

EVALUACION DE UN MODELO PARA CARACTERIZAR LAS CONDICIONES HIDRICAS DE LA ZONA CAFETERA COLOMBIANA

J. P. Lhomme*
Lucía Gómez Gómez**
Alvaro Jaramillo-Robledo***

RESUMEN

En tres localidades de la zona cafetera colombiana representativas del norte, centro y sur del país: Pueblo Bello, Cenicafé y La Florida, respectivamente, se evaluó un modelo que caracteriza las condiciones de abastecimiento de agua a las plantas, mediante una simulación de la reserva hídrica diaria del suelo cultivado con una especie perenne como es el café. Se utilizaron los datos de lluvia de 1961 a 1980 y la información de temperatura máxima, temperatura mínima y brillo solar de 1976 a 1980. Se calcularon el balance hídrico mensual, la evapotranspiración potencial según la fórmula de Priestley-Taylor y las probabilidades relativas de la lluvia decadal. Con el modelo desarrollado se determinaron la reserva hídrica del suelo y el déficit hídrico del cultivo con una base diaria. El modelo también se utilizó para estudiar la ocurrencia de sequía y la duración de los períodos secos. Se encontró en Pueblo Bello un déficit hídrico que superó los 20 milímetros desde la última década de diciembre hasta la última década de abril. En Cenicafé no alcanzó los 10 milímetros, pero se insinuaron déficits de enero a marzo y en agosto. En La Florida el déficit superó los 20 milímetros desde la última década de julio hasta la última de septiembre. El promedio de días secos consecutivos ocurridos entre mayo y octubre fue de 12 para Cenicafé, 51 para Pueblo Bello y 75 para La Florida. En Cenicafé no ocurrió un período seco mayor de 40 días, y la probabilidad de que se presentaran más de 20 días secos fue de un año cada cuatro años. En Pueblo Bello, un año de cada tres tuvo un período seco mayor de 60 días, y todos los años ocurrió un período mayor de 20 días. Para La Florida se detectó la época seca más importante del año, con una probabilidad de siete años sobre cada 10, de que se presente un período seco superior a 60 días. En cuanto a las localidades, en Cenicafé se presenta disponibilidad de agua durante todo el año, en Pueblo Bello de mayo a diciembre a veces interrumpido con un veranillo en julio-agosto, y en La Florida de noviembre a julio. Se encontró una evaporación potencial diaria entre tres y cuatro milímetros. Se concluyó que la metodología empleada permite identificar las condiciones hídricas estacionales en una misma zona y precisar las características de una región grande.

SUMMARY

LHOMME, J. P.; GOMEZ G., L.; JARAMILLO R., A. A model to estimate available water in three sites of the Colombian coffee-growing zone. Cenicafé (Colombia) 36(2):64-76. 1985.

A model was used to estimate soil water reserves, daily crop water deficits and occurrence and duration of dry periods in three sites of the Colombian coffee-growing area by simulation of the daily water reserves of the soil of a coffee plantation. Rainfall data from 1961 to 1980, and maximum, mean and minimum temperatures and sunshine data from 1976 to 1980 were utilized to calculate monthly water balance, potencial evapotranspiration and decades rain probability. At Pueblo Bello, the water deficit was above 20 mm from the last ten days of december to the last ten days of april. At Cenicafé the water balance did not reach 10 mm but there was a tendency to water deficits in the months January-March and August. At La Florida, the water deficit was more than 20 mm from the last decade of July to the last decade of September. The average of continuous "dry" days occurring between may

* Especialista en Agroclimatología, IICA Sede Central, San José, Costa Rica.

** Jefe de la Sección de Agroclimatología del Centro Nacional de Investigaciones de Café, CENICAFE, Chinchiná, Caldas, Colombia.

