EVAPOTRANSPIROMETROS

Revisada la literatura sobre construcción de evapotranspirómetros para cacao, no fue posible encontrar ningún tipo especial, ya que hasta ahora, no se habían hecho estudios de evapotranspiración para dicha planta. Existen varios modelos de evapotranspirómetros, de los cuales se tomó la idea para diseñar uno especial para estudiar la evapotranspiración en el árbol del cacao.

Para estos estudios de evapotranspiración, se están usando cuatro tanques hechos con ladrillo y posteriormente recubiertos con una mez-





cla de arena y cemento impermeabilizante. Una vez secas las paredes y el fondo, los tanques fueron cubiertos a soplete con pintura asfáltica. Este proceso se repitió a los tres días. La figura 1 muestra los tanques ya terminados.

Los evapotranspirómetros tienen las siguientes dimensiones: 2 x 2 metros en la parte superior y 1.20 m. de profundidad. Se adoptó esta profundidad porque los estudios anteriores realizados por el autor, demostraron que el cacaotero, en la región del Valle Geográfico del río Cauca, parece no profundizar sus raíces más de 1.00 m.; esta afirmación se basa en un promedio de 20 sistemas radiculares estudiados. Cada tanque sobresale 0.10 m. del suelo, como puede apreciarse en la figura N.º 1. Un quinto tanque, de 1.5 m. x 1.5 m. en la parte superior y 1.8 m. de profundidad, sirve de fosa colectora. Este tanque fue construido del mismo material usado en los evapotranspirómetros.

Los evapotranspirómetros y la fosa colectora, se encuentran conectados por medio de un tubo de  $\frac{3}{4}$  de pulgada por 4 m. de longitud, el cual sirve de drenaje y se localizó lateralmente, (Figura N.º 3) y no en el centro de los tanques como se hace en la mayoría de los evapotranspirómetros. Los tanques tienen en el fondo un desnivel de 3 centímetros, en todo sentido, hacia el tubo de drenaje. La Figura N.º 2 muestra dos de los cuatro evapotranspirómetros con fosa colectora y tubos de drenaje. En la Figura N.º 3 se muestra un detalle de un evapotranspirómetro y la fosa. Como puede apreciarse, este tanque



(Foto Angel Ibarra G.)

FIGURA 4. - Muestra la forma como se obtuvieron los cacaoteros para el transplante. El diámetro del cespedón es de 0.70 m. y 0.60 m. de altura

tiene escalera para descender; también se muestran las canecas de 22 litros de capacidad que recogen el agua de drenaje.

#### OPERACION DE LOS EVAPOTRANSPIROMETROS

Una vez terminado el proceso de recubrimiento de las paredes y fondos de los evapotranspirómetros con la pintura asfáltica, se llenaron con agua; en la fosa colectora se obtuvo la misma cantidad de

agua aplicada. En seguida se procedió a la preparación de los evapotranspirómetros para su uso, lo cual se hizo en la siguiente forma: se puso una malla de cobre en la boca de los tubos de drenaje que se encuentran en los evapotranspirómetros y una capa de cascajo de 0.10 m. de espesor en el fondo de cada uno de ellos; encima de esta capa de cascajo se añadió una de suelo de 0.50 m. y sobre esta última se puso el cespedón que tenía el árbol de cacao, el cual medía 0.70 m. de diámetro y 0.60 m. de espesor. Una vez hecho lo anterior, se completó el volumen de los evapotranspirómetros con suelo,



(Foto Angel Ibarra G.)

FIGURA 5. - Evapotranspirómetros para cacao. Se muestra en detalle uno de los árboles transplantados a los tanques. A la izquierda y al fondo, se pueden ver dos cacaoteros en los evapotranspirómetros.

procurando que el suelo en los tanques quedara al mismo nivel del de afuera. El trasplante se hizo del 3 de enero de 1958 y la información para medir la evapotranspiración se comenzó a tomar el 4 de febrero. La Figura N° 4 muestra la forma como se adquirieron los árboles de cacao para ser transplantados. Estos fueron asperjados durante ocho días, dos veces diariamente, con una solución de azúcar al 5% por peso. Ninguno de los árboles sufrió por motivo al trasplante ni hubo marchitamiento alguno, como lo muestra la Figura N° 5, tomada ocho días después del trasplante. Los evapotranspirómetros se localizaron en medio de una zona buffer de 50 x 50 m. Esta zona se encuentra sembrada también con árboles de cacao del clon 6 de 3½ años de edad, en una plantación normal de cacao de la Estación Experimental de Palmira. La Figura N° 6 muestra la disposición de los evapotranspirómetros en la zona buffer. Esta zona se riega en la misma forma que los tanques.

A los evapotranspirómetros se les aplica una cantidad de agua, todos aquellos días en los cuales no haya llovido por lo menos 4 mm. en las 24 horas anteriores; si llueve una cantidad superior, no se aplica agua. El agua que percola a través de los tanques en 24 horas, se colecta en las canecas que se encuentran en la fosa colectora (Fig. N° 2). La evapotranspiración potencial (Guerrini 1954 :101) es la diferencia entre el agua llovida más la aplicada, menos el agua recogida en las canecas de drenaje. Se aplica la fórmula que trae Ramage (1954 :113) como sigue:

$ETP = LI + A - R$ , en donde ETP es igual a la evapotranspiración potencial; LI el agua llovida; A el agua aplicada y R el agua recogida en las canecas. En esta forma se mide la evapotranspiración potencial.

Junto a los tanques se tienen aparatos meteorológicos para las observaciones de temperatura, humedad, viento, radiación solar y precipitación. La evapotranspiración será relacionada con algunas de esas observaciones.

#### RESULTADOS EXPERIMENTALES

En el presente trabajo sólo se dan los resultados para la evapotranspiración potencial de los meses de febrero, marzo y abril. Estos resultados tienen que considerarse, necesariamente, como preliminares por la naturaleza del estudio y porque hace poco tiempo se inició esta investigación, ya que se empezó el tres de enero de 1958 cuando los cacaoteros fueron transplantados a los evapotranspirómetros y la in-

TABLEA N<sup>o</sup> 1 - Resumen de las condiciones climáticas y evapotranspiración potencial (ETP) diarias para el cacao.

Palmira, Febrero 1958

Días	ETP (mm.) (1)	Precipitación (mm)	T e m p e r a t u r a (2)			Horas de Sol Total	Velocidad Max. viento K/Hora	Humedad relativa (%) (3)
			Máxima	Minima	Media			
1		0.0	34.0	19.6	24.9	7 H. 10	20	69
2		6.2	32.4	20.0	24.2	7 H. 10	18	71
3		0.0	30.0	19.5	23.2	5 H. 25	17	80
4	4.91	0.0	32.0	19.0	24.3	7 H. 55	20	69
5	3.19	0.0	33.8	17.8	25.5	9 H. 50	15	67
6	3.19	0.0	33.5	18.8	25.1	7 H. 55	18	69
7	3.39	0.0	33.0	19.2	25.1	7 H. 10	13	68
8	4.02	0.0	33.0	20.5	24.4	7 H. 20	21	69
9	2.99	0.0	32.5	19.8	24.5	7 H. 09	15	67
10	2.99	0.0	34.0	20.0	25.0	9 H. 10	13	67
11	0.76	0.0	33.0	20.6	25.7	5 H. 50	10	67
12	2.13	0.0	32.0	20.5	24.1	5 H. 25	17	69
13	2.17	0.0	30.0	21.0	22.1	3 H. 20	3	73
14	3.54	3.5	29.2	20.0	23.6	4 H. 10	5	75
15	4.39	0.0	33.5	17.8	24.7	10 H. 25	25	73
16	2.99	0.0	35.2	19.8	26.5	7 H. 50	19	62
17	1.81	0.0	33.4	19.4	25.2	9 H. 00	21	67
18	4.78	0.0	30.0	19.0	24.3	4 H. 25	7	70
19	3.49	0.0	29.0	20.2	24.5	1 H. 35	12	71
20	2.77	0.0	33.4	19.8	25.3	8 H. 35	17	68
21	3.04	7.4	30.5	20.4	24.9	7 H. 15	8	70
22	5.47	0.0	32.0	20.0	24.9	6 H. 05	19	69
23	2.99	15.5	33.5	20.2	23.2	5 H. 40	40	79
24	6.24	2.5	29.0	19.5	21.8	2 H. 20	31	86
25	1.10	0.0	32.2	18.0	24.6	8 H. 10	8	69
26	0.83	0.0	31.8	19.4	24.8	7 H. 50	16	67
27	0.88	2.6	30.5	21.0	24.9	5 H. 05	9	68
28	0.76	0.0	32.2	19.6	25.2	7 H. 45	5	67
Totales	74.67	31.5				187 H. 36		
Promedio	2.98	1.15				6 H. 41		

(1) Promedio para 4 Evapotranspirómetros.

(2) Promedio de lecturas hechas a las 7 a. m.; 2 p. m., y 8 p. m., ésta multiplicada por dos.

(3) Promedio de lecturas hechas a las 7, 14 y 17.

TABLA N<sup>o</sup> 2 - Resumen de las condiciones climáticas y evapotranspiración potencial (ETP) diarias para el cacao.