*** Asistente de la Sección de Agroclimatología del Centro Nacional de Investigaciones de Café, CENICAFE, Chinchiná, Caldas, Colombia.

and October was 12 for Cenicafe, 51 for Pueblo Bello and 75 for La Florida. At Cenicafe three was not a dry period superior to 40 days and the probability of more than 20 continuous "dry" days was one year out of four. At Pueblo Bello during a three year period, one year had a dry period superior to 20 days. At La Florida, there was a probability of 7 out of 10 years with a dry period superior to 60 days. Among localities it was found that there was availability of water the whole year for Cenicafe, from May to December for Pueblo Bello and from November to July for La Florida. Daily potential evaporation was between 3 and 4 mm. It was concluded that the model permits estimation of the availability of water words for a given site and its surroundings

Additional Key Words: Soil water reserves, colombian coffee zone, modeling.

INTRODUCCION

La disponibilidad de agua es una de las condiciones más importantes para la selección, implantación, crecimiento y rendimiento de los cultivos. En consecuencia, es necesario conocer las regiones y, en éstas, las épocas del año en las cuales se puede asegurar un buen suministro de agua para las plantas según las exigencias de cada variedad o especie.

En el presente estudio se analizan las condiciones hídricas de la zona cafetera colombiana, según las características de tres localidades representativas del norte, centro y sur del país. Para el efecto se prueba un modelo sencillo de balance hídrico expuesto detalladamente por Lhomme, Gomez y Jaramillo (6), el cual permite hacer un análisis de la disponibilidad o deficiencia diaria de agua, y puede ser ajustado posteriormente para períodos de diferente duración. En un trabajo anterior se calculó el balance hídrico a nivel mensual para la zona cafetera colombiana (5).

MATERIALES Y METODOS

Se seleccionaron las estaciones de Pueblo Bello, Cenicafe y La Florida, situadas en el norte, centro y sur de Colombia, respectivamente.

Pueblo Bello se encuentra en la Sierra Nevada de Santa Marta, a $10^{\circ}22'$ de latitud norte, $72^{\circ}38'$ de longitud oeste y 1.000 metros de altura sobre el nivel del mar. Las condiciones climáticas medias anuales son: 2.115 milímetros de lluvia, 2.472 horas de sol, 81% de humedad relativa media, temperatura media de $20,7^{\circ}\text{C}$, temperatura máxima media de $27,1^{\circ}\text{C}$ y temperatura mínima media de 15°C .

Cenicafe está localizado en la vertiente occidental de la cordillera central andina, a $4^{\circ}59'$ de latitud norte, $75^{\circ}35'$ de longitud oeste y 1.310 metros sobre el nivel del mar. Las condiciones climáticas medias anuales son: 2.535 milímetros de lluvia, 1.963 horas de sol, temperatura media de $20,7^{\circ}\text{C}$, temperatura máxima media de $27,4^{\circ}\text{C}$, temperatura mínima media de $16,5^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa media del 78%.

Florida está situada en la vertiente occidental de la cordillera central andina, donde la cadena montañosa es más extensa y se inician las bifurcaciones de los Andes en las tres cordilleras colombianas: occidental, oriental y central. Las coordenadas geográficas son 2°27' de latitud norte, 76°35' de longitud oeste y 1.850 metros sobre el nivel de mar. Las condiciones climáticas medias anuales son 1.770 milímetros de lluvia, 1.986 horas de brillo solar, temperatura media de 17,5 °C, temperatura máxima media de 24,3 °C, temperatura mínima media de 12,9 °C y 77% de humedad relativa media.

Del archivo histórico por proceso electrónico del servicio meteorológico de la Federación Nacional de Cafeteros se tomaron los datos de las tres estaciones seleccionadas, así: series de lluvia diaria registrada de 1961 a 1980; series de datos diarios de temperatura máxima, temperatura mínima y brillo solar, obtenidos de 1976 a 1980.

Balance hídrico climático.

El balance hídrico climático se expresa como la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración potencial (P-ETP). Se considera un mes seco cuando la diferencia es negativa y húmedo si es positiva.

Este balance se calculó a nivel mensual, con valores medios a través de una muestra de 20 años de registros de lluvia (1961 a 1980).

Debido a la variación interanual de la lluvia, y para tener en cuenta su aspecto aleatorio y poner en evidencia el riesgo climático correspondiente, es necesario utilizar la expresión de frecuencias de ocurrencia del fenómeno (2). Por otra parte, se mejora el análisis cuando se utiliza un período elemental de 10 días (década); en efecto, la década representa una duración de la disponibilidad de agua mejor adaptada a la práctica agrícola que el mes, para determinar las fechas de las actividades en el cultivo (siembra, abonamiento, podas, cosecha).

El principio del análisis de frecuencia aplicado al balance hídrico, consiste en dividir el año en 36 períodos elementales de 10 días cada uno. Posteriormente se calcula para cada período la frecuencia en que la ETP es menor que la precipitación, directamente a partir de la muestra de los datos diarios registrados y se relaciona con los casos observados, lo cual representa una frecuencia empírica o probabilidad simple de ocurrencia del fenómeno. Los resultados se llevan a un gráfico cuya abscisa representa una escala de tiempo graduada en décadas (36) y la ordenada una escala de frecuencias de 0 a 1; para ello, se utilizó la muestra de datos de 20 años.

Cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP).

La ETP puede definirse como la cantidad de agua que consume un cultivo con buen abastecimiento hídrico y cuyo follaje cubre bien el suelo; en este estudio se consideró el café como un cultivo perenne que cubre totalmente el suelo (6).

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial se utilizó la fórmula Priestley-Taylor (7), cuya expresión general es la siguiente:

$$ETP = 1,26 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G)$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial.

R_n = Radiación neta.

G = Flujo de calor a nivel del suelo (aproximadamente el 5^o/o de R_n).

Δ = Pendiente de la curva de saturación que da la presión máxima del vapor de agua en función de la temperatura.

γ = Constante psicrométrica.

El término sin unidades $\Delta / (\Delta + \gamma)$ varía con la temperatura del aire; la fórmula de aproximación para estimarlo, entre 10^o y 30 ^oC, es:

$$\Delta / (\Delta + \gamma) = f(t) = 0,430 + 0,012 t$$

La fórmula de Priestley - Taylor se utiliza generalmente a nivel diario. En este caso t representa el promedio de la temperatura diaria.

R_n representa la radiación neta diaria y se determina a partir de la radiación global diaria R_g, ya que el cociente R_n/R_g generalmente se considera como una constante c para una región determinada.

Frere et al (3) proponen el valor de $c = 0,55$ para la localidad de Chinchiná, donde se encuentra Cenicafé. Este valor se utilizó para las tres estaciones analizadas.

La radiación global diaria R_g se puede estimar a partir de la duración de la insolación n , mediante la fórmula:

$$R_g/R_{g_0} = a + b (n/N)$$

Donde:

R_g = Radiación global diaria observada.

R_{g_0} = Radiación solar astronómicamente posible.

N = Insolación astronómicamente posible.

n = Insolación diaria observada.

a y b = Coeficientes empíricos específicos de una región; los valores escogidos para el estudio: $a = 0,29$ y $b = 0,43$ (3).

La evapotranspiración potencial se calculó como media mensual a partir de las medias de temperaturas máxima y mínima y brillo solar, obtenidas de 1976 a 1980.

Balance hídrico real.

El balance climático o potencial constituye básicamente una manera muy simplificada de representar el balance hídrico real, ya que no toma en cuenta el papel de reserva que desempeña el suelo, al almacenar las aguas lluvias y suministrarlas posteriormente a las plantas.

El modelo desarrollado trata de caracterizar mejor las condiciones de abastecimiento hídrico de las plantas, mediante una simulación de la evaluación de la reserva hídrica del suelo bajo un cultivo perenne (6). El modelo es recurrente y funciona con intervalo de un día. La reserva hídrica del suelo (RH) constituye la cantidad de agua almacenada en éste y disponible para las plantas, varía entre cero y la reserva útil; la reserva útil (RU) es el valor máximo de agua en el suelo disponible para la planta, en el estudio se utilizó el valor de 120 milímetros. La reserva fácilmente utilizable (RFU) es la fracción de la RU disponible a una tensión suficientemente débil como para que la planta transpire al máximo; en el trabajo se consideró en 60 milímetros.