Palmira, Marzo 1958

Días	ETP (mm.) (1)	Precipitación (mm)	T e m p e r a t u r a (2)			Horas de Sol Total	Velocidad Max. viento K/Hora	Humedad relativa (%) (3)
			Máxima	Mínima	Media			
1	6.97	0.5	33.4	20.0	24.3	4 H. 00	17	75
2	2.66	34.0	33.0	18.4	24.0	7 H. 15	20	71
3	9.50	0.0	32.4	20.0	23.3	2 H. 10	2	78
4	2.38	0.0	29.9	19.4	23.8	3 H. 40	5	72
5	0.78	0.0	30.4	21.5	23.8	2 H. 55	6	75
6	0.65	0.0	30.2	19.8	24.3	2 H. 25	6	72
7	3.16	0.0	32.0	20.0	24.7	5 H. 55	10	70
8	3.49	0.0	31.8	19.6	24.6	6 H. 10	20	71
9	2.66	3.2	31.4	20.4	25.0	7 H. 35	5	73
10	0.98	0.0	32.0	20.0	25.3	7 H. 15	8	71
11	1.69	0.0	33.6	19.6	25.2	8 H. 10	12	67
12	1.89	0.0	34.2	19.5	25.8	8 H. 00	13	64
13	1.82	0.0	31.0	21.4	24.4	4 H. 15	9	70
14	2.05	1.0	31.0	19.2	25.8	4 H. 05	13	78
15	3.08	0.0	28.5	19.0	23.6	2 H. 05	8	74
16	2.66	0.0	30.5	20.6	24.5	5 H. 40	9	69
17	0.24	0.0	33.4	18.0	24.6	9 H. 00	15	65
18	2.47	0.0	34.2	18.0	24.8	8 H. 35	20	67
19	2.66	0.0	33.8	18.6	24.9	9 H. 15	25	66
20	1.32	0.5	33.2	18.8	23.8	4 H. 25	23	70
21	3.41	2.0	28.0	18.8	20.5	0 H. 15	19	93
22	0.91	0.0	30.4	17.2	24.1	10 H. 00	7	73
23	2.66	0.0	34.0	19.5	26.6	9 H. 00	16	61
24	1.66	0.0	32.0	21.5	25.2	6 H. 10	10	67
25	3.09	0.0	30.5	20.0	24.3	2 H. 10	15	72
26	2.95	1.0	31.2	19.5	25.0	6 H. 05	15	69
27	3.54	0.0	28.2	19.8	23.2	2 H. 00	6	79
28	2.31	10.0	31.6	19.5	22.6	4 H. 45	21	82
29	5.83	0.0	28.0	19.0	23.1	4 H. 15	19	75
30	2.15	0.0	30.5	18.5	25.1	7 H. 25	12	63
31	0.82	0.0	31.5	19.0	22.5	7 H. 15	15	67
Totales	82.42	52.2				173 H. 25		
Promedio	2.66	1.68				5 H. 35		

(1) Promedio para 4 Evapotranspirómetros.

(2) Promedio de lecturas hechas a las 7 a. m.; 2 p. m., y 8 p. m., ésta multiplicada por dos.

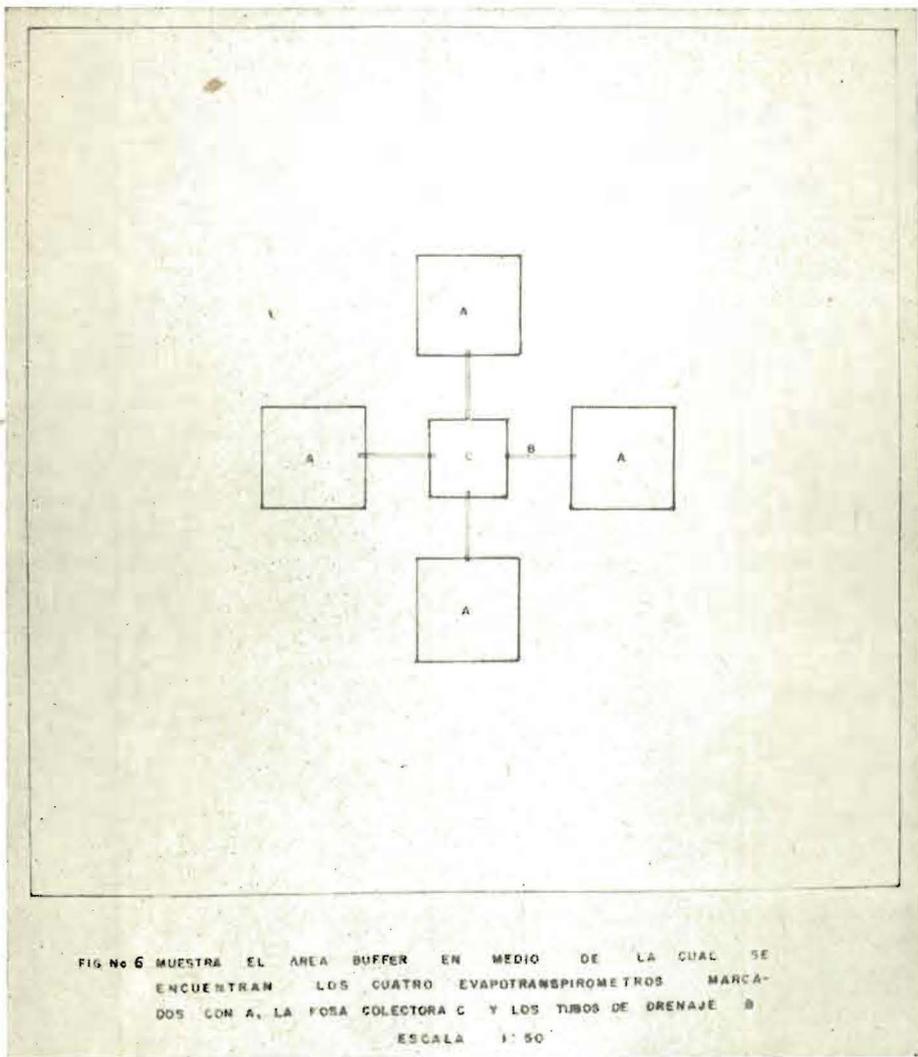
(3) Promedio de lecturas hechas a las 7, 14 y 17.

formación solo se comenzó a tomar el 4 de febrero, un mes después. En la mayoría de los estudios de evapotranspirometría que se conducen en el mundo, los resultados preliminares se dan después de un año de haber comenzado a tomar la información.

#### PRESENTACION DE LOS RESULTADOS

Las fluctuaciones diarias en la evapotranspiración potencial medida, son muy grandes y por algunos días puede presentarse una evapotranspiración potencial negativa. Esto se debe a que la precipitación no es uniforme durante dichos días y a que toda el agua que cae en el área de los tanques es percolada en un período de 24 horas. Así, teniendo por ejemplo, que un día de fuerte precipitación podría indicar una evapotranspiración potencial alta, si toda el agua llovida no apareciera como agua de drenaje para ese día. Si hay poca o ninguna precipitación en el día que sigue al de esa lluvia fuerte, se puede encontrar una evapotranspiración baja o negativa, puesto, que parte del percolado del día anterior es medido para ese día no lluvioso o de escasa precipitación. Sólo se puede esperar una lectura aproximadamente constante en la evapotranspiración para aquellos días secos cuando se aplicó diariamente una cantidad constante de agua a los evapotranspirómetros (Guerrini 1954 :102).

Teniendo en cuenta lo antes mencionado por Guerrini, se ha presentado la información obtenida hasta ahora en dos formas: para los meses de febrero y marzo, se presentan los datos climáticos obtenidos y la evapotranspiración potencial medida en forma diaria. Esta información se consigna en la Tabla N° 1 para el mes de febrero y en la N° 2 para marzo. La misma información consignada en las tablas anteriores, se da en forma gráfica en las Figuras N° 7 y 8. Para el mes de abril, en que la precipitación fue superior al agua consumida por el cacao, los resultados obtenidos se presentan en forma de pentadas, o sea, en grupos de cinco días. Esta información se encuentra en la Tabla N° 3 y en forma gráfica en la Figura N° 9. En la mayoría de los trabajos que tienen que ver con investigaciones climático-fisiológicas, como es el caso del presente estudio, se acostumbra presentar la información en forma de pentadas para los períodos en los cuales el consumo de agua es inferior a la precipitación. Entre las ventajas (Guerrini 1954 :102) de este sistema de presentación, se pueden anotar la facilidad para hacer los cálculos, facilidad en la combinación con décadas (otro sistema de presentar los resultados), el hecho que haya un número completo de pentadas en el año, a excepción



de los años bisiestos y por último, se evita encontrar una evapotranspiración potencial negativa.

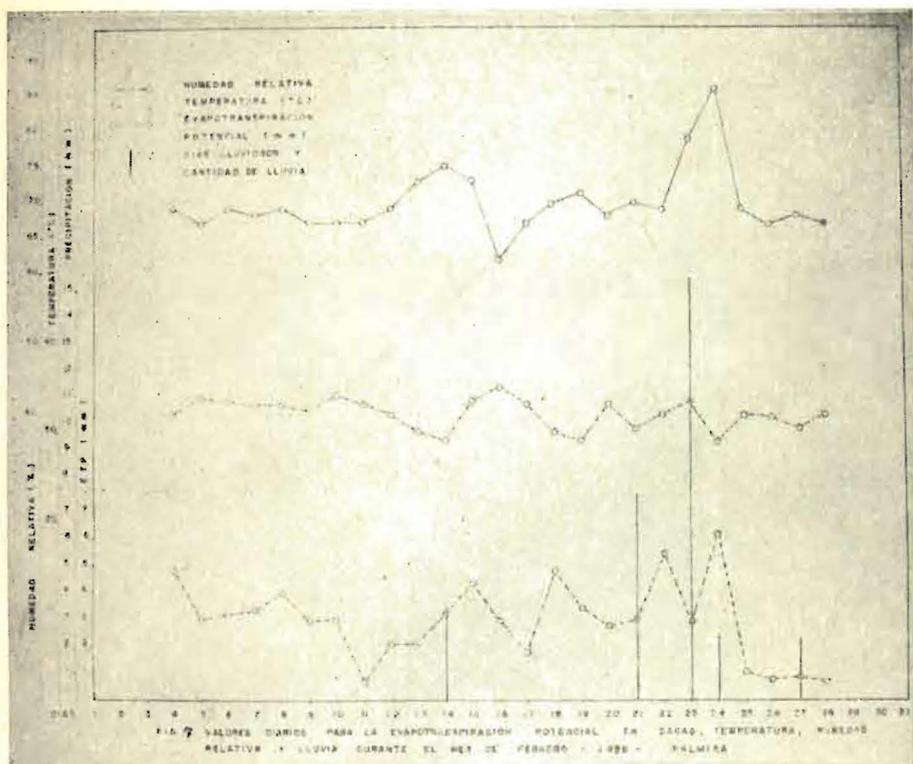
Toda la información climática consignada en las tablas, a excepción de las horas de sol y la velocidad máxima del viento, fue obtenida en aparatos meteorológicos localizados junto a los evapotranspirómetros en la zona experimental buffer. Los datos de las horas de sol y la velocidad máxima del viento fueron adquiridos en la estación meteorológica, la cual está situada 200 metros hacia el Este de la zona