En la figura 1 se presentan esquematizados los componentes utilizados en el cálculo del balance hídrico diario. La descripción detallada del modelo se encuentra en Lhomme, Gómez y Jaramillo (6).

La ecuación del balance hídrico para los cálculos a nivel diario es la siguiente:

$$RH_j = (RH_{j-1} + PE_j) - (ETR_j + D_j)$$

RH_j = Reserva hídrica del suelo en un día.

RH_{j-1} = Reserva hídrica del suelo el día anterior.

PE_j = Precipitación efectiva del día en estudio

ETR_j = Evapotranspiración real del día en estudio.

D_j = Drenaje del día en estudio.

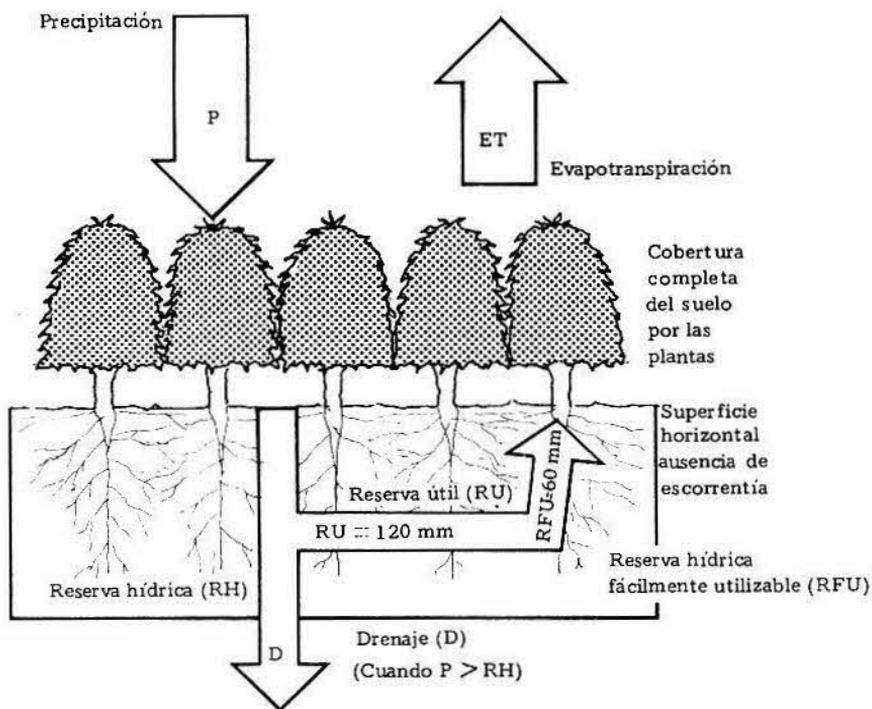


FIGURA 1 - Representación de los componentes del balance hídrico diario.

Los datos climáticos que sirven de entrada al modelo son los registros diarios de la lluvia que aparecen en forma de una matriz PJ (m, 365), representando m el número de años de registro, y los valores de la evapotranspiración potencial (promedio mensual). Además, intervienen los valores de la reserva útil (RU) y de la reserva fácilmente utilizable (RFU). Este modelo programado permite determinar la reserva hídrica del suelo (RH) y el déficit hídrico del cultivo (DH) en una base diaria; el déficit hídrico representa la diferencia entre la evapotranspiración máxima (ETM) y la evapotranspiración real (ETR) (DH:ETM-ETR) es decir, la falta de agua a nivel del cultivo. Los valores de cada una de estas dos variables aparecen en forma de una matriz que tiene las mismas unidades que la de la lluvia.

Ocurrencia de sequía.

El modelo se utilizó también para estudiar la ocurrencia de sequía. Se consideró una reserva útil de 120 mm y una RFU de 60 mm. El año se dividió también en décadas y se calculó para cada una (año tras año), el déficit hídrico acumulado DH_{10} , es decir, la suma de los déficits diarios determinados por el modelo.

$$DH_{10} = \sum_{j=1}^{10} DH_j$$

Después se analizó estadísticamente la distribución interanual de los déficits DH_{10} por clasificación frecuencial, para determinar el cuartil superior correspondiente a cada década, es decir, el déficit que sobrepasa un año cada cuatro.