TABLA N<sup>o</sup> 3 - Resumen de las condiciones climáticas y evapotranspiración potencial del cacao arregladas por pentadas.

Palmira, Abril 1958

Fecha Abril	Pentada No.	ETP (mm.) (1)	Precipitación (mm)	T e m p e r a t u r a (2)			Horas de Sol Total (3)	Velocidad Max. viento K/Hora (3)	Humedad relativa (%) (5)
				Máxima	Mínima	Media			
1-5	1	12.22	2.0	31.2	20.4	25.8	24 H. 40	59	75.2
6-10	2	12.19	4.3	31.1	20.6	25.8	22 H. 55	78	77.6
11-15	3	4.41	23.8	30.9	20.3	25.5	30 H. 08	90	75.5
16-20	4	11.00	13.2	29.3	19.3	21.3	25 H. 40	47	77.8
26-30	6	3.04	65.7	27.8	19.7	23.8	14 H. 20	39	83.4
21-25	5	15.60	20.6	27.0	18.8	22.9	18 H. 05	67	87.0
Total		58.46	129.5				135 H. 48		
Promedio		9.74	21.58				22 H. 38		

- (1) Evapotranspiración potencial, promedio de 4 Evapotranspirómetros.  
 (2) Promedio de 5 días.  
 (3) Suma de 5 días.  
 (4) Suma de 5 días.  
 (5) Promedio de 5 días.



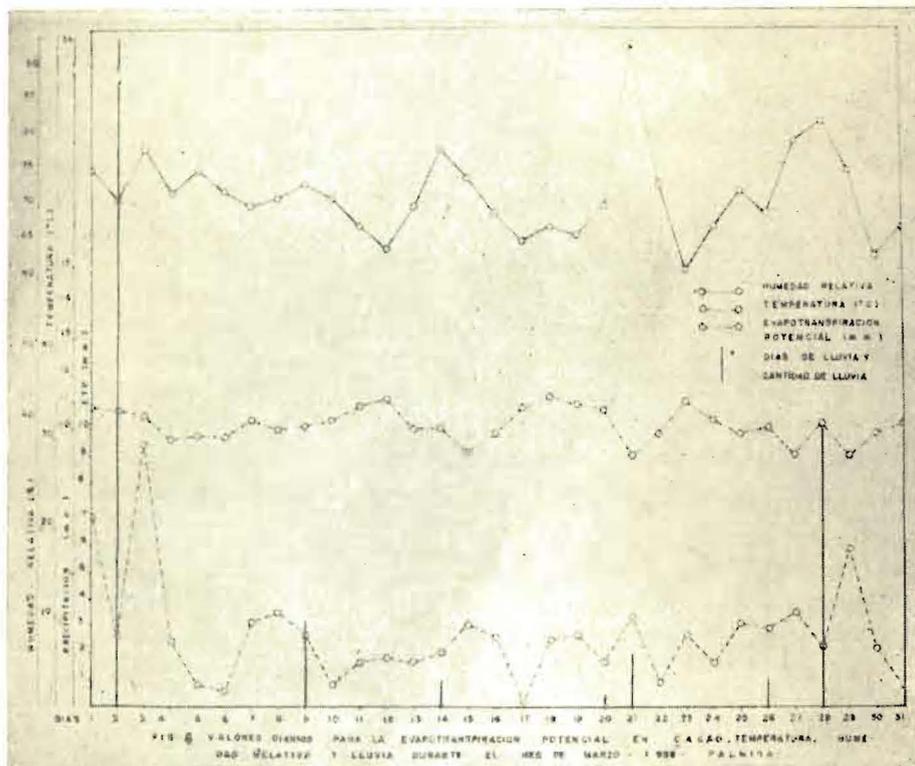
donde se encuentran localizados los evapotranspirómetros. Próximamente se instalarán más aparatos meteorológicos en la zona buffer para tomar toda la información en ella, con el objeto de que en esta forma sea más representativa de las condiciones del cacaotal.