Duración de períodos secos.

Con el modelo de balance real, también se analizó la duración de un período seco. Se define un día seco, como aquel en que la reserva hídrica del suelo (RH) no alcanza la reserva fácilmente utilizable (RFU); y la duración de un período seco como el número de días secos consecutivos. Si la reserva hídrica no alcanza la RFU, existe una reducción de la evapotranspiración real respecto a la ETP, que se considera como una sequía leve. Se calculó para los 20 años de registro de cada estación el período más largo de días secos consecutivos ocurrido de mayo a octubre.

RESULTADOS

El valor diario de la evapotranspiración potencial oscila entre 3,1 y 3,8 milímetros para las localidades, como se indica en la tabla 1. Disminuye con la altura sobre el nivel del mar debido a menor temperatura e insolación. En consecuencia, fue más alta en Pueblo Bello a 1.000 m.s.n.m. y más baja en La Florida a 1.850 m.s.n.m. Las variaciones de ETP a través del año no son muy grandes; sin embargo, se aprecian los valores más bajos en mayo y octubre, que son los meses más lluviosos en las tres localidades.

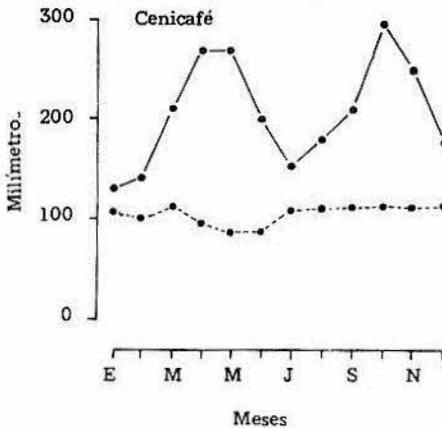
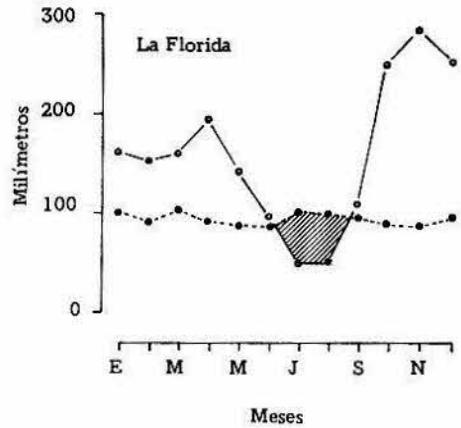
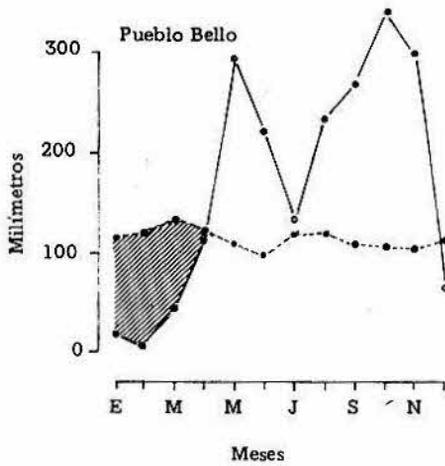
El promedio anual de la ETP alcanzó 1.382 milímetros en Pueblo Bello, 1.209 milímetros en Cenicafé y 1.131 en La Florida. La evaporación anual calculada por Jaramillo (5) aplicando la fórmula de García-López, dió similar para Cenicafé: 1.207 milímetros, y un poco más baja para Pueblo Bello: 1.135 milímetros, y la Florida 924 milímetros.

En la figura 2, se aprecia la evolución a lo largo del año de las medias mensuales de la ETP y de la precipitación, destacándose claramente las situaciones en la que ETP es mayor que la precipitación (balance negativo o período seco), y los casos cuando la precipitación es mayor (período húmedo). Se observa para Pueblo Bello un período seco de diciembre a marzo y un período lluvioso de abril a noviembre, con disminución de la lluvia en julio, mes que en algunos años puede alcanzar balances negativos. En Cenicafé no hay período seco: la lluvia siempre es superior a la ETP; sin embargo, los meses menos húmedos son enero, febrero y julio. En La Florida hay un período seco en julio y agosto.

La probabilidad de que la lluvia sea superior a la ETP para las tres localidades a lo largo del año y por décadas sucesivas, se presenta en la figura 3. Se define así, en una forma más precisa la iniciación de los períodos con suficiente agua y los períodos secos. Se aprecia que los períodos más secos (cuando las probabilidades de que la lluvia supere a la ETP son más bajas), se presentan en Pueblo Bello desde la última década de diciembre

TABLA 1.- VALORES MEDIOS MENSUALES DE LA ETP, CALCULADOS POR LA FORMULA DE PRIESTLEY-TAYLOR (mm día⁻¹).

Estación	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agto.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio
Pueblo Bello	4,0	4,3	4,3	3,8	3,4	3,5	3,8	3,8	3,6	3,5	3,6	3,9	3,8
Cenicafé	3,6	3,6	3,5	3,2	3,0	3,1	3,5	3,5	3,4	3,1	3,1	3,1	3,3
La Florida	3,2	3,2	3,2	3,0	2,9	3,1	3,2	3,2	3,2	3,0	3,0	3,0	3,1



Precipitación ○—○—○
 Evapotranspiración ●—●—●
 Balance negativo ▨

FIGURA 2.- Balance hídrico climático mensual, para tres regiones de la zona cafetera. Pueblo Bello, Cenicafé y La Florida.

hasta la segunda de marzo; para Cenicafé las dos primeras décadas de enero y la última de julio, y en La Florida esta situación ocurre desde la última década de junio hasta la segunda de septiembre.

Hasta ahora se ha analizado el balance hídrico sin tener en cuenta el factor suelo, el cual desempeña un papel importante por su capacidad de almacenamiento de agua y suministro a la planta; por lo tanto, se desarrolló un modelo agroclimático de balance hídrico, por medio de una simulación de la reserva hídrica del suelo (6).

En la figura 4, se aprecian los resultados de la evolución a lo largo del año de los valores del déficit hídrico acumulado sobre 10 días, y que pueden ocurrir con una frecuencia de

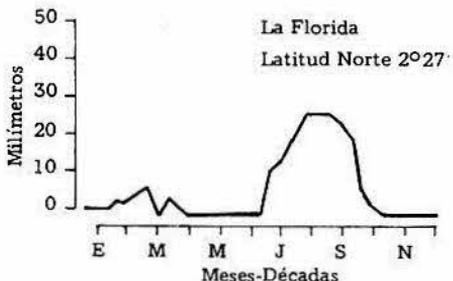
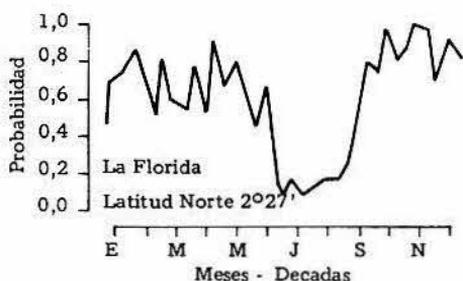
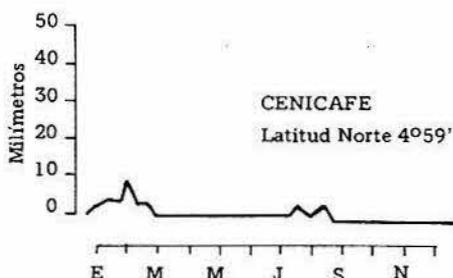
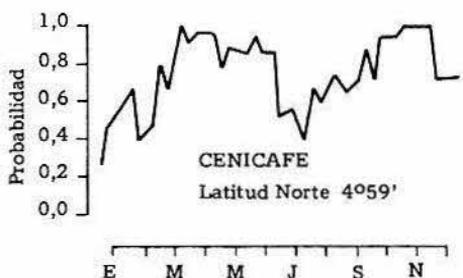
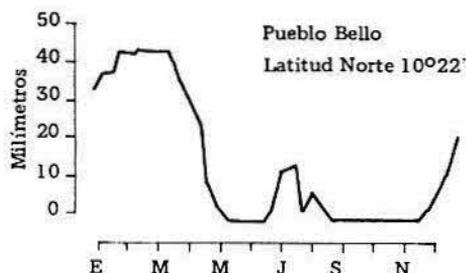
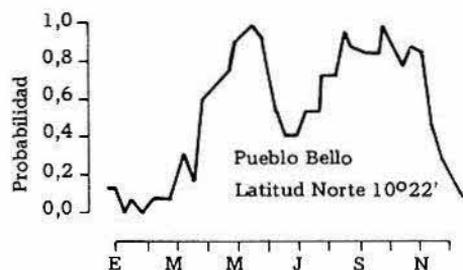