#### DISCUSION

Los estudios sobre evapotranspirometría, se consideran como más adecuados, hasta ahora, para determinar los requerimientos de agua por las plantas. Por eso se ha seleccionado este método en las investigaciones tendientes a buscar el uso y los requerimientos de agua por el cacaoero. Thornthwaite (1955: 34) opina que todos los agricultores saben que el tiempo y el clima son dos factores importantes en la producción de cosecha. En realidad, se cree que en el fondo todos los agricultores piensan lo mismo, pero no tienen cómo apreciar ese hecho. Se necesita que el técnico les diga lo que deben hacer. La irri-

gación es la solución a este problema en las áreas donde el agua de lluvia es deficiente para las cosechas, pero la irrigación científica no es sólo la instalación de equipos y aplicación de agua al terreno. Ello requiere conocer, previamente, los requerimientos de agua por los cultivos. La mayoría de los técnicos encargados de establecer riego en una zona ignoran ésto o tratan de buscar los requerimientos de agua por métodos no apropiados.

Si un cultivador quiere irrigar sus terrenos, debe consultar con un técnico que tenga algunos medios para determinar correctamente la cantidad de agua que necesitan los cultivos y la época de su aplicación. Es práctica muy común la de mirar las plantas para descubrir la deficiencia de agua y tomar esta información para aplicarla. Este método no es satisfactorio, ya que cuando las plantas presentan síntomas de deficiencia de agua, ya han sufrido por la carencia de este elemento, la cosecha se ha reducido y además esto no indica cuánta agua se debe aplicar. Algunos investigadores miran el suelo para



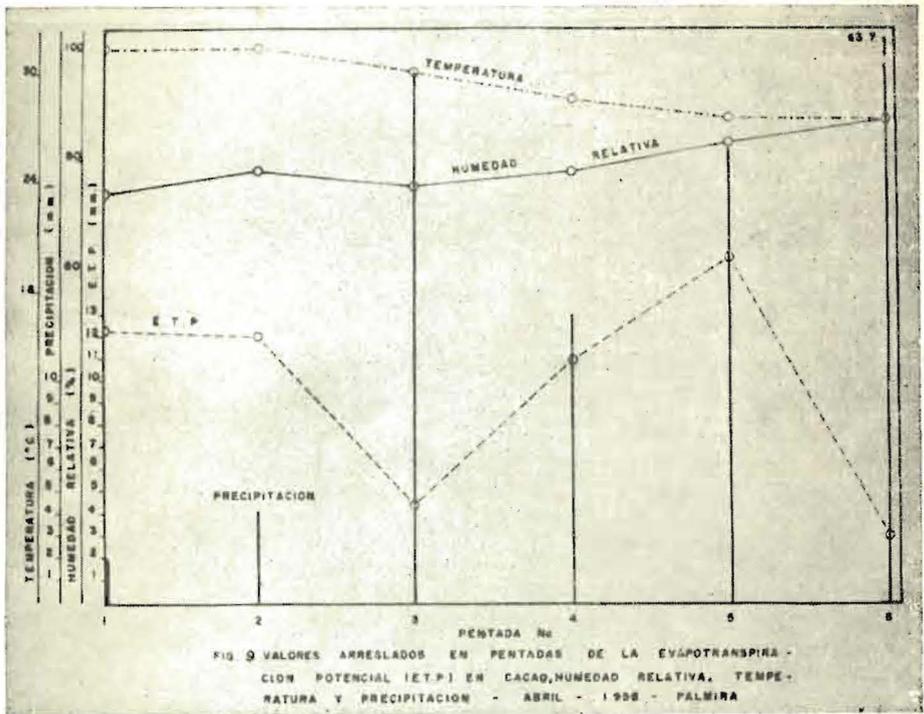
determinar la sequía y hacen determinaciones periódicas de la humedad en él; aún más, se han inventado aparatos que se instalan en el suelo, para determinar la cantidad de humedad. De estos instrumentos se conocen los hechos de yeso, fibra de vidrio y nylon, en los cuales la resistencia eléctrica varía con la humedad. Según Thornthwaite (1955 :35) muchos de estos bloques han sido usados en muchos de los grandes proyectos de irrigación, con el fin de determinar la época de aplicar el agua, y agrega "desafortunadamente, ninguno de estos instrumentos da la información requerida".

La solución del problema, de acuerdo con el mismo Thornthwaite, desde el punto de vista climato-fisiológico, debe enfocarse de una manera diferente. Según él, debería aplicarse la técnica de la evapotranspirometría, que considera como humedad del suelo la diferencia entre el agua que entra, como resultado de la precipitación, y el agua que sale a través de la evaporación y transpiración. Por eso se ha orientado la búsqueda de los requerimientos de agua por el cacaotero empleando dicho método.