FIGURA 3.- Evolución a lo largo del año, por décadas sucesivas, de la probabilidad que la lluvia sea superior a la ETP.

FIGURA 4.- Evolución a lo largo del año, de los valores del déficit hídrico acumulados sobre 10 días, frecuencia de un año sobre cuatro.

una vez cada cuatro años en las tres localidades. En la abscisa se representa una escala de tiempo graduada en décadas y en la ordenada una escala de cantidad de agua en milímetros. Se ve así a lo largo del año, el déficit decadal con una probabilidad de 0,75 de no ser sobrepasado.

En Pueblo Bello se presentó un déficit hídrico mayor de 20 milímetros desde la última década de diciembre hasta la última década de abril. En Cenicafé el déficit hídrico no alcanza los 10 milímetros, pero se insinúa de enero a marzo y en agosto. En La Florida el déficit hídrico mayor de 20 milímetros ocurre desde la última década de julio hasta la última de septiembre.

El modelo agroclimático de balance hídrico se aplicó para definir la duración del período seco que ocurre entre mayo y septiembre en forma muy leve o "veranillo" en Pueblo Bello y Cenicafé, y en forma importante o estación seca pronunciada en La Florida. Los resultados se presentan en la tabla 2 donde se aprecia que Cenicafé tuvo un promedio de 12 días secos consecutivos, Pueblo Bello 51 y La Florida 75 días secos; con períodos extremos de sequía de 104 días en Pueblo Bello, 37 días en Cenicafé y 123 en La Florida.

A partir de los valores medios de la tabla 2, se calcularon las frecuencias de un período seco de más de 20, 40 y 60 días, en las tres localidades estudiadas (tabla 3). En Cenicafé no existió un período mayor de 40 días. La probabilidad de que se presenten más de 20 días secos consecutivos fue de un año por cada cuatro. En Pueblo Bello un año cada tres; el período puede ser mayor de 60 días y todos los años ocurre uno mayor de 20 días. Para La Florida corresponde la estación seca más importante del año, con una frecuencia de siete años de cada 10 para que se presente un período seco consecutivo mayor de 60 días.

TABLA 2.- DURACION DEL TIEMPO SECO DE MAYO A OCTUBRE, EXPRESADO EN NUMERO DE DIAS.

Año	Pueblo Bello	Cenicafé	La Florida
1961	51	17	99
1962	53	8	67
1963	28	11	115
1964	35	5	95
1965	62	6	123
1966	—	17	77
1967	—	37	85
1968	41	0	71
1969	—	26	87
1970	22	2	63
1971	61	0	33
1972	40	21	58
1973	54	10	14
1974	64	1	83
1975	54	0	29
1976	104	30	90
1977	65	22	84
1978	29	3	93
1979	—	9	59
1980	—	17	—
—			
X	51	12	75

TABLA 3.- FRECUENCIAS RELATIVAS DE UN PERIODO SECO DE MAYO A OCTUBRE, DE MAS DE 20, 40 y 60 DIAS.

	M a y o r d e		
	20 días	40 días	60 días
Pueblo Bello	1,00	0,73	0,33
Cenicafé	0,25	0,00	0,00
La Florida	0,95	0,84	0,74

DISCUSION

La evolución de la disponibilidad de agua a través del año en las tres localidades, se debe a su situación latitudinal, su altura sobre el nivel del mar y por ende a los desplazamientos del Sistema de Circulación Intertropical (4).