La información consignada en la Tabla N<sup>o</sup> 1, demuestra que para el mes de febrero de 1958 hubo un déficit en la precipitación de 43.17 mm., ya que la evapotranspiración potencial fue de 74.67 mm. y la precipitación sólo alcanzó 31.5 mm. Estos datos demuestran, así mismo, que el agua de lluvia sólo suministró el 42.19% de las necesidades de agua del cacaotero en el mes de febrero. Un estudio similar de los datos para el mes de marzo (Tabla N<sup>o</sup> 2), indica que hubo un déficit de agua de 30.22 mm., pues el consumo por el cacaotero fue de 82.42 mm. y la precipitación sólo de 52.2 mm.; la eficiencia del agua de lluvia en este mes fue del 63.33%, superior a la del mes de febrero. El dato para marzo es muy semejante al que da Pound (1943 :15) como el global para la región del Valle del Cauca. Pound dice textualmente: "Yo vacilaría plantar o recomendar que se plantara cacao o árboles frutales en una escala extensiva en el Valle del Cauca sin irrigación, ya que la precipitación sólo suministra el 60% de los requerimientos óptimos de agua para este cultivo".

No se sabe cómo encontró Pound "los requerimientos óptimos de agua para el cacao". La similitud entre el dato para el mes de marzo, obtenido en este estudio y el que dio Pound como global para el Valle del Cauca, puede ser meramente coincidencial, ya que no se pretende sacar todavía ninguna conclusión en relación con los requerimientos del agua para el cacaotero.

La situación para el mes de abril es diferente a las encontradas para los meses de febrero y marzo. En dicho mes hubo un exceso de



precipitación, que llegó a 71.04 mm., pues la precipitación fue de 129.5 mm. y el consumo sólo ascendió a 58.46 mm. (Tabla N° 3). Haciendo una comparación global para la evapotranspiración potencial medida y la precipitación en los tres meses, se ve que el consumo de agua por el cacaotero ha sido de 215.55 mm. y la precipitación, para el mismo período, de 213.2 mm. Los promedios de estos dos datos, 71.85 mm. para la evapotranspiración potencial y 71.06 mm. para la precipitación, parecen indicar que el cacao en este período no ha sufrido por falta de agua. Sin embargo, si se examinan los datos de la precipitación, se observa que el 60.74% de esa precipitación corresponde al mes de abril, lo que indica que ha habido una mala distribución del agua y el cacaotero sí ha podido sufrir por deficiencia de humedad.

Parece que existiera una correlación entre las horas de sol y la evapotranspiración. Sin embargo, por la información disponible no es posible confirmarlo. Según Thornthwaite (1955 :17) entre los factores que influyen decididamente en la evapotranspiración potencial, se encuentra en primer lugar la radiación solar. Aún no se tiene esta

información pero existe una relación entre las horas de sol y la radiación solar; según esto, la información para el mes de abril guardaría una relación entre las horas de sol y los milímetros de evapotranspiración. En este mes hubo 135 horas de sol y 58.46 mm. de evapotranspiración. Estos datos corresponden al número menor de horas de sol y al menor de consumo de agua por el cacaotero, (Tabla Nº 3). Esta relación, sin embargo, parece no existir para los meses de febrero y marzo (Tablas Nos. 1 y 2). En relación a este punto de horas de sol comparadas con la evapotranspiración, se debe aclarar dos cosas: estos resultados no se sometieron a análisis estadísticos, por el escaso número de observaciones (tres en total) y los datos de horas de sol no proceden del lugar donde se encuentran instalados los evapotranspirómetros. Esta última observación se hace en virtud de que el cacao es un cultivo que crece bajo sombra y puede ocurrir que las horas de sol sean diferentes dentro de un cacaotal y fuera de él. Si ésto es así, se podría pensar que sería menor el número de horas de sol en el cacaotal que fuera de él, lo que daría menos calorías por unidad de superficie dentro del cacaotal y como consecuencia habría menos evapotranspiración.

Aunque los cultivos no son comparables, los datos de evapotranspiración para el pasto pangola demuestran que este evapotranspira (en promedio) durante tres meses 4 mm., mientras que el cacao, que crece bajo sombra sólo evapotranspira, en promedio, durante el mismo período, 2.5 mm. El experimento con pasto pangola está localizado en el mismo lugar de donde proceden los datos de las horas de sol anotadas en las tablas que se dan en este trabajo.

Es muy difícil, con una información tan escasa, sacar cualquier clase de conclusiones, ya que las que se relacionan con la evapotranspirometría, solo pueden ser deducidas después de un período mínimo de un año, y deducciones más dignas de crédito después de dos. Debido a que el objeto de este tipo de investigaciones es el establecer prácticas científicas de riego basadas en datos climáticos, éstos pueden variar de un año para otro.

#### RESUMEN

El objeto de este trabajo fue determinar los requerimientos de agua por el cacaotero. De los múltiples métodos que existen para este fin, solo el que hace uso de la evapotranspirometría da la solución deseada.