A principios del año el sistema de circulación intertropical, con la ITC causando perturbaciones, se encuentra en el extremo sur de Colombia. Es esto causa de tiempo lluvioso al sur y seco al norte; de allí que estos primeros meses del año sean secos en Pueblo Bello y lluviosos en La Florida (1).

En los meses de julio y agosto se encuentra el país bajo la influencia del centro de alta presión sur (tiempo seco), mientras que la línea intertropical de convergencia ITC con sus perturbaciones, está activa a latitudes superiores a los 10⁰ norte. Esta posición se refleja en un tiempo muy seco hacia el sur del país (La Florida) y lluvioso al norte, dependiendo éste de que el desplazamiento de la ITC no sobrepase el norte de Colombia, lo cual puede suceder en algunos años, ocasionando el "veranillo" en Pueblo Bello (1).

Cenicafé se encuentra al centro del país y sufre dos pasos de la ITC en el año, que ocasionan un transcurso de onda doble: dos períodos secos y dos períodos lluviosos en el año. Además, debido al relieve, su posición media en la ladera presenta un punto de alta condensación de vapor de agua por la circulación valle-montaña, que ocasiona lluvias orográficas distribuidas durante todo el año (4).

Las tres localidades estudiadas son representativas de la parte norte, central y sur. El resto de la zona cafetera se encuentra en puntos intermedios de estas tres situaciones, es decir, hacia el norte se hace más pronunciado el período seco de principios de año; por el con-

trario, hacia el sur, el período seco importante se presenta a mediados del año. Únicamente se exceptúa la zona cafetera del pie de monte de los Llanos Orientales, el cual tiene un transcurso unimodal, con un período húmedo de febrero a noviembre (4).

En cuanto a la mayor o menor cantidad de lluvia en cada región depende de su posición en la montaña y del ciclo hidrológico de la cuenca orográfica a que pertenece (4).

CONCLUSIONES

El análisis efectuado permite identificar las diferencias de condiciones hídricas existentes en una misma zona y precisar las características de cada región grande (norte, central, sur).

En cuanto a la disponibilidad de agua durante todo el año Cenicafé presenta mayor disponibilidad, Pueblo Bello de mayo a diciembre y La Florida de noviembre a junio. La evapotranspiración potencial está entre tres y cuatro milímetros diarios.

En Cenicafé no existen períodos secos prolongados de mayo a septiembre los cuales ocasionalmente pasan de 20 días consecutivos; en cambio, para esta misma época Pueblo Bello presenta un año de cada tres, un período seco mayor de 60 días y La Florida más de siete años de cada 10, tiene períodos secos mayores de 60 días.

BIBLIOGRAFIA

1. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Cuarenta años de investigación en Cenicafé. Volumen 2. Clima 1983. Chinchiná, Centro Nacional de Investigaciones de Café - CENICAFE. 1983. 56 p.
2. FRANQUIN, P.; FOREST, F. Des programmes pour l'évaluation et l'analyse fréquentielle des termes du bilan hydrique. *L'Agronomie Tropicale* (Francia) 32(1):7-11. 1977.
3. FRERE, M.; RIJKS, J. A.; REA, J. Estudio agroclimatológico de la zona andina. Proyecto interinstitucional FAO/UNESCO/OMM en agroclimatología. Geneva, Suiza, World Meteorological Organization. 1978. 29 p. (Technical Note No. 169).
4. GOMEZ G., L. Informes de labores de la Sección de Agroclimatología de 1965-1983. Chinchiná (Colombia). Centro Nacional de Investigaciones de Café, 1985. s. p. (Mecanografiado).
5. JARAMILLO R., A. Balance hídrico de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé* (Colombia) 33(1):15-34. 1982.
6. LHOMME, J. P.; GOMEZ G., L.; JARAMILLO R., A. Modelo matemático del balance hídrico. Turrialba (Costa Rica) 34(4):503-507. 1984.
7. PRIESTLEY, C.; TAYLOR, P. A. The assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. *Monthly Weather Review* 100(2):81-92. 1972.