El método se basa en que el agua del suelo establece un equilibrio entre el agua que entra, como resultado de la precipitación y

el agua que sale a través de la evaporación y transpiración. Para este estudio se están usando cuatro evapotranspirómetros de 2 x 2 metros en la parte superior y 1.20 metros de profundidad; un quinto tanque sirve de fosa colectora, donde se tienen las canecas que recogen las aguas de drenaje.

A los evapotranspirómetros se transplantaron cacaoteros de tres y medio años de edad del Clon 6. Posteriormente fueron rellenados con suelo del mismo lugar y procedente de la excavación.

La estación de evapotranspirometría se localizó en medio de una plantación comercial de cacao del clon 6 de la misma edad, en la que se ha demarcado una zona buffer de 50 x 50 mts., ésta se riega en la misma forma que los tanques evapotranspirómetros. A éstos se les aplica una cantidad medida de agua cuando no llueve en las 24 horas anteriores.

La evapotranspiración potencial se mide restando del agua aplicada la cantidad recogida en las canecas, esto se hace para cada tanque todos los días a las 8 a.m. Además de la evapotranspiración potencial, diariamente se toman datos meteorológicos en aparatos localizados junto a los tanques experimentales.

La información para tres meses indica que el agua de lluvia sólo suministró el 42.19% y el 63.33% de los requerimientos de agua para el cacaotero en los meses de febrero y marzo respectivamente. En el mes de abril la precipitación fue superior a los requerimientos de agua, ya que el consumo fue de 58.46 mm. y la precipitación de 129.5 mm.

Debido a la información tan escasa (tres meses solamente) aquí presentada, es imposible, por el momento, sacar cualquier conclusión. La respuesta a este problema de los requerimientos de agua por el cacaotero, debe esperar por lo menos dos años de intensa investigación evapotranspirométrica.

#### LITERATURA CITADA

1. Bonner, James and Galston, Arthur W. 1952. Principales of Plant Physiology. (San Francisco). W. H. Freeman and Company. 499 pp.
2. Curtis, Otis F. and Clark, Daniel G. 1950. An Introduction to Plant Physiology. (First Edition) New York. McGraw-Hill Book Company, Inc. 772 pp.
3. Gilbert, M. J. 1954. Evapotranspiration Measurement at Waynesville, North Carolina. In The Measurement of Potential Evapotranspiration. The Johns Hopkins University, Laboratory of Climatology. (Seabrook, New Jersey). Publications in Climatology (Seabrook, New Jersey). Publications in Climatology. 7 (1) : 52-54.

4. Guerrini, V. H. 1954. A Year of Potential Evapotranspiration in Ireland. **In** The Measurement of Potential Evapotranspiration. The Johns Hopkins University, Laboratory of Climatology. (Seabrook, New Jersey). Publications in Climatology. 7 (1) : 98-111.
5. Ibarra Caicedo, Angel. 1956. El Microclima de Palmira y sus Características Principales. Granja Agrícola de Palmira (Palmira, Valle). 25 pp. (Mimeografiado).
6. Loomis, Walter E. and Shull, Charles. A. 1937. Methods in Plant Physiology. A manual and research handbook. (First Edition). New York. McGraw-Hill Book Company, Inc. 472. pp.
7. Mather, John. R. A. 1954a. Summary of Evapotranspiration at Seabrook, New Jersey 1947-1953. **In** The Measurement of Potential Evapotranspiration. The Johns Hopkins University, Laboratory of Climatology. (Seabrook, New Jersey) Publications in Climatology. 7 (1) : 7-51.
8. ————. 1954b. A Summary of Additional Evaporation and Evapotranspiration Measurements. **In** The Measurement of Potential Evapotranspiration. The John Hopkins University, Laboratory of Climatology. (Seabrook New Jersey). Publications in Climatology. 7 (1) : 177-199.
9. ————. Comunicación personal. Carta del 16 de Octubre de 1957.
10. Pound, F. J. Certain Aspects of Agriculture in Colombia with Special Reference to **The Production of Cacao**. Report of a visit made to Colombia. August 1942. 1943. 75 pp. (Mimeografiado).
11. Ramage, C. S. 1954. Evapotranspiration Measurements made in Hong Kong. First Report, October 1951 to May 1953. Johns Hopkins University, Laboratory of Climatology. (Seabrook, New Jersey). Publications in Climatology. 7 (1) : 112-124.
12. Thornthwaite, C. W. 1954. A Re-Examination of the Concept and Measurement of Potential Evapotranspiration. **In** The Measurement of Potential Evapotranspiration. The Johns Hopkins University, Laboratory of Climatology. (Seabrook New Jersey). Publications in Climatology. 7 (1)
13. Thornthwaite, C. W. and Mather, J. R. 1955. The Water Balance. Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology. (Centerton. New Jersey). Publications in Climatology. 8 (1). 104 pp.
14. Thornthwaite, C. W. 1956. Orientaciones sobre riego basadas en la Climatología. Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas. (Madrid, España). 16 pp